

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

Received: 18 November 2024, Accepted: 08 January 2025

Narjes Baharvandi<sup>1</sup>, Mohammad Darvishmotevalli<sup>2,3</sup>, Zahra Mohammadi<sup>4</sup>, Hossein faraji<sup>5</sup>, Akbar Eskandari<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

<sup>2</sup>Research Center for Health, Safety and Environment (RCHSE), Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

<sup>3</sup>Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

<sup>4</sup>Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

<sup>5</sup>Department of Health and Paramedicine, Tropical and Communicable Diseases Research Center, Iranshahr University of Medical Sciences, Iranshahr, Iran

<sup>6</sup> 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](https://doi.org/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

## 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<sup>۱</sup>، محمد درویش متولی<sup>۲،۳</sup>، زهرا محمدی<sup>۴</sup>، حسین فرجی<sup>۵</sup>، اکبر اسکندری<sup>۶\*</sup><sup>۱</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات بهداشت، ایمنی و محیط، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران<sup>۳</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران<sup>۴</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی یزد، یزد، ایران<sup>۵</sup> گروه بهداشت و پیراپزشکی، مرکز تحقیقات بیماری های گرمسیری و واگیر، دانشگاه علوم پزشکی ایرانشهر، ایرانشهر، ایران<sup>۶</sup> کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

## چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به افزایش روزافزون تولید پسماند و چالش های موجود در مدیریت سنتی پسماند، این پژوهش به بررسی کاربرد تلفیقی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در بهبود فرآیند مدیریت پسماند می پردازد. هدف اصلی این تحقیق، ارائه راهکارهای نوین و کارآمد برای جمع آوری، تفکیک و بازیافت پسماندها با استفاده از فناوری های پیشرفته است.

**مواد و روش ها:** این مطالعه، یک مطالعه مروری - توصیفی در سال ۲۰۲۴ بود که به منظور گزارش فرایند جست و جو، مستندسازی و غربالگری از چک لیست پریزما برای بررسی های سیستماتیک استفاده شد. روش کار با جست و جو مقالات از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ با کلید واژه های انگلیسی *Internet of waste management*، *things in waste management*، *Artificial intelligence in waste management*، *methods of waste management*، *PubMed*، *Scopus*، *Science Direct*، *Web of Science*، *Magiran*، *Google Scholar* و *SID* بود.

**یافته ها:** بعد از جست و جو با کلید واژه های 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 بهینه سازی جمع آوری پسماند، پیش بینی حجم پسماند و کاهش هزینه ها منجر می شود. الگوریتم های ML نیز به طور گسترده در MSWM از تولید پسماند تا جمع آوری و حمل و نقل مورد استفاده قرار می گیرند. سنسورها و دستگاه های هوشمند قادر به ارائه داده های آنی هستند که می تواند به تصمیم گیری بهتر منجر شده و در نهایت این فناوری ها موجب ارتقای MSWM و پایداری محیط زیست و حفاظت از منابع طبیعی شوند.

**نتیجه گیری:** مدیریت پسماند در جوامع امروزی با چالش هایی همچون افزایش تولید پسماند و کمبود زیرساخت مواجه است. بهره گیری از فناوری های نوین نظیر اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می تواند با تحلیل داده ها، پیش بینی حجم پسماند و بهینه سازی مسیر جمع آوری، به بهبود فرآیند مدیریت پسماند کمک شایانی کند. این رویکرد، ضمن کاهش هزینه ها، به حفاظت از محیط زیست و افزایش کیفیت زندگی شهری نیز کمک خواهد کرد.

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

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

scandari12@yahoo.com

نوع 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](https://doi.org/10.61186/jehe.12.2.227)

## مقدمه

افزایش جمعیت شهری و تجدید ساختارهای اقتصادی شهری، جنبه های اصلی تعیین کننده توسعه شهری در قرن بیست و یکم است<sup>۱</sup>. در کنار توسعه شهری، نگرانی های زیادی در مورد پیامدهای رشد جمعیت انسانی برای محیط زیست و توسعه اجتماعی و اقتصادی وجود دارد<sup>۲</sup> 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 پیش بینی می کند 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<sup>۳</sup>. در سطح جهان تعداد زیادی از مردم با جمع آوری پسماند کار می کنند و در اروپا به طور متوسط سالانه به ازای هر نفر حدود ۵۰۰ کیلوگرم پسماند شهری تولید می شود<sup>۴</sup> روش های دفع متعددی برای پسماند در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار می گیرد که مهمترین آنها عبارتند از: تخلیه در زمین، دفن بهداشتی، سوزاندن و کمپوست<sup>۵</sup>. 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 می شوند<sup>۶</sup> و بیش از ۳۳ درصد از کل پسماندهای جامد شهری (MSW) تولید شده از نظر زیست محیطی ایمن تر مدیریت نمی شود و به طور غیرقانونی در کنار جاده ها یا زمین های متروکه ریخته می شوند<sup>۷</sup>.

تجمع پسماند به عنوان یک عامل خطر برای بیماری های عفونی ذکر شده است<sup>۸</sup> به عنوان نمونه پسماندهای پلاستیکی که آب را در خود نگه می دارند، می توانند با ایجاد زیستگاهی برای مراحل نابالغ برخی ناقل ها و پناهگاهی برای گونه های انسان دوست باشند و باعث انتقال بیماری و افزایش بار بیماری در جوامع شوند<sup>۹</sup> MSW را می توان به عنوان بقایای ناخواسته ای تعریف کرد که از خانوارها،

مؤسسات، صنایع، ساخت و سازها و سایت های تخریب و غیره تولید می شود و طبق داده های بانک جهانی، در مجموع ۲۰۰۱ میلیارد تن MSW تولید می شود<sup>۱۰</sup>. ترکیب MSW تولید شده در سطح جهانی نشان می دهد که حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد آن را محتوای آلی تشکیل داده است که معمولاً به عنوان بخش آلی MSW<sup>۱۱</sup> شناخته می شود و شامل ضایعات چوب، ضایعات سبز، ضایعات مواد غذایی و پسماندهای غیرخطرناک هستند<sup>۱۰، ۱۱</sup>. 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<sup>۱۲</sup> و با توجه به پیامدهای اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی، مدیریت صحیح پسماند به یک دغدغه جهانی تبدیل شده است<sup>۱۳</sup>.

مسئله اصلی در مدیریت پسماند این است که سطل پسماند در اماکن عمومی قبل از شروع فرآیند تخلیه و تمیز کردن، سرریز می شود. این به نوبه ی خود منجر به خطرات مختلفی از جمله بوی بد و ظاهر زشت مکان شده و می تواند دلیل اصلی شیوع بیماری های مختلف باشد<sup>۱۴</sup>. استفاده از فناوری های نوظهور ممکن است منجر به بهبود قابل توجه در فرآیند مدیریت پسماند شود<sup>۱۵</sup> تحقیقات اخیر در زمینه بهبود فرآیند مدیریت پسماند شامل موارد زیر است: برنامه ها و مدل های مورد استفاده برای تعیین بهترین مکان ظروف پسماند، فناوری حسگر که در آن اطلاعات پسماند از سطل هوشمند جمع آوری می شود و به یک پلتفرم آنلاین منتقل می شود و شهروندان می توانند به محفظه های پراکنده در سطح شهر دسترسی داشته و در دسترس بودن آن را بررسی کنند، استفاده از فناوری های پشتیبان برای تجزیه و تحلیل سطح پر شدگی پسماند ظروف<sup>۱۶</sup>. از طرفی دیگر مدیریت پسماند یکی از مسائل مهم در ایجاد شهرهای هوشمند است<sup>۱۷</sup> و دفع پسماند جامد به عنوان یکی از بزرگترین چالش های مرتبط با برنامه های کاربردی شهر هوشمند مطرح شده است

1. Municipal solid waste  
2. OFMSW

New methods of waste management  
management و معادل فارسی مربوطه در سایت‌های  
معتبر PubMed، Scopus، Web of Science،  
Science Direct، Google Scholar، Magiran و  
SID بود

### معیارهای ورود و خروج مطالعه حاضر:

بعد از جست‌وجو مقالات، تعداد ۹۳۴ مطالعه در پایگاه-  
های 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 ثانیاً، 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

که بر سلامت و طبیعت جامعه ما تأثیر می‌گذارد<sup>۱۸</sup> هوش  
مصنوعی<sup>۱</sup> با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها، یادگیری  
ماشینی<sup>۲</sup> 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<sup>۱۹</sup>. اینترنت اشیا<sup>۳</sup> نیز نقشی محوری در تقویت  
برنامه‌های شهر هوشمند از طریق نظارت و مدیریت آنی  
فرآیندهای شهر ایفا می‌کند<sup>۱۸</sup> و جمع‌آوری، یکپارچه‌سازی  
و پردازش انواع مختلف اطلاعات را تسهیل می‌کند<sup>۱۷</sup>. ادغام  
هوش مصنوعی و رباتیک در طراحی و بهره‌برداری 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<sup>۲۰</sup>.

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 پیرما برای بررسی‌های سیستماتیک استفاده شد. برای  
شناسایی مطالعات مرتبط، جست‌وجو مقالات از سال ۲۰۰۰  
تا ۲۰۲۴ با کلید واژه‌های انگلیسی waste

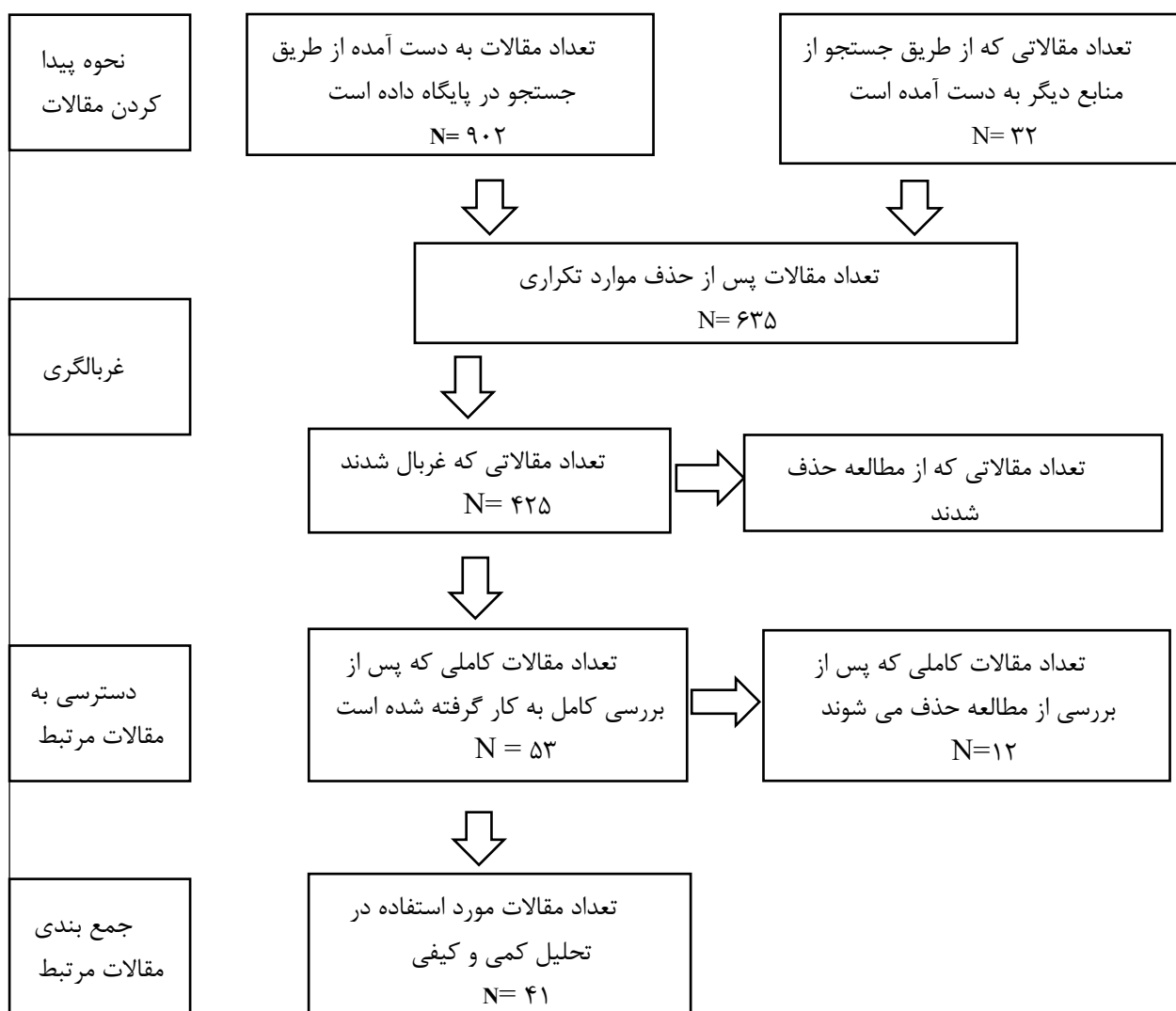
Internet of things in waste management  
Artificial intelligence in waste management

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

### 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.

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.



نمودار ۱: جریان پریزما برای گنجاندن مقالات مرتبط

غیرمرتبط تعداد ۶۳۵ مقاله در مرحله اولیه مورد بررسی قرار گرفت و پس از غربالگری و حذف مقالات غیر مرتبط تعداد ۵۳ مقاله و در نهایت ۴۱ مقاله مورد بررسی قرار

### یافته‌ها

بعد از جست‌وجو با کلید واژه‌های ذکر شده مطابق نمودار ۱ تعداد ۹۳۴ مطالعه یافت شد. پس از حذف موارد تکراری و

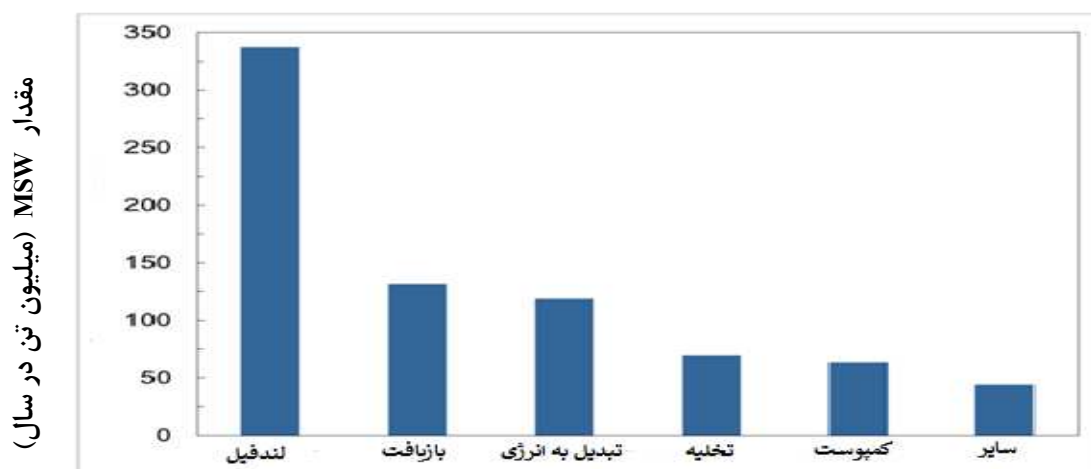
پسماند ۳R مطرح است که شامل کاهش، استفاده مجدد و بازیافت است. تولید کمپوست و ورمی کمپوست و بیوگاز از سایر تکنیک‌های برای کاهش پسماند است و پسماند صفر<sup>۱</sup> نیز در تکنیک‌های کاهش پسماند مطرح است. پسماند صفر به معنی کاهش پسماند و تولید پسماند به حداقل ممکن و استفاده مجدد از مواد تا حد امکان است و هدف از این روش، جلوگیری از دفن پسماند و کاهش آلودگی محیط زیست است.

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 بخش‌های 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



شکل ۱. منشا تولید انواع پسماند در MSW<sup>۱۱</sup>

در شکل شماره ۲ روش‌های متداول مدیریت پسماند در مقیاس جهانی نشان داده شده است. مطابق شکل دفن پسماند به روش دفع تقریباً 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.



شکل ۲. سهم روش های متداول مدیریت پسماند در MSW تولید شده در سطح جهانی<sup>۲۲</sup>

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.

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<sup>۱</sup> (SVM)، درخت تصمیم<sup>۲</sup> (DT)، الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup> (GA) و یادگیری عمیق است که تفاوت‌های زیادی در استخراج ویژگی‌ها دارند<sup>۲۳</sup>. 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<sup>۲۴</sup>. 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<sup>۲۵</sup>. در شکل ۳ کاربرد الگوریتم‌های ML به طور گسترده در MSWM، از تولید پسماند تا جمع‌آوری و دفع نهایی و بازافت نشان داده شده است این فرآیند به عنوان یک چرخه مداوم در نظر گرفته می‌شود که هر مرحله آن بر مراحل

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

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 کاتینرها با استفاده از اهداف ارزیابی می‌شوند.<sup>۲۷</sup> مزایا و معایب الگوریتم‌های مختلف ML مورد استفاده در MSWM در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

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).<sup>۲۶</sup> در دیگر مطالعات انجام شده، ردیاب حسگر و مونتاژکننده‌های پایگاه



شکل ۳. الگوریتم‌های یادگیری عمیق و کاربردهای آن در MSWM<sup>۲۳</sup>

جدول ۱. مزایا و معایب الگوریتم‌های مختلف ML مورد استفاده در MSWM<sup>۲۶</sup>

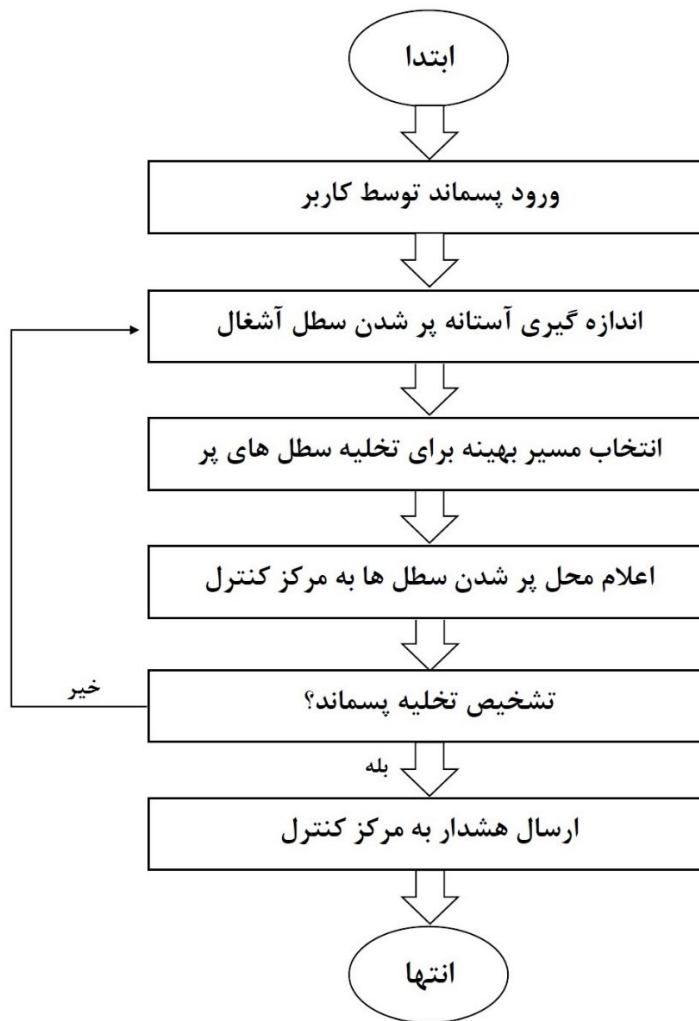
معایب	مزایا	الگوریتم‌ها
به پارامترهای زیادی نیاز دارد عدم تفسیرپذیری	مناسب برای هر رابطه غیر خطی استحکام قوی و تحمل خط	ANN <sup>۱</sup>
حساس به انتخاب هسته حساس به داده‌های از دست رفته	مناسب برای مشکلات نمونه کوچک خطای تعمیم کم	SVM/SVR <sup>۲</sup>
مستعد بیش از حد تناسب نادیده گرفتن همبستگی ویژگی	قابلیت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

نیاز به مقدار زیادی محاسبه دقت پایین	هیچ فرضی برای داده های ورودی وجود ندارد به موارد پرت حساس نیست	KNN <sup>۳</sup>
برای ویژگی های ابعاد بالاتر مناسب نیست	دارای مزایای شبکه عصبی و استدلال فازی	ANFIS <sup>۴</sup>
به نویز حساس است به مقدار دهی اولیه مرکز خوشه بستگی دارد	پیاده سازی آسان و همگرایی سریع چند پارامتری	K-means
برای داده های با مقادیر مختلف کاربرد ندارد	کاهش واریانس مدل بدون نیاز به انتخاب ویژگی	RF <sup>۵</sup>
آموزش به صورت موازی دشوار است	اهمیت ویژگی رتبه	GBRT/GBDT <sup>۶</sup>
نیاز به تنظیم پارامتر به داده های نمونه زیادی نیاز دارید	قابلیت استخراج خودکار ویژگی ها	CNN <sup>۷</sup>
نیاز به مقدار زیادی محاسبه	برای داده های متوالی موثر است	RNN/LSTM <sup>۸</sup>

اختار به مرکز کنترل فرستاده می شود. طرح واره مدل پیشنهادی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

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 اندازه گیری کرده و موقعیت خود را به مرکز کنترل گزارش می دهد. مرکز کنترل از مختصات فرستاده شده توسط چند سطل استفاده می کند و مسیر بهینه ای را برای خالی کردن سطل پسماند به وسایل نقلیه گزارش می دهد. اگر سطل پسماند توسط وسایل نقلیه تخلیه شود، یک

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



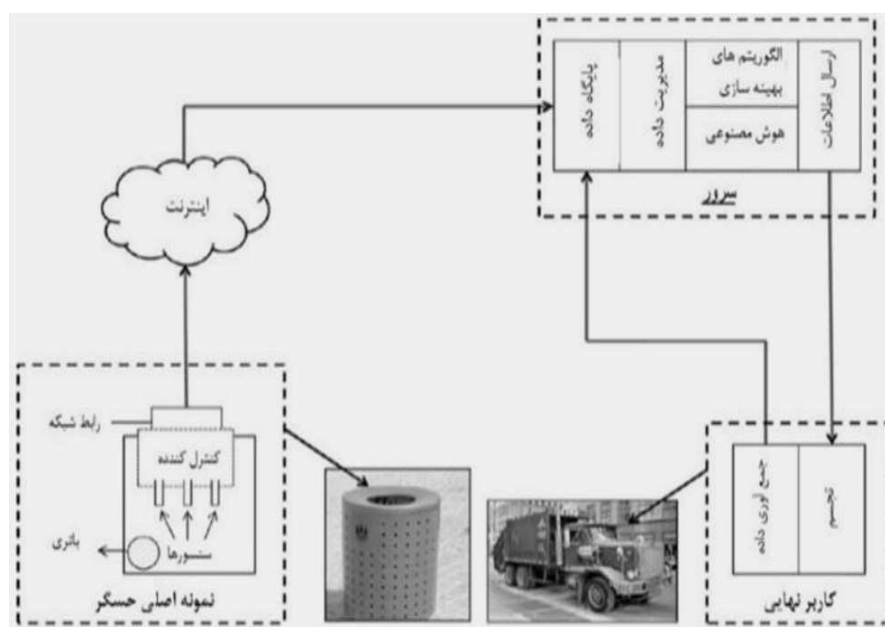
شکل ۴. طرح واره مدل هوشمند پیشنهادی در MSW<sup>۲۸</sup>

مسیرها را روزانه تغییر دهید تا زمان سفر به حداقل برسد و در این صورت استفاده بهینه از تجهیزات جمع آوری صورت گیرد<sup>۲۹</sup>. در شکل ۵ یک نمایش گرافیکی از یک سیستم هوشمند طراحی شده برای مدیریت و جمع آوری زباله است. این سیستم با هدف افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های مربوط به جمع آوری زباله، بهینه سازی مسیرهای جمع آوری 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 اندازه گیری می‌کنند. اطلاعات جمع آوری شده توسط این حسگرها به

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 جمع آوری نصب می‌شوند، سپس به اینترنت متصل می‌شوند تا پرسنل شبکه جمع آوری 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 جمع آوری

نرم افزار مدیریت: این نرم افزار بر روی یک رایانه یا سرور نصب می شود و به عنوان رابط کاربری برای کاربران سیستم عمل می کند. با استفاده از این نرم افزار، کاربران می توانند اطلاعات مربوط به وضعیت سطل های زباله را مشاهده کنند، برنامه ریزی جمع آوری را انجام دهند و گزارش های مختلفی را تولید کنند ۵- خودروهای جمع آوری زباله: این خودروها به سیستم ناوبری مجهز هستند و با استفاده از اطلاعات دریافتی از واحد مرکزی، به صورت خودکار به سمت سطل های زباله ای که نیاز به تخلیه دارند حرکت می کنند.

صورت بی سیم به یک واحد مرکزی ارسال می شود ۲- واحد مرکزی: این واحد قلب تپنده سیستم است و وظیفه جمع آوری، پردازش و تحلیل داده های دریافتی از حسگرها را بر عهده دارد. با استفاده از الگوریتم های هوشمند، این واحد می تواند پیش بینی کند که کدام سطل ها به زودی پر می شوند و نیاز به تخلیه دارند ۳- شبکه ارتباطی: این شبکه ارتباطی بین حسگرها، واحد مرکزی و سایر اجزای سیستم را برقرار می کند. این شبکه می تواند از فناوری های مختلفی مانند Wi-Fi<sup>۱</sup>، بلوتوث یا شبکه های دیگر استفاده کند. ۴-



شکل ۵. نمای کلی سامانهی جمع آوری پسماندهای هوشمند<sup>۳۰</sup>

سیستم مناسب برای نظارت بر کامیون ها و سطل های 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 جمع آوری MSW گزارش شده است<sup>۳۱</sup>. با استفاده از فناوری های مبتنی بر هوش مصنوعی، شهرداری ها و تأسیسات بازیافت می توانند

## بحث

یک سیستم هوشمند جمع آوری پسماند باید بتواند با استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا به صورت خودکار و بهینه، زمان و مسیر جمع آوری پسماند را برنامه ریزی 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 مطالعه های انجام شده به این مهم اشاره شده است در مطالعه Yusof و همکاران عدم اطلاع از زمان و منطقه جمع آوری، نبود

1. Wireless Fidelity

سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS)<sup>۳</sup>، خدمات رادیویی بسته عمومی (GPRS)<sup>۴</sup>، 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 برچسب 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 جمع‌آوری پسماند را تسهیل کنند<sup>۳۶</sup>.

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<sup>۵</sup> 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 جمع‌آوری 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<sup>۳۷</sup>. 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، صرفه‌جویی در هزینه را تا ۱۳/۳۵ درصد، و صرفه‌جویی در زمان را تا ۲۸/۲۲ درصد کاهش می‌دهد<sup>۲۰</sup>.

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)<sup>۱</sup> را ترویج دهند<sup>۳۲</sup>. 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<sup>۳۳</sup>. 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<sub>2</sub> 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<sup>۳۴</sup>.

Andeobu و همکاران در مطالعه خود کاربرد فن‌آوری‌های هوش مصنوعی را در حوزه‌های مختلف SWM (تولید، مرتب‌سازی، جمع‌آوری، مسیریابی و 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<sup>۶</sup>. 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<sup>۳۵</sup>. Islam و همکاران در مطالعه خود یک سیستم یکپارچه همراه با یک سیستم یکپارچه شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)<sup>۲</sup>،

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

سطل های پسماند پر که باید خالی شود ارسال می شد.<sup>۴۰</sup> 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 می شود و یک برنامه اندرویدی برای نظارت بر اطلاعات مربوط به پسماندها برای مکان های مختلف انتخاب شده طراحی می - شود تا از این طریق به طور موثر جمع آوری پسماند را انجام داد.<sup>۴۱</sup>

در این پژوهش به بررسی استفاده از فناوری های هوشمند در مدیریت پسماند شهری پرداخته شده است مطابق مطالعات مشخص شد استفاده از فناوری هایی مانند GPS, RFID, GIS می تواند به بهبود کارایی و اثربخشی سیستم های جمع آوری پسماند کمک کند. مزایای استفاده از این فناوری ها عبارتند از: ۱- بهینه سازی مسیرها و زمان بندی جمع آوری: با استفاده از داده های جمع آوری شده توسط حسگرها و سیستم های موقعیت یابی، می توان مسیرهای بهینه تری برای جمع آوری پسماند طراحی کرد و زمان بندی را بهبود بخشید. ۲- نظارت بر عملکرد ناوگان: با استفاده از سیستم های ردیابی، می توان عملکرد ناوگان جمع آوری را نظارت کرد و اطمینان حاصل کرد که وظایف خود را به درستی انجام می دهند. ۳- کاهش هزینه ها: بهینه سازی مسیرها و زمان بندی جمع آوری می تواند به کاهش هزینه های عملیاتی کمک کند. ۴- افزایش رضایت شهروندان: با بهبود خدمات جمع آوری پسماند، می توان رضایت شهروندان را افزایش داد. ۵- جمع آوری داده ها برای تصمیم گیری بهتر: داده های جمع آوری شده توسط سیستم های هوشمند می توانند برای تصمیم گیری 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

در مطالعه Mishra و همکاران، یک مدل مدیریت ضایعات هوشمند با قابلیت هوش اشیا (IoT-SWM)<sup>۱</sup> با قابلیت های پیش بینی توسعه داده شده است LS<sup>۲</sup> در مکان های مشخص مستقر می شدند و در هر لحظه، وضعیت فعلی سطل های هوشمند در هر LS به کاربران اطلاع داده می شود تا سطح اولویت LS را برای تخلیه مشخص کنند. بر اساس مقادیر جمع آوری شده حسگر برای سه سطل هوشمند، وزن LS و مقدار گاز سمی، ترتیب اولویت تخلیه LS محاسبه و تصمیم گیری می شد که آیا کاربران را با یک پیام هشدار مطلع کند یا خیر. همچنین به پیش بینی LS کمک می کند، که احتمالاً بر اساس زمان تعیین شده با سرعت بیشتری پر می شود. این مدل در زمان واقعی با بسیاری از LS پیاده سازی می شد و مشاهده شد که سطل هایی که نزدیک به مکان های شلوغ تر بودند در مقایسه با مناطق کم جمعیت سریع تر پر می شوند.<sup>۳۸</sup> در مطالعه Wang و همکاران، برای کاهش هزینه طبقه بندی، نظارت و جمع آوری پسماند، یک سیستم مدیریت پسماند شهری پیشنهاد شد که از طبقه بندی کننده مبتنی بر یادگیری عمیق و تکنیک محاسبات ابری شبکه های عصبی کانولوشن یادگیری عمیق (CNN) برای تحقق طبقه بندی پسماند با دقت بالا استفاده می شد 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.<sup>۳۹</sup>

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 سطل های هوشمند تشکیل شده و هر سطل یا ظرف با آردوینو Uno، سنسور اولتراسونیک و فرستنده فرکانس رادیویی (RF) در بالای ظرف نصب می شود. هنگامی که ظرف پر از پسماند است، سیگنالی را به مرکز کنترل می فرستد که سطح پسماند را نشان خواهد داد و در کانتینرها از طریق GSM/GPRS<sup>۳</sup>، یک پیامک (SMS)<sup>۴</sup> برای تلفن همراه راننده کامیون برای

## نتیجه گیری

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 مبدأ، 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 می‌کنند که در این پژوهش هیچ گونه تعارض منفعی 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 داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت نموده‌اند.

## مشارکت نویسندگان

-نگارش و ایده مقاله: اکبر اسکندری، نرجس بهاروندی

-جمع‌آوری مقالات: زهرا محمدی، حسین فرجی

-بازبینی متن مقاله: محمد درویش متولی

## References

- 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.
- Lutz W, Sanderson W, Scherbov S. The end of world population growth. *Nature*. 2001;412(6846):543-5.
- 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.
- 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.
- Sufian M, Bala B. Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. *Waste management*. 2007;27(7):858-68.
- 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.
- 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)
- 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.
- Maquart P-O, Froehlich Y, Boyer S. Plastic pollution and infectious diseases. *The Lancet Planetary Health*. 2022;6(10):e842-e5.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 person).
- Aleyadeh S, Taha A-EM, editors. An IoT-Based architecture for waste management. 2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops); 2018: IEEE.
- 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.
- 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.
- 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.
- Al-Raei M. The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization. *Sustainable Development*. 2024.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ahmed AAA, Asadullah A. Artificial intelligence and machine learning in waste management and recycling. *Engineering International*. 2020;8(1):43-52.
- Alizadeh N AM. Analyzing the Improvement Criteria of Urban Waste Management Based on Internet-of-Thing (IoT) Technology Using Dimatel Method. *Urban Management Studies*. 2022;49(14):77-91 (in person).
- Navia R, Ross DE. *Waste management and artificial intelligence: Is it happening already?* : SAGE Publications Sage UK: London, England; 2024. p. 285-6.
- 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 person).
- 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.
- 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.

33. Franchina L, Calabrese A, Inzerilli G, Scatto E, Brutti G, de los Angeles 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.(۱۰)
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.