



Identification and Prioritization of Barriers to Implementing Smart Trash Bins Using Fuzzy Delphi and Best–Worst Method

Mohammad Barzegar¹ and Mahdi Jahani²

1. Department of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Iran. Email: mohammadbarzzegar@gmail.com

2. Department of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Iran. Email: jhanymhdy70@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 24 January 2025 Received in revised form 29 May 2025 Accepted 21 October 2025 Published online 1 December 2025 Keywords: Smart trash can, best and worst method, fuzzy Delphi method, multi-criteria decision making.	The rapid growth of urbanization and increasing waste generation have highlighted the necessity of adopting innovative waste management solutions, such as smart trash bins. However, the implementation of such technologies faces various challenges that must be identified and prioritized to support effective urban policy-making. This study aims to identify and prioritize the barriers to implementing smart trash bins in Iran. Initially, 25 barriers were extracted through a comprehensive literature review. These were then refined to 15 key indicators using the fuzzy Delphi method, based on the input of 15 experts in the field of waste management. In the next step, the Best–Worst Method (BWM), a multi-criteria decision-making approach, was employed to prioritize the barriers. The findings showed that economic and political barriers are the most critical, with a weight of 0.404. Technological (0.207) and legal–administrative (0.196) barriers ranked second and third, respectively. The results of this study provide a practical basis for urban policymakers to design targeted strategies to overcome implementation challenges and facilitate the successful adoption of smart technologies in urban waste management systems.
Cite this article: Barzegar, B. & et al, (2025)., Main Title of Your Extended Abstract which Should Be Specific and Describe Your Work Best Possible. <i>Engineering Management and Soft Computing</i>, 11 (2). 56-84. DOI: https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.12043.1243	
© Barzegar et. al (2025) DOI: https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.12043.1243	
Publisher: University of Qom	

1) INTRODUCTION

Urbanization and population growth have significantly increased the volume of municipal solid waste (MSW), posing major challenges to urban sustainability. Traditional waste management systems often struggle with inefficiencies, resulting in higher operational costs and environmental pollution. In this context, smart trash bins, which incorporate sensors and Internet of Things (IoT) technologies to monitor and optimize waste collection, have emerged as an innovative solution. Despite their proven success in developed nations, the implementation of smart trash bins in developing countries like Iran remains limited, mainly due to various economic, technological, legal, and social barriers. While several studies have focused on technical design or performance improvement of such systems, there is a noticeable lack of research identifying and prioritizing practical implementation barriers based on the contextual realities of Iran.

This study aims to bridge this gap by systematically identifying and prioritizing the barriers using a hybrid multi-criteria decision-making (MCDM) framework, combining the Fuzzy Delphi Method for indicator selection and the Best–Worst Method (BWM) for prioritization.

2) Solution Method

This research adopted a two-phase hybrid methodology designed to first extract and refine key barriers, and then prioritize them effectively.

Phase I – Identification and Screening of Barriers

A total of 25 initial barriers were extracted from an extensive literature review and expert consultation. These included technological limitations, financial constraints, legal hurdles, and sociocultural resistance. A panel of 15 domain experts—selected from municipal waste management authorities in Tehran, Mashhad, and Tabriz—participated in a Fuzzy Delphi process to assess the relevance of each barrier. Based on defuzzified scores and consensus thresholds ($\alpha > 0.70$), the list was reduced to 15 critical indicators.

Phase II – Prioritization Using Best–Worst Method (BWM)

In the second phase, the Best–Worst Method was employed for ranking the selected barriers. Experts identified the "best" (most important) and "worst" (least important) criteria and performed pairwise comparisons. These preferences were input into a linear optimization model developed in LINGO software, which yielded the final weights and consistency ratio (CR = 0.0044), confirming the high reliability of the results.

3) Results and Discussion

The prioritization results revealed that the top-ranked barriers are:

- Limited financial resources and budget constraints (C15) – Weight: 0.141
- Impact of international sanctions on access to smart equipment (C13) – Weight: 0.092
- Operational and maintenance challenges (C11) – Weight: 0.090
- Lack of coordination among related organizations (C14) – Weight: 0.087
- Absence of reliable vendors and technical infrastructure (C1) – Weight: 0.086

The findings emphasize that economic and political factors dominate the landscape of implementation challenges. Interestingly, social-cultural barriers, such as public participation and awareness, were perceived as less critical, possibly due to lack of exposure or experience with the technology. The study also found that technological limitations, including weak IT infrastructure and inadequate sensor networks (IoT), continue to hinder adoption, especially in remote or underdeveloped regions. Legal-administrative barriers, such as lack of clear implementation guidelines and supportive regulations, were also noted as significant but secondary.

4) conclusion

This study contributes to the waste management literature by offering a structured and evidence-based prioritization of implementation barriers to smart trash bins in Iran, using a dual-method approach. Key takeaways for urban policymakers include:

- Prioritize financial planning and international procurement strategies to overcome funding and sanction-related challenges.
- Develop legal frameworks and regulatory standards to support the deployment and maintenance of smart bins.
- Encourage private sector involvement and public–private partnerships (PPP) to improve coordination and cost-efficiency.
- Promote technical capacity building for local authorities and staff.
- Conduct pilot projects in metropolitan cities to demonstrate feasibility and build public trust.

5) ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank all experts who participated in the Delphi and BWM surveys.

REFERENCES

- head selection approach for performance improvement in network-coding-based wireless sensor networks with multiple sinks. *Computer Communications* 164: 188-200 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.10.014>
- Abdel-Shafy, H., Mansour, M., “Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization”, *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4): 1275–1290, (2018). <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- Alidoost,, P., Karamati, M., Shariatmadari,, N., Tawanamalshi, A., 2015, comparison of municipal solid waste management in Tehran and developed industrial countries according to the concept of sustainable development, 6th International Conference on Sustainable Development and Urban Development, Isfahan , [https:// doi.org/civilica.com/doc/577507](https://doi.org/civilica.com/doc/577507) (In Persian)

شناسایی و رتبه‌بندی موانع پیاده‌سازی سطل‌های زباله هوشمند با استفاده از روش دلفی‌فازی و بهترین - بدترین

محمد برزگر^۱ و مهدی جهانی^۲ 

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: mohammadbarzzegar@gmail.com
 ۲. نویسنده مسئول، کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: hanymhdy70@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰ کلیدواژه‌ها: الگوریتم اپیوری، داده کاوی، متوسط طول مدت اقامت، مدل‌های خوشه‌بندی.	رشد سریع شهرنشینی و افزایش تولید پسماند، ضرورت استفاده از راهکارهای نوین مدیریت پسماند از جمله سطل‌های زباله هوشمند را دوجندان کرده‌است. با این حال، اجرای این فناوری‌ها با موانع مختلفی روبه‌رو است که شناسایی و اولویت‌بندی آنها برای تصمیم‌گیران شهری ضروری است. هدف این تحقیق، شناسایی و رتبه‌بندی موانع پیاده‌سازی سطل‌های زباله هوشمند در ایران است. ابتدا با مرور منابع نظری، ۲۵ مانع اولیه استخراج شد. سپس با استفاده از روش دلفی‌فازی و نظر ۱۵ نفر از خبرگان حوزه مدیریت پسماند، فهرست موانع به ۱۵ شاخص نهایی کاهش یافت. در مرحله بعد، برای رتبه‌بندی شاخص‌ها از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین - بدترین (BWM) استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که موانع اقتصادی و سیاسی با وزن (۰.۴۰۴) مهمترین موانع محسوب می‌شوند. پس از آن، موانع فناوری (۰.۲۰۷) و موانع قانونی - اداری (۰.۱۹۶) در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای سیاست‌گذاران شهری جهت طراحی راهبردهایی در راستای رفع موانع و تسهیل پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در مدیریت پسماند شهری مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: برزگر، محمد و همکاران. (۱۴۰۴). «شناسایی و رتبه‌بندی موانع پیاده‌سازی سطل‌های زباله هوشمند با استفاده از روش دلفی‌فازی و بهترین - بدترین». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم*، دوره ۱۱ (۲)، صص: ۵۶-۸۵. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.12043.1243>



(۱) مقدمه

امروزه پیشرفت تکنولوژی باعث تغییرات بسیار زیادی در کلیه امور در سراسر دنیا شده است. این پیشرفت تکنولوژی محیط زیست را نیز تحت تاثیر خود قرار داده؛ به عنوان مثال استفاده از سطل زباله هوشمند یکی از فناوری های نوین است که امکان جمع آوری و مدیریت بهینه زباله ها را فراهم می نماید؛ که این زباله هوشمند از محصولات پیشرفت تکنولوژی می باشد. این فناوری با استفاده از سنسورهای هوشمند و اینترنت اشیا، سطح پر بودن سطل ها را تشخیص می دهد و اطلاعات مربوط به زباله ها را جمع آوری می کند (باسیرو داین و همکاران، ۲۰۲۰). این فناوری با ارسال این اطلاعات به سامانه مدیریت زباله ها، به بهبود مدیریت و کنترل زباله ها کمک شایانی می کند. با توجه به اینکه تلاش برای حفظ محیط زیست و کنترل آلودگی ها به عنوان یکی از چالش های اساسی در دوران حاضر شناخته می شود، با پیاده سازی این تکنولوژی (سطل های زباله هوشمند) در کلانشهرهایی مانند تهران و مشهد که با چالش های بسیاری در حوزه مدیریت زباله مواجه هستند، می توان گامی بلند و مهم در جهت بهبود وضعیت زیست محیطی برداشت.

عوامل بسیار زیادی در ناهماهنگی در مدیریت زباله و در نهایت برهم زدن توازن در محیط زیست وجود دارد؛ از جمله عواملی که مسئول ایجاد این چالش ها و مشکلات زیست محیطی هستند، می توان به مدیریت نادرست زباله ها اشاره کرد. زباله ها، به هر نوعی که باشند، در صورتی که بطور مناسب مدیریت نشوند، می توانند به عنوان عامل آلودگی و بوی نامطبوع در محیط شناخته شوند. بنابراین، نصب سطل های زباله هوشمند به عنوان یک راهکار موثر تلقی می شود که می تواند به کنترل و مدیریت بهتر زباله ها کمک نماید (ابیدین و دیویس، ۲۰۲۲). سطل زباله هوشمند نه تنها کارآیی مدیریت زباله را افزایش می دهند، بلکه به کاهش هزینه ها و افزایش بهره وری در فرآیند پردازش و جمع آوری زباله نیز کمک می نماید. این ابزارهای هوشمند، با طراحی و عملکرد دقیق، به عنوان یک راهکار نوین و پویا در مقابله با چالش های زیست محیطی، به ویژه در زمینه مدیریت زباله، به شهرهای بزرگ جهان معرفی شده اند (رضایی مفرد همکاران ۲۰۱۹). عدم مدیریت موثر و به موقع زباله ها می تواند عواقب منفی عمیق و غیرقابل برگشتی بر کیفیت زندگی شهروندان و سطح مشارکت اجتماعی شهروندان داشته باشد. سطل های زباله هوشمند با کاهش چالش های ناشی از جمع آوری نامنظم پسماندها و بهینه سازی فرآیندهای بازیافت، نه تنها به بهبود کیفیت زندگی در شهرها یاری می رسانند، بلکه احساس مسئولیت و مشارکت اجتماعی را در میان شهروندان تقویت می کنند. این سیستم های نوین، با تسهیل در مدیریت پسماندها، به ایجاد محیط های شهری پاک تر و پویا تر کمک می کنند و در نتیجه انگیزه شهروندان را برای مشارکت فعال در حفظ محیط زیست و بهبود شرایط زیست محیطی افزایش می دهند (رحمانپور ۱۳۹۵). یکی از موانع اساسی در مسیر پیاده سازی سطل های زباله هوشمند، کمبود زیرساخت های فناوری و سرمایه گذاری های لازم است. و مهمترین چالش در بحث فناوری شبکه های اینترنت اشیا تلقی می شود (فریدی ماسوله و همکاران ۱۴۰۱). بسیاری از کشورها قادر به تامین هزینه های اولیه نصب و نگهداری این سیستم ها نیستند و این امر، مانع بزرگی بر سر راه بهبود مدیریت پسماندها به شمار می آید. و نیاز به منابع زیادی دارند و این کار نیاز به هزینه بالا برای اجرای خدمات بالا بازیابی محتوا و نظارت بر مدیریت دانش می باشد (عموزاد خلیلی ۱۴۰۲). علاوه بر این، کمبود آگاهی و دانش کافی درباره مزایای این فناوری میان مسئولین و شهروندان، به عنوان مانع دیگری برای پذیرش و کاربرد آن عمل می کند. از سوی دیگر، عدم هماهنگی میان نهادهای دولتی و بخش خصوصی در برنامه ریزی و اجرای

پروژه‌های مدیریت پسماند، می‌تواند به مشکلات جدی در اثرگذاری و بهینه‌سازی این سطل‌های هوشمند منجر شود. این نکات نشان می‌دهند که برای دستیابی به یک سیستم مدیریت زباله موثر و پایدار، نیاز به گام‌های سنجیده‌ای در زمینه تامین منابع، افزایش آگاهی عمومی و تقویت همکاری‌های بین‌نهادی و سازمانی وجود دارد (چوداری و همکاران، ۲۰۱۹). نبود نیروی انسانی آموزش‌دیده و متخصص برای نصب و نگهداری سیستم‌های هوشمند نیز بر چالش‌های موجود می‌افزاید. درنهایت، فرهنگ عمومی شهروندان در زمینه مدیریت پسماند و عدم مشارکت فعال آنها در فرآیند تفکیک زباله و نگهداری از سطل‌های زباله، می‌تواند بر کارایی این سیستم‌ها تاثیر منفی بگذارد. این مسائل و موانع، باعث می‌شود که بسیاری از کشورها به‌جای استفاده از فناوری‌های نوین، به روش‌های سنتی و ناکارآمد جمع‌آوری زباله متکی بمانند، که درنهایت به افزایش مشکلات زیست‌محیطی و کاهش کیفیت زندگی شهروندان منجر می‌شود (علیدوست و همکاران، ۱۳۹۴).

در تمام کشورها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که افزایش مصرف مواد غذایی و رشد جمعیت مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی زیادی را به وجود آورده‌است. برای مقابله با این مسئله، راه‌اندازی سطل‌های زباله هوشمند می‌تواند گامی موثر باشد. اولین مرحله در این فرآیند، انجام یک بررسی و نیازسنجی دقیق در نقاط مختلف شهر است تا مکان‌های مناسب برای نصب سطل‌های زباله هوشمند شناسایی شوند. سپس، انتخاب تجهیزات مناسب شامل سطل‌های زباله با سنسورهای هوشمند، سیستم‌های ارتباطی و نرم‌افزارهای مدیریت مالی مورد نیاز است (پردینی کلو و همکاران، ۲۰۱۹). این تجهیزات لازم است که قابلیت‌های لازم برای نظارت بر سطح پر بودن زباله‌ها و ارائه اطلاعات به‌موقع به مراکز جمع‌آوری زباله را داشته باشند. روش کار سطل‌های زباله به این صورت است که پس از تامین تجهیزات، نصب و راه‌اندازی سطل‌ها در مکان‌های مشخص شده آغاز می‌شود. در این مرحله، ارتباطات و سیستم‌های ابری جهت تبادل اطلاعات میان سطل‌ها و مرکز کنترل باید راه‌اندازی شود. شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاربرد گسترده‌ای برای کنترل در برنامه‌های جمع‌آوری برای زباله‌ها پیدا کردند (رضائی و زاهدی، ۱۴۰۰). لذا آموزش کارکنان مربوطه برای استفاده و نگهداری از این تجهیزات و همچنین آشنایی با سیستم‌های نرم‌افزاری ضروری است. بعد از اتمام فرآیند نصب و آموزش، می‌توان با برگزاری مراسم افتتاحیه‌ای، سطل‌های زباله هوشمند را بطور رسمی در معرض استفاده عموم قرار داد. این فرآیند نه تنها به بهبود جمع‌آوری زباله و کاهش آلودگی محیط کمک می‌کند، بلکه باعث زیبایی مناظر شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان خواهد شد. با بهینه‌سازی فرآیندهای دفع زباله، می‌توان از بروز بحران‌های بهداشتی و مشکلات زیست‌محیطی جلوگیری کرد و درنهایت شهری پاک‌تر و سالم‌تر ایجاد نمود (یوسف زاده و همکاران، ۲۰۲۲). این سطل‌ها می‌توانند بطور خودکار شرایط جمع‌آوری زباله را به شهرداری گزارش دهند و به این ترتیب طرح‌ریزی بهتری برای جمع‌آوری و دفع زباله‌ها انجام شود. نحوه نصب این سطل‌های هوشمند ابتدا شامل شناسایی نقاط کلیدی در شهر است که نیاز به جمع‌آوری منظم زباله دارند. سپس سطل‌های زباله هوشمند در این مکان‌ها نصب می‌شوند، به گونه‌ای که دسترسی عموم مردم به آنها آسان باشد (عباسی فرد و همکاران، ۱۳۸۷). این سطل‌ها به سنسورهایی مجهز هستند که وضعیت پر بودن سطل را تشخیص می‌دهند و از طریق اینترنت به مرکز کنترل شهرداری ارسال می‌کنند. پس از نصب، شهرداری می‌تواند با استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت پسماند، اطلاعات دریافتی از سطل‌ها را رصد کند. این اطلاعات به مدیریت زمان‌بندی جمع‌آوری

زباله کمک می‌کند و می‌تواند به کاهش هزینه‌ها بهینه‌سازی منابع انسانی منجر شود. همچنین سطل‌های هوشمند قابلیت اطلاعاتی درباره نوع زباله‌های جمع‌آوری شده را نیز دارند که می‌تواند به بهبود فرآیند بازیافت و کاهش زباله‌های غیرقابل بازیافت کمک کند. در نتیجه، با استفاده از این سیستم، شهرداری می‌تواند فضای سبز و تمیزی را در شهرها ایجاد کند و از وقوع هرگونه آلودگی در محیط زیست جلوگیری کند. این فناوری نه تنها باعث ارتقای کیفیت زندگی شهروندان می‌شود، بلکه به حفظ و بهبود شرایط زیست‌محیطی نیز کمک می‌کند (آیودجی اوکوبانجو و همکاران، ۲۰۲۴).

سطل زباله هوشمند به عنوان یک ابزار کلیدی در مدیریت پسماند و کنترل آلودگی هوا، به شهروندان این امکان را می‌دهد که بطور فعال در حفظ محیط زیست مشارکت کنند. این سطل‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که استفاده از آنها برای عموم بسیار ساده و کاربرپسند باشد. شهروندان می‌توانند با مشاهده علامت‌ها و نشانه‌های مشخص بر روی سطل‌های زباله هوشمند، به راحتی نوع زباله‌های قابل جمع‌آوری را شناسایی کنند. این سطل‌ها معمولاً دارای دو یا چند بخش هستند که هر بخش برای نوع خاصی از زباله‌ها از جمله مواد قابل بازیافت، زباله‌های ارگانیک و غیرقابل بازیافت مناسب است (بهارادواج و همکاران، ۲۰۱۶). سطل‌های زباله هوشمند همچنین به سنسورهای مجهز هستند که وضعیت پر بودن آنها را در زمان واقعی رصد می‌کنند. در صورتیکه سطل پر شود، شهرداری بطور خودکار از طریق سیستم‌های نرم‌افزاری خود از این امر مطلع می‌شود و برنامه جمع‌آوری زباله را به‌روزرسانی می‌کند. این ویژگی به جلوگیری از سرریز شدن سطل‌ها و ایجاد آلودگی کمک می‌کند. شهروندان می‌توانند با استفاده از اپلیکیشن‌های موبایلی که بسیاری از شهرداری‌ها فراهم کرده‌اند، اطلاعات بیشتری درباره نحوه تفکیک زباله نزدیک‌ترین سطل‌های زباله هوشمند و وضعیت پر بودن آنها را دریافت کنند. این اپلیکیشن‌ها همچنین می‌توانند به جمع‌آوری نظر و پیشنهادات شهروندان کمک کنند و به این ترتیب آگاهی و مشارکت عمومی در حفظ محیط زیست را افزایش دهند (برینزل رودریگز و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده و راه‌اندازی سطل زباله هوشمند در شهرها، به‌ویژه در کلان‌شهرها، مزایای قابل توجهی را به همراه دارد. این سطل‌های هوشمند نه تنها به عنوان یک جایگزین برای مخازن زباله سنتی، بلکه به عنوان ابزاری برای بهبود مدیریت پسماند و کنترل آلودگی هوا عمل می‌کنند. در نهایت، راه‌اندازی سطل زباله هوشمند یک گام موثر در راستای بهبود مدیریت شهری و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان به شمار می‌رود. این سیستم نه تنها به بهینه‌سازی اقدامات جمع‌آوری زباله کمک می‌کند، بلکه به ساختن شهری پاک‌تر و سالم‌تر برای آینده‌ای پایدار منجر می‌شود (بر کلیسیس و همکاران، ۲۰۱۷). استفاده از سطل زباله هوشمند به عنوان یک نوآوری مدرن در مدیریت شهری نشان‌دهنده تلاش‌های کشور ما برای تطابق با تکنولوژی‌های پیشرفته جهانی است. این سیستم به‌ویژه در کلان‌شهرها می‌تواند به کاهش هزینه‌های مدیریت پسماند، ارتقا فرهنگ تفکیک زباله و ارتقای سلامت عمومی منجر شود. در نتیجه بهبود زیرساخت‌های شهری و تبدیل شهرها به مکان‌هایی پاک‌تر سبزتر و هوشمندتر به واقعیتی ملموس تبدیل می‌شود. از این رو با توجه به اهمیت تحقیق معیارهای موانع پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند در ایران از تحقیقات خارجی و داخلی بررسی و شناسایی می‌شوند. سپس جهت تایید شاخص‌ها شناسایی شده از نظرسنجی کارشناسان و خبرگان با استفاده از پرسشنامه روش دلفی‌فازی می‌پردازیم و در نهایت وزن‌های شاخص‌های تایید شده با کمک روش تصمیم‌گیری چند معیاره بهترین - بدترین به دست می‌آید و ارجح‌ترین شاخص‌های موانع تولید شناسایی می‌گردد.

در سال‌های اخیر مطالعاتی در زمینه بکارگیری فناوری‌های هوشمند در مدیریت پسماند انجام شده اما تمرکز اغلب این تحقیقات بر طراحی سیستم یا بررسی عملکرد بوده‌است. آنچه پژوهش حاضر را متمایز می‌سازد، تمرکز بر شناسایی و اولویت‌بندی موانع اجرایی این فناوری‌ها در بستر واقعی ایران است؛ جایی که عوامل اقتصادی، سیاسی و قانونی تاثیر قابل توجهی بر فرآیند پیاده‌سازی دارند. همچنین استفاده ترکیبی از روش دلفی‌فازی برای غربال شاخص‌ها و روش BWM برای رتبه‌بندی دقیق‌تر، رویکردی ساختاریافته و کاربردی برای تحلیل مسائل پیچیده مدیریتی در حوزه پسماند شهری ارائه می‌دهد. انتخاب ایران به‌عنوان مطالعه موردی به دلیل وضعیت خاص کشور در حوزه مدیریت پسماند، چالش‌های ناشی از تمرکز جمعیتی در کلان‌شهرها، و مشکلات موجود در زیرساخت‌های فناوری و بودجه‌ای صورت گرفته‌است. با توجه به افزایش تولید زباله در شهرهای بزرگی چون تهران، مشهد و اصفهان، و فقدان سیستم‌های هوشمند مدیریت زباله، بررسی موانع پیاده‌سازی سطل‌های زباله هوشمند در ایران نه تنها یک ضرورت علمی، بلکه یک نیاز استراتژیک برای مدیران شهری به شمار می‌رود.

۲) پیشینه تحقیق

با توجه به اینکه تحقیقات متعددی در زمینه پیاده‌سازی سطل‌های زباله هوشمند بوده ولی هیچ تحقیق جامعی در مورد موانع پیاده‌سازی و نحوه پیاده‌سازی سطل‌های زباله هوشمند در ایران انجام نشده‌است؛ با توجه به این نکته در ادامه به بررسی تحقیق‌های صورت گرفته در این حوزه پرداخته می‌شود.

- راثی و همکاران در تحقیقی با عنوان مدیریت پسماندها در شهرهای هوشمند، با استفاده از شبکه اینترنت اشیا (IOT) به این نتیجه رسیدند که آموزش و فرهنگ‌سازی مردم درباره سطل‌های زباله هوشمند، یکی از مراحل کلیدی در بهبود مدیریت پسماندهای شهری است. با اطلاع‌رسانی در مورد کاربردها و مزایای این فناوری، می‌توان انگیزه و همکاری بیشتری را در بین شهروندان و نهادهای مربوطه ایجاد کرد. این اقدام نه تنها به کاهش هزینه‌های مدیریت پسماندها کمک می‌کند بلکه بهره‌وری این سیستم‌ها را در شهرهای هوشمند بهبود می‌بخشد. به عبارتی، با آموزش صحیح و فرهنگ‌سازی، جامعه‌ای آگاه‌تر و مسئول‌تر در زمینه مدیریت پسماند شکل می‌گیرد (راثی و همکاران، ۲۰۲۳).

- امیری و همکارانش در تحقیق خود با عنوان تبیین عوامل موثر بر موفقیت برنامه‌ریزی راهبردی در مدیریت پسماند به این نتیجه رسیدند که بهبود سیستم مدیریت پسماند نیازمند تلاش‌های جامع و هماهنگ در راستای افزایش آگاهی از فناوری‌های نوین و ایجاد مشارکت عمومی است. در این راستا، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و ارتقای سیستم‌های مدیریتی در شهرداری‌ها به‌عنوان نهاد مسئول مدیریت پسماند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سطل‌های زباله هوشمند به‌عنوان یک نوآوری کلیدی در این فرآیند، نقش اساسی در مدیریت موثر پسماندها ایفا می‌کنند. این سطل‌های هوشمند با جمع‌آوری منظم زباله‌ها و جلوگیری از پراکندگی آنها در محیط، به بهبود وضعیت نظافت شهری کمک می‌کنند. این فناوری‌ها درواقع نه تنها می‌توانند بار عملیاتی را کاهش دهند بلکه با استفاده از حسگرها و تکنیک‌های پردازش داده، به شهرداری‌ها در برنامه‌ریزی موثر برای جمع‌آوری زباله‌ها

یاری می‌رسانند. در نتیجه سطل‌های زباله هوشمند نه تنها نقش مهمی در ساماندهی و بهینه‌سازی فرآیند جمع‌آوری زباله‌ها دارند بلکه به‌عنوان ابزاری نوآورانه، بستری برای توسعه مشارکت و افزایش مسئولیت‌پذیری شهروندان در حوزه مدیریت پسماند تلقی می‌شوند. این رویکرد می‌تواند به تحقق اهداف پایدار در زمینه حفاظت از محیط زیست و بهبود کیفیت زندگی شهری کمک شایانی نماید (امیری و همکاران ۲۰۲۲).

- جان هو هانگ و همکارانش، در تحقیق خود تحت عنوان طراحی مدل سطل زباله هوشمند و آینده شهر هوشمند به این نتیجه رسیدند که این سطل‌های زباله هوشمند با استفاده از حسگرها و تکنیک‌های پردازش تصویر، قادر به تفکیک خودکار زباله‌ها هستند و به این ترتیب بار عملیاتی سنگین تفکیک دستی را کاهش می‌دهند. فرآیندهای سنتی که نیازمند دخالت انسانی بود، نه تنها هزینه‌بر بودند بلکه کیفیت تفکیک زباله‌ها را نیز تحت تاثیر قرار می‌دادند. اما با استفاده از فناوری‌های نوین، سطل‌های هوشمند می‌توانند بطور کارآمدتر و با هزینه‌ای کمتر، زباله‌ها را طبقه‌بندی نمایند. تحقیقات اخیر در جمهوری کره نشان می‌دهد این سطل‌های هوشمند می‌توانند به کاهش هزینه‌های نیروی انسانی و همچنین هزینه‌های اداری کمک شایانی نمایند. همچنین این سیستم‌ها، قابلیت کنترل و مدیریت از راه دور از طریق شبکه‌های بی‌سیم را دارند که می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندهای جمع‌آوری زباله و کاهش آلودگی در شهرها منجر شود. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که توسعه و پیاده‌سازی سطل‌های تفکیک زباله هوشمند، نه تنها به کاهش هزینه‌های دولتی کمک می‌کند بلکه به بهبود کیفیت زندگی شهری و حفظ محیط زیست نیز کمک شایانی خواهد کرد. این ابتکار می‌تواند الگویی مناسب برای سایر کشورها نیز باشد و نشان دهد که با بهره‌گیری از فناوری‌های روز، می‌توان بر چالش‌های نوین در حوزه مدیریت زباله غلبه کرد (جون هو و همکاران، ۲۰۲۱).

- فنودی و همکارانش در تحقیق خود تحت عنوان سیستم کنترل هوشمند سطل‌های زباله با استفاده از اینترنت اشیا به این نتیجه رسیدند که وضعیت سطل‌های زباله به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی در فرآیند جمع‌آوری زباله شناخته می‌شود. اگر این سطل‌ها بطور مداوم و دقیق نظارت شوند، قابلیت برنامه‌ریزی موثری برای جمع‌آوری زباله‌ها وجود خواهد داشت. به‌ویژه در موقعیت‌هایی که پراکندگی زباله‌ها زیاد است یا سطل‌ها در مناطق دورافتاده قرار دارند. نظارت منظم بر وضعیت سطل‌ها، امکان تعیین زمان و مکان مناسب برای جمع‌آوری زباله را فراهم می‌آورد و به بهینه‌سازی فرآیند جمع‌آوری کمک می‌کند. این امر نه تنها موجب کاهش هزینه‌های عملیات می‌شود بلکه به ارتقای کیفیت خدمات شهری و حفظ نظافت محیط زیست نیز می‌انجامد. در نهایت استفاده از سیستم‌های نظارتی پیشرفته می‌تواند به افزایش بهره‌وری و رضایت جامعه منجر شود و بدین ترتیب، رویکردی جامع و موثر به مدیریت زباله‌ها را مطرح نماید (فنودی و همکاران، ۲۰۲۱).

- آباگوآ و رگبا در تحقیقی با عنوان مکانیسم سطل زباله هوشمند در زمان واقعی برای مدیریت زباله جامد در شهرهای هوشمند، انجام دادند. این مقاله به بررسی مکانیسم سطل زباله هوشمند در زمان واقعی برای مدیریت زباله‌های جامد در شهرهای هوشمند می‌پردازد. سیستم‌های سنتی جمع‌آوری و مدیریت زباله معایب زیادی از جمله عدم دسترسی به داده‌های زنده، کمبود توان عملیاتی و تخلیه دیر هنگام سطل‌ها دارند. در مقابل، مکانیسم

پیشنهادی با اتصال سطل‌های زباله هوشمند به یک شبکه بلادرنگ، امکان دسترسی به اطلاعات لحظه‌ای را فراهم می‌آورد. این سطل‌ها در نقاط مختلف شهر نصب شده و با ارائه راهکارهایی برای جلوگیری از سرریز شدن زباله‌ها، به حفظ نظافت محیط کمک می‌کنند. نمایشگرهای LED در برخی از این سطل‌ها وضعیت زباله‌ها و پیام‌های هوشمند را به نمایش می‌گذارند و به اپراتورها اطلاع می‌دهند که چه زمانی نیاز به تخلیه زود هنگام وجود دارد. علاوه بر این، منطق فازی در تعیین استراتژیک مکان‌گذاری سطل‌های زباله هوشمند در سراسر شهرهای هوشمند بکار گرفته می‌شود تا بهینه‌سازی‌های مورد نیاز حاصل شود. این سیستم بر روی پلتفرم NetLogo پیاده‌سازی شده و نتایج آن نشان‌دهنده افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های مدیریت پسماند در مقایسه با سیستم‌های سنتی است. راه‌اندازی سطل‌های زباله هوشمند نه تنها به بهبود فرآیند جمع‌آوری زباله‌ها کمک می‌کند بلکه به حفظ محیط زیست، ارتقای کیفیت زندگی شهری و ارتقای آگاهی عمومی در زمینه مدیریت پسماند نیز می‌انجامد. با این نوآوری، شهرهای هوشمند می‌توانند به سمت توسعه پایدار و بهینه‌سازی منابع حرکت کنند (آبگوا و رقوا، ۲۰۲۱).

- خیری و آزادآرامکی در تحقیق خود با عنوان شناسایی عوامل موثر بر پذیرش مدیریت پسماند توسط شهروندان شهر تهران، به این نتیجه رسیدند که در شهر تهران پسماندهایی تولید می‌شود که مصداق طلای کثیف است و ورود آن به منابع آب و خاک، منجر به آلودگی اکوسیستم می‌گردد و بیماری‌های زیادی به وجود می‌آیند. بنابراین ایجاد سطل زباله هوشمند در مکان‌های عمومی و خصوصی، احساس راحتی و بهتری برای افراد ایجاد می‌نماید (خیری و آزادآرامکی، ۱۳۹۲).

- کارنالیم و همکارانش، تحقیقی با عنوان بررسی فناوری متقاعدکننده برای مدیریت دفع زباله از طریق سطل زباله هوشمند و ردیاب انجام دادند. در این مطالعه موانع متعددی مانند عدم مشارکت اجتماعی و ناتوانی در زمینه اخلاقی برای تشویق مردم جهت ریختن زباله در سطل زباله هوشمند وجود داشت که آن را یک فعالیت خسته‌کننده نشان داد. همچنین پُربودن سطل‌های زباله در نقاط مختلف شهر، مانع از این می‌شد که مردم زباله‌های خود را در مکان‌های مناسب دور بیندازند. لذا تشویق افراد جهت استفاده از سطل‌های زباله هوشمند ضرورت داشت. این سطل‌ها می‌توانند به صورت کارآمدتری پسماندها را مدیریت نموده و به کاربران کمک کنند تا زباله‌های خود را به درستی دفع کنند. با توجه به اینکه مکانیسم‌های جذابی از جمله پاک‌سازی منظم، بهره‌وری در جمع‌آوری، جداسازی بازیافت در سطل زباله هوشمند اعمال می‌شود، به مدیریت پسماند و حفاظت از بهداشت عمومی نیز کمک می‌کند. بنابراین باید با استفاده از روش‌های نوین و کارآمد، مردم را به مشارکت این فرآیند تشویق کنیم چراکه این کار می‌تواند به بهبود شرایط بهداشتی و محیط زیست کمک کرده و مسئولیت‌پذیری اجتماعی را افزایش دهد (کارنالیم و همکاران، ۲۰۱۶).

۱-۲) مخزن زباله هوشمند^۱

در سال‌های اخیر، تحقیق‌های متعددی در زمینه بکارگیری فناوری‌های هوشمند در مدیریت پسماند به‌ویژه در زمینه سطل‌های زباله هوشمند، انجام شده‌است. این مطالعات هریک به بررسی ابعاد مختلفی از جمله مزایا، موانع، عوامل موفقیت و مدل‌های تصمیم‌گیری مرتبط با پیاده‌سازی این فناوری‌ها پرداخته‌اند. در ادامه، برخی از مهمترین تحقیقات داخلی و خارجی مرتبط با موضوع تحقیق حاضر در جدول شماره ۱ ارائه شده‌است.

جدول ۱. تعاریف شاخص‌های موانع پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند

عوامل اصلی	شاخص‌ها	منابع/منبع
موانع فنی و فناوری	عدم وجود تامین‌کنندگان معتبر برای اجرای این تکنولوژی	(آلدیگا و همکاران، ۲۰۲۲) (چوی و همکاران، ۲۰۲۱)
	عدم دسترسی به اینترنت پرسرعت در برخی مناطق کشور	(الین فیجه و همکاران، ۲۰۲۳) (رضایی و همکاران، ۲۰۱۵)
	محدودیت در تامین برق و انرژی برای دستگاه‌های مدرن	(آبراهام ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹) (کارنالیم و همکاران، ۲۰۲۰) (داین و همکاران، ۲۰۲۰)
	ناکافی بودن مهارت‌های فنی کارکنان	(مگه س چودهری و همکاران، ۲۰۱۹)
	دشواری در یکپارچه‌سازی با سیستم‌های موجود	(یوسف‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲)
	مقاومت در برابر آسیب‌های فیزیکی و همچنین حوادث غیرمترقبه (مانند سیل و زلزله)	(داین و همکاران، ۲۰۲۰) (رضایی و همکاران، ۲۰۱۵)
	کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات	(رنا و همکاران، ۲۰۲۰)
	عدم آگاهی عمومی درباره کیفیت و مزایای سطل زباله هوشمند	(آبراهام ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹)،
موانع اجتماعی و فرهنگی	مقاومت فرهنگی در برابر تغییرات نوین	(کارنالیم و همکاران، ۲۰۲۰)
	عدم مشارکت کافی شهروندان در فرآیندهای مدیریت زباله	(برینزل و همکاران، ۲۰۱۹)

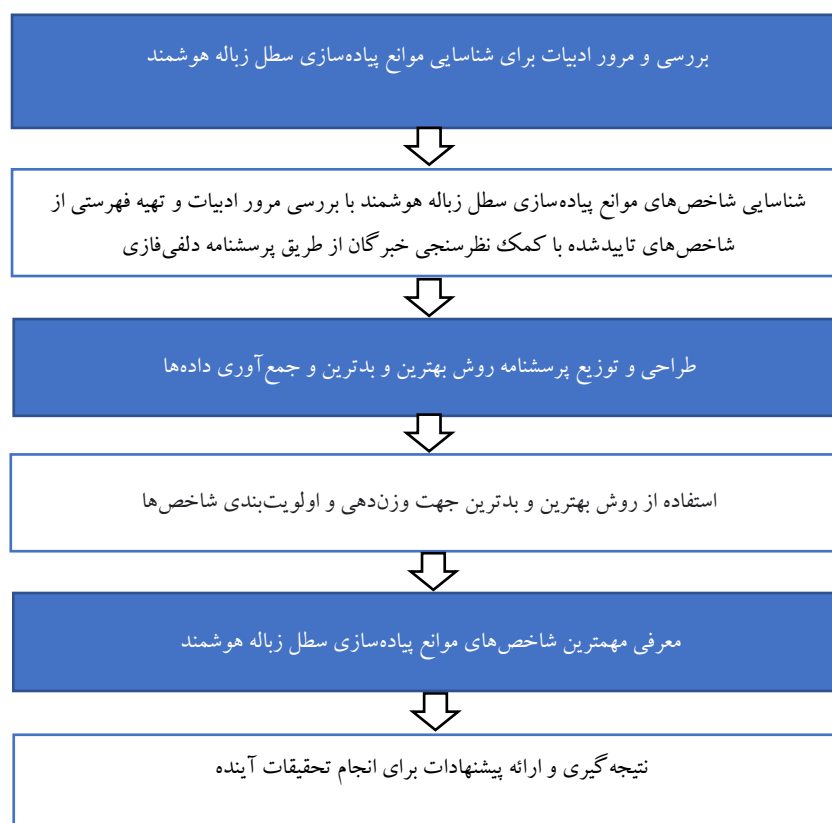
1 Smart waste tank

	عادت‌های ناپسند در دفع زباله‌ها	(چوی و همکاران، ۲۰۲۱)
	نیاز به آموزش و فرهنگ‌سازی شهروندان	(علی‌دوست و همکاران، ۲۰۱۵)
	محدودیت در دسترسی به منابع آموزشی برای راه‌اندازی این پروژه	(رضایی و همکاران، ۲۰۱۵) (آلدیگا و همکاران، ۲۰۲۲)
	ضعف در تحقیق‌های کاربردی عدم آشنایی با بهترین شیوه‌های جهانی	(داین و همکاران، ۲۰۲۰) (یوسف‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲)
موانع قانونی و اداری	عدم هماهنگی بین نهادهای دولتی مختلف	(مگه‌س چودهری و همکاران، ۲۰۱۹) (آلدیگا و همکاران، ۲۰۲۲) (رنا و همکاران، ۲۰۲۰)
	نبود قوانین و مقررات حمایتی درخصوص راه‌اندازی و اجرا پروژه‌ها	(داین و همکاران، ۲۰۲۰)
	نبود رهنمودهای روشن برای پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند	(آبراهام ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹)
	مشکلات مربوط به شفافیت و حسابرسی	(کارنالیم و همکاران، ۲۰۲۰) (برینزل و همکاران، ۲۰۱۹)
	مسائل مربوط به حفاظت از حریم خصوصی و اطلاعات شخصی در ارتباط با استفاده از سطل‌های زباله هوشمند	(دوگوما اراسو و همکاران، ۲۰۱۸) (علی‌دوست و همکاران، ۲۰۱۵)
	مشکلات نگهداری و تعمیرات روزانه برای حفظ عملکرد بهینه	(کارنالیم و همکاران، ۲۰۲۰)
	کمبود منابع مالی دولتی و خصوصی	(کلوپردینی و همکاران، ۲۰۱۹)
	تاثیر تحریم‌ها بر تامین تجهیزات به‌روز برای اجرای پروژه سطل زباله هوشمند	(رضایی و همکاران، ۲۰۱۵) (رنا و همکاران، ۲۰۲۰)
موانع سیاسی و اقتصادی	مسائل اقتصادی و تناقض منافع بین بخش خصوصی و دولت در پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند	(شارما، ام و همکاران، ۲۰۲۰) (علی‌دوست و همکاران، ۲۰۱۵)

(چوی و همکاران ۲۰۲۱)	عدم پشتیبانی و هماهنگی بین ارگان‌ها و شرکت‌های مرتبط با مدیریت زباله‌ها	
(رنا و همکاران ۲۰۲۰)		
(یوسف زاده و همکاران ۲۰۲۲)	محدودیت‌های مالی و عدم تخصیص اعتبار کافی برای پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند	

(۳) مدل مفهومی

باتوجه به مراحل مختلف تحقیق و روش تجزیه و تحلیل بیان‌شده، مراحل اجرای تحقیق، بطور خلاصه در شکل (۱) نشان داده شده‌است. این مدل به محققان امکان می‌دهد تا تصویری نظام‌مند از موانع کلیدی، ارائه داده و زمینه را برای سیاست‌گذاری‌های دقیق‌تر در مدیریت هوشمند پسماند شهری فراهم سازد.



شکل ۱. فلوچارت اجرایی تحقیق

(۴) روش تحقیق

این تحقیق از نظر هدف، توصیفی و از نظر نتیجه، کاربردی می‌باشد زیرا به شناسایی و اولویت‌بندی پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند در ایران می‌پردازد. در این تحقیق از روش مطالعه میدانی برای توزیع پرسشنامه در بین خبرگان و کارشناسان برای تایید و اولویت‌بندی مشکلات و موانع پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند در ایران استفاده شده‌است. همچنین برای تایید

معیارهای شناسایی‌شده، از روش دلفی‌فازی و برای اولویت‌بندی شاخص‌ها، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین و بدترین استفاده شده‌است. بطور کلی در تحقیق حاضر ابتدا به مرور ادبیات پیشینه تحقیق در خصوص بررسی موانع پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند برای مدیریت بهتر شهری پرداخته شد. در ادامه، معیارهای مناسب موضوع با توجه به ادبیات پیشین، استخراج گردید و در تجزیه و تحلیل مصاحبه، مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق، تعداد دقیق خبرگان شرکت‌کننده در فرآیند دلفی، ۱۵ نفر بوده‌است. این افراد از بین کارشناسان و مدیران باسابقه شهرداری در حوزه مدیریت پسماند از استان‌های آذربایجان شرقی، تهران و مشهد انتخاب شدند. معیارهای انتخاب خبرگان شامل حداقل ۱۰ سال سابقه تخصصی در حوزه مدیریت شهری یا پسماند، آشنایی با فناوری‌های نوین در مدیریت زباله و مشارکت در پروژه‌های مشابه بوده‌است. برای سنجش میزان توافق بین خبرگان در پاسخ به پرسشنامه دلفی‌فازی، از شاخص آلفای کرونباخ استفاده شد. مقدار آلفای محاسبه‌شده برای ۱۵ شاخص نهایی، ۰٫۸۲۵ به دست آمد که نشان‌دهنده پایایی بالا و توافقی مناسب میان نظرات خبرگان است. علاوه بر این، مقدار آستانه توافق (میانگین دی‌فازی شده) برابر با ۰٫۷ در نظر گرفته شد. شاخص‌هایی که امتیاز پایین‌تری کسب کردند، به عنوان فاقد اجماع حذف شدند.

در این مرحله، برای تایید شاخص‌های استخراج‌شده از مرور ادبیات، از روش دلفی‌فازی استفاده شد. پرسشنامه‌ای شامل ۲۵ شاخص طراحی و در اختیار ۱۵ نفر از خبرگان مدیریت پسماند شهرداری قرار گرفت. شرکت‌کنندگان، میزان اهمیت هر شاخص را با استفاده از طیف فازی پنج‌درجه‌ای (از خیلی کم‌اهمیت تا بسیار مهم) مشخص کردند. سپس با استفاده از روش دی‌فازی‌سازی (مرکز ثقل)، میانگین عددی برای هر شاخص محاسبه شد. شاخص‌هایی که مقدار دی‌فازی‌شده آنها کمتر از مقدار آستانه (۰٫۷۰) بود، به عنوان شاخص‌های غیرضروری حذف شدند. در نهایت از مجموع ۲۵ شاخص اولیه، تعداد ۱۵ شاخص واجد شرایط انتخاب و به مرحله بعدی تحقیق وارد شدند.

در مرحله بعد، برای رتبه‌بندی شاخص‌های تاییدشده، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین - بدترین (BWM) استفاده شد. ابتدا از خبرگان خواسته شد که از میان شاخص‌های نهایی، بهترین و بدترین شاخص را تعیین کنند. سپس میزان ارجحیت بهترین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها و سایر شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص، براساس مقیاس ۱ تا ۹ مشخص گردید. این داده‌ها به دو بردار ترجیحی، تبدیل و در مدل برنامه‌ریزی خطی BWM وارد شدند. تحلیل نهایی با استفاده از نرم‌افزار Lingo انجام شد و وزن هر شاخص به همراه نرخ ناسازگاری محاسبه گردید. مقدار بسیار پایین نرخ ناسازگاری (۰٫۰۰۴۴) نشان داد که داده‌های به دست آمده، از سازگاری مطلوبی برخوردارند.

۴-۱) تکنیک دلفی‌فازی

روش دلفی‌فازی، یک تکنیک پیمایشی مبنی بر نظرات خبرگان است که توسط موری و همکاران در سال ۱۹۸۵ ارائه شد (ایشیکاوا و همکاران ۲۰۱۲). روش دلفی و تئوری فازی برای دستیابی، به اجماع از طریق مقابله با ابهام و عدم قطعیت قضاوت‌های متخصصان می‌پردازد تا کارآیی و کیفیت روش دلفی سنتی را از طریق نظریه مجموعه‌های فازی بهبود بخشد. این تکنیک در موقعیت‌هایی کاربرد دارد که در آن انسان‌ها نمی‌توانند قضاوت‌ها و ترجیحاتشان را با اعداد کمی و قطعی و بطور دقیق توصیف کنند. به عبارتی نظرات خبرگان تحت تاثیر نظرات سایر خبرگان قرار می‌گیرند (ریورا و همکاران

۲۰۲۱). در این تحقیق از الگوریتم اجرای تکنیک دلفی فازی جهت غربال سازی ابعاد موانع پیاده سازی سطل زباله هوشمند، بهره برده شده است. مراحل دلفی فازی برای شاخص ها بطور خلاصه به صورت زیر است:

گام ۱- شناسایی و جمع آوری موانع پیاده سازی سطل زباله هوشمند با بررسی ادبیات تحقیق.

گام ۲- جمع آوری نظرات خبرگان و کارشناسان: در این مرحله شاخص های شناسایی شده در مرحله قبل جهت تعیین مرتبط بودن با موضوع پژوهش از طریق پرسشنامه دلفی فازی توسط خبرگان بررسی می شوند که در این پرسشنامه عبارت های کلامی در جدول ۱ جهت بیان اهمیت هر شاخص استفاده شده است. شاخص ها و سئوالاتی که مقدار میانگین آنها بزرگتر یا مساوی شاخص آستانه باشد، به عنوان عوامل مهم و تاثیر گذار شناخته می شود. همچنین شاخص ها یا سئوالاتی که مقدار میانگین آنها کمتر از مقدار حد آستانه باشد، به عنوان شاخص های کم اثر یا کم اهمیت شناخته می شوند. در ادامه میزان آلفای کرونباخ پرسشنامه از ۲۵ سئوال برای ۱۵ سئوال، برابر ۰/۸۲۵ به دست آمد که بیشتر از ۰/۷ می باشد. پس پرسشنامه تحقیق از نظر پایایی، مورد تایید می باشد.

جدول ۱ اعداد فازی مثلثی با طیف لیکرت پنج گزینه ای را نشان می دهد. اعداد فازی قطعی شد اگر $\tilde{N} = (l, m, u)$ به ترتیب بیانگر کوچکترین، محتمل ترین و بزرگترین مقدار هستند.

جدول ۲. عبارت کلامی و اعداد فازی مثلثی طیف های لیکرت پنج درجه ای (ایشیکاوا و همکاران ۲۰۱۲)

عبارات کلامی	خیلی کم اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	مهم	بسیار مهم
اعداد فازی مثلثی	(۰, ۰, ۰/۲۵)	(۰, ۰, ۰/۲۵)	(۰/۲۵, ۰/۵, ۰/۷۵)	(۰/۵, ۰/۷۵, ۱)	(۰/۷۵, ۱, ۱)

گام ۳- با استفاده از روابط زیر به محاسبه عدد فازی مثلثی برای هر شاخص می پردازیم:

در روابط زیر، اندیس ها و متغیرها به صورت زیر تعریف می شوند:

i: فرد خبره

j: معیارهای ارزیابی

v: ارزش فازی اکتسابی هر معیار توسط هر تصمیم گیرنده

$\bar{v}_j$: میانگین فازی ارزش هر معیار

$$v = (x_{ij}; y_{ij}; z_{ij}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad \text{رابطه (۱)}$$

گام ۴- دی فازی سازی: با استفاده از رابطه زیر، میانگین فازی ارزش هر معیار که در مرحله قبل محاسبه شد، به روش

مرکز ثقل، دی فازی می شود.

$$\text{Crisp} = \frac{x+2y+z}{4} \quad \text{رابطه (۲)}$$

گام ۵- تایید یا عدم تایید معیارها: اگر مقدار دی فازی شده شاخص ها و سئوالاتی که مقدار میانگین آنها بزرگتر یا

مساوی شاخص آستانه باشد، به عنوان عوامل مهم و تاثیر گذار شناخته می شود و یا شاخص ها یا سئوالاتی که مقدار میانگین آنها کمتر از مقدار حد آستانه باشد، به عنوان شاخص های کم اثر یا کم اهمیت شناخته می شود.

بعد از استخراج شاخص‌ها براساس روش دلفی، شاخص‌های با ضریب بالاتر تعیین گردید. درنهایت بعد از تایید موانع توسط خبرگان و کارشناسان براساس پرسشنامه روش بهترین و بدترین، به مقایسه زوجی پرداخته شد. بعد از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، محاسبات با نرم‌افزار Excel انجام گردید و درنهایت تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Lingo براساس نظرات ۱۵ خبره، انجام گردید و اوزان معیارها به‌دست آمد و شاخص‌های نهایی، وزن‌دهی و رتبه‌بندی شد.

۴-۲) تکنیک بهترین-بدترین (BWM)

تکنیک بهترین-بدترین، از بهترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای وزن‌دهی عوامل و معیارهای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. این روش توسط رضایی (۲۰۱۵) معرفی شد. اساس این روش، اندازه‌گیری معیارها با مقایسه زوجی است. در روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه از بین تعداد گزینه‌ها، بهترین گزینه انتخاب می‌شود. براساس روش بهترین-بدترین، بهترین و بدترین شاخص به کمک خبره مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بین هریک از این دو شاخص (بهترین-بدترین) و دیگر شاخص‌ها انجام می‌شود سپس یک مسئله حداکثر-حداقل برای تعیین وزن شاخص‌های گوناگون فرموله و حل می‌شود. همچنین برای محاسبه نرخ ناسازگاری به‌منظور بررسی اعتبار مقایسات فرمول درنظر گرفته می‌شود. گام‌های روش بهترین و بدترین شامل موارد زیر است:

گام اول: تعیین مجموعه معیارهای تصمیم‌گیری: در این مرحله، تصمیم‌گیرنده مجموعه معیارهایی را که برای تصمیم‌گیری موردنیاز است، به صورت $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ تعریف می‌کند.

گام دوم: تعیین بهترین (مهمترین، مطلوب‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین، دارای کمترین مطلوبیت) معیار: بطور کلی مشخص می‌شود و هیچ مقایسه‌ای در این مرحله صورت نمی‌گیرد.

گام سوم: تعیین ارجحیت بهترین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها با استفاده از عدد ۱ تا ۹: بردار ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها به صورت $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$ نمایش داده می‌شود. در این بردار، a_{Bj} بیانگر ارجحیت بهترین معیار (B) نسبت به معیار j ام است. واضح است که $a_{BB} = 1$ می‌باشد.

گام چهارم: تعیین ارجحیت همه شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص با استفاده از عدد ۱ تا ۹: بردار ارجحیت سایر شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص به صورت $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$ نمایش داده می‌شود. در این بردار، a_{jW} بیانگر ارجحیت معیار j ام نسبت به بدترین معیار (W) است. واضح است که $a_{WW} = 1$ می‌باشد.

گام پنجم: پیدا کردن مقادیر بهینه وزن‌ها $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$: برای تعیین وزن بهینه هریک از شاخص‌ها، زوج‌های $\frac{w_j}{w_w} = a_{jW}$ و $\frac{w_B}{w_j} = a_{Bj}$ تشکیل می‌شود. سپس برای آورده کردن این شرایط در همه jها باید راه‌حلی پیدا شود تا عبارات $\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jW} \right|$ و $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ را برای تمام jهایی که حداکثر شده‌اند، حداکثر نماید. با توجه به غیرمنفی بودن وزن‌ها و مجموع اوزان، مدل را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد (Rezaei et al., 2015):

رابطه (۳)

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jW} \right| \right\}$$

s. t.

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{ for all } j$$

همچنین مدل بالا را می توان به مدل رابطه ۴ تبدیل کرد:

رابطه (۴)

$$\begin{aligned} & \min \xi^I \\ & s. t. \\ & \left| \frac{w_b}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi^I, \text{ for all } j \\ & \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi^I, \text{ for all } j \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, \quad \text{for all } j \end{aligned}$$

مدل خطی تابع فوق به صورت زیر ارائه شده است که در تحقیق حاضر، وزن های شاخص های موانع پیاده سازی سطل زباله هوشمند با استفاده از روش بهترین و بدترین به دست می آید.

رابطه (۵)

$$\begin{aligned} & \min \xi^I \\ & s. t. \\ & |w_b - a_{Bj} \cdot w_j| \leq \xi^I && \text{برای تمامی } j \text{ها} \\ & |w_j - a_{jw} \cdot w_w| \leq \xi^I && \text{برای تمامی } j \text{ها} \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, \quad \text{for all } j && \text{برای تمامی } j \text{ها} \end{aligned}$$

در نهایت با حل مدل رابطه ۶ مقادیر بهینه $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ و ξ^* به دست می آیند.

۳-۴ محاسبه نرخ سازگاری

در صورتیکه مقایسات صورت گرفته بین معیارها، بطور کامل سازگار هستند و به ازای هر معیار، رابطه برقرار باشد؛ در روش بهترین - بدترین، نرخ سازگاری با استفاده از رابطه ۶ و جدول معیارهای سازگاری (جدول ۵) محاسبه می شود.

رابطه (۶)

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}}$$

جدول ۳. شاخص سازگاری روش بهترین - بدترین

a_{Bw}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰.۰۰	۰.۴۴	۱.۰۰	۱.۶۳	۲.۳۰	۳.۰۰	۳.۷۳	۴.۴۷	۵.۲۳

نرخ سازگاری عددی بین ۰ و ۱ است که هرچه قدر این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر سازگاری بیشتر و برعکس، هرچه نرخ سازگاری به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده سازگاری کمتر است.

(۵) یافته‌ها

از آنجاییکه در این تحقیق از پرسشنامه استفاده شد، اولین گام بعد از طراحی پرسشنامه، بررسی روایی و پایایی آن است. روایی پرسشنامه عبارتست از: توانایی ابزار موردنظر در اندازه‌گیری صفتی که پرسشنامه برای سنجش آن طراحی شده‌است. روایی انواع مختلفی دارد که می‌توان به روایی صوری، روایی محتوا و روایی سازه اشاره کرد. روایی صوری، نشان‌دهنده روایی ظاهری پرسشنامه است و پرسشنامه باید حداقل دارای روایی صوری باشد. در این مطالعه از ۱۵ نفر از خبرگان خواسته شد که مشخص کنند آیا سؤالات آزمون صفت موردنظر را اندازه‌گیری می‌کند یا خیر و اینکه آیا سؤالات، کل محتوای آزمون را دربر می‌گیرد یا خیر. از آنجاییکه کیفیت و کمیت سؤالات پرسشنامه موردتأیید خبرگان و کارشناسان قرار گرفت. روایی محتوای پرسشنامه، تأیید می‌شود. در این مطالعه، با توجه به طراحی پرسشنامه، پایایی آنها مورد بررسی قرار گرفت. چراکه پایایی پرسشنامه، نشان‌دهنده ابزار اندازه‌گیری در شرایط یکسان است و به ما نشان می‌دهد تا چه اندازه نتایج یکسانی به دست می‌دهد. دامنه ضریب پایایی بین ۰/۸ و ۰/۹ پایایی خوب، بین ۰/۷ و ۰/۸ پایایی قابل قبول، بین ۰/۶ و ۰/۷ پایایی قابل بحث و بین ۰/۵ و ۰/۶ پایایی ضعیف و کمتر از ۰/۵ پایایی غیرقابل قبول معرفی شده‌است (Terry.koo et al., 2016). با توجه به سؤالات پرسشنامه که دارای جواب‌های طیف لیکرت با ۱۵ سؤال هستند، نتایج مربوط به محاسبه آلفای کرونباخ، توسط نرم‌افزار SPSS26 محاسبه شد. آلفای کرونباخ مربوط به ۱۵ سؤال با جواب طیف لیکرت است که مقدار آن ۰/۸۲۵ به دست آمد که پایایی خوبی محسوب می‌شود. نتایج مربوط به محاسبه آلفای کرونباخ، توسط نرم‌افزار SPSS26 به شرح (جدول ۴) می‌باشد:

جدول ۴. نتایج آزمون آلفای کرونباخ مربوط به پایایی ۱۵ سؤال براساس طیف لیکرت

Reliability Statistics	
تعداد سؤالات پرسشنامه	آلفای کرونباخ
۱۵ سؤال اصلی	۰/۸۲۵

۵-۱) تایید شاخص‌های پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند

برای تایید، شاخص‌های پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند از طریق بررسی تحقیقات صورت گرفته پیشین، شناسایی شدند. به تهیه پرسشنامه دلفی فازی پرداخته شد و از ۱۵ نفر از کارشناسان و متخصصان مدیریت پسماند شهرداری خواسته شد که براساس قوانین روش دلفی فازی به سئوالات پاسخ دهند. پس از تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پرسشنامه ۲۵ شاخص شناسایی شده که ۱۵ شاخص مورد تایید خبرگان و کارشناسان قرار گرفت.

جدول ۵. نتایج حاصل از اجرای روش دلفی فازی

وضعیت تایید یا رد	میانگین دی فازی شده	میانگین فازی شده	شاخص‌ها
✓	0/79	(0/5, 0/82, 1)	عدم وجود تامین کنندگان معتبر برای اجرای این تکنولوژی
✓	0/79	(0/5, 0/82, 1)	عدم دسترسی به اینترنت پرسرعت در برخی مناطق کشور
×	0/43	(0/25, 0/33, 1)	محدودیت در تامین برق و انرژی برای دستگاه‌های مدرن
×	0/49	(0/5, 0/36, 1)	ناکافی بودن مهارت‌های فنی کارکنان
×	0/65	(0/25, 0/66, 1)	دشواری در یکپارچه‌سازی با سیستم‌های موجود
✓	0/85	(0/5, 0/9, 1)	مقاومت در برابر آسیب‌های فیزیکی و همچنین حوادث غیر مترقبه (مانند سیل و زلزله)
✓	0/94	(0/75, 1, 1)	کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات
✓	0/74	(0/5, 0/57, 1)	عدم آگاهی عمومی درباره کیفیت و مزایای سطل زباله هوشمند
×	0/52	(0/25, 0/5, 1)	مقاومت فرهنگی در برابر تغییرات نوین
✓	0/73	(0/5, 0/71, 1)	عدم مشارکت کافی شهروندان در فرآیندهای مدیریت زباله
✓	0/79	(0/5, 0/82, 1)	عادت‌های ناپسند در دفع زباله‌ها
×	0/36	(0/25, 0/33, 0/5)	نیاز به آموزش و فرهنگ‌سازی شهروندان
×	0/63	(0/25, 0/65, 1)	محدودیت در دسترسی به منابع آموزشی برای راه‌اندازی این پروژه
✓	0/71	(0/5, 0/7, 1)	ضعف در تحقیق‌های کاربردی عدم آشنایی با بهترین شیوه‌های جهانی

×	0/67	(1، 0/72، 0/25)	عدم هماهنگی بین نهادهای دولتی مختلف
✓	0/85	(1، 0/92، 0/5)	نبود قوانین و مقررات حمایتی در خصوص راه‌اندازی و اجرا پروژه‌ها
✓	0/78	(1، 0/81، 0/5)	نبود رهنمودهای روشن برای پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند
×	0/23	(1، 0، 0/4)	مشکلات مربوط به شفافیت و حساسیتی
×	0/58	(1، 0/57، 0/25)	مسائل مربوط به حفاظت از حریم خصوصی و اطلاعات شخصی در ارتباط با استفاده از سطل‌های زباله هوشمند
✓	0/72	(1، 0/72، 0/5)	مشکلات نگهداری و تعمیرات روزانه برای حفظ عملکرد بهینه
✓	0/77	(1، 0/82، 0/5)	کمبود منابع مالی دولتی و خصوصی
✓	0/74	(1، 0/77، 0/5)	تأثیر تحریم‌ها بر تامین تجهیزات بروز برای اجرای پروژه سطل زباله هوشمند
×	0/41	(1، 0/34، 0/25)	مسائل اقتصادی و تناقض منافع بین بخش خصوصی و دولت در پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند
✓	0/83	(1، 0/84، 0/5)	عدم پشتیبانی و هماهنگی بین ارگان‌ها و شرکت‌های مرتبط با مدیریت زباله‌ها
✓	0/72	(1، 0/72، 0/5)	محدودیت‌های مالی و عدم تخصیص اعتبار کافی برای پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند
	0/70	(1، 0/71، 0/4)	مقدار آستانه

براساس معیار آستانه ۰.۷۰، شاخص‌هایی با میانگین دی‌فازی کمتر از این مقدار حذف شدند. شاخص‌هایی نظیر «مقاومت فرهنگی»، «نیاز به آموزش»، «مسائل اقتصادی میان دولت و بخش خصوصی» به دلیل امتیاز پایین‌تر از حد آستانه، کمتر مورد اجماع خبرگان قرار گرفتند. به نظر می‌رسد این شاخص‌ها یا از نظر اجرایی در ایران کم‌اهمیت‌تر تلقی شده‌اند یا تجربه مواجهه با آنها در بین خبرگان محدود بوده‌است. همچنین با توجه به اینکه شاخص‌های تاییدشده تحقیق حاضر، به همراه کد هر شاخص به شرح جدول (۶) می‌باشد:

جدول ۶. شاخص‌های تایید شده و کد هر شاخص طبق تایید خبرگان براساس روش دلفی فازی

کد	معیار	کد	معیار
C9	نبود قوانین و مقررات حمایتی درخصوص راه‌اندازی و اجرا پروژه‌ها	C1	عدم وجود تامین کنندگان معتبر برای اجرای این تکنولوژی
C10	نبود رهنمودهای روشن برای پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند	C2	عدم دسترسی به اینترنت پرسرعت در برخی مناطق کشور
C11	مشکلات نگهداری و تعمیرات روزانه برای حفظ عملکرد بهینه	C3	مقاومت در برابر آسیب‌های فیزیکی و همچنین حوادث غیرمترقبه (مانند سیل و زلزله)
C12	کمبود منابع مالی دولتی و خصوصی	C4	کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات
C13	تاثیر تحریم‌ها بر تامین تجهیزات بروز برای اجرای پروژه سطل زباله هوشمند	C5	عدم آگاهی عمومی درباره کیفیت و مزایای سطل زباله هوشمند
C14	عدم پشتیبانی و هماهنگی بین ارگان‌ها و شرکت‌های مرتبط با مدیریت زباله‌ها	C6	عدم مشارکت کافی شهروندان در فرآیندهای مدیریت زباله
C15	محدودیت‌های مالی و عدم تخصیص اعتبار کافی برای پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند	C7	عادت‌های ناپسند در دفع زباله‌ها
		C8	ضعف در تحقیق‌های کاربردی عدم آشنایی با بهترین شیوه‌های جهانی

۵-۲) وضعیت سنجی پاسخ‌دهندگان

برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، از نمونه آماری ۱۵ نفری از کارشناسان، مدیران و خبرگان مرتبط با موضوع تحقیق استفاده شد. در این بخش، آمار افرادی که در جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از پرسشنامه همراهی نموده‌اند، بیان شده است. همانطور که در جدول شماره (۷) ملاحظه می‌شود، وضعیت تحصیلات پاسخ‌دهندگان را نشان می‌دهد:

جدول ۷. اطلاعات فردی پاسخ‌دهندگان مصاحبه‌شونده

تعداد	مدرک تحصیلی
۸	کارشناسی
۵	کارشناسی ارشد

دکتری	۲
سن	تعداد
۲۵-۳۰	۲
۳۰-۴۳	۵
۴۵-۶۰	۷
بالای ۶۰	۱
جنسیت	تعداد
زن	۲
مرد	۱۳

همانطور که در جدول شماره (۷) ملاحظه می‌شود از تعداد ۱۵ نفر نمونه آماری تحقیق، از نظر تحصیلات ۸ نفر میزان تحصیلات خود را کارشناسی و ۵ نفر سطح تحصیلات خود را کارشناسی ارشد و ۲ نفر هم میزان تحصیلات خود را دکتری عنوان کرده‌اند و در ارتباط با وضعیت سنی، بیشترین تعداد نمونه آماری تحقیق در گروه سنی ۴۵-۶۰ سال قرار داشتند و از نظر جنسیت نیز ۲ نفر زن و ۱۳ نفر مرد بوده‌اند.

۳-۵) وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌های موانع پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند

با توجه به وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها در ارزیابی موانع پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند، موانع فناوری؛ شاخص کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات (C4) که بالاترین مقدار میانگین دی‌فازی شده به آن تعلق گرفته‌است و به‌عنوان بهترین شاخص می‌باشد و همچنین موانع اجتماعی و فرهنگی؛ شاخص ضعف در تحقیقات کاربردی عدم آشنایی با بهترین شیوه‌های جهانی (C8) که دارای کمترین میانگین دی‌فازی شده می‌باشد، به‌عنوان بدترین شاخص انتخاب شدند. و در گام بعدی، پرسشنامه بهترین- بدترین طراحی و بین کارشناسان و متخصصان توزیع گردید و نتایج کارشناسان میانگین گرفته شد و نتایج به‌دست آمده مربوط به ارجحیت بهترین شاخص نسبت به بقیه شاخص‌ها و تمامی شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص، به‌ترتیب در جداول ۸ و ۹ شرح داده شده‌است. در نهایت مدل برنامه‌ریزی خطی روش بهترین-بدترین براساس رابطه ۵، با استفاده از نسخه ۱۶ نرم افزار لینگو به حل مدل وزن شاخص‌ها پرداخت و وزن هر یک از شاخص‌ها مشخص شد که نتایج در جدول ۱۰ قابل مشاهده هستند.

جدول ۸. ارجحیت شاخص‌ها به بهترین شاخص

C4	بهترین شاخص
۴/۶	C1
۷/۲	C2
۵/۹	C3
۱	C4
۸	C5
۶/۸	C6
۷/۲	C7
۸/۷	C8
۷/۹	C9
۶/۳	C10
۲/۸	C11
۵/۷	C12
۲/۵	C13
۳/۷	C14
۲/۱	C15

جدول ۹. ارجحیت شاخص‌ها به بدترین شاخص

C8	بهترین شاخص
۶/۶	C1
۴/۳	C2
۴/۹	C3

۸/۷	C4
۲/۲	C5
۷/۹	C6
۴/۱	C7
۱	C8
۵/۷	C9
۳/۹	C10
۷/۶	C11
۴/۷	C12
۸/۱	C13
۷/۲	C14
۷/۹	C15

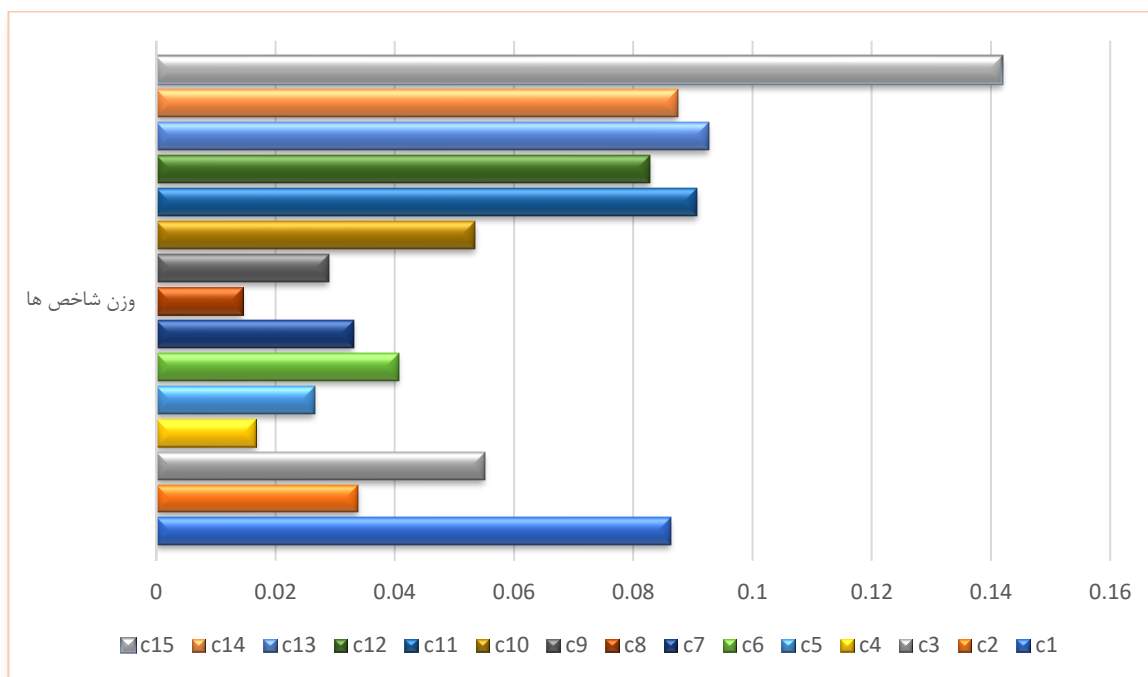
۴-۵) میانگین نظرات ۱۵ خبره و نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار لینگو

با توجه به نتایج به دست آمده جهت وزن‌دهی، معیارها در نرم‌افزار لینگو در جدول (۱۰) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱۰. وزن نهایی و رتبه نهایی هریک از شاخص‌های پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند

رتبه نهایی	وزن نهایی Wj	شاخص‌ها	کدها	موانع
۶	۰/۰۸۶۲۱۰	عدم وجود تامین کنندگان معتبر برای اجرای این تکنولوژی	C1	موانع فناوری
۱۱	۰/۰۳۳۸۴۱	عدم دسترسی به اینترنت پرسرعت در برخی مناطق کشور	C2	
۸	۰/۰۵۵۰۷۱	مقاومت در برابر آسیب‌های فیزیکی و همچنین حوادث غیرمترقبه (مانند سیل و زلزله)	C3	
۱	۰/۰۱۶۷۱۲	کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات	C4	

۱۴	۰/۰۲۶۵۰۸	عدم آگاهی عمومی درباره کیفیت و مزایای سطل زباله هوشمند	C5	موانع اجتماعی و فرهنگی
۱۰	۰/۰۴۰۶۹۱	عدم مشارکت کافی شهروندان در فرآیندهای مدیریت زباله	C6	
۱۲	۰/۰۳۳۱۰۶	عادت‌های ناپسند در دفع زباله‌ها	C7	
۱۵	۰/۰۱۴۵۰۷	ضعف در تحقیق‌های کاربردی عدم آشنایی با بهترین شیوه‌های جهانی	C8	
۱۳	۰/۰۲۸۹۰۳	نبود قوانین و مقررات حمایتی درخصوص راه‌اندازی و اجرا پروژه‌ها	C9	موانع قانونی و اداری
۹	۰/۰۵۳۴۶۰	نبود رهنمودهای روشن برای پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند	C10	
۴	۰/۰۹۰۷۲۱	مشکلات نگهداری و تعمیرات روزانه برای حفظ عملکرد بهینه	C11	
۷	۰/۰۸۲۸۰۶	کمبود منابع مالی دولتی و خصوصی	C12	موانع اقتصادی و سیاسی
۳	۰/۰۹۲۶۳۵	تاثیر تحریم‌ها بر تامین تجهیزات به‌روز برای اجرای پروژه سطل زباله هوشمند	C13	
۵	۰/۰۸۷۴۰۲	عدم پشتیبانی و هماهنگی بین ارگان‌ها و شرکت‌های مرتبط با مدیریت زباله	C14	
۲	۰/۱۴۱۷۰۲	محدودیت‌های مالی و عدم تخصیص اعتبار کافی برای پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند	C15	
۰.۰۳۲۲۷۴۱۲			مقدار * ₺	
۶.۰۱۲			شاخص سازگاری	
۰.۰۰۴۴۶۳			نرخ سازگاری	



شکل ۲. رتبه‌بندی شاخص‌ها

برای وضوح بیشتر، رتبه‌بندی نهایی شاخص‌ها در نمودار زیر به صورت بصری نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، سه مانع محدودیت‌های مالی (c15)، تحریم‌ها (c13) و مشکلات نگهداری (c3)، بیشترین وزن را در بین شاخص‌ها دارند که بیانگر چالش‌های اقتصادی و ساختاری در اجرای فناوری در ایران است.

۶) نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق با هدف شناسایی و اولویت‌بندی موانع پیاده‌سازی سطل زباله هوشمند در ایران، از ترکیب روش‌های دلفی فازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین استفاده شد. یافته‌های به دست آمده نشان می‌دهد که موانع اقتصادی و سیاسی به ویژه محدودیت‌های مالی و تاثیر تحریم‌ها، بیشترین تاثیر را بر ناکامی در اجرای این طرح‌ها داشته‌اند. یافته‌های این تحقیق مبنی بر اولویت بالای موانع اقتصادی، سیاسی و فناوری در پیاده‌سازی سطل‌های زباله هوشمند، با نتایج مطالعات مشابه در سایر کشورها همخوانی دارد. برای مثال: در تحقیق آبگوا و رگبا (۲۰۲۱) تاکید شده است که نبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ضعف در اتصال بلادرنگ، یکی از چالش‌های اصلی در شهرهای هوشمند در حال توسعه است. همچنین در مطالعه جون هوهو و همکاران (۲۰۲۱) در کره جنوبی، موانع مالی و نبود حمایت قانونی به عنوان عوامل بازدارنده اصلی معرفی شده‌اند. در مطالعه کارنالیم و همکاران (۲۰۲۰) نیز مقاومت اجتماعی و کمبود آگاهی عمومی، به عنوان مانع اصلی در پذیرش سطل‌های زباله هوشمند شناخته شده است. بنابراین نتایج تحقیق حاضر در ایران، با تاکید بر اهمیت موانع اقتصادی و زیرساختی، با اغلب یافته‌های جهانی همسو است. هرچند تفاوت‌هایی در شدت اولویت‌ها مشاهده می‌شود اما ماهیت کلی موانع تقریباً مشابه است.

بر پایه این نتایج، می‌توان گفت موفقیت اجرای سطل‌های زباله هوشمند مستلزم نگاهی فراتر از ابعاد صرفاً فنی است و نیاز به رویکردی جامع دارد که شامل سیاست‌گذاری اقتصادی، ایجاد انگیزه برای مشارکت شهروندان و هم‌راستایی نهادی است. مدیران شهری باید پیش از هرگونه اقدام اجرایی، به ارزیابی دقیق ظرفیت‌های مالی، فناوری و اجتماعی شهر بپردازند و همزمان با توسعه زیرساخت‌های لازم، به فرهنگ‌سازی و اطلاع‌رسانی عمومی توجه ویژه‌ای داشته باشند. توسعه همکاری‌های بین‌نهادی، طراحی برنامه‌های آموزشی برای شهروندان و جذب حمایت بخش خصوصی از جمله اقداماتی هستند که می‌توانند مسیر اجرای موفق‌تر این فناوری را هموار سازند.

با وجود تلاش برای جامعیت، این تحقیق با محدودیت‌هایی نظیر محدود بودن جامعه آماری به کارشناسان منتخب شهرداری در چند استان خاص که ممکن است تعمیم نتایج را به سایر شهرها با چالش‌هایی همراه کند، مواجه بود. همچنین تحلیل‌ها بیشتر بر مبنای دیدگاه خبرگان بوده و بررسی‌های میدانی از رفتار شهروندان در مواجهه با سطل‌های هوشمند صورت نگرفته است.

کاربرد عملی نتایج این مطالعه برای مدیران شهری در زمینه برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های هوشمندسازی مدیریت پسماند، به‌ویژه نصب و بهره‌برداری از سطل‌های زباله هوشمند، بسیار حائز اهمیت است. شناسایی و اولویت‌بندی موانع پیش‌رو با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره، این امکان را فراهم می‌آورد تا مدیران بتوانند منابع و تلاش‌های خود را به‌صورت هدفمند، به رفع موانع حیاتی اختصاص دهند و از بروز مشکلات احتمالی در فرآیند پیاده‌سازی جلوگیری کنند. بطور خاص، تمرکز بر موانعی که بیشترین تاثیر منفی را بر موفقیت پروژه دارند، می‌تواند روند پذیرش فناوری‌های نوین را تسریع کند و موجب بهبود کیفیت خدمات شهری و افزایش رضایت شهروندان شود.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، پیشنهاد می‌شود مدیران شهری:

- برای غلبه بر موانع شناسایی شده، اقدام به تدوین برنامه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی جهت افزایش پذیرش فناوری‌های نوین توسط شهروندان و کارکنان مرتبط نمایند.
- زیرساخت‌های فنی و نرم‌افزاری موردنیاز برای پشتیبانی از سطل‌های هوشمند را بهبود داده و از به‌روزرسانی‌های مستمر بهره‌مند شوند.
- همکاری بین‌بخشی بین سازمان‌های مرتبط شهری و بخش خصوصی را تقویت کنند تا از حمایت و منابع لازم برخوردار باشند.

از سوی دیگر، تحقیقات آینده می‌توانند با توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر داده‌های واقعی عملیاتی و اضافه کردن شاخص‌های جدید مانند هزینه‌های نگهداری، رضایت کاربران و تاثیر زیست‌محیطی، دقت و کارایی شناسایی موانع را افزایش دهند. همچنین مطالعات میدانی گسترده‌تر در شهرهای مختلف و بررسی تفاوت‌های فرهنگی و ساختاری می‌تواند به تعمیم نتایج کمک کند و راهکارهای بومی‌سازی شده ارائه دهد.

- Abbasi, H., Shekari, M., and Salimi Mofard, M., 2019, intelligent management of trash cans through sensors of the Internet of Things, the first scientific research conference of mechanics, electricity, computer and engineering sciences, <https://civilica.com/doc/1044294>
- Abdel-Shafy, H., Mansour, M., "Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization", Egyptian Journal of Petroleum, 27(4): 1275–1290, (2018). <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- Abidin, A. R., Irawan, Y., & Devis, Y. (2022). Smart Trash Bin for Management of Garbage Problem in Society. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, 4(1), 202–208. <https://doi.org/10.37385/jaets.v4i1.1015> (In Persian)
- Abuga, D., Raghava, N.S., 2021. Real-time smart garbage bin mechanism for solid waste management in smart cities. *Sustainable Cities and Society* Vol: 75, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103347>
- Abugwa, A., & Regba, R. (2021). Real-time smart waste bin mechanism for solid waste management in smart cities. *Journal of Environmental Management Systems*, 56(3), 245–259. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103347>
- Alidoost, P., Karamati, M., Shariatmadari, N., Tawanamalshi, A., 2015, comparison of municipal solid waste management in Tehran and developed industrial countries according to the concept of sustainable development, 6th International Conference on Sustainable Development and Urban Development, Isfahan, <https://doi.org/civilica.com/doc/577507> (In Persian)
- Amoozadkhalili, H. (2023). Improve security monitoring knowledge management in IOT applications based on user behavior analysis. *Engineering Management and Soft Computing*, 9 (1). 123-139. DOI: <https://doi.org/10.22091/JEMSC.2022.7056.1154> (In Persian)
- A, OKUBANJO., B., Olufemi., A., Okandeji., E., Daniel., Smart, B., IoT: A Sustainable Future for Waste Management System in Nigeria Ayodeji OKUBANJO, et al./ *GUJ Sci*, 37(1): 222-235 (2024). <https://doi.org/10.35378/gujs.1254271>
- Bharadwaj, A.S.; Rego, R.; Chowdhury, A. IoT based solid waste management system: A conceptual approach with an architectural solution as a smart city application. In *Proceedings of the IEEE Annual India Conference, Bangalore, India*, 16–18 December 2016. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2016.7839147>
- Brinzel, R., Prakash, B., & Avinash, G. (2019). Smart Environmental Monitoring System. *International Journal of Green Computing*, 10 (1). pp 43-543. <https://doi.org/10.4018/IJGC.2019010103>
- Brkljacis, T., Majestic, F., & Tarabic, B.N. (2017). Smart Environment: Cyber Parks (connecting Nature and Technology). *Handbook of Research on Entrepreneurial Development and Innovation within Smart Cities*. Publisher: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9276-1.ch010>
- Chaudhari, M.S.; Patil, B.; Raut, V. IoT based Waste Collection Management System for Smart Cities: An Overview. In *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Computing Methodologies and Communication, Erode, India*, 27–29 March 2019. doi: [10.1109/ICCMC.2019.8819776](https://doi.org/10.1109/ICCMC.2019.8819776)
- Diene, B.; Rodrigues, J.J.P.C.; Diallo, O.; Ndoye, E.H.M.; Korotaev, V.V. Data Management Techniques for Internet of Things. *Mech. Syst. Signal Process.* 2020, 138, 106564. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106564>
- Dominic, A., N.S Raghava,. Real-time smart garbage bin mechanism for solid waste management in smart cities <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103347> Received 13 April 2021
- Duguma, Erasu, Tesfaye Feye, A, K., & Abel, B., (To cite this article: 2018) Municipal solid waste generation and disposal in Robe town, Ethiopia, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 68:12, 1391-1397, To link to this article: <https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1467351>
- E., Sciences., MATEC Web of Conferences 97, 01098 (2017) [mateconf/20179701098](https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701098) ETIC 2016 The Authors, published by. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 Smart Garbage Monitoring System for Waste Management. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701098>
- Fanudi, M., Mokhtari, A., Ebrahimi, M. R., and Jalali, S., Kimiaei, M. H., Taghizadeh, S. R., 2022, intelligent control system of waste bins using the Internet of Things, the 5th National Conference on New Technologies in Electrical Engineering and Computer, Isfahan, <https://doi.org/civilica.com/doc/1545480> (In Persian)
- Faridi Masouleh, M., & Others (2022). Improving Data Privacy in the Internet of Things by Using Artificial Immune System, in *Regard with the Internet Limitations*. *Engineering Management and Soft Computing*, 8 (1). 85-105. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2019.1297> (In Persian)
- Fidje, E., Haddara, M., Langseth, M., (2023). Sustainable Smart Waste Management Adoption Challenges in Developing Countries: *Procedia Computer Science* Volume 219, 2023, Pages 905-914 <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.366>
- Hamanpoursalmani, E., 2016, Smart city with smart waste management: introducing the smart technologies of trash cans, the third annual conference on architecture, urban planning and urban management research, Shiraz, <https://doi.org/civilica.com/doc/650995> (In Persian)
- Ho, J. H., Lee, K. S., & Park, C. (2021). Designing smart trash bins for future smart cities. *Smart City Innovation Studies*, 12(1), 77–93. DOI: [10.3390/app11114810](https://doi.org/10.3390/app11114810)

- Huh, J.-H.; Choi, J.-H.; Seo, K. Smart Trash Bin Model Design and Future for Smart City. *Appl. Sci.* 2021, 11, 4810. <https://doi.org/10.3390/app11114810>
- Karnalim, O., Widodo, E., & Prasetyo, D. (2020). Barriers in smart waste bin adoption: A socio-technical approach. *International Journal of Smart City Research*, 7(2), 115–127. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.118198
- Karnalim, O., Wongso, O., Elbert Budiman, V., Christian Jonathan, F., Alan Manuel, B., & Marlina, M. (2020). A Persuasive Technology for Managing Waste Disposal through Smart Trash Bin and Waste Disposal Tracker. *International Journal on Information and Communication Technology (IJoICT)*, 6(1), 41–51. <https://doi.org/10.21108/IJoICT.2020.61.117>
- Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intra-class correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*. 2016., 15(2):155-63. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02012>
- Kundariya, N., Sabyasachi Mohanty, S., Varjani, S., Hao Ngo, H., Wong, S., Kumar, J. W. C., Taherzadeh, M. J., Hyoun Kim, S., Thanh Bui, X., (2021). A review on integrated approaches for municipal solid waste for environmental and economical relevance: Monitoring tools, technologies, and strategic innovations: *Bioresource Technology Volume 342*, December 2021, 125982 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125982>
- Pardini, K.; Rodrigues, J.J.P.C.; Kozlov, S.A.; Kumar, N.; Furtado, V. IoT-Based Solid Waste Management Solutions: A Survey. *J. Sens. Actuator Netw.* 2019, 8, 5. <https://doi.org/10.3390/jsan8010005>
- Rena, Yadav, S., Patel, S., Killedar, D., Kumar, S., Kumar, R., (2020). Eco-innovations and sustainability in solid waste management: An indian upfront in technological, organizational, start-ups and financial framework: *Journal of Environmental Management Volume 302, Part A*, 15 January 2022, 113953 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113953>
- Rezaee, B.A. & Zahedi, M.H. (2023). Optimal metrics for evaluating reusability in web applications. *Engineering Management and Soft Computing*, 8 (1). 21-36. DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2018.2550.1062> (In Persian)
- Rezaee, H. Zahdi, M.H., (2023). Using relative reliability to extend the lifetime of wireless sensor networks (1). 123-139. DOI: <https://doi.org/2017.880jemsc10.22091/> (In Persian)
- Rezaei, j., Jing, w., Lori, T., (2015) Expert systems with applications 42(2015)9152-9164: Linking supplier development to supplier segmentation using Best Worst Method (In Persian)
- Reza, M., & Hassan, M. (2023). AI-Driven Solutions for Enhanced Waste Management and Recycling in Urban Areas. *International Journal of Sustainable Infrastructure for Cities and Societies*, 8(2), 1–13. Retrieved from. <https://vectorial.org/index.php/IJSICS/article/view/9> (In Persian)
- Rezaei Mofard, A., Amin Salehi, F., and Ghorbini, Z., Mahoud, M., 2019, investigating the effect of using smart garbage dumps in the successful implementation of waste management in the city of Tehran, the fourth international conference on modern researches in agricultural and environmental engineering. and natural resources, Karaj, <https://doi.org/civilica.com/doc/1122355> (In Persian)
- S. D., Satyamanikanta., M. Narayanan., SMART GARBAGE MONITORING SYSTEM USING SENSORS WITH RFID OVER INTERNET OF THINGS. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems* Vol. 9. Sp– 6 / 2017 JARDCS.
- Sharma, M., Joshi, S., Kannan, D., Govindan, K., Singh, R., Purohit, H.C., (2020). Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context: *Journal of Cleaner Production Volume 270*, 10 October 2020, 122047, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122047>
- Treiblmaier, H. Rejeb, A. Strebing, A. (2020). Block chain as a Driver for Smart City Development: Application Fields and a Comprehensive. *Smart cities*. 3 (3)- 853-872
- Yousefzadeh, S., Mohammadi, R., Nabili, M., 2022, investigation of the influencing factors on the level of people's participation in the project of separating waste from the source, the 8th annual research conference of Semnan University of Medical Sciences, Semnan, <https://doi.org/civilica.com/doc/1851045> (In Persian)
- Zhang, A. S., Venkatesh, V.G., Yang Liu, Ming Wan, Ting Qu., Huising, D., (2019). Barriers to smart waste management for a circular economy in China *Journal of Cleaner Production Volume 240*, 10 December 2019, 118198, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118198>