



Assessment of Urban Waste Policies and Disposal Practices and Their Impacts on Urban Ecosystem and Public Health

Shayesteh Ebrahimi Zaker^{1*} | Hamidreza Esmailinejad² | Negin Mirzaei³

1. Corresponding Author, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: ebrahimizaker.sh@ut.ac.ir

2. Department of mechanical and energy engineering, Shahid Beheshti university, A.C. Tehran, Iran. Email: h.esmaeilinejad@mail.sbu.ac.ir

3. School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: neginemirzaei@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 04 April 2025
Revised 05 May 2025
Accepted 05 June 2025
Published Online 11 September 2025

Keywords:
Municipal waste,
Waste disposal,
Waste management,
Environmental pollution,
Health risks.

ABSTRACT

Municipal solid waste management (MSWM) poses significant environmental challenges in large metropolitan areas such as Tehran. This study aims to systematically assess the environmental impacts of various waste treatment scenarios using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology and the SimaPro software. Four commonly implemented strategies-sanitary landfill, recycling, composting, and incineration-were evaluated based on midpoint indicators (global warming, acidification, human toxicity, particulate matter formation, and resource depletion) and endpoint indicators (damage to human health, ecosystems, and economic resources). The results indicate that landfill operations and related transportation activities exert the highest environmental burdens across all assessed impact categories. Conversely, recycling and anaerobic digestion emerged as more environmentally sustainable alternatives with significant potential to mitigate adverse impacts. The findings highlight the critical need to reform the current waste management system in Tehran through source separation, deployment of advanced waste processing technologies, and increased energy efficiency in waste transport. This research provides a robust scientific basis to inform strategic policymaking and enhance the environmental performance of urban waste management systems.

Cite this article: Ebrahimi Zaker, Sh; Esmailinejad, H. & Mirzaei, N. (2026). Assessment of Urban Waste Policies and Disposal Practices and Their Impacts on Urban Ecosystem and Public Health. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 407-422. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.520111.1038>



© Shayesteh Ebrahimi Zaker, Hamidreza Esmailinejad, Negin Mirzaei
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.520111.1038>

Introduction

The rapid urbanization and population growth in Tehran have significantly increased municipal solid waste (MSW) generation, intensifying the pressure on existing waste management infrastructure. Given the environmental consequences of conventional waste handling methods, particularly landfilling, this study aims to provide a comprehensive evaluation of the environmental impacts associated with different MSW management strategies using the Life Cycle Assessment (LCA) approach.

Materials and Methods

The study employs SimaPro software to conduct a cradle-to-grave LCA of four commonly practiced waste management scenarios in Tehran: sanitary landfill, recycling, composting, and incineration. The analysis is performed based on ReCiPe 2016 methodology, covering both midpoint indicators (global

warming potential, acidification, human toxicity, particulate matter formation, and resource depletion) and endpoint indicators (damage to human health, ecosystems, and economic resources). The functional unit is defined as the treatment of one ton of municipal solid waste.

Discussion and Conclusion

The findings reveal that landfilling, along with its associated transportation processes, exhibits the highest environmental burden across nearly all impact categories, particularly in terms of greenhouse gas emissions, acidification, and human health damage. In contrast, alternative methods such as recycling and anaerobic digestion demonstrate considerably lower environmental impacts, highlighting their potential for sustainable waste management. Transportation also emerged as a critical phase contributing significantly to total emissions, suggesting the need for route optimization and cleaner fuels.

The study underlines the urgent need to transition from landfill-centric systems to integrated waste management strategies that prioritize material recovery and energy efficiency. Enhancing source separation, investing in advanced treatment technologies, and incorporating renewable energy into waste operations can substantially mitigate environmental harm. The results serve as a scientific basis for policymakers in Tehran to design and implement sustainable MSWM frameworks aligned with global environmental standards and national development goals.



ارزیابی سیاست‌ها و شیوه‌های دفع پسماند شهری و تأثیرات آن بر اکوسیستم شهری و سلامت عمومی

شایسته ابراهیمی ذاکر^{۱*} | حمیدرضا اسمعیلی نژاد^۲ | نگین میرزایی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشکده انرژی و منابع پایدار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ebrahimizaker.s@ut.ac.ir
۲. گروه مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: h.esmaeilnejad@mail.sbu.ac.ir
۳. دانشکده انرژی و منابع پایدار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: neginemirzaei@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

پسماند شهری،

دفع زباله،

مدیریت پسماند،

آلودگی زیست‌محیطی،

خطرات بهداشتی.

مدیریت پسماند شهری، به‌ویژه در کلان‌شهرهایی مانند تهران، یکی از چالش‌های اساسی در حوزه پایداری زیست‌محیطی محسوب می‌شود. هدف این پژوهش، ارزیابی سیستماتیک اثرات زیست‌محیطی سناریوهای مختلف مدیریت پسماند با رویکرد ارزیابی چرخه حیات (LCA) و بهره‌گیری از نرم‌افزار تخصصی SimaPro است. در این راستا، چهار گزینه شامل دفن بهداشتی، بازیافت، کمپوست و سوزاندن پسماند، بر اساس شاخص‌های میانی نظیر گرمایش جهانی، اسیدی شدن، سمیت انسانی، تشکیل ذرات معلق، و کاهش منابع، و همچنین شاخص‌های نهایی شامل آسیب به سلامت انسان، اکوسیستم‌ها و منابع اقتصادی، مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصل، سناریوی دفن پسماند و مراحل مرتبط با حمل‌ونقل، بیشترین بار زیست‌محیطی را در تمامی شاخص‌ها ایجاد کرده‌اند. در مقابل، بازیافت و هضم بی‌هوازی به عنوان گزینه‌های کم‌اثرتر شناسایی شدند که می‌توانند به طور مؤثری در کاهش پیامدهای منفی زیست‌محیطی ایفای نقش کنند. تحلیل یافته‌ها نشان‌دهنده ضرورت اصلاح ساختار فعلی مدیریت پسماند در تهران از طریق بهینه‌سازی فرایندهای جمع‌آوری و تفکیک در مبدأ، توسعه فناوری‌های نوین پردازش پسماند و ارتقای بهره‌وری انرژی در حمل‌ونقل است. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری‌های راهبردی در جهت بهبود عملکرد زیست‌محیطی سیستم‌های مدیریت پسماند شهری مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: ابراهیمی ذاکر، شایسته؛ اسمعیلی نژاد، حمیدرضا و میرزایی، نگین (۱۴۰۴). ارزیابی سیاست‌ها و شیوه‌های دفع پسماند شهری و تأثیرات آن بر اکوسیستم شهری و سلامت عمومی. *سیاست‌گذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۴) ۴۰۷-۴۲۲.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.520111.1038>

© شایسته ابراهیمی ذاکر، حمیدرضا اسمعیلی نژاد، نگین میرزایی
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.520111.1038>



۱. مقدمه

مدیریت پسماند جامد شهری (MSW) یکی از چالش‌های بزرگ زیست‌محیطی و بهداشتی در جوامع مدرن است که با افزایش چشمگیر تولید پسماند در مناطق شهری، به یکی از دغدغه‌های اصلی دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی تبدیل شده است. رشد سریع جمعیت، شهرنشینی فزاینده و تغییرات در الگوهای مصرف، تولید پسماند را در بسیاری از کشورهای جهان افزایش داده است [۱ و ۲]. پسماندهای جامد شهری به‌ویژه با ترکیب پیچیده‌ای از مواد آلی، فلزات، پلاستیک‌ها و مواد شیمیایی خطرناک همراه هستند که در صورت عدم مدیریت صحیح، می‌توانند تأثیرات منفی زیادی بر محیط زیست و سلامت عمومی بگذارند [۳-۵]. از این‌رو، مدیریت مناسب پسماند به عنوان یکی از ابعاد کلیدی توسعه پایدار شهری در نظر گرفته می‌شود.

یکی از مشکلات اساسی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، کمبود زیرساخت‌های مناسب برای مدیریت پسماند است. دفن غیراصولی و مدیریت نادرست زباله‌ها به‌ویژه در شهرهای بزرگ، باعث آلودگی منابع آب، خاک و هوا می‌شود که این موضوع تهدیدی جدی برای سلامت انسان‌ها و اکوسیستم‌ها است [۶ و ۷]. از این‌رو، نیاز به شیوه‌های جدید و نوآورانه برای کاهش تولید پسماند و بهبود مدیریت آن در حال افزایش است. مطالعات مختلف نشان می‌دهند سیستم‌های مدیریت پسماند سنتی، به دلیل محدودیت‌ها و اثرات منفی زیست‌محیطی، باید با روش‌های پایدار و کارآمدتر جایگزین شوند [۸ و ۹].

در سال‌های اخیر، توجه به شیوه‌های پایدار و تکنولوژی‌های نوین برای مدیریت پسماند افزایش یافته است. از جمله این شیوه‌ها، می‌توان به بازیافت، کاهش مصرف، استفاده از منابع تجدیدپذیر برای تولید انرژی و تفکیک زباله‌ها در مبدأ اشاره کرد [۱۰ و ۱۱]. این تکنیک‌ها نه تنها به کاهش پسماندهای دفنی کمک می‌کنند، بلکه به کاهش مصرف منابع طبیعی و آلاینده‌ها نیز منجر می‌شوند. به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته، فرایندهایی مانند بازیافت مواد مختلف و تبدیل آن‌ها به منابع قابل استفاده مجدد، به بخش اصلی از استراتژی‌های مدیریت پسماند تبدیل شده‌اند [۱۲ و ۱۳].

توسعه پایدار شهری نیازمند پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت پسماند یکپارچه است که بتوانند از تولید زباله‌ها پیشگیری کنند و به طور مؤثر بازیافت و دفع زباله‌ها را انجام دهند. بسیاری از پژوهش‌ها بر این موضوع تأکید دارند که مدیریت پسماند باید از یک رویکرد سیستمی پیروی کند که در آن فرایندهای مختلف به طور هماهنگ عمل کنند تا اثربخشی بیشتری در کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی داشته باشد [۱۴]. در این زمینه، تکنیک‌های مدل‌سازی و ارزیابی زیست‌محیطی، از جمله ارزیابی چرخه حیات (LCA)، می‌توانند به شناسایی مؤثرترین شیوه‌ها برای مدیریت پسماند در سطح شهری کمک کنند [۱۵ و ۱۶].

به طور کلی، هدف از مدیریت پسماند، نه تنها حفظ سلامت عمومی و محیط زیست است، بلکه باید با استفاده از شیوه‌های پایدار، به کاهش تأثیرات منفی بر محیط زیست، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری نیز کمک کند. این اهداف با بهره‌گیری از رویکردهای نوین مانند بازیافت، مدیریت منابع تجدیدپذیر و استفاده از فناوری‌های پیشرفته در دفع پسماندها قابل دستیابی است [۱۶ و ۱۷].

۲. مبانی تحقیق

پژوهش‌های مختلف در زمینه ارزیابی و بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت پسماند در کشورهای مختلف انجام شده است. این مطالعات با استفاده از ارزیابی چرخه حیات، رویکردها و روش‌های متنوعی را برای تحلیل تمامی مراحل از تولید تا دفع نهایی پسماندها بررسی کرده و هدف آن‌ها، کاهش اثرات زیست‌محیطی مدیریت پسماندها و بهبود کارایی سیستم‌ها است.

مطالعات متمرکز بر تصفیه مکانیکی - بیولوژیکی (MBT)^۱ و سیستم‌های یکپارچه نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده‌اند. کوئلهو و لانگه [۸] ترکیب MBT با کمپوست و هضم بی‌هوازی را در برزیل ارزیابی کردند و مزایای بهینه زیست‌محیطی و اقتصادی این ادغام را نشان دادند. به طور مشابه، فرناندز - گونزالز و همکارانش [۱۷] ترکیب‌های MBT با دفن زباله، سوزاندن و هضم بی‌هوازی را در اسپانیا بررسی کردند و مزایای زیست‌محیطی استفاده از فناوری‌های تبدیل زباله به انرژی را برجسته کردند.

1. Municipal Solid Waste

2. Mechanical-Biological Treatment

لیو و همکارانش [۱۸] با استفاده از مدل EASETECH به مقایسه سیستم‌های یکپارچه پرداختند و دریافتند که ترکیبی از سوزاندن، هضم بی‌هوازی و بازیافت گاز محل دفن زباله بیشترین مزایای زیست‌محیطی را به همراه دارد. تحقیقات متمرکز بر هضم بی‌هوازی و تصفیه پسماند آلی به‌ویژه روش‌نگر بوده است. آنجلو و همکارانش [۱۹] سناریوهای مدیریت پسماند برزیل را بررسی کردند و نشان دادند افزایش جداسازی پسماند آلی برای هضم بی‌هوازی، اثرات زیست‌محیطی را کاهش داده و تولید انرژی تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد. یو و لی [۲۰] جداسازی متوسط پسماند آشپزخانه خانگی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پسماند آلی جدا شده از مبدأ به طور قابل توجهی وابستگی به محل دفن زباله را کاهش می‌دهد. یانگ و همکارانش [۲۱] تحلیل مقایسه‌ای انجام دادند که نشان می‌دهد هضم بی‌هوازی پایدارترین گزینه برای مدیریت پسماند غذایی خانگی است. مطالعات سوزاندن و بازیابی انرژی مزایای زیست‌محیطی قابل توجهی را نشان داده‌اند. جسوانی و آزاپاگیک [۲۲] سناریوهای سوزاندن و دفن زباله را با بازیابی انرژی در انگلستان مقایسه کردند و دریافتند که سوزاندن با تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP) مزایای زیست‌محیطی قابل توجهی ارائه می‌دهد. تاگلیافری و همکارانش [۲۳] پتانسیل سوزاندن و احتراق زیست‌توده را بررسی کردند و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مزایای اقتصادی از طریق بازیابی انرژی را برجسته کردند. ریگاموتی و همکارانش [۲۴] هزینه‌های چرخه عمر بازیابی انرژی از سوخت بازیافتی جامد در ایتالیا را تحلیل کردند و نشان دادند در مقایسه با دفن مستقیم، تأثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی کمتری دارد.

رویکردهای بازیابی منابع و اقتصاد چرخشی توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده‌اند. نگ و همکارانش [۲۵] بازیابی روی از پسماند شهری را بررسی کردند و نشان دادند علاوه بر مزایای اقتصادی اضافی، بارهای زیست‌محیطی را نیز کاهش می‌دهد. ژو و همکارانش [۲۶] مدل ارزیابی پایداری را با تأکید بر رویکردهای اقتصاد چرخشی توسعه دادند، در حالی که ژانگ و همکارانش [۲۷] استراتژی‌های پایدار را با تأکید بر اصول اقتصاد چرخشی بررسی کردند. براردوکو و همکاران [۲۸] سیستم‌های بازیافت تک‌جریانی و چندجریانی را مقایسه کردند و دریافتند که سیستم‌های چندجریانی نرخ بازیابی مواد را افزایش می‌دهند. چندین مطالعه بر ارزیابی و بهینه‌سازی جامع سیستم متمرکز شده‌اند. سارایوا و همکاران [۲۹] مدیریت پسماند در برزیل را با استفاده از روش ILCD ارزیابی کردند و دریافتند که افزایش نرخ‌های جداسازی پس از جمع‌آوری، پایداری سیستم را بهبود می‌بخشد. بیسینلا و همکارانش [۳۰] جمع‌آوری جداگانه، بازیافت، سوزاندن و هضم بی‌هوازی را در دانمارک ارزیابی کردند و نشان دادند نرخ‌های بالاتر بازیافت و بازیابی انرژی، اثرات زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند. فی و همکارانش [۳۱] سناریوهای مختلف را در چین تحلیل کردند و تعیین کردند که هضم بی‌هوازی و سوزاندن سوخت مشتق شده از زباله کمترین تأثیر زیست‌محیطی را دارد.

در نهایت، این تحقیقات نشان می‌دهند استفاده از روش‌های مختلف مانند هضم بی‌هوازی، سوزاندن با بازیابی انرژی و سیستم‌های یکپارچه می‌تواند به طور چشمگیری اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های مدیریت پسماند را کاهش دهد. در این مطالعه، به منظور ارزیابی جامع اثرات زیست‌محیطی سیستم مدیریت پسماند شهری، از روش ReCiPe استفاده خواهد شد که شامل تحلیل ۱۸ شاخص میانی (Midpoint) و ۳ شاخص نهایی (Endpoint) است. در سطح Midpoint، شاخص‌هایی مانند تغییرات اقلیمی، اسیدی شدن، سمیت انسانی، اوتریفیکاسیون آب شیرین و دریایی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه آب، تخلیه منابع معدنی، اکسیداسیون فتوشیمیایی، لایه ازن، تابش یونیزه‌کننده، سمیت آب شیرین و دریایی، سمیت خاک، تغییر کاربری زمین، و تشکیل ذرات معلق مورد بررسی قرار می‌گیرند. این شاخص‌های میانی سپس به سه شاخص نهایی شامل سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و کمیابی منابع جمع می‌شوند تا تصویری جامع از اثرات زیست‌محیطی سیستم ارائه دهند. این تحلیل با استفاده از نرم‌افزار SimaPro انجام خواهد شد که امکان محاسبه دقیق این شاخص‌ها را فراهم می‌کند.

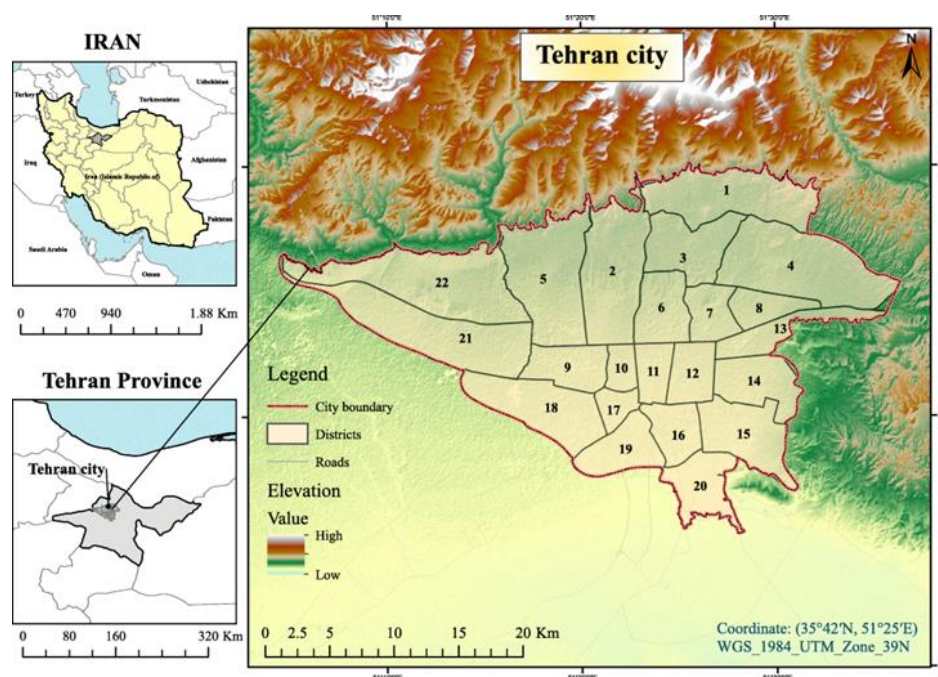
۳. روش کار

این مقاله به بررسی ارزیابی چرخه حیات^۱ فرایندهای مدیریت پسماند می‌پردازد. در این مطالعه، از نرم‌افزار SimaPro برای

تحلیل اثرات زیست‌محیطی، مصرف انرژی و ارزیابی پایداری روش‌های مختلف مدیریت پسماند استفاده شده است. هدف این پژوهش، ارائه تحلیلی جامع از کارایی و عملکرد زیست‌محیطی این فرایندها به منظور شناسایی و انتخاب بهینه‌ترین روش برای مدیریت پسماند است.

۳-۱. مورد مطالعاتی

شهر تهران، پایتخت ایران، با جمعیتی حدود ۹ میلیون نفر و مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است [۳۲ و ۳۳]. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، این شهر به ۲۲ منطقه شهرداری تقسیم شده است که بزرگ‌ترین منطقه آن مساحتی برابر با ۱۳۹ کیلومتر مربع و کوچک‌ترین منطقه ۸/۰۷ کیلومتر مربع وسعت دارد [۳۴].



شکل ۱. نقشه شهر تهران و تقسیم‌بندی مناطق ۲۲گانه به همراه موقعیت استان تهران در نقشه ایران [۳۵]

مدیریت پسماند شهری در تهران به صورت ترکیبی انجام می‌شود و شامل مراکز تفکیک، بازیافت پسماند و دفن زباله است [۳۲]. طبق آمارهای اخیر، روزانه حدود ۷ هزار تن زباله شهری (MSW) در تهران تولید می‌شود. این زباله‌ها به مرکز پردازش و دفع زباله آرادکوه، واقع در جنوب شرقی تهران، منتقل می‌شوند. این مرکز زباله‌های مخلوط را از منابع مختلف شامل خانگی، سازمانی، تجاری و صنایع کوچک دریافت می‌کند. همچنین، حدود ۵۰۰ متر مکعب شیرابه روزانه در بخش‌های مختلف این مرکز تولید شده و به سیستم مدیریت شیرابه هدایت می‌شود [۳۳]. در این مطالعه فاصله آرادکوه تا محل تولید پسماند در شهر تهران به طور میانگین ۴۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

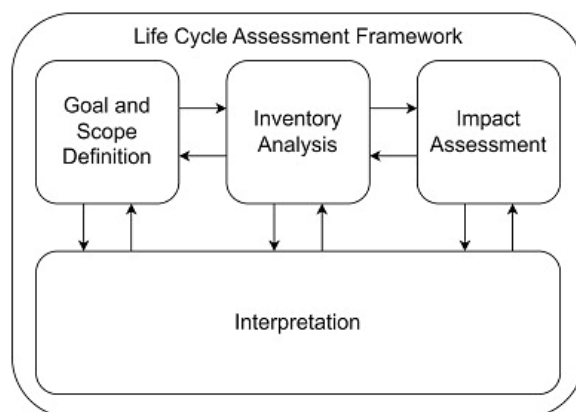
۳-۲. ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات روشی جامع برای بررسی اثرات زیست‌محیطی محصولات یا خدمات طی چرخه عمر آنها است. این فرایند با توجه به شکل ۲، از چهار مرحله تشکیل شده است که اولین مرحله تعریف هدف و محدوده^۱ بوده و در آن اهداف مطالعه، واحد عملکردی و مرزهای سیستم به طور دقیق مشخص می‌شوند. این مرحله، چارچوبی روشن و هدفمند فراهم می‌سازد تا بتوان به مسائل کلیدی مانند مقایسه گزینه‌های مختلف یا شناسایی ضعف‌ها برای بهبود پرداخته شود. تعیین دقیق این عناصر، اساس تولید نتایجی است که از نظر علمی معتبر و برای تصمیم‌گیری‌های پایداری کاربردی باشند [۳۶].

در مرحله دوم، که به تجزیه و تحلیل سیاهه^۱ اختصاص دارد، داده‌های جامع و دقیق مورد نیاز برای ارزیابی چرخه حیات گردآوری می‌شود. این داده‌ها شامل اطلاعات مربوط به انتشار آلاینده‌ها به هوا، آب و خاک، میزان مصرف منابع تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر، و انرژی مصرفی در تمامی مراحل چرخه عمر محصول یا خدمات است. هدف این مرحله، شناسایی بخش‌هایی از چرخه عمر است که بیشترین سهم را در اثرات زیست‌محیطی دارند [۳۶].

در مرحله ارزیابی اثرات زیست‌محیطی^۲، داده‌های جمع‌آوری شده در مرحله فهرست چرخه عمر به دسته‌بندی‌های معنادار از اثرات زیست‌محیطی ترجمه می‌شوند. در این مرحله، آلاینده‌ها و منابع مصرفی بر اساس تأثیر آن‌ها در زمینه‌های مختلف زیست‌محیطی، مانند تغییرات اقلیمی، تخریب لایه ازن، یا آسیب به سلامت انسان و اکوسیستم‌ها، تحلیل و دسته‌بندی می‌شوند. این مرحله نه تنها به درک بهتر سهم هر مرحله از چرخه عمر در ایجاد اثرات زیست‌محیطی کمک می‌کند، بلکه چارچوبی علمی برای اولویت‌بندی اقدامات کاهش اثرات فراهم می‌آورد. این مرحله با ارائه اطلاعات دقیق و مرتبط، امکان اتخاذ تصمیمات آگاهانه را برای بهبود پایداری و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی تسهیل می‌کند [۳۶].

در نهایت، مرحله تفسیر^۳ نتایج شامل جمع‌بندی یافته‌ها، شناسایی فرصت‌های بهبود و بررسی صحت و دقت نتایج است. در این مرحله، تحلیل حساسیت انجام می‌شود تا تأثیر تغییرات احتمالی در داده‌ها بر نتایج بررسی شود و راهکارهایی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی ارائه شود. نتایج حاصل از LCA دیدگاهی جامع و شفاف به سیاست‌گذاران، صنایع و مصرف‌کنندگان ارائه می‌دهد و به تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر پایداری کمک می‌کند. این روش، علاوه بر تقویت مدیریت زیست‌محیطی، طراحی پایدار و سیاست‌گذاری‌های هوشمندانه را نیز ترویج می‌کند و به ایجاد تعادل میان توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط زیست کمک شایانی می‌کند [۳۶].



شکل ۲. چارچوب جامع ارزیابی چرخه حیات [۳۷]

۳-۲-۱. SimaPro

SimaPro ابزاری پیشرفته است که به تصمیم‌گیری آگاهانه و پایدار در زمینه استفاده از محصولات و تأثیرات زیست‌محیطی آن‌ها کمک می‌کند. این نرم‌افزار به شرکت‌ها، پژوهشگران و کارشناسان محیط زیست امکان می‌دهد تا چرخه کامل حیات یک محصول را از استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی آن به دقت بررسی کنند. این نرم‌افزار با ارائه تحلیلی جامع از تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی در هر مرحله، نقش مهمی در ارزیابی‌های پایداری ایفا می‌کند [۳۸].

کاربران SimaPro از طریق این ابزار به اطلاعات دقیق در زمینه مصرف منابع، انتشار آلاینده‌ها و تولید پسماند دسترسی پیدا می‌کنند و می‌توانند داده‌های پیچیده را به استراتژی‌های قابل اجرا تبدیل کنند. چه هدف طراحی مجدد محصولات برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی باشد و چه بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین برای پایداری بیشتر، بینش‌های مبتنی بر داده SimaPro از

1. Life Cycle Inventory Analysis
2. Impact Assessment
3. Interpretation

تصمیم‌گیری‌های آگاهانه که تغییرات مثبت و معناداری ایجاد می‌کند، پشتیبانی می‌کند. علاوه بر این، SimaPro با ادغام با پایگاه‌های داده جهانی، دسترسی به اطلاعات قابل اعتماد و به‌روز را تضمین می‌کند تا تصمیم‌گیری‌ها بر اساس جدیدترین دانش انجام شوند [۳۸].

۳-۲-۲. تعریف هدف و محدوده

این ارزیابی چرخه عمر (LCA) به طور دقیق به بررسی اثرات مثبت و منفی فرایندهای مختلف مدیریت پسماند شهری طی یک سال می‌پردازد. تحقیق اصلی بر مدیریت پسماند در مقیاس شهری با تمرکز بر جمع‌آوری، حمل‌ونقل، دفع و بازیافت پسماند و همچنین تولید انرژی از آن، به‌ویژه با در نظر گرفتن هزینه‌های محیطی و مصرف منابع، متمرکز است. این رویکرد نگاهی جامع به پایداری دارد و با بررسی این فرایندها و پتانسیل آن‌ها برای بهینه‌سازی، هدف کاهش اثرات زیست‌محیطی را دنبال می‌کند و در عین حال از تأمین یک سیستم قابل اعتماد و مؤثر برای مدیریت پسماند شهری اطمینان حاصل می‌کند. این تحلیل به عنوان یک مطالعه دروازه تا گور در نظر گرفته شده است که از مرحله جمع‌آوری پسماند، از طریق حمل‌ونقل و دفع تا فرایندهای مختلف دفع نهایی شامل دفن زباله، سوزاندن، بازیافت و کمپوست را شامل می‌شود. واحد عملکرد به صورت حجم پسماند تولیدی که به روش‌های مختلف مدیریت و دفع پسماند پرداخته شده باشد، تعریف می‌شود. واحد عملکرد در این ارزیابی برای مقایسه اثرات زیست‌محیطی، تولید یک تن پسماند شهری در نظر گرفته شده است.

۳-۲-۳. تحلیل سیاهه چرخه عمر

در این تحقیق، اطلاعات مربوط به ترکیب زباله‌های شهری مربوط به شهر تهران جمع‌آوری شده است. پسماندها به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که هر یک ویژگی‌ها و چالش‌های خاص خود را دارند. این پسماندها عمدتاً به پنج دسته اصلی شامل فلزات، پلاستیک، کاغذ و مقوا، شیشه و مواد فاسدشدنی و غیره تقسیم می‌شوند. در جدول ۱، درصد ترکیب و وزن کل هر نوع پسماند در مجموعه کل پسماندهای تولیدی آورده شده است. این داده‌ها به مدیران کمک می‌کند تا دیدگاه جامع‌تری نسبت به نوع و میزان پسماندهای تولیدی داشته باشند و تصمیم‌گیری‌های بهتری در راستای مدیریت آن‌ها اتخاذ کنند.

جدول ۱. ترکیب فیزیکی زباله‌های تولیدی در کلان‌شهر تهران در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰

مواد تشکیل‌دهنده	زباله (تن)	زباله (درصد)
فلزات	۴۴۹۴۶۸,۲۵	۴,۳
پلاستیک	۷۵,۱۹۷۵۵۶۹	۲۹
کاغذ و مقوا	۷۵,۸۴۶۶۷۲	۱۶
شیشه	۷۵,۳۸۶۷۵۱	۱۸
مواد فاسدشدنی و سایر مواد	۵,۶۷۹۴۲۸۷	۲۳
جمع کل	۱۰۴۵۲۷۵۰	۱۰۰

با توجه به ترکیب این پسماندها، هر یک از آن‌ها به روش‌های خاصی برای پردازش نیاز دارند. در مجتمع آرادکوه، چهار روش اصلی پردازش پسماندها شامل دفن، کمپوست، سوزاندن و بازیافت مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول ۲، سهم هر یک از این روش‌ها در پردازش پسماندها به تفکیک ارائه شده است. این اطلاعات نشان‌دهنده میزان کاربرد هر روش در پردازش پسماندها است و به طور خاص مشخص می‌کند که بخش عمده‌ای از پسماندها به روش دفن در محل‌های دفن زباله پرداخته می‌شود، در حالی که مقادیر کمتری از پسماندها به کمپوست، سوزاندن و بازیافت اختصاص می‌یابد. انتخاب هر یک از این روش‌ها بستگی به ویژگی‌های پسماند، شرایط محیطی و منابع در دسترس دارد.

جدول ۲. درصد پردازش انواع پسماند در مجتمع آرادکوه [۳۹-۴۱]

نوع پردازش	درصد پسماندهای پردازش شده در آرادکوه
دفن	۸۲٫۸
کمپوست	۱۰٫۵
سوزاندن	۰٫۷
بازیافت	۶

بیشترین حجم پسماندها در مجتمع آرادکوه به روش دفن اختصاص می‌یابد که این امر به دلیل هزینه‌های پایین‌تر و سهولت اجرایی آن است. با این حال، دفن زباله‌ها چالش‌های زیست‌محیطی متعددی از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، آلودگی خاک، و انتشار گازهای گلخانه‌ای به همراه دارد. در مقابل، روش‌های بازیافت و کمپوست به عنوان گزینه‌های سازگارتر با محیط زیست، علی‌رغم سهم کمتر، دارای پتانسیل قابل توجهی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقای پایداری هستند. تحلیل موجودی چرخه عمر این امکان را فراهم می‌آورد که اثرات زیست‌محیطی هر روش پردازش پسماند به طور دقیق مورد ارزیابی قرار گیرد. این تحلیل، علاوه بر شناسایی چالش‌ها، می‌تواند راهکارهایی برای بهبود کارایی سیستم‌های مدیریت پسماند ارائه دهد. به طور خاص، استفاده از این ابزار تحلیلی می‌تواند به اتخاذ سیاست‌های هوشمندانه‌تر در جهت کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، بهینه‌سازی فرایندهای مدیریت پسماند، و حرکت به سوی سیستم‌های پایدارتر کمک کند.

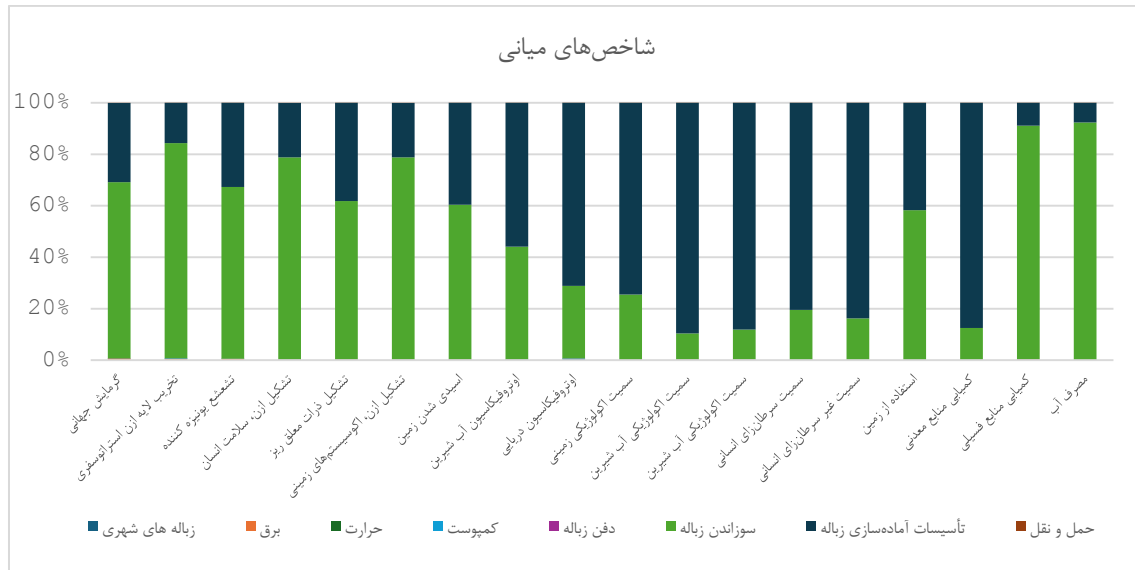
۴. نتایج

در ارزیابی چرخه عمر، تأثیرات زیست‌محیطی فرایندهای مختلف در دو سطح میانی و نهایی بررسی می‌شود. در سطح میانی، تأثیرات مرتبط با بخش‌های مختلف سیستم شامل تولید برق، مدیریت پسماند، حمل‌ونقل و سایر فرایندهای مرتبط مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این بخش، تأثیرات زیست‌محیطی از طریق شاخص‌هایی نظیر گرمایش جهانی، سمیت اکولوژیکی، تخریب لایه ازن، تشکیل ازن، فقدان منابع معدنی و فسیلی و مصرف آب بررسی می‌شود. در ادامه، در سطح نهایی، تأثیرات زیست‌محیطی بر سلامت انسان، اکوسیستم‌ها و منابع با استفاده از شاخص‌های خاصی ارزیابی می‌شود. این دو سطح ارزیابی، به طور جامع، نشان‌دهنده آثار گسترده‌ای از فعالیت‌های مختلف بر محیط زیست هستند که نیاز به اقدامات اصلاحی در زمینه بهینه‌سازی فرایندها و استفاده از منابع پایدار را نمایان می‌سازد.

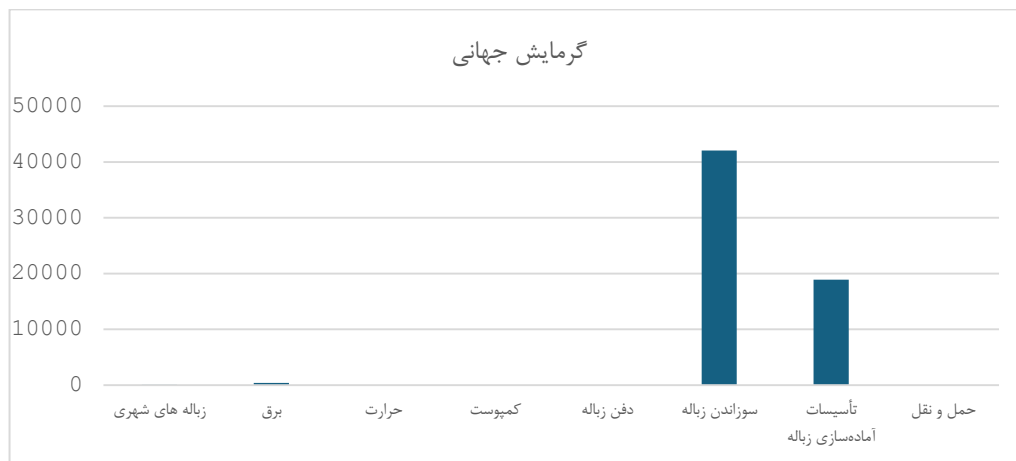
۴-۱. شاخص‌های میانی

در این تحلیل، به بررسی اثرات مختلف زیست‌محیطی بر اساس شاخص‌های مختلف پرداخته شده است. این شاخص‌ها شامل گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن، تشعشعات یونیزه‌کننده، تشکیل ازن و ذرات معلق، اسیدی شدن زمین، کمیابی منابع معدنی و فسیلی، مصرف آب و زمین و همچنین سمیت‌های مختلف اکولوژیکی هستند که همه آن‌ها بر اساس فرایندهای مختلف صنعتی نظیر آماده‌سازی زباله‌ها، حمل‌ونقل و تولید انرژی تأثیرگذار هستند. در این بخش، نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل چرخه عمر در شکل ۳ ارائه شده است.

یکی از شاخص‌های مهم در این تحلیل، گرمایش جهانی است که با واحد کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید اندازه‌گیری می‌شود. این شاخص نشان‌دهنده میزان انتشار دی‌اکسید کربن معادل در فرایندهای مختلف است که موجب تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین می‌شود. مطابق شکل ۴، تأسیسات آماده‌سازی زباله دارای بیشترین سهم در تولید گازهای گلخانه‌ای هستند و پس از آن، فرایندهایی همچون سوزاندن و دفن زباله‌ها بیشترین انتشار را به همراه دارند. به طور مشخص، تأسیسات آماده‌سازی زباله ۴۲۰۵۸/۵۹ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید تولید می‌کند که بخش عمده‌ای از این آلودگی‌ها ناشی از سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های مورد استفاده در این فرایندها است. این امر نشان می‌دهد به منظور کاهش اثرات گرمایش جهانی، باید به دنبال کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در این فرایندها باشیم.



شکل ۳. نمودار نتایج شاخص‌های تأثیرات زیست‌محیطی در سطح میانی برای فرایندهای مختلف



شکل ۴. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای هر بخش در مدیریت پسماند

در کنار گرمایش جهانی، تشکیل ازن به‌ویژه از طریق اکسیدهای نیتروژن (NO_x) نیز یک شاخص مهم زیست‌محیطی است که تأثیر زیادی بر سلامت انسان‌ها دارد. انتشار اکسیدهای نیتروژن از تأسیسات مختلف می‌تواند به تشکیل ازن سطحی و کاهش کیفیت هوا منجر شود. در این زمینه، حمل‌ونقل و تأسیسات آماده‌سازی زباله بیشترین تأثیر را دارند. برای مثال، تأسیسات آماده‌سازی زباله تولید $232/39$ کیلوگرم معادل اکسیدهای نیتروژن می‌کنند. ازن سطحی به‌ویژه برای افراد مبتلا به بیماری‌های تنفسی و قلبی - عروقی خطرناک است و می‌تواند به افزایش مرگ‌ومیر و بیماری‌ها منجر شود. بنابراین، کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن و استفاده از فناوری‌های پاک‌تر در حمل‌ونقل و فرایندهای صنعتی برای بهبود کیفیت هوا ضروری است.

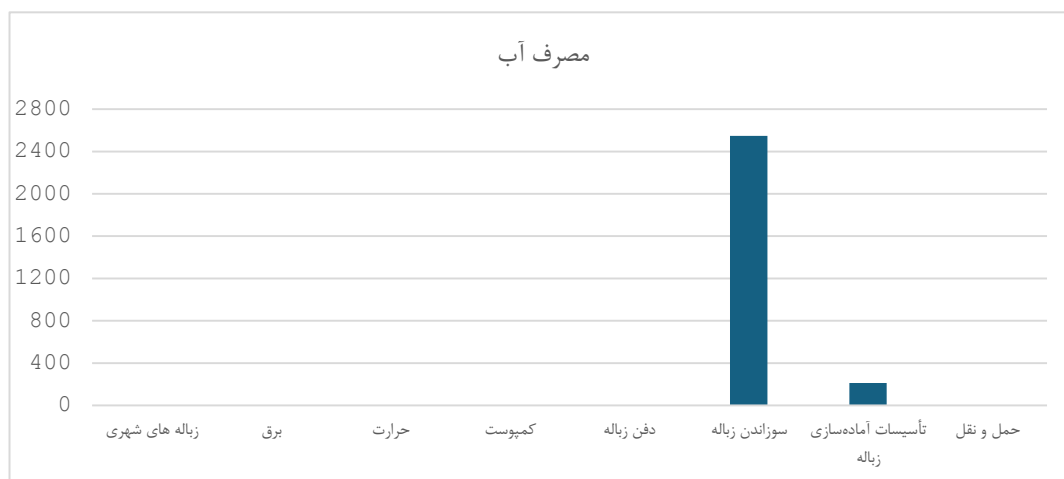
از دیگر شاخص‌های مهم در این تحلیل، تشکیل ذرات معلق ریز ($\text{PM}_{2.5}$) است که به‌ویژه از منابع صنعتی، از جمله سوزاندن زباله‌ها و حمل‌ونقل ناشی می‌شود. این ذرات می‌توانند به‌راحتی وارد ریه‌ها شوند و مشکلات تنفسی جدی به‌ویژه در میان افراد مسن و کودکان ایجاد کنند. تأسیسات آماده‌سازی زباله در مجموع تولید $93/01$ کیلوگرم معادل $\text{PM}_{2.5}$ می‌کنند که این مقدار برای سلامت عمومی خطرناک است. به منظور کاهش این اثرات منفی، باید به دنبال روش‌های پاک‌تر برای مدیریت زباله‌ها و کاهش آلاینده‌های معلق در هوا باشیم.

اسیدی شدن زمین که عمدتاً ناشی از انتشار سولفور دی‌اکسید در فرایندهای صنعتی است، یکی دیگر از اثرات زیست‌محیطی مهم است. این ترکیب می‌تواند خاک‌ها و منابع آبی را آلوده کند و بر کشاورزی و اکوسیستم‌های طبیعی تأثیر منفی بگذارد. در

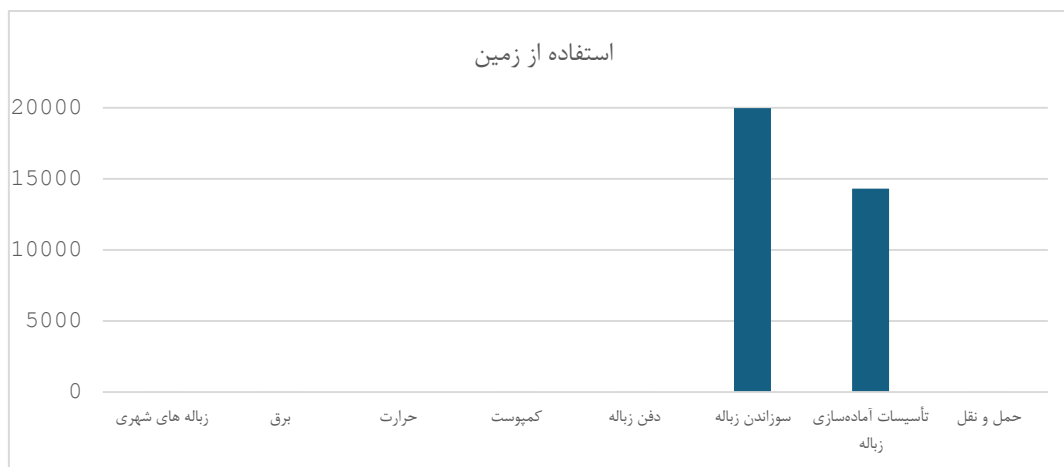
این تحلیل، تأسیسات آماده‌سازی زباله در مجموع ۲۳۱/۶۵ کیلوگرم معادل سولفور دی‌اکسید تولید می‌کنند که این مقدار نشان‌دهنده فشار زیادی روی محیط زیست و منابع طبیعی است. کاهش انتشار سولفور دی‌اکسید از طریق استفاده از سوخت‌های پاک‌تر و بهینه‌سازی فرایندها می‌تواند به کاهش اسیدی شدن زمین و بهبود شرایط محیط زیست کمک کند.

در بخش دیگری از تحلیل، کمیابی منابع معدنی و فسیلی نیز بررسی شده است. برای مثال، کمیابی مس و نفت به طور قابل توجهی تحت تأثیر فرایندهای صنعتی قرار دارد. فرایندهایی مانند حمل‌ونقل و آماده‌سازی زباله‌ها نیازمند مصرف زیادی از این منابع هستند. به‌ویژه، در تأسیسات آماده‌سازی زباله، ۴۲۶۰۱/۳۹۷ کیلوگرم معادل نفت مصرف می‌شود که تأثیرات طولانی‌مدتی روی منابع فسیلی و تغییرات اقلیمی خواهد داشت. برای کاهش این تأثیرات، استفاده از منابع تجدیدپذیر و توسعه فناوری‌های پایدار در فرایندهای صنعتی لازم است.

مصرف آب (شکل ۵) و استفاده از زمین (شکل ۶) نیز دو عامل مهم دیگر در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی هستند. مصرف زیاد آب در فرایندهای صنعتی مانند آماده‌سازی زباله‌ها، که به طور میانگین ۲۵۴۷/۹۹ مترمکعب آب را مصرف می‌کنند، می‌تواند منابع آبی را به شدت تحت فشار قرار دهد. همچنین، استفاده از زمین به میزان ۱۹۹۷۳/۹۱ معادل متر مربع زمین کشاورزی نیز نشان‌دهنده تأثیر زیاد این فرایندها بر منابع طبیعی است. بهینه‌سازی مصرف آب و زمین از طریق استفاده مؤثرتر از این منابع و استفاده از فناوری‌های نوین برای کاهش مصرف آن‌ها می‌تواند به حفظ منابع طبیعی کمک کند.



شکل ۵. سهم هر فرآیند مدیریت پسماند در مصرف آب

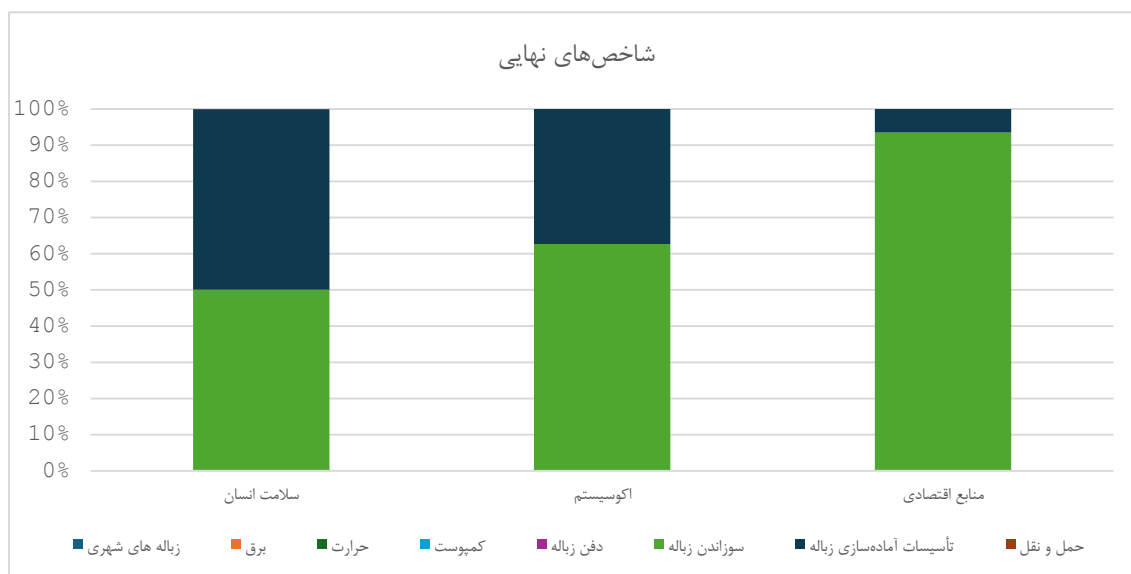


شکل ۶. سهم هر فرآیند مدیریت پسماند در استفاده از زمین

در نهایت، به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی این فرایندها، باید به بهینه‌سازی مصرف منابع و استفاده از فناوری‌های پاک و تجدیدپذیر توجه ویژه‌ای داشت. این کار نه تنها به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و سلامت عمومی نیز منجر شود.

۴-۲. شاخص‌های نهایی

نتایج نهایی نشان‌دهنده تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف بر شاخص‌های سلامت انسان، اکوسیستم‌ها و منابع است که در شکل ۷ می‌توان سهم هر بخش در هریک از این تأثیرات محیط زیستی را مشاهده کرد.



شکل ۷. نمودار نتایج ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی در سطح نهایی برای فرایندهای مختلف

در بخش سلامت انسان، شاخص DALY^۱ معادل ۰/۲۴ سال است. از این مقدار، بیشترین سهم به زباله‌های شهری ۰/۱۲ سال و حمل‌ونقل ۰/۱۲ سال اختصاص دارد. این موضوع نشان‌دهنده آن است که این دو فعالیت بیشترین تأثیر منفی را بر سلامت انسان دارند. زباله‌های شهری و حمل‌ونقل به طور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق آلودگی هوا، انتشار گازهای آلاینده و اثرات زیست‌محیطی که موجب مشکلات تنفسی، قلبی و بیماری‌های دیگر می‌شوند، به سلامت انسان آسیب می‌زنند. سایر فعالیت‌ها مانند برق، حرارت و کمپوست تأثیرات به مراتب کمتری دارند، که این می‌تواند نشان‌دهنده اثرات مثبت یا کمتر آلاینده‌ای این بخش‌ها در مقایسه با زباله‌ها و حمل‌ونقل باشد.

در شاخص اکوسیستم‌ها، میزان اثر معادل ۰/۰۰۰۶۸ گونه در سال است. در این بخش، بیشترین تأثیرات منفی به زباله‌های شهری و حمل‌ونقل مربوط می‌شود که به ترتیب مقادیر ۰/۰۰۰۴۳ و ۰/۰۰۰۲۶ گونه در سال را به خود اختصاص داده‌اند که نشان می‌دهد این دو بخش بیشترین آسیب را به تنوع زیستی وارد می‌کنند. دفن زباله، سوزاندن زباله و سایر فعالیت‌ها به دلیل تأثیرات محدودتر در تغییرات زیست‌محیطی و اکوسیستم‌ها، اثرات کمتری دارند. به‌ویژه فعالیت‌هایی که موجب تخریب زیستگاه‌ها و آلودگی خاک و آب می‌شوند، از جمله دفن زباله، می‌توانند به طور مستقیم بر اکوسیستم‌ها تأثیر منفی بگذارند. این بخش نیازمند توجه بیشتر در راستای کاهش اثرات منفی و اجرای برنامه‌های بازیابی و مدیریت صحیح زباله‌ها است.

در بخش منابع اقتصادی، که تأثیرات زیست‌محیطی به صورت هزینه‌های اقتصادی سنجیده می‌شود، نتیجه کلی برابر با ۱۹۸۲۱/۶۹۵ دلار است. بخش زباله‌های شهری بیشترین سهم را در هزینه‌های منابع با ۳/۵۷۶ دلار دارد که نشان می‌دهد مدیریت نادرست زباله‌ها و هزینه‌های ناشی از بازیافت، دفن و سوزاندن آن‌ها تأثیر زیادی بر هزینه‌های اقتصادی دارد. حمل‌ونقل

۱. سال معادل از دست‌رفته عمر

نیز با ۱۲۸۲/۹۵ دلار سهم عمده‌ای از هزینه‌ها را به خود اختصاص داده است، که نشان‌دهنده هزینه‌های بالای انرژی، سوخت و زیرساخت‌های مربوط به حمل و نقل است. سایر بخش‌ها مانند برق، کمپوست و دفن زباله اثرات اقتصادی کمتری دارند، اما این مقادیر نشان می‌دهند بخش‌های انرژی و مدیریت زباله همچنان تأثیرات اقتصادی زیادی دارند.

تحلیل کلی نشان می‌دهد زباله‌های شهری و حمل‌ونقل بیشترین تأثیرات منفی را در سه شاخص زیست‌محیطی، سلامت انسان و منابع دارند. این دو بخش نه تنها اثرات مستقیمی بر آلودگی هوا و سلامت انسان دارند، بلکه تأثیرات آن‌ها بر اکوسیستم‌ها و منابع اقتصادی نیز قابل توجه است. بنابراین، باید تمرکز ویژه‌ای روی کاهش آلودگی ناشی از این دو بخش در سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریتی زیست‌محیطی انجام شود. در مقابل، سایر بخش‌ها مانند برق، کمپوست و سوزاندن زباله، تأثیرات کمتری دارند و می‌توان با بهبود مدیریت این بخش‌ها، اثرات منفی آن‌ها را کاهش داد. این تحلیل می‌تواند به عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای کاهش اثرات منفی فعالیت‌های مختلف بر محیط‌زیست و سلامت انسان استفاده شود.

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش ارزیابی چرخه حیات و به‌کارگیری نرم‌افزار SimaPro، تصویری دقیق و داده‌محور از اثرات زیست‌محیطی فرایندهای مختلف مدیریت پسماند شهری در تهران ارائه می‌دهد. نتایج نشان دادند فرایند دفن پسماند، هم در شاخص‌های میانی مانند گرمایش جهانی، اسیدی شدن، سمیت انسانی، و هم در شاخص‌های نهایی مانند آسیب به سلامت انسان و اکوسیستم، سهم چشمگیری در ایجاد پیامدهای منفی زیست‌محیطی دارد. از سوی دیگر، بازیافت، کمپوست، و به‌ویژه فرایند هضم بی‌هوازی، به عنوان گزینه‌هایی پایدارتر شناخته شدند که می‌توانند در کاهش بار زیست‌محیطی نقش مؤثری ایفا کنند. یافته‌های این مطالعه همچنین نشان می‌دهند بخش قابل توجهی از اثرات زیست‌محیطی به مرحله حمل‌ونقل پسماند مرتبط است، که این مسئله لزوم بهینه‌سازی مسیرها، استفاده از وسایل نقلیه کم‌مصرف‌تر و بررسی امکان استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر را مطرح می‌سازد. علاوه بر این، طراحی سیستم‌های تفکیک در مبدأ، آموزش عمومی برای افزایش مشارکت شهروندان، و ارتقای فناوری‌های پردازش پسماند، از جمله رویکردهایی هستند که می‌توانند به کاهش چشمگیر در بار زیست‌محیطی سیستم مدیریت پسماند منجر شوند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که بازنگری در ساختار موجود مدیریت پسماند، با رویکردی سیستماتیک، تلفیق فناوری‌های نوین، و بهره‌گیری از نتایج تحلیل ارزیابی چرخه حیات می‌تواند زمینه‌ساز برنامه‌ریزی جامع‌تر، سیاست‌گذاری واقع‌گرایانه‌تر و دستیابی به توسعه پایدار در حوزه پسماند شهری باشد. این پژوهش نه تنها مبنایی علمی برای اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه در سطوح محلی و ملی فراهم می‌آورد، بلکه به عنوان یک مدل قابل تعمیم، قابلیت کاربرد در سایر کلان‌شهرهای کشور و حتی منطقه را نیز دارد.

منابع

1. M. Ghanbarzadeh Lak, M. Ghaffariraad, and H. Jahangirzadeh Soureh, "Characteristics and Impacts of Municipal Solid Waste (MSW)," in *Technical Landfills and Waste Management: Volume 1: Landfill Impacts, Characterization and Valorisation*: Springer, 2024 ,pp. 31-92.
2. T. Karak, R. Bhagat, and P. Bhattacharyya, "Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 42, no. 15, pp. 1509-1630, 2012.
3. B. Ridgway "Environmental management system provides tools for delivering on environmental impact assessment commitments," *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 23, no. 4, pp. 325-331, 2005.
4. H. Wang and Y. Nie, "Remedial strategies for municipal solid waste management in China," *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 51, no. 2, pp. 264-272, 2001.
5. H. Salaripoor, H. Yousefi, and M. Abdoos, "Life cycle environmental assessment of Refuse-Derived Fuel (RDF) as an alternative to fossil fuels in cement production: A sustainable approach for mitigating carbon emissions," *Fuel Communications*, vol. 22, p. 100135, 2025.
6. Y. Zhao, T. H. Christensen, W. Lu, H. Wu, and H. Wang, "Environmental impact assessment of solid waste management in Beijing City, China," *Waste management*, vol. 31, no. 4, pp. 793-799, 2011.
7. T. E. Butt, E. Lockley, and K. O. Oduyemi, "Risk assessment of landfill disposal sites–State of the art," *Waste Management*, vol. 28, no. 6, pp. 952-964, 2008.
8. L. M. G. Coelho and L. C. Lange, "Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 128, pp. 438-450, 2018.
9. M. Abdoos, A. Hajinezhad, H. Yousefi, and R. Fattahi "Technical, economic, and environmental evaluation and optimization of wastewater, food, and energy usage-A case study of the veramin plain," *Results in Engineering*, vol. 26, p. 104845, 2025.
10. W. L. Baschera and I. S. Hahn, "Can sustainable urban planning determine people's happiness and well-being?," *Revista de Administração da UFSM*, vol. 15, no. spe, pp. 781-796, 2022.
11. X. Zeng, Y. Yu, S. Yang, Y. Lv, and M. N. I. Sarker, "Urban resilience for urban sustainability: Concepts, dimensions, and perspectives," *Sustainability*, vol. 14, no. 5, p. 2481, 2022.
12. A. Mesjasz-Lech, "Municipal waste management in context of sustainable urban development," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 151, pp. 244-256, 2014.
13. O. Salau, S. Osho, L. Sen ,G. Osho, and M. Salau, "Urban Sustainability and the Economic Impact of Implementing a Structured Waste Management System: A Comparative Analysis of Municipal Waste Management Practices Developing Countries," *waste management*, vol. 4, no. 1, 2017.
14. F .Teixeira Dias, A. R. de Aguiar Dutra, A. L. Vieira Cubas, M. F. Ferreira Henckmaier, M. Courval, and J. B. S. O. de Andrade Guerra, "Sustainable development with environmental, social and governance: Strategies for urban sustainability," *Sustainable Development*, vol. 31, no. 1, pp. 528-539, 2023.
15. W. H. Organization, "Waste and human health: evidence and needs: WHO meeting report 5–6 November 2015: Bonn, Germany," World Health Organization. Regional Office for Europe, 2015 .
16. M. G. Lak, M. J. Gheybi, and S. Chehrehgani, "Application of the modified RIAM method in assessing the environmental impact of municipal solid waste management scenarios (A case study)," *Heliyon*, 2025.
17. J.-M. Fernández-Gonzalez, A. L. Grindlay, F. Serrano-Bernardo, M. I .Rodríguez-Rojas, and M. Zamorano, "Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities," *Waste Management*, vol. 67, pp. 360-374, 2017.
18. Y. Liu, W. Sun, and J. Liu, "Greenhouse gas emissions from different municipal solid waste management scenarios in China: Based on carbon and energy flow analysis," *Waste management*, vol. 68, pp. 653-661, 2017.

19. A. C. M. Angelo, A. B. Saraiva, J. C. N. Clímaco, C. E. Infante, and R. Valle, "Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro," *Journal of cleaner production*, vol. 143, pp. 744-756, 2017.
20. Q. Yu and H. Li, "Moderate separation of household kitchen waste towards global optimization of municipal solid waste management," *Journal of cleaner production*, vol. 277, p. 123330, 2020.
21. N. Yang *et al.*, "Environmental and economic life-cycle assessments of household food waste management systems: a comparative review of methodology and research progress," *Sustainability*, vol. 14, no. 13, p. 7533, 2022.
22. H. K. Jeswani and A. Azapagic, "Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK," *Waste Management*, vol. 50, pp. 346-363, 2016.
23. C. Tagliaferri, S. Evangelisti, R. Clift, and P. Lettieri, "Life cycle assessment of a biomass CHP plant in UK: The Heathrow energy centre case," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 133, pp. 210-221, 2018.
24. L. Rigamonti, G. Borghi, G. Martignon, and M. Grosso, "Life cycle costing of energy recovery from solid recovered fuel produced in MBT plants in Italy," *Waste Management*, vol. 99, pp. 154-162, 2019.
25. K. S. Ng *et al.*, "A multilevel sustainability analysis of zinc recovery from wastes," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 113, pp. 88-105, 2016.
26. Z. Zhou, Y. Chi, J. Dong, Y. Tang, and M. Ni, "Model development of sustainability assessment from a life cycle perspective: A case study on waste management systems in China," *Journal of cleaner production*, vol. 210, pp. 1005-1014, 2019.
27. J. Zhang, Q. Qin, G. Li, and C.-H. Tseng, "Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review," *Journal of Environmental Management*, vol. 287, p. 112238, 2021.
28. C. Berardocco, H. Delawter, T. Putzu, L. C. Wolfe, and H. Zhang, "Life cycle sustainability assessment of single stream and multi-stream waste recycling systems," *Sustainability*, vol. 14, no. 24, p. 16747, 2022.
29. A. B. Saraiva, R. Souza, and R. Valle, "Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro—Investigating the influence of an attributional or consequential approach," *Waste Management*, vol. 118, pp. 701-710, 2017.
30. V. Bisinella, R. Götze, K. Conradsen, A. Damgaard, T. H. Christensen, and T. F. Astrup, "Importance of waste composition for Life Cycle Assessment of waste management solutions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 164, pp. 1180-1191, 2017.
31. F. Fei, Z. Wen, S. Huang, and D. De Clercq, "Mechanical biological treatment of municipal solid waste: Energy efficiency, environmental impact and economic feasibility analysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. 178, pp. 731-739, 2018.
32. M. J. Amiri and M. Asadbeigi, "Life Cycle Assessment of Construction and Demolition Waste Management in Tehran, Iran," *Environmental Energy and Economic Research*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, 2024.
33. N. Jamialahmadi, M. Hashemi, and M. Jalili Ghazizade, "Assessment of the current municipal solid waste management system in Tehran, Iran: challenges and opportunities for sustainable development," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 24, no. 5, pp. 2054-2067, 2022.
34. M. Ahani, R. Arjmandi, H. Hoveidi, J. Ghodousi, and M. Miri Lavasani, "A multi-objective optimization model for municipal waste management system in Tehran city, Iran," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, pp. 5447-5462, 2019.
35. E. Pishgar, Z. Fanni, J. Tavakkolinia, A. Mohammadi, B. Kiani, and R. Bergquist, "Mortality rates due to respiratory tract diseases in Tehran, Iran during 2008–2018: a spatiotemporal, cross-sectional study," *BMC Public Health*, vol. 20, pp. 1-12, 2020.
36. S. Shaked, P. Crettaz, M. Saade-Sbeih, O. Jolliet, and A. Jolliet, *Environmental life cycle assessment*. CRC Press, 2015.
37. J. Whittle, K. Callander, M. Akure, F. Kachwala, and S. Koh, "A new high-level life cycle assessment framework for evaluating environmental performance: An aviation case study," *Journal of Cleaner Production*, vol. 471, p. 143440, 2024.

38. M. Oele and R. Dolfing, "SimaPro 9.1. 1| Full Update Instructions," ed: PRé Sustainability, BV: Amersfoort, The Netherlands, 2020.
39. Z. Ahmadi, "Investigating the amount of waste and waste production in Tehran metropolis and the amount of recycling from them," *Paya Shahr Specialized Scientific Monthly*, 2022. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1524410>.
40. H. Online, "Aradkuh is being turned upside down," ed.
41. H. Karimian, M. Saadati, and A. Bagheri, "Comparison of the characteristics of municipal waste compost from the Ardkoh Disposal and Processing Complex with the national compost standard (Standard 10716) [In Persian]," presented at the The Second National Green Waste Management Conference, Ardebil, 2022. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1548133>.