JEHE Alborz University of Medical Sciences Journal of Environmental Health Engineering , 2025; 12(2):227-242 Systematic Review Article

An Overview of Simulation and Optimization Models for Urban Solid Waste Management Systems

Received: 18 November 2024, Accepted: 08 January 2025

Narjes Baharvandi[1], Mohammad Darvishmotevalli[2, 3], Zahra Mohammadi[4], Hossein faraji[5], Akbar Eskandari[6*]

[1]*Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran*
[2] *Research Center for Health, Safety and Environment (RCHSE), Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran*
[3].*Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran*
[4] *Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran*
[5]*Department of Health and Paramedicine, Tropical and Communicable Diseases Research Center, Iranshahr University of Medical Sciences, Iranshahr. Iran*
[6] *Student Research Committee, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran*

***Corresponding Author:**
scandari12@yahoo.com

How to Cite This Article:
Baharvandi N, Darvishmotevalli M, Mohammadi Z, Faraji H, Eskandari A. An Overview of Simulation and Optimization Models for Urban Solid Waste Management Systems. Journal of Environmental Health Engineering. 2025; 12(2):227-242.

DOI:
10.61186/jehe.12.2.227

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

ABSTRACT

Background: Considering the increasing production of waste and the challenges associated with traditional waste management, this research examines the integrated application of artificial intelligence and the Internet of Things in improving the waste management process. The main objective of this study is to provide innovative and efficient solutions for the collection, sorting, and recycling of waste using advanced technologies.

Materials and Methods: This study was a descriptive review conducted in 2024, aimed at reporting the search process, documentation, and screening using the PRISMA checklist for systematic reviews. The methodology involved searching for articles from 2000 to 2024 with the English keywords waste management, Internet of Things in waste management, artificial intelligence in waste management, new methods of waste management, and their corresponding Persian equivalents on reputable sites such as PubMed, Scopus, Web of Science, Science Direct, Google Scholar, Magiran, and SID.

Results: After searching with relevant keywords, a total of 1021 studies were found, and based on the inclusion and exclusion criteria, 41 articles were utilized. According to the results, the combination of the Internet of Things and artificial intelligence in waste management leads to the optimization of waste collection, prediction of waste volume, and reduction of costs. Machine learning algorithms are also widely used in municipal solid waste management, from waste generation to collection and transportation. Smart sensors and devices are capable of providing real-time data, which can lead to better decision-making and ultimately enhance MSWM, environmental sustainability, and the protection of natural resources.

Conclusion: Waste management in contemporary societies faces challenges such as increased waste production and a lack of infrastructure. The utilization of modern technologies such as the Internet of Things and artificial intelligence can significantly aid in improving the waste management process by analyzing data, predicting waste volume, and optimizing collection routes. This approach not only reduces costs but also contributes to environmental protection and enhances urban quality of life.

Keywords: Smart waste management, artificial intelligence, Internet of Things, ML algorithms

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE
Alborz University of Medical Sciences
مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۲، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۲۷ تا ۲۴۲
مقاله مرور ساختار یافته

مروری بر مدل های شبیه سازی و بهینه سازی سیستم مدیریت پسماند جامد شهری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹

نرجس بهاروندی[۱]، محمد درویش متولی[۲،۳]، زهرا محمدی[۴]، حسین فرجی[۵] اکبر اسکندری[۶*]

[۱] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران
[۲] مرکز تحقیقات بهداشت، ایمنی و محیط، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
[۳] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
[۴] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی یزد، یزد، ایران
[۵] گروه بهداشت و پیراپزشکی، مرکز تحقیقات بیماری های گرمسیری و واگیر، دانشگاه علوم پزشکی ایرانشهر، ایرانشهر. ایران
[۶] کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
scandari12@yahoo.com

نحوه استناد به این مقاله:
Baharvandi N, Darvishmotevalli M, Mohammadi Z, Faraji H, Eskandari A. An Overview of Simulation and Optimization Models for Urban Solid Waste Management Systems. Journal of Environmental Health Engineering. 2025; 12(2):227-242.

DOI:
10.61186/jehe.12.2.227

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به افزایش روزافزون تولید پسماند و چالش‌های موجود در مدیریت سنتی پسماند، این پژوهش به بررسی کاربرد تلفیقی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در بهبود فرآیند مدیریت پسماند می‌پردازد. هدف اصلی این تحقیق، ارائه راهکارهای نوین و کارآمد برای جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت پسماندها با استفاده از فناوری‌های پیشرفته است.

مواد و روش ها: این مطالعه، یک مطالعه مروری – توصیفی در سال ۲۰۲۴ بود که به منظور گزارش فرایند جست‌وجو، مستندسازی و غربالگری از چک لیست پریزما برای بررسی‌های سیستماتیک استفاده شد. روش کار با جست‌وجو مقالات از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ با کلید واژه‌های انگلیسی waste management، Internet of things in waste management، Artificial intelligence in waste management، New methods of waste management و معادل فارسی مربوطه درسایت‌های معتبر PubMed، Scopus، Web of Science، Science Direct، Google Scholar، Magiran و SID بود.

یافته ها: بعد از جست‌وجو با کلید واژه‌های مرتبط تعداد ۹۶۷ مطالعه یافت شد و براساس معیارهای ورود و خروج ۴۱ مقاله مورد استفاده قرار گرفت. براساس نتایج ترکیب اینترنت اشیا و هوش مصنوعی در مدیریت پسماند، به بهینه‌سازی جمع‌آوری پسماند، پیش‌بینی حجم پسماند و کاهش هزینه‌ها منجر می‌شود. الگوریتم‌های ML نیز به طور گسترده در MSWM از تولید پسماند تا جمع آوری و حمل و نقل مورد استفاده قرار می¬گیرند سنسورها و دستگاه‌های هوشمند قادر به ارائه داده‌های آنی هستند که می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر منجر شده و در نهایت این فناوری‌ها موجب ارتقای MSWM و پایداری محیط زیست و حفاظت از منابع طبیعی شوند.

نتیجه گیری: مدیریت پسماند در جوامع امروزی با چالش‌هایی همچون افزایش تولید پسماند و کمبود زیرساخت مواجه است. بهره‌گیری از فناوری‌های نوین نظیر اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌ها، پیش‌بینی حجم پسماند و بهینه‌سازی مسیر جمع‌آوری، به بهبود فرآیند مدیریت پسماند کمک شایانی کند. این رویکرد، ضمن کاهش هزینه‌ها، به حفاظت از محیط‌زیست و افزایش کیفیت زندگی شهری نیز کمک خواهد کرد.

واژه های کلیدی: مدیریت هوشمند پسماند ، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، الگوریتم های ML

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

مقدمه

افزایش جمعیت شهری و تجدید ساختارهای اقتصادی شهری، جنبه‌های اصلی تعیین کننده توسعه شهری در قرن بیست و یکم است [۱]. در کنار توسعه شهری، نگرانی‌های زیادی در مورد پیامدهای رشد جمعیت انسانی برای محیط زیست و توسعه اجتماعی و اقتصادی وجود دارد [۲] با افزایش جمعیت، پسماندهای انسانی و صنعتی نیز به میزان قابل توجهی انباشته شده است بطوری که تولید جهانی پسماند جامد در سال ۲۰۲۰، ۲/۲۴ میلیارد تن یا ۰/۷۹ کیلوگرم به ازای هر نفر در روز بود. سازمان ملل متحد پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۵۰، تولید سالانه پسماند از سال ۲۰۲۰ با ۷۳ درصد افزایش به ۳/۸۸ میلیارد تن خواهد رسید که در وهله اول به دلیل رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی است [۳]. در سطح جهان تعداد زیادی از مردم با جمع آوری پسماند کار می‌کنند و در اروپا به طور متوسط سالانه به ازای هر نفر حدود ۵۰۰ کیلوگرم پسماند شهری تولید می‌شود [۴] روش‌های دفع متعددی برای پسماند در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد که مهمترین آنها عبارتند از: تخلیه در زمین، دفن بهداشتی، سوزاندن و کمپوست [۵]. در سطح جهان، بیش از ۴۳ درصد از پسماندهای جامد تولید شده از طریق سوزاندن، دفن غیر قانونی پسماند، سوزاندن روباز و دفن پسماندهای بدون نظارت بوده و سوء مدیریت می‌شوند [۶] و بیش از ۳۳ درصد از کل پسماندهای جامد شهری (MSW)[1] تولید شده از نظر زیست محیطی ایمن‌تر مدیریت نمی‌شود و به طور غیرقانونی در کنار جاده‌ها یا زمین‌های متروکه ریخته می‌شوند [۷].

تجمع پسماند به عنوان یک عامل خطر برای بیماری‌های عفونی ذکر شده است [۸] به عنوان نمونه پسماندهای پلاستیکی که آب را در خود نگه می‌دارند، می‌توانند با ایجاد زیستگاهی برای مراحل نابالغ برخی ناقل‌ها و پناهگاهی برای گونه‌های انسان دوست باشند و باعث انتقال بیماری و افزایش بار بیماری در جوامع شوند [۹] MSW را می‌توان به عنوان بقایای ناخواسته‌ای تعریف کرد که از خانوارها، مؤسسات، صنایع، ساخت و سازها و سایت‌های تخریب و غیره تولید می‌شود و طبق داده‌های بانک جهانی، در مجموع ۲.۰۱ میلیارد تن MSW تولید می‌شود [۱۰]. ترکیب MSW تولید شده در سطح جهانی نشان می‌دهد که حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد آن را محتوای آلی تشکیل داده است که معمولاً به عنوان بخش آلی MSW [2] شناخته می‌شود و شامل ضایعات چوب، ضایعات سبز، ضایعات مواد غذایی و پسماندهای غیرخطرناک هستند [۱۰، ۱۱] . مدیریت MSW همچنان به عنوان یک چالش بزرگ اجتماعی و حاکمیتی، به ویژه در مناطق شهری که تحت تأثیر نرخ بالای رشد جمعیت و تولید پسماند قرار دارند، است [۱۲] و با توجه به پیامدهای اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی، مدیریت صحیح پسماند به یک دغدغه جهانی تبدیل شده است [۱۳].

مسئله‌ی اصلی در مدیریت پسماند این است که سطل پسماند در اماکن عمومی قبل از شروع فرآیند تخلیه و تمیز کردن، سرریز می‌شود. این به نوبه‌ی خود منجر به خطرات مختلفی ازجمله بوی بد و ظاهر زشت مکان شده و می‌تواند دلیل اصلی شیوع بیماری‌های مختلف باشد [۱۴]. استفاده از فناوری‌های نوظهور ممکن است منجر به بهبود قابل توجه در فرآیند مدیریت پسماند شود [۱۵] تحقیقات اخیر در زمینه بهبود فرآیند مدیریت پسماند شامل موارد زیر است: برنامه‌ها و مدل‌های مورد استفاده برای تعیین بهترین مکان ظروف پسماند، فناوری حسگر که در آن اطلاعات پسماند از سطل هوشمند جمع‌آوری می‌شود و به یک پلتفرم آنلاین منتقل می‌شود و شهروندان می‌توانند به محفظه‌های پراکنده در سطح شهر دسترسی داشته و در دسترس بودن آن را بررسی کنند، استفاده از فناوری‌های پشتیبان برای تجزیه و تحلیل سطح پر شدگی پسماند ظروف [۱۶]. از طرفی دیگر مدیریت پسماند یکی از مسائل مهم در ایجاد شهرهای هوشمند است [۱۷] و دفع پسماند جامد به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌های مرتبط با برنامه‌های کاربردی شهر هوشمند مطرح شده است

1.Municipal solid waste
2.OFMSW

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

که بر سلامت و طبیعت جامعه ما تأثیر می‌گذارد [18] هوش مصنوعی[1] با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها، یادگیری ماشینی[2] و مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده، به مقامات شهری کمک می‌کند تا تصمیم‌گیری آگاهانه، بهینه‌سازی استفاده از منابع و بهبود کیفیت زندگی برای ساکنان شهری را داشته باشند [19]. اینترنت اشیا [3] نیز نقشی محوری در تقویت برنامه‌های شهر هوشمند از طریق نظارت و مدیریت آنی فرآیندهای شهر ایفا می‌کند [18] و جمع آوری، یکپارچه‌سازی و پردازش انواع مختلف اطلاعات را تسهیل می‌کند [17]. ادغام هوش مصنوعی و رباتیک در طراحی و بهره برداری از تصفیه خانه‌های پسماند شهری می‌تواند نحوه مدیریت پسماندهای جامد را متحول کند و منجر به افزایش کارایی عملیاتی و شیوه‌های مدیریت پایدارتر پسماند شود [20].

هدف اصلی این مطالعه بررسی مروری بر سیستم‌های هوشمند مدیریت پسماند در دنیا است تا به عنوان یک مطالعه، بتواند در راستای بهبود مدیریت پسماند در کشور ایران اقداماتی انجام داد که از یک سو هزینه‌های مدیریت پسماند را کاهش داد و از سوی دیگر با مدیریت جمع‌آوری صحیح بار بیماری را کم کرد. ضمن اینکه نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک بانک اطلاعاتی اولیه در راستای مدیریت پسماند در اختیار مدیران پسماند قرار بگیرد و گامی در پیاده‌سازی روش‌های نوین مدیریت پسماند در کشور ایران باشد.

روش کار

این مطالعه، یک مطالعه مروری – توصیفی بوده که در سال ۲۰۲۴ انجام شد، به منظور گزارش فرایند جست‌وجو، مستندسازی و غربالگری مطالب مطابق نمودار ۱، از چک لیست پریزما برای بررسی‌های سیستماتیک استفاده شد. برای شناسایی مطالعات مرتبط، جست‌وجو مقالات از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ با کلید واژه‌های انگلیسی waste management، Internet of things in waste management، Artificial intelligence in waste management، New methods of waste management و معادل فارسی مربوطه درسایت‌های معتبر PubMed، Scopus، Web of Science، Science Direct، Google Scholar، Magiran و SID بود

معیارهای ورود وخروج مطالعه حاضر:

بعد از جست‌وجو مقالات، تعداد ۹۳۴ مطالعه در پایگاه‌های داده ذکر شده جمع‌آوری شد و ۴۱ مورد از آن‌ها انتخاب شدند مطالعات انتخاب شده شامل مطالعات پژوهشی و مروری بودند که بررسی مطالعات منتشر شده به عنوان مقالات اصلی، بررسی مقالات منتشر شده به زبان‌های فارسی و انگلیسی که متن کامل آن در دسترس بود، بررسی مطالعات منتشر شده در رابطه با روش‌های نوین مدیریت پسماند، هوش مصنوعی در مدیریت پسماند، اینترنت اشیا در مدیریت پسماند و بررسی مطالعاتی که قوی‌ترین ارتباط موضوعی با عنوان مطالعه حاضر را داشتند و همچنین خروج سایر مطالعات از جمله بررسی مقالات منتشر شده به سایر زبان‌ها، بررسی مقالاتی که متن کامل آن‌ها در دسترس نبود، بررسی‌های منتشر شده به صورت پایان‌نامه، کتاب، نامه به سردبیر، سمینار، کنفرانس، گزارش و مطالعات غیرمرتبط. مطالعات انتخاب شده در وهله اول شامل بررسی روش‌های نوین مدیریت پسماند، هوش مصنوعی در مدیریت پسماند، اینترنت اشیا در مدیریت پسماند و ثانیا، فرصت‌ها و چالش‌ها مدیریت پسماند در دنیا بودند. معیارهای انتخاب مقالات در دسترس بودن، توجه به جدید بودن و مرتبط بودن برای مدیریت پسماند بود

1. Artificial Intelligence
2. Machine Learning
3.Internet of Things

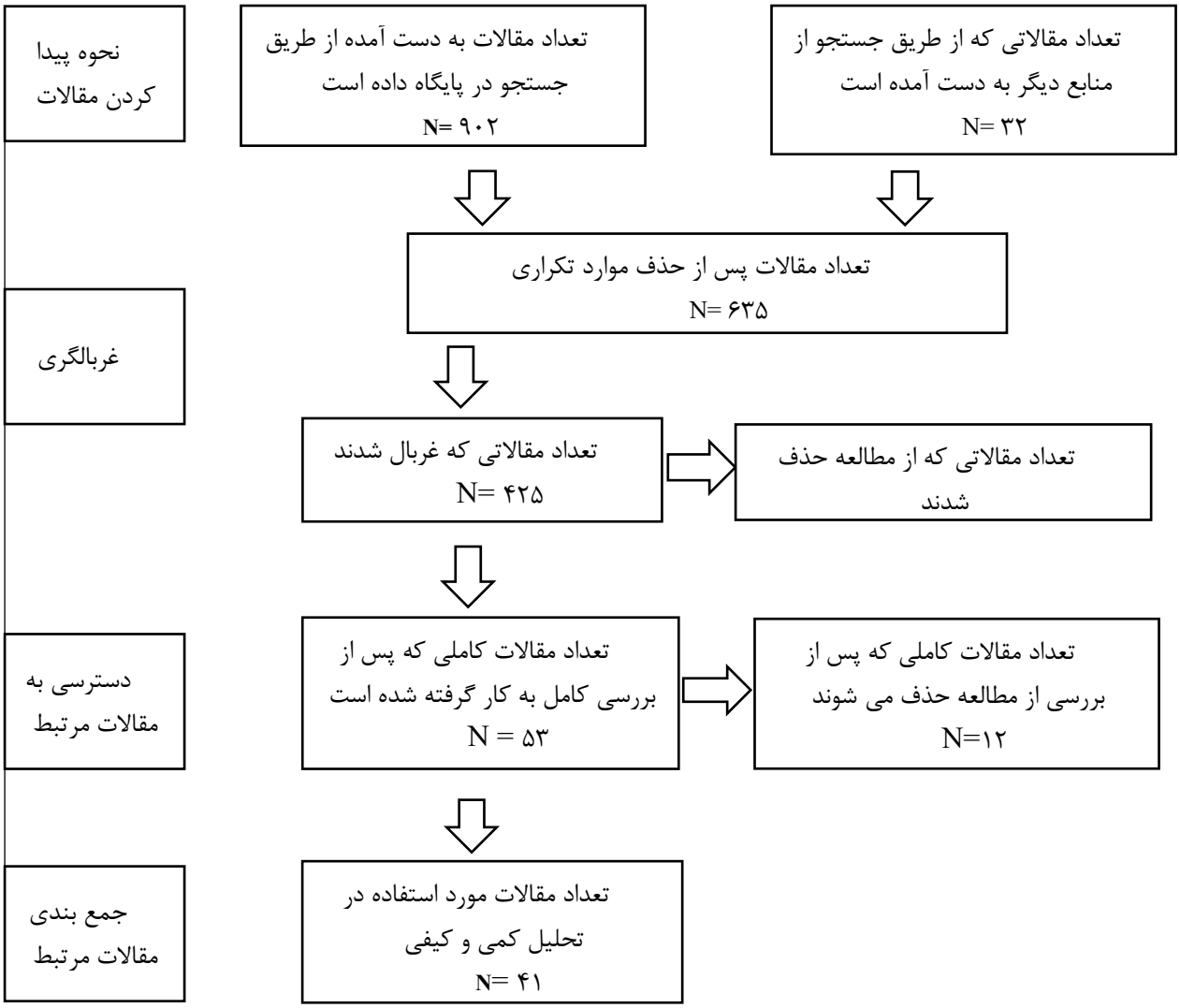
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

پس از انتخاب مقالات، ابتدا به بررسی روش‌های نوین مدیریت پسماند در دنیا و سپس به گزینه‌های پیشنهاداتی در فرایند مدیریت پسماند شهری پرداخته شد.

استخراج داده‌ها:

پس از جست‌وجو و واردکردن داده‌ها به نرم افزار End Note، مراحل غربالگری مطالعات، مطابق با معیارهای ورود خروج انجام شد و برای رفع تناقض مقالات ارزیابی شد و مقالاتی که معیار ورود به مطالعه را داشتند به طور دقیق بررسی شدند.



نمودار ۱: جریان پریزما برای گنجاندن مقالات مرتبط

یافته‌ها

بعد از جست‌وجو با کلید واژه‌های ذکرشده مطابق نمودار۱ تعداد ۹۳۴ مطالعه یافت شد. پس از حذف موارد تکراری و غیرمرتبط تعداد ۶۳۵ مقاله در مرحله اولیه مورد بررسی قرارگرفت و پس از غربالگری و حذف مقالات غیر مرتبط تعداد ۵۳ مقاله و در نهایت ۴۱ مقاله مورد بررسی قرار

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

گرفت. مطابق نمودار ۱ پس از بررسی مقالات از نظر محتوا و مرتبط بودن در راستای مدلسازی سیستم مدیریت پسماند جامد شهری در نهایت ۴۱ مقاله به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفت. در شکل شماره ۱ منشا تولید انواع پسماند نشان داده شده است مطابق شکل MSW از بخش های مختلفی نظیر منابع خانگی، تجاری، نساجی، تصفیه خانه‌های فاضلاب و معادن و غیره تولید می‌شود. همچنین مطابق یافته‌ها، تکنیک‌های برای کاهش پسماند و چالش‌های در مدیریت پسماند وجود دارد در تکنیک‌های برای کاهش پسماند ۳R مطرح است که شامل کاهش، استفاده مجدد و بازیافت است. تولید کمپوست و ورمی کمپوست و بیوگاز از سایر تکنیک‌های برای کاهش پسماند است و پسماند صفر[1] نیز در تکنیک‌های کاهش پسماند مطرح است پسماند صفر به معنی کاهش پسماند و تولید پسماند به حداقل ممکن و استفاده مجدد از مواد تا حد امکان است و هدف از این روش، جلوگیری از دفن پسماند و کاهش آلودگی محیط زیست است.

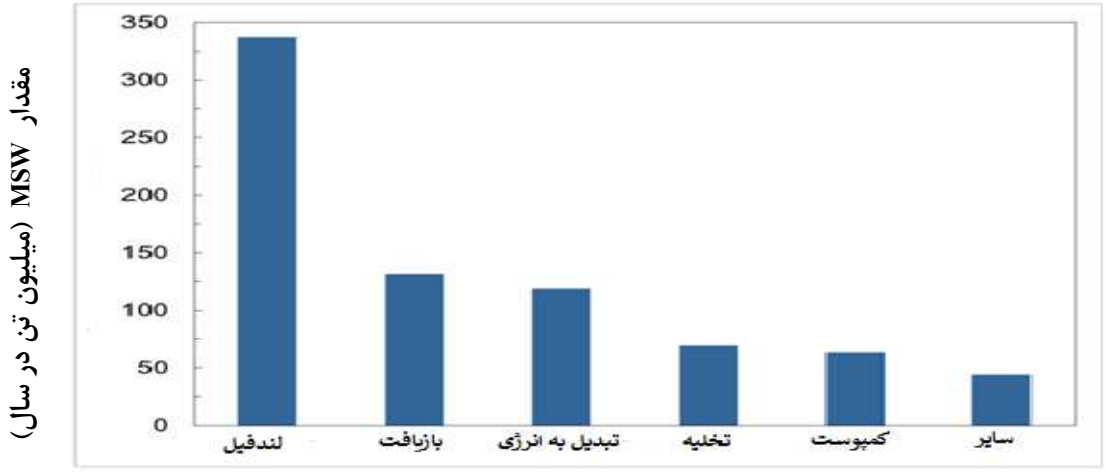
شکل ۱. منشا تولید انواع پسماند در MSW [۲۱]

در شکل شماره ۲ روش‌های متداول مدیریت پسماند در مقیاس جهانی نشان داده شده است. مطابق شکل دفن پسماند به روش دفع تقریبا با سهم ۴۴ درصد از کل MSW تولید شده در سراسر جهان به عنوان پرکاربردترین روش تصفیه MSW است و ۹ درصد از MSW تولید شده در مقیاس جهانی بدون هیچ کنترل به محیط تخلیه می‌شود.

1.Zero Waste

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]



شکل ۲. سهم روش های متداول مدیریت پسماند در MSW تولید شده در سطح جهانی [۲۲]

در شکل ۳ توانایی فن‌آوری‌های مختلف دفع/تصفیه پسماند را برای اجزای مختلف MSW نشان داده شده است مطابق شکل گزینه‌های تکنولوژیکی مختلفی برای دفع و تصفیه MSW وجود دارد از جمله این تکنیک‌ها یادگیری ماشینی یا ML است ML شامل تکنیک‌های مرسوم ML مانند ماشین بردار پشتیبانی[1] (SVM)، درخت تصمیم[2] (DT)، الگوریتم ژنتیک[3] (GA) و یادگیری عمیق است که تفاوت‌های زیادی در استخراج ویژگی‌ها دارند [۲۳]. کاربرد الگوریتم‌های ML به طور گسترده‌ای در حوزه تخصیص وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌اند. شرکت‌های مدیریت پسماند با استفاده از این الگوریتم می‌توانند از منابع به طور موثرتری استفاده کنند و هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهند [۲۴]. ML با یکی از ویژگی‌های مهم هوش مصنوعی (AI) مطابقت دارد که طراحی شده را قادر می‌سازد تا سریعاً بیاموزد و تصمیم بگیرد بدون اینکه دستورالعمل خاصی دریافت کند [۲۵]. در شکل ۳ کاربرد الگوریتم‌های ML به طور گسترده در MSWM، از تولید پسماند تا جمع آوری و دفع نهایی و بازیافت نشان داده شده است این فرآیند به عنوان یک چرخه مداوم در نظر گرفته می‌شود که هر مرحله آن بر مراحل بعدی تأثیر گذاشته و از آن‌ها متأثر می‌شود. مرحله اول جمع‌آوری و پیش‌بینی به همراه جداسازی و پردازش است در این مرحله پسماندهای تولید شده توسط شهروندان جمع‌آوری شده و برای انتقال به مراکز پردازش آماده می‌شوند، پیش‌بینی با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در طول زمان است که می‌توان میزان تولید پسماند و ترکیب آن را پیش‌بینی کند این پیش‌بینی به برنامه‌ریزی بهتر برای مدیریت پسماند کمک می‌کند. پس از جمع‌آوری، پسماندها بر اساس نوع و جنس به دسته‌های مختلفی مانند کاغذ، پلاستیک، شیشه، مواد آلی و زباله‌های باقیمانده تقسیم می‌شوند برای جداسازی و پردازش پسماندها از تجهیزات مختلفی مانند نوار نقاله، دستگاه‌های مغناطیسی و دستگاه‌های جداسازی اپتیکی استفاده می‌شود. مرحله دوم انتقال بهینه را نشان می‌دهد با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی، مسیر بهینه برای انتقال پسماندها از مناطق جمع‌آوری به مراکز پردازش تعیین می‌شود. این امر باعث کاهش هزینه‌ها و مصرف سوخت می‌شود.

1.Support Vector Machine
2.Decision Tree
3.Genetic Algorithm

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

در مرحله سوم دفع و بازیافت است پس از جداسازی و پردازش، بخشی از پسماندها که قابلیت بازیافت ندارند به روش‌های مختلفی مانند دفن بهداشتی، سوزاندن و گازسازی دفع می‌شوند و بخش قابل توجهی از پسماندها نیز بازیافت می‌شود. روش‌های بازیافت شامل کمپوست کردن مواد آلی، تولید انرژی از طریق هضم بی‌هوازی و پیرولیز و تولید مواد اولیه برای صنایع مختلف است (شکل ۳) [۲۶]. در دیگر مطالعات انجام شده، ردیاب حسگر و مونتاژکننده‌های پایگاه داده، برای تشخیص اجسام شیشه‌ای، فلزی و پلاستیکی با استفاده از اشکال مختلف، سطوح تخریب، اندازه‌ها، رنگ‌ها و سطوح مختلف آلودگی آموزش دیده شده است. هر جسم از توالی عصبی حسی متفاوتی می‌گذرد، پاسخ‌های مرتبط با آنها ثبت شده و یک پایگاه داده یکپارچه ایجاد می‌شود و در نهایت همه کانتینرها با استفاده از اهداف ارزیابی می‌شوند [۲۷]. مزایا و معایب الگوریتم‌های مختلف ML مورد استفاده در MSWM در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

شکل ۳ . الگوریتم های یادگیری عمیق و کاربردهای آن در MSWM [۲۳]

جدول ۱. مزایا و معایب الگوریتم‌های مختلف ML مورد استفاده در MSWM [۲۶]

الگوریتم‌ها	مزایا	معایب
ANN[۱]	مناسب برای هر رابطه غیر خطی استحکام قوی و تحمل خط	به پارامترهای زیادی نیاز دارد عدم تفسیرپذیری
SVM/SVR[۲]	مناسب برای مشکلات نمونه کوچک خطای تعمیم کم	حساس به انتخاب هسته حساس به داده های از دست رفته
DT	قابلیت تفسیر بالا راندمان بالا	مستعد بیش از حد تناسب نادیده گرفتن همبستگی ویژگی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

KNN[3]	هیچ فرضی برای داده های ورودی وجود ندارد به موارد پرت حساس نیست	نیاز به مقدار زیادی محاسبه دقت پایین
ANFIS[4]	دارای مزایای شبکه عصبی و استدلال فازی	برای ویژگی های ابعاد بالاتر مناسب نیست
K-means	پیاده‌سازی آسان و همگرایی سریع چند پارامتری	به نویز حساس است به مقدار دهی اولیه مرکز خوشه بستگی دارد
RF[5]	کاهش واریانس مدل بدون نیاز به انتخاب ویژگی	برای داده های با مقادیر مختلف کاربرد ندارد
GBRT/GBDT[6]	اهمیت ویژگی رتبه	آموزش به صورت موازی دشوار است
CNN[7]	قابلیت استخراج خودکار ویژگی ها	نیاز به تنظیم پارامتر به داده های نمونه زیادی نیاز دارید
RNN/LSTM[8]	برای داده های متوالی موثر است	نیاز به مقدار زیادی محاسبه

در یک مدل هوشمند پیشنهادی توسط علیزاده و همکاران کاربر پسماندها را درون سطل پسماند قرار میدهد. آنگاه سطل پسماند با استفاده از حسگرهای نصب شده، آستانه‌ی پر شدن خود را اندازه‌گیری کرده و موقعیت خود را به مرکز کنترل گزارش می‌دهد. مرکز کنترل از مختصات فرستاده شده توسط چند سطل استفاده می‌کند و مسیر بهینه‌ای را برای خالی کردن سطل پسماند به وسایل نقلیه گزارش می دهد. اگر سطل پسماند توسط وسایل نقلیه تخلیه شود، یک اخطار به مرکز کنترل فرستاده می‌شود. طرح واره مدل پیشنهادی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

1.Artificial Neural Network
2.Support Vector Machine/Support Vector Regression
3.K-Nearest Neighbors
4.Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
5.Random Forest
6. Gradient Boosting Regression Tree/Gradient Boosting Decision Tree
7. Convolutional Neural Network
8. Recurrent Neural Network/Long Short-Term Memory

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]
[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

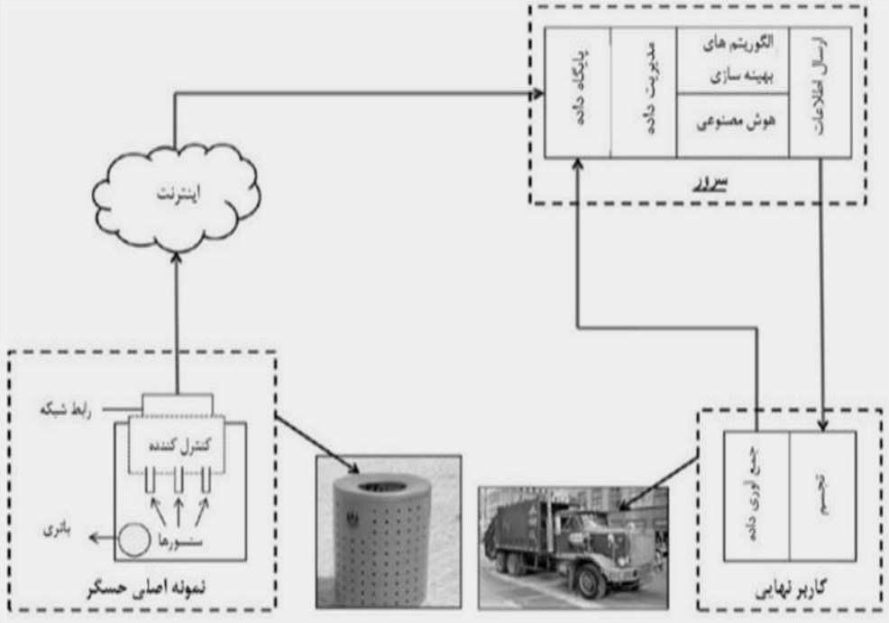
شکل ۴. طرح واره مدل هوشمند پیشنهادی در MSW [۲۸]

کاربرد جالب هوش مصنوعی در مدیریت پسماند برای حسگرهای هوشمند، به ویژه در سطل‌های ذخیره پسماند تجاری است. سنسورها معمولاً در حسگرهای هوشمند، به ویژه در سطل‌های ذخیره پسماند تجاری بوده و سنسورها معمولاً در سطل‌ها و/یا کامیون‌های جمع‌آوری نصب می‌شوند، سپس به اینترنت متصل می‌شوند تا پرسنل شبکه جمع‌آوری بر سطح پر شدگی پسماندها در سطل‌های پسماند در زمان واقعی نظارت کنند. مدیران پسماند می‌توانند در زمان واقعی میزان پر بودن سطل‌های پسماند را با گزینه‌ای برای ایجاد نقشه‌های مسیر سفارشی که هدف قرار می‌دهند، نظارت کنند. برای سطل‌های پسماند تقریباً پر و برای جمع آوری آن‌ها، احتمالاً سرویس‌های جمع‌آوری مسیرها را روزانه تغییر دهید تا زمان سفر به حداقل برسد و در این صورت استفاده بهینه از تجهیزات جمع آوری صورت گیرد [۲۹]. در شکل ۵ یک نمایش گرافیکی از یک سیستم هوشمند طراحی شده برای مدیریت و جمع‌آوری زباله است. این سیستم با هدف افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های مربوط به جمع‌آوری زباله، بهینه سازی مسیرهای جمع‌آوری و همچنین کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از مدیریت نادرست پسماندها طراحی شده است. اجزای اصلی سیستم و عملکرد آن‌ها شامل ۱-حسگرهای تشخیص سطح پرشدگی: این حسگرها در داخل سطل‌های زباله قرار گرفته و به صورت مداوم سطح پرشدگی آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند. اطلاعات جمع‌آوری شده توسط این حسگرها به

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

صورت بی‌سیم به یک واحد مرکزی ارسال می‌شود ۲- واحد مرکزی: این واحد قلب تپنده سیستم است و وظیفه جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌های دریافتی از حسگرها را بر عهده دارد. با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، این واحد می‌تواند پیش‌بینی کند که کدام سطل‌ها به زودی پر می‌شوند و نیاز به تخلیه دارند ۳- شبکه ارتباطی: این شبکه ارتباطی بین حسگرها، واحد مرکزی و سایر اجزای سیستم را برقرار می‌کند. این شبکه می‌تواند از فناوری‌های مختلفی مانند Wi-Fi[1]، بلوتوث یا شبکه‌های دیگر استفاده کند. ۴- نرم‌افزار مدیریت: این نرم‌افزار بر روی یک رایانه یا سرور نصب می‌شود و به عنوان رابط کاربری برای کاربران سیستم عمل می‌کند. با استفاده از این نرم‌افزار، کاربران می‌توانند اطلاعات مربوط به وضعیت سطل‌های زباله را مشاهده کنند، برنامه‌ریزی جمع‌آوری را انجام دهند و گزارش‌های مختلفی را تولید کنند ۵- خودروهای جمع‌آوری زباله: این خودروها به سیستم ناوبری مجهز هستند و با استفاده از اطلاعات دریافتی از واحد مرکزی، به صورت خودکار به سمت سطل‌های زباله‌ای که نیاز به تخلیه دارند حرکت می‌کنند.



شکل ۵ . نمای کلی سامانه‌ی جمع‌آوری پسماندهای هوشمند [30]

بحث

یک سیستم هوشمند جمع‌آوری پسماند باید بتواند با استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا به صورت خودکار و بهینه، زمان و مسیر جمع‌آوری پسماند را برنامه‌ریزی کند این سیستم باید قادر باشد عوامل مختلفی مانند حجم تولید پسماند در مناطق مختلف، شرایط آب و هوایی و ترافیک را در نظر گرفته و بهترین تصمیم را انجام دهند در مطالعه‌های انجام شده به این مهم اشاره شده است در مطالعه Yusof و همکاران عدم اطلاع از زمان و منطقه جمع آوری، نبود سیستم مناسب برای نظارت بر کامیون‌ها و سطل‌های پسماند که در زمان واقعی جمع آوری صورت گیرد، عدم برآورد میزان پسماند جامد در داخل سطل پسماند و پراکندگی پسماند، عدم پاسخ سریع به موارد فوری مانند تصادف و خرابی کامیون، عدم پاسخگویی سریع به شکایات مشتری از مشکلات مدیریت جمع‌آوری MSW گزارش شده است [31]. با استفاده از فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، شهرداری‌ها و تأسیسات بازیافت می‌توانند

1.Wireless Fidelity

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

جمع‌آوری پسماند را بهینه و سرعت آن را افزایش دهند، الگوهای تولید پسماند را پیش‌بینی کرده و به مردم آموزش دهند و تخلیه غیرقانونی را شناسایی کنند و در نهایت اقتصاد چرخشی(CE)[1] را ترویج دهند [۳۲]. در راستای تحقق اقتصاد چرخشی Franchina و همکاران کار فرمول‌بندی شهر هوشمند را با محوریت نیازهای کاربران پیشنهاد کردند که چگونه یک شهر هوشمند می‌تواند برای تحقیق اقتصاد چرخشی که در مورد مدیریت پسماند جامد گزارش می‌کند، مفید باشد [۳۳]. در مطالعه Albizzati و همکاران با عنوان مدلی برای ارزیابی اثرات زیست محیطی و اقتصادی مدیریت پسماند شهری در اروپا مشخص شد که تخمین دقیق‌تر مقادیر پسماند تولید شده و بازیافت مناسب آن، تغییرات عملکردی بزرگی را در کشورهای عضو اتحادیه اروپا (EU27) نشان می‌دهد به طوری که با رد پای کربن ۴۹۰ تا ۵۳۹ کیلوگرم معادل CO_2 برای هر تن پسماند همراه است و با مدیریت بهینه کاهش هزینه پسماند به میزان ۸.۴ میلیارد یورو و ایجاد ۲۰۶۱۰۰ شغل جدید همراه است [۳۴].

Andeobu و همکاران در مطالعه خود کاربرد فن‌آوری‌های هوش مصنوعی را در حوزه‌های مختلف SWM (تولید، مرتب‌سازی، جمع‌آوری، مسیریابی وسایل نقلیه، تصفیه، دفع و برنامه‌ریزی مدیریت پسماند) برای بهبود شیوه‌های مدیریت پسماند پایدار در استرالیا بررسی کردند نتایج نشان داد که تولید پسماند در استرالیا به طور پیوسته در حال افزایش است و نیاز به ارتقا و بهبود زیر ساخت‌های بازیابی و پذیرش مناسب فناوری‌های هوش مصنوعی برای تقویت SWM پایدار است [۶]. Atayero و همکاران یک سیستم هوشمند نظارت بر پسماند جامد با استفاده از IoT و فناوری‌های محاسبات ابری توسعه داده شده را ارائه کردند تا سطح پر شدن پسماند جامد در هر یک از ظروف، که به طور استراتژیک در سراسر جوامع واقع شده‌اند، با استفاده از حسگرهای اولتراسونیک شناسایی شود [۳۵]. Islam و همکاران در مطالعه خود یک سیستم یکپارچه همراه با یک سیستم یکپارچه شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)[2]، سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS)[3]، خدمات رادیویی بسته عمومی (GPRS)[4]، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و دوربین وب معرفی کردند که کاربر با RFID داخلی در کامیون‌های جمع‌آوری، به طور خودکار انواع اطلاعات مشتری و اطلاعات سطل را از بر چسب RFID که در هر سطل نصب شده است بازیابی کند و GPS اطلاعات مکان کامیون جمع‌آوری و تمام اطلاعات سرور مرکز را به طور خودکار از طریق سیستم ارتباطی GPRS به روز کرده و جمع آوری پسماند را تسهیل کنند [۳۶].

Arebey و همکاران در مطالعه خود نشان دادند که سیستم پیشنهادی شامل برچسب RFID نصب شده بر روی سطل پسماند، خواننده RFID به عنوان ماژول کامیون، PSR/GSM [5] به عنوان وب سرور، GIS به عنوان سرور نقشه، سرور پایگاه داده و سرور ایستگاه کنترل است که دستگاه‌های ردیاب نصب شده در کامیون‌ها اطلاعات مکان را در زمان واقعی از طریق GPS جمع‌آوری کرده و این اطلاعات به طور مداوم از طریق GPRS به پایگاه داده مرکزی منتقل شده و کاربران می‌توانند مکان فعلی هر کامیون را در مرحله جمع آوری از طریق یک برنامه مبتنی بر وب مشاهده کنند و از این طریق ناوگان را مدیریت کنند، در برنامه مبتنی بر وب موقعیت کامیون‌ها و اطلاعات سطل پسماند بر روی یک نقشه دیجیتالی نمایش داده می‌شود و توسط یک سرور نقشه در دسترس بوده و پسماندهای جامد سطل پسماند و کامیون با استفاده از سیستم توسعه یافته نظارت می‌شوند [۳۷]. در مطالعه‌ای که توسط Fang و همکاران مشخص شد استفاده از هوش مصنوعی در لجستیک پسماند، مسافت حمل و نقل را تا ۳۶/۸ درصد، صرفه جویی در هزینه را تا ۱۳/۳۵ درصد، و صرفه جویی در زمان را تا ۲۸/۲۲ درصد کاهش می‌دهد [۲۰].

1. Circular Economy
2. Radio-Frequency Identification
3. Global Positioning System
4. General Packet Radio Service
5. Public Safety Router/ Global System for Mobile Communications

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

در مطالعه Mishra و همکاران، یک مدل مدیریت ضایعات هوشمند با قابلیت هوش اشیا (IoT-SWM)[1] با قابلیت‌های پیش‌بینی توسعه داده شده است LS [2]در مکان‌های مشخص مستقر می‌شدند و در هر لحظه، وضعیت فعلی سطل‌های هوشمند در هر LS به کاربران اطلاع داده می‌شود تا سطح اولویت LS را برای تخلیه مشخص کنند. بر اساس مقادیر جمع‌آوری شده حسگر برای سه سطل هوشمند، وزن LS و مقدار گاز سمی، ترتیب اولویت تخلیه LS محاسبه و تصمیم‌گیری می‌شد که آیا کاربران را با یک پیام هشدار مطلع کند یا خیر. همچنین به پیش‌بینی LS کمک می‌کند، که احتمالاً بر اساس زمان تعیین‌شده با سرعت بیشتری پر می‌شود. این مدل در زمان واقعی با بسیاری از LS پیاده‌سازی می‌شد و مشاهده شد که سطل‌هایی که نزدیک به مکان‌های شلوغ‌تر بودند در مقایسه با مناطق کم جمعیت سریع‌تر پر می‌شوند [38]. در مطالعه Wang و همکاران، برای کاهش هزینه طبقه‌بندی، نظارت و جمع‌آوری پسماند، یک سیستم مدیریت پسماند شهری پیشنهاد شد که از طبقه‌بندی‌کننده مبتنی بر یادگیری عمیق و تکنیک محاسبات ابری شبکه‌های عصبی کانولوشن یادگیری عمیق (CNN) برای تحقق طبقه‌بندی پسماند با دقت بالا استفاده می‌شد همچنین برای تسهیل دفع پسماندهای بعدی، پسماندهای قابل بازیافت را در مجموع به شش دسته پلاستیک، شیشه، کاغذ یا مقوا، فلز، پارچه و سایر پسماندهای قابل بازیافت تقسیم شدند [39].

در مطالعه عبدالحسینی و همکاران یک سیستم نظارت و جمع آوری پسماند جامد هوشمند طراحی و توسعه یافته است که این سیستم از ظروف هوشمند یا سطل‌های هوشمند تشکیل شده و هر سطل یا ظرف با آردوینو Uno، سنسور اولتراسونیک و فرستنده فرکانس رادیویی (RF) در بالای ظرف نصب می‌شود. هنگامی که ظرف پر از پسماند است، سیگنالی را به مرکز کنترل می‌فرستد که سطح پسماند را نشان خواهد داد و در کانتینرها از طریق GSM/GPRS [3]، یک پیامک (SMS)[4] برای تلفن همراه راننده کامیون برای سطل‌های پسماند پر که باید خالی شود ارسال می‌شد [40]. Jain و همکاران در سیستم پیشنهادی، پر بودن پسماند در سطل پسماند با کمک سنسورهای مورد استفاده و ارسال اطلاعات از طریق سیستم GSM/GPRS به اتاق کنترل را مورد مطالعه قرار دادند که میکروکنترلر Renesas برای ارتباط سیستم حسگر با سیستم GSM استفاده می‌شود و یک برنامه اندرویدی برای نظارت بر اطلاعات مربوط به پسماندها برای مکان‌های مختلف انتخاب شده طراحی می‌شود تا از این طریق به طور موثر جمع آوری پسماند را انجام داد [41].

در این پژوهش به بررسی استفاده از فناوری‌های هوشمند در مدیریت پسماند شهری پرداخته شده است مطابق مطالعات مشخص شد استفاده از فناوری‌هایی مانند GPS، RFID، GIS می‌تواند به بهبود کارایی و اثربخشی سیستم‌های جمع‌آوری پسماند کمک کند. مزایای استفاده از این فناوری‌ها عبارتند از :۱- بهینه‌سازی مسیرها و زمان‌بندی جمع‌آوری: با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرها و سیستم‌های موقعیت‌یابی، می‌توان مسیرهای بهینه‌تری برای جمع‌آوری پسماند طراحی کرد و زمان‌بندی را بهبود بخشید. ۲- نظارت بر عملکرد ناوگان: با استفاده از سیستم‌های ردیابی، می‌توان عملکرد ناوگان جمع‌آوری را نظارت کرد و اطمینان حاصل کرد که وظایف خود را به درستی انجام می‌دهند. ۳-کاهش هزینه‌ها: بهینه‌سازی مسیرها و زمان‌بندی جمع‌آوری می‌تواند به کاهش هزینه‌های عملیاتی کمک کند. ۴- افزایش رضایت شهروندان: با بهبود خدمات جمع‌آوری پسماند، می‌توان رضایت شهروندان را افزایش داد. ۵- جمع‌آوری داده‌ها برای تصمیم‌گیری بهتر: داده‌های جمع‌آوری شده توسط سیستم‌های هوشمند می‌توانند برای تصمیم‌گیری بهتر در مورد مدیریت پسماند استفاده شوند.

1.Internet of Things/ Smart Waste Management
2.local sinks
3.Global System for Mobile Communications/General Packet Radio Service
4.Short Message Service

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]
[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

نتیجه‌گیری

مدیریت پسماند به عنوان یکی از چالش‌های کلیدی در جوامع معاصر، با مسائلی نظیر افزایش تولید پسماند، کمبود زیرساخت‌های مناسب و آلودگی محیط زیست روبروست که نیازمند راهکارهای نوین و کارآمد است به منظور مقابله با این چالش‌ها، روش‌های نوینی نظیر بازیافت، تفکیک پسماند در مبدا، کمپوست‌سازی و استفاده از فناوری‌های مدرنی چون مدیریت هوشمند پسماندها و پلتفرم‌های نظارتی توسعه یافته‌اند مزایای این روش‌های نوین شامل ارتقاء سلامت عمومی، کاهش آلودگی و ایجاد فرصت‌های شغلی جدید در صنایع است که به توسعه پایدار جوامع و بهبود کیفیت زندگی شهروندان از طریق کاهش حجم پسماند و حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند. به کارگیری فناوری‌های پیشرفته نظیر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا می‌تواند به بهبود فرآیندهای مدیریت پسماند کمک شایانی کند. هوش مصنوعی با قابلیت تحلیل داده‌ها و شناسایی الگوهای رفتاری مصرف‌کنندگان، می‌تواند به پیش‌بینی حجم پسماند و بهینه‌سازی زمان و مسیر جمع‌آوری کمک کند. در همین حال، اینترنت اشیا با فراهم کردن اطلاعات لحظه‌ای و نظارت بر وضعیت سطل‌های پسماند، امکان تصمیم‌گیری سریع و به موقع را فراهم می‌آورد. این هم‌افزایی بین فناوری‌های نوین، نه تنها می‌تواند هزینه‌های مدیریت پسماند را کاهش دهد، بلکه با افزایش کارایی و شفافیت در این فرآیند، موجب حفاظت از محیط زیست و بهبود کیفیت زندگی در شهرها می‌گردد. چنین رویکردی می‌تواند به جوامع کمک کند تا به سمت مدل‌های پایدارتر و آینده‌نگرتر در مدیریت پسماند حرکت کنند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی تبریز نهایت تشکر را دارند.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می کنند که در این پژوهش هیچ گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

حمایت مالی

در اجرای این پژوهش هیچ نوع حمایت مالی دریافت نشده است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان همه نکات اخلاقی از جمله عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت نموده اند.

مشارکت نویسندگان

-نگارش و ایده مقاله: اکبر اسکندری، نرجس بهاروندی

-جمع آوری مقالات: زهرا محمدی، حسین فرجی

-بازبینی متن مقاله: محمد درویش متولی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

References

1. Voukkali I, Papamichael I, Loizia P, Zorpas AA. Urbanization and solid waste production: Prospects and challenges. Environmental Science and Pollution Research. 2024;31(12):17678-89.
2. Lutz W, Sanderson W, Scherbov S. The end of world population growth. Nature. 2001;412(6846):543-5.
3. Shah WUH, Yasmeen R, Sarfraz M, Ivascu L. The repercussions of economic growth, industrialization, foreign direct investment, and technology on municipal solid waste: Evidence from OECD economies. Sustainability. 2023;15(1):836.
4. Madsen AM, Raulf M, Duquenne P, Graff P, Cyprowski M, Beswick A, et al. Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes. Science of the Total Environment. 2021;791:148287.
5. Sufian M, Bala B. Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. Waste management. 2007;27(7):858-68.
6. Andeobu L, Wibowo S, Grandhi S. Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review. Science of The Total Environment. 2022;834:155389.
7. Shahab S, Anjum M, Umar MS. Deep learning applications in solid waste management: A deep literature review. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2022;13.(۳)
8. Krystosik A, Njoroge G, Odhiambo L, Forsyth JE, Mutuku F, LaBeaud AD. Solid wastes provide breeding sites, burrows, and food for biological disease vectors, and urban zoonotic reservoirs: a call to action for solutions-based research. Frontiers in public health. 2020;7:405.
9. Maquart P-O, Froehlich Y, Boyer S. Plastic pollution and infectious diseases. The Lancet Planetary Health. 2022;6(10):e842-e5.
10. Sondh S, Upadhyay DS, Patel S, Patel RN. A strategic review on Municipal Solid Waste (living solid waste) management system focusing on policies, selection criteria and techniques for waste-to-value. Journal of Cleaner Production. 2022;356:131908.
11. Prajapati P, Varjani S, Singhania RR, Patel AK, Awasthi MK, Sindhu R, et al. Critical review on technological advancements for effective waste management of municipal solid waste—Updates and way forward. Environmental Technology & Innovation. 2021;23:101749.
12. Abubakar IR, Maniruzzaman KM, Dano UL, AlShihri FS, AlShammari MS, Ahmed SMS, et al. Environmental sustainability impacts of solid waste management practices in the global South. International journal of environmental research and public health. 2022;19(19):12717.
13. Cárcamo EAB, Peñabaena-Niebles R. Opportunities and challenges for the waste management in emerging and frontier countries through industrial symbiosis. Journal of Cleaner Production. 2022;363:132607.
14. Khalami MM, Hasanzadeh M. Intelligent Waste Management Based on the Internet of Things: A Step Towards the City of Knowledge. New Researches in the Smart City. 2022;1(1):38-56 (in persion).
15. Aleyadeh S, Taha A-EM, editors. An IoT-Based architecture for waste management. 2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops); 2018: IEEE.
16. Burduk A, Łapczyńska D, Kochańska J, Musiał K, Więcek D, Kuric I. Waste management with the use of heuristic algorithms and Internet of Things technology. Sensors. 2022;22(22):8786.
17. Alqahtani F, Al-Makhadmeh Z, Tolba A, Said W. Internet of things-based urban waste management system for smart cities using a Cuckoo Search Algorithm. Cluster Computing. 2020;23:1769-80.
18. Vishnu S, Ramson SJ, Senith S, Anagnostopoulos T, Abu-Mahfouz AM, Fan X, et al. IoT-Enabled solid waste management in smart cities. Smart Cities. 2021;4(3):1004-17.
19. Al-Raeei M. The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization. Sustainable Development. 2024.
20. Fang B, Yu J, Chen Z, Osman AI, Farghali M, Ihara I, et al. Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review. Environmental Chemistry Letters. 2023;21(4):1959-89.
21. Khan S, Anjum R, Raza ST, Bazai NA, Ihtisham M. Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives. Chemosphere. 2022;288:132403.
22. Soltanian S, Kalogirou SA, Ranjbari M, Amiri H, Mahian O, Khoshnevisan B, et al. Exergetic sustainability analysis of municipal solid waste treatment systems: A systematic critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022;156:111975.
23. Lin K, Zhao Y, Kuo J-H, Deng H, Cui F, Zhang Z, et al. Toward smarter management and recovery of municipal solid waste: A critical review on deep learning approaches. Journal of Cleaner Production. 2022;346:130943.
24. Pillai KS, Sneha M, Aiswarya S, Anand AB, Prasad G, editors. Municipal Solid Waste Management: A Review of Machine Learning Applications. E3S Web of Conferences; 2023: EDP Sciences.
25. Jude AB, Singh D, Islam S, Jameel M, Srivastava S, Prabha B, et al. An artificial intelligence based predictive approach for smart waste management. Wirel Pers Commun. 2021;123456789.
26. Xia W, Jiang Y, Chen X, Zhao R. Application of machine learning algorithms in municipal solid waste management: A mini review. Waste Management & Research. 2022;40(6):609-24.
27. Ahmed AAA, Asadullah A. Artificial intelligence and machine learning in waste management and recycling. Engineering International. 2020;8(1):43-52.
28. Alizadeh N AM. Analyzing the Improvement Criteria of Urban Waste Management Based on Internet-of-Thing (IoT) Technology Using Dimatel Method. Urban Management Studies. Urban Management Studies. 2022;49(14):77-91(in persion).
29. Navia R, Ross DE. Waste management and artificial intelligence: Is it happening already? : SAGE Publications Sage UK: London, England; 2024. p. 285-6.
30. Khalami MM, Hasanzadeh M. Intelligent Waste Management Based on the Internet of Things: A Step Towards the City of Knowledge. Journal of New Researches in the Smart City. 2022;1(1):38-56 (in persion).
31. Yusof NM, Zulkifli MF, Yusof M, Azman AA. Smart waste bin with real-time monitoring system. International Journal of Engineering & Technology. 2018;7(2.29):725-9.
32. Reza M, Hassan M. AI-Driven solutions for enhanced waste management and recycling in urban areas. International Journal of Sustainable Infrastructure for Cities and Societies. 2023;8(2):1-13.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]

33. Franchina L, Calabrese A, Inzerilli G, Scatto E, Brutti G, de los Ángeles Bonanni MV. Thinking green: The role of smart technologies in transforming cities' waste and supply Chain's flow. Cleaner Engineering and Technology. 2021;2:100077.
34. Albizzati PF, Foster G, Gaudillat P, Manfredi S, Tonini D. A model to assess the environmental and economic impacts of municipal waste management in Europe. Waste Management. 2024;174:605-17.
35. Atayero AA, Popoola SI, Williams R, Badejo JA, Misra S, editors. Smart city waste management system using Internet of Things and cloud computing. Intelligent Systems Design and Applications: 19th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA 2019) held December 3-5, 2019 19; 2021: Springer.
36. Islam MS, Arebey M, Hannan M, Basri H, editors. Overview for solid waste bin monitoring and collection system. 2012 International Conference on Innovation Management and Technology Research; 2012: IEEE.
37. Arebey M, Hannan M, Basri H, Begum R, Abdullah H, editors. Solid waste monitoring system integration based on RFID, GPS and camera. 2010 international conference on intelligent and advanced systems; 2010: IEEE.
38. Mishra S, Jena L, Tripathy HK, Gaber T. Prioritized and predictive intelligence of things enabled waste management model in smart and sustainable environment. PloS one. 2022;17(8):e0272383.
39. Wang C, Qin J, Qu C, Ran X, Liu C, Chen B. A smart municipal waste management system based on deep-learning and Internet of Things. Waste Management. 2021;135:20-9.
40. Hassan SA, Jameel NGM, Şekeroğlu B. Smart solid waste monitoring and collection system. International Journal. 2016;6.(١٠)
41. Jain A, Bagherwal R, editors. Design and implementation of a smart solid waste monitoring and collection system based on Internet of Things. 2017 8th international conference on computing, communication and networking technologies (ICCCNT); 2017: IEEE.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61186/jehe.12.2.227]