



Sharif University of Technology

<https://sjie.journals.sharif.edu/>



Research Note

Economic and Environmental Optimization Model of the Amount of Waste Allocated to Different Methods of Urban Waste Disposal in Gilan Province

Yasin Mazloom Kalimani and Seyed Hesamodin Zegordi*

Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University

* corresponding author: (zegordi@modares.ac.ir)

Article Info

Article history:

Received: 5 August 2024

Revised: 30 October 2024

Accepted: 1 December 2024

Keywords:

Renewable energy,
economic model,
environment,
Garbage incineration.

Abstract

This article examines the waste management system to assess the feasibility of constructing a waste incineration power plant. Due to the haphazard burial of waste daily in the Saravan region of Rasht, without adherence to proper burial engineering principles, there are several potential environmental consequences. These include the contamination of surface water through the release of leachate, the infiltration of leachate into lower layers, and the risk of groundwater contamination of underground water, which is causing poisoning and severe harm to the local population. Additionally, the feeding of indigenous animals with waste, the release of gas into the environment, and the detrimental effects on the existing plants and wildlife are worth mentioning. Hence, this study aims to provide a framework for assessing the economic and environmental elements of energy generation from municipal garbage in Gilan Province. Additionally, the study will analyze the feasibility of implementing this project from several economic and environmental perspectives. This study examines three methods, namely unsanitary depots (landfills), composting (organic fertilizer companies), and waste incineration facilities with gasification technology, in two scenarios to compare the effects of constructing or not constructing waste incineration power plants. The final model, incorporating GAMS software, is implemented using the exact number programming method. The findings are presented: The feasibility study for constructing a waste incineration plant utilizing gasification technology indicates a daily cost savings of \$2,485,915. This plant would be capable of disposing of 600 tons of waste while also considering economic and environmental factors. Despite the fact that the construction of a power plant requires a relatively large initial investment and is apparently expensive, in the end, with a sharp reduction in environmental consequences, as well as electricity production and side income generation in this way, the most optimal method among the available options in waste management is counted.

Funding: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Author Contributions: All authors contributed to the reported work for conceptualization, methodology, validation, writing-review and editing, and supervision.

To Cite this article:

Mazloom Kalimani, Y. and Zegordi, S.H. 2026. Economic and environmental optimization model of the amount of waste allocated to different methods of urban waste disposal in Gilan province, Sharif Industrial Engineering and Management Journal, 41(2), pp.141-151. <https://doi.org/10.24200/ij65.2024.64872.2409>



مدل بهینه‌سازی اقتصادی و زیست‌محیطی میزان زباله‌ی تخصیص‌یافته به روش‌های مختلف دفع پسماند شهری در استان گیلان

یاسین مظلوم کلیمانی و سید حسام‌الدین ذگردی*

دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول (zegordi@modares.ac.ir)

چکیده

در نوشتار حاضر، سیستم مدیریت پسماند برای ارزیابی احداث نیروگاه زباله‌سوز در نظر گرفته شده است. زباله‌ها، روزانه به‌صورت غیراصولی در منطقه‌ی سراوان رشت بدون رعایت اصول مهندسی دپو می‌شوند؛ که می‌توان به پیامدهای زیست‌محیطی متعددی برای آن اشاره کرد. لذا در مطالعه‌ی حاضر، با ارائه‌ی مدلی به ارزیابی تولید انرژی از پسماند زباله‌های شهری استان گیلان پرداخته و اجرای این طرح از جنبه‌های مختلف اقتصادی و زیست‌محیطی بررسی شده است. همچنین، برای سه‌روشن دپوی غیربهداشتی، کمپوست‌سازی، و تأسیسات زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی طی دو سناریو، احداث و یا عدم احداث نیروگاه زباله‌سوز بررسی و مدل نهایی با نرم‌افزار گمز، تحت روش برنامه‌ریزی عدد صحیح اجرا شده است. لذا نتیجه‌ی امکان‌سنجی احداث نیروگاه زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی، صرفه‌جویی معادل ۲,۴۸۵,۹۱۵ دلار روزانه را با احداث نیروگاه زباله‌سوز به‌منظور دفع ۶۰۰ تن پسماند در مجموع شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی نشان می‌دهد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵

تاریخ اصلاحیه: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

واژگان کلیدی:

انرژی تجدیدپذیر،

مدل اقتصادی،

محیط زیست،

زباله‌سوز.

۱. مقدمه

رشد فزاینده‌ی مواد زائد تولیدی از فعالیت‌های بشر، از نظر تنوع و مقدار و مضرات بالقوه‌ی آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامتی جوامع، آگاهی‌های فزاینده‌ای را در سطح جهانی در مورد نیاز ضروری به استفاده و به کارگیری روش‌های علمی برای دفع ایمن پسماندها ایجاد کرده است.^[۱]

۱.۱. پیشینه‌ی پژوهش

از آنجا که نیاز آشکاری برای کاهش تولید پسماندها و تلاش برای بازیافت و استفاده‌ی مجدد از آن‌ها وجود دارد، فناوری‌های استحصال انرژی از پسماندها می‌توانند نقش مهمی در کاهش مشکلات در کنار بازیافت انرژی ذاتی آن‌ها داشته باشند. فناوری‌های مذکور می‌توانند کاهش قابل‌توجهی در میزان کل مقادیر پسماند که نیاز به دفع نهایی دارند، ایجاد کنند و موجب ایجاد دفع بهداشتی‌تری در شرایط کنترل‌شده و با رعایت استانداردهای کنترل آلودگی شوند. در بررسی‌های اقتصادی هر طرح، علاوه بر مسائل فنی و مالی، لازم است آثار طرح بر محیط‌زیست لحاظ شود و در محاسبات، هزینه‌های زیست‌محیطی به حساب آیند.

برای نمونه، در برخی نوشتارها، فقط امکان‌سنجی اقتصادی با استفاده از شاخص‌های ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی ارزیابی شده است.^{[۲] و [۳]}

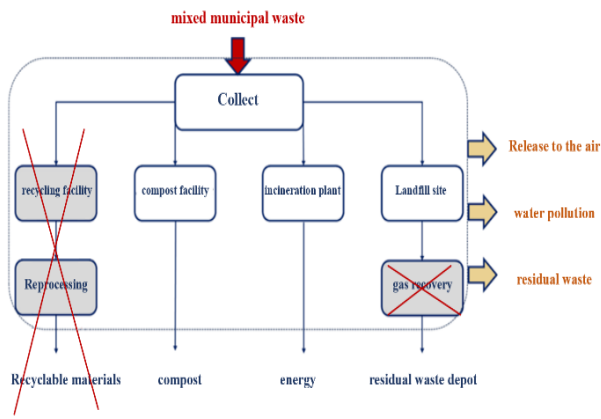
امروزه، هزینه‌ی دفن پسماند در زیر خاک، چه از نظر اقتصادی و مخصوصاً زیست‌محیطی خیلی بیشتر شده و عملاً کار را با مشکل مواجه ساخته است. زباله‌سوزی، راه‌حل دیگری برای دفع پسماندهاست، که از سال‌ها قبل در کشورهای پیشرفته‌ی صنعتی دنیا مرسوم بوده است. ارزش حرارتی پسماند، کمبود زمین در بسیاری مناطق و آلودگی‌هایی که دفن پسماندها در محیط‌زیست و آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌کنند، از جمله مواردی است که سبب توسعه‌ی استفاده از زباله‌سوزها شده است.

از این رو، زباله‌سوزی یکی از راه‌های نوین دفع پسماند در جوامع پیشرفته‌تر بوده است. دفن، کمپوست، و سوزاندن در دمای بالا، روش‌های اصلی دفع زباله‌های شهری هستند. روش دفن، اگرچه به‌راحتی اجرا می‌شود، اما باعث آلودگی ثانویه‌ی منابع طبیعی، مانند: خاک، جو، و آب‌های زیرزمینی می‌شود. استفاده از روش کمپوست برای دفع زباله، نیاز به محتوای آلی بالایی از زباله دارد و کاهش زباله از این طریق دشوار است و مقدار زیادی از منابع زمین را اشغال می‌کند. در مقابل، روش سوزاندن، که می‌تواند براساس منابع و کاهش نیازها برای تصفیه‌ی زباله‌های جامد شهری، آسیب کمتری به همراه داشته باشد، مؤثرترین روش است. رویکرد سوزاندن، اجزاء قابل احتراق زباله را در دمای بالا می‌سوزاند و آن‌ها کاملاً اکسید می‌شوند و درنهایت، به خاکستر بی‌ضرر و پایدار تبدیل می‌شوند.^[۴-۶]

استناد به این مقاله:

مظلوم کلیمانی، یاسین و ذگردی، سیدحسام الدین، ۱۴۰۴. مدل بهینه‌سازی اقتصادی و زیست‌محیطی میزان زباله‌ی تخصیص‌یافته به روش‌های مختلف دفع پسماند شهری در استان گیلان. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۴۱(۲)، صص. ۱۴۱-۱۵۱. <https://doi.org/10.24200/ij65.2024.64872.2409>





شکل ۱. نمای شماتیک از فرآیند مدیریت زباله‌ی غیرقابل بازیافت.

و مقبول، کمینه‌ی آثار منفی و سوء نظر را با بیشینه‌ی افزایش کیفیت زندگی برای انسان‌ها و بیشترین اعتماد و اطمینان را در سطوح تصمیم‌گیران و مردم ایجاد کند.

در شکل ۱، نمای شماتیکی از فرآیند مدیریت زباله‌ی غیرقابل بازیافت مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، روند مدیریت پسماند فقط با در نظر گرفتن زباله‌های غیرقابل بازیافت، که از نظر نوع پسماند مصرفی هم‌پوشانی دارند، در شرایط لندفیل غیربهداشتی، کمپوست‌سازی، و زباله‌سوزی بررسی شده است. زباله‌های کلان‌شهر رشت از سال ۱۳۶۳ به منطقه‌ی جنگلی سراوان انتقال یافته است.

محل تلنبار زباله‌ی سراوان رشت، طبق اصول مهندسی محل دفن، طراحی و اجرا نشده و فاقد اجزاء لازم برای محل دفن بهداشتی بوده است. از اصلی‌ترین مسائل زیست محیطی شناخته‌شده در محل دفن سراوان، می‌توان به آلودگی آب‌های سطحی با انتشار شیرابه، نفوذ شیرابه به لایه‌های زیرین، و احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی، مسمومیت، و آسیب‌های جدی به ساکنان منطقه، تغذیه‌ی حیوانات بومی از زباله‌ها، انتشار گاز در اتمسفر، و آسیب به پوشش گیاهی و حیات وحش موجود اشاره کرد. براساس برآوردها، مقدار پسماند دفن‌شده در دفنگاه سراوان تاکنون بالغ بر حدود ۱۷ میلیون تن بوده است و در حال حاضر نیز به طور روزانه حدود ۶۰۰ تن زباله‌ی شهری به منطقه‌ی مذکور منتقل می‌شود.

۳.۱. فناوری گازی‌سازی

نیروگاه زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی، یک روش نوین برای تبدیل زباله‌های شهری به انرژی است؛ که توسط آن، زباله‌ها با استفاده از فرایند گازی‌سازی به گازهای قابل سوخت، شامل: گازهای متان، هیدروژن، اکسیدکربن، و گازهای سنتزی تبدیل می‌شوند، که قابلیت استفاده به‌عنوان سوخت در تولید برق و حرارت را دارند.

فناوری گازی‌سازی در نیروگاه زباله‌سوز، برخی مزایا و فواید مهمی دارد؛ که به دلیل استفاده از زباله‌های شهری به‌عنوان منبع انرژی، می‌تواند به تحقق اهداف مدیریت پایدار زباله‌ها و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کند. همچنین، استفاده از آن می‌تواند باعث کاهش آلاینده‌های محیطی، ناشی از دفن زباله‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای شود.

مدیریت پسماندها و تولید انرژی پایدار در جوامع شهری به یک چالش جدی تبدیل شده است؛ که به‌منظور مواجهه با آن، نیروگاه‌های زباله‌سوز با تکنولوژی "گازی‌سازی" به‌عنوان یک روش پیشرفته برای تولید انرژی حرارتی-الکتریکی

به‌طور کلی، سوزاندن امکان کاهش قابل توجه ضایعات را فراهم می‌سازد و اشغال زمین را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و انرژی حرارتی برای گرمایش و تولید برق بازیابی می‌کند. سوزاندن، نوعی فناوری تصفیه‌ی زباله‌های خانگی شهری است، که به‌طور گسترده در برخی از کشورهای پیشرفته‌ی جهان استفاده می‌شود. پس از عملیات سوزاندن، حجم زباله‌ها را می‌توان تا ۹۰٪ کاهش داد. علاوه‌براین، سوزاندن در دمای بالا می‌تواند تعداد زیادی از باکتری‌های بیماری‌زا و مواد سمی را از بین ببرد و درجه‌ی باکتری‌های مضر را که محیط را آلوده می‌کنند، کاهش دهد. [۹-۷]

چگونگی انتخاب یک سیستم مدیریت پسماند جامد شهری با انرژی کارآمد، سازگار با محیط‌زیست، و مقرون به صرفه، چالش بزرگی است که باید توسط تصمیم‌گیرندگان انجام شود. [۱۰]

موضوع مورد مطالعه در پژوهش حاضر، با دغدغه‌ی حل یک مسئله‌ی زیست‌محیطی ملی و نیز بر مبنای رفع یک معضل حیاتی بوده است؛ لذا از آنجایی که مدل مطلوبی در بین نوشتارهای موجود یافت نشده است که جوابگوی رفع مشکل منطقه باشد، مدل‌سازی کنونی کاملاً به شکل میدانی و اصطلاحاً از بطن چالش موجود به‌دست آمده است؛ و درواقع، می‌توان همین رویکرد را به‌عنوان یک نوآوری در این زمینه دانست.

۲.۱. ضرورت ارزیابی نحوه‌ی مدیریت پسماند شهری

در حال حاضر، هدف نهایی از حفاظت محیط‌زیست، دستیابی به توسعه‌ی پایدار در قالب برنامه‌های اقتصادی هماهنگ با اصول حفاظت از محیط‌زیست و ممانعت از تخریب و تهی‌سازی منابع تجدیدشونده و غیرقابل تجدید است.

لذا، برای حل بنیادی مشکلات بحرانی محیط‌زیست باید دیدگاه‌های کلان و زیربنایی توسعه منطبق با قانونمندی‌های حفاظت محیط‌زیست طراحی شوند و هر گونه سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ی اقتصادی، اجتماعی، و فرهنگی آینده‌ی کشور بر شالوده‌ی حفاظت محیط‌زیست و منابع طبیعی و بهره‌وری خردمندانه از منابع مذکور با نگرش ایجاد تعادل و تناسب بین قانونمندی‌های محیط‌زیست و توسعه‌ی پایدار صورت گیرد.

کاربرد ارزیابی آثار زیست‌محیطی به‌عنوان یکی از ابزارهای مدیریت محیط‌زیست، چنانکه از سه دهه‌ی قبل در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، معمول بوده است؛ الزام استفاده از این نگرش را برای پروژه‌های بزرگ عمرانی، نظیر: محل‌های دفن زباله‌ی شهری تأکید می‌کند. مشکلات زیست‌محیطی محل‌های دفن زباله‌ی شهری و محیط‌های پیرامونی آن‌ها از دیرباز مورد توجه مردم و مسئولان بوده است.

در دهه‌های اخیر، به ویژه پس از توسعه‌ی دانش مدیریت مواد زائد جامد، محل‌های دفن زباله‌ی شهری به شکلی که در سال‌های گذشته بهره‌برداری شده‌اند، موجب شده است که مسائل مرتبط با محیط‌زیست نیز به‌صورت بحرانی‌تری مطرح شود.

لذا برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی موجود، نخستین هدف ارزیابی برای اطمینان‌یافتن از رعایت سیاست‌ها و خط‌مشی‌های تعیین‌شده در برنامه‌ها و فعالیت‌های طرح‌ها و با پروژه‌های مذکور در راستای ضوابط معیارها، قوانین و مقررات زیست‌محیطی دولتی مطرح شده است. از این رو، تهیه‌ی یک مدل ارزیابی، شامل شناسایی کلیه‌ی آثار مهم طرح‌ها و یا پروژه‌های پیشنهادی ساختارهای دفع زباله‌ی شهری، ضروری است که با ارائه‌ی گزینه‌های منطقی

۱.۲. مدل ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی

مدل ریاضی ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی اجرای طرح نیروگاه زباله سوز به عنوان یکی از روش های مدیریت پسماند و نیز استحصال انرژی از زباله به شرح رابطه ی ۱، قابل اجرا خواهد بود:

$$MinZ = \sum_i \sum_j (-V_{ij} \cdot r_j + c_j \cdot l_{ij} + cc_j) \cdot x_{ij} \quad (1)$$

که در آن، V_{ij} ارزش حرارتی ویژه ی زباله ی نوع i در تأسیسات نوع j ، r_j نرخ خرید خروجی حاصل در تأسیسات نوع j ، c_j هزینه ی احداث و عملیات تأسیسات نوع j ، l_{ij} هزینه ی دپوی زباله ی نهایی، rr_j نرخ زباله ی باقیمانده پس از عملیات در تأسیسات نوع j ، cc_j هزینه ی زیست محیطی تأسیسات نوع j ، X_{ij} به عنوان متغیر اصلی مسئله ی مقدار زباله ی دفع شده ی نوع i در تأسیسات نوع j ، و Z به عنوان مقدار خروجی نهایی مسئله ی هزینه ی دفع زباله از روش های مختلف، که هدف آن کمینه سازی است.

اما روابط مربوط به محدودیت های مدل، به صورت رابطه های ۲ و ۳ است (رابطه ی ۲، درخصوص ظرفیت دفع تأسیسات نوع j و رابطه ی ۳، درخصوص تقاضای دفع زباله ی نوع i است):

$$capacity = \sum_i X_{ij} \leq a_j \quad (2)$$

$$demand = \sum_j X_{ij} \geq g_i \quad (3)$$

لذا برای مسئله ی ذکر شده، یک متغیر اصلی و دو محدودیت در نظر گرفته شده است.

با توجه به ماهیت طرح موردنظر، فرضیه ها به این صورت هستند که در حال حاضر، زباله ها به دو شکل دپوی غیربهداشتی و کمپوست سازی دفع می شوند و روش های مذکور، وضعیت جاری ساختار مدیریت پسماند را ترسیم می کنند. در واقع، برنامه ی پژوهش حاضر، اضافه کردن نیروگاه زباله سوز به عنوان روش سوم ساختار مدیریت پسماند بوده و هدف از اجرای مدل ذکر شده، امکان سنجی و ارزیابی وضعیت آن با ساخت نیروگاه زباله سوز است. حال باید خاطر نشان ساخت که با توجه مفروضات ذکر شده، عناوین هزینه ها و درآمدهای ناشی از اجرای طرح، که در ساختار مدل نیز گنجانده شده اند، به شرح جدول ۱ است.

در جدول ۲، ترکیب های موجود در زباله ی شهری، که توسط روش های مختلف دفع می شوند، به عنوان یکی از عوامل مهم که در ساختار مدل دخیل است، ارائه شده اند.

جدول ۱. هزینه های سرمایه گذاری نیروگاه زباله سوز با فناوری گازی سازی.

Indicator	case
Cost	Land and accessories
	building construction
	Production line equipment
	salary
	Environment caused by pollutants
Income	Sale of compost
	Sale of power plant electricity



شکل ۲. ماکت فرایند زباله سوزی پسماند شهری.

از زباله ها به منظور مدیریت بهینه ی پسماندها و تأمین انرژی پایدار در حال ظهور هستند.

نیروگاه زباله سوز از طریق فرایند "گازی سازی"، زباله های جامد را به گازهای قابل سوخت تبدیل می کند، و زباله ها در دماهای بالا و در شرایط آب و هوایی بی هوای تحت عملیات شیمیایی تجزیه می شوند و گازهای قابل سوخت مانند متان و هیدروژن تولید می شوند.

سپس گازهای اخیر در یک موتور توربین گازی به انرژی حرارتی و سپس از طریق یک ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل می شوند.^[۱۴-۱۱] در شکل ۲، به صورت شماتیک، بررسی ساختار کلی نیروگاه زباله سوز مشاهده می شود.

- **بخش اول**، مربوط به زباله سوزی است؛ که در آن، زباله ها با گذر از یک واحد تفکیک و پردازش به واحد زباله سوزی وارد می شوند. رعایت فناوری گازی سازی و پیرولیز سازنده ی خارجی با هدف کنترل درجه ی حرارت و زمان ماند و همچنین نوع کوره های استفاده شده به دلیل تولید کمینه ی گازهای غیرقابل کنترل و مضر بوده است.

- **بخش دوم**، مربوط به تجهیزات تولید برق نیروگاه است؛ گازهای گرم تولید شده در حدود ۱۲۰۰ درجه ی حرارت با عبور از بویلر، انرژی حرارتی خود را به ژنراتور و توربین جهت تولید برق انتقال خواهد داد.

- **بخش سوم**، مربوط به تجهیزات کنترل آلاینده ها در اسید اسکراپر و سیستم فیلتراسیون خروجی گاز با هدف دستیابی به استاندارد محیط زیست آمریکا (۲۰۱۲) بوده است؛ که شامل سیستم تصفیه خانه ی فاضلاب و شیرابه می شود، که منوط به رعایت استاندارد پساب خروجی ملی ایران خواهد بود.

۲. ارزیابی ساخت نیروگاه زباله سوز

همان طور که در بخش مقدمه عنوان شد، با در نظر داشتن روند کلی طرح مدیریت پسماند، ذی نفعان طرح عبارت اند از:

- ساکنان منطقه در وهله ی اول، به عنوان اصلی ترین تأثیرپذیران پیامدهای مختلف وضعیت پسماند منطقه.
- سازمان مدیریت پسماند شهرداری.
- مجری طرح نیروگاه زباله سوز (شرکت خصوصی).
- وزارت نیرو به عنوان یکی از متولیان امر.

جدول ۲. ترکیب‌های پسماند موجود فرآوری شده یا دفع شده توسط تأسیسات مختلف.

facilities	Garbage composition
Unsanitary depot compost waste incinerator	Organic materials
	Inorganic materials:
	- Rubber - Plastic - Paper - textiles - Wood

محل دفن زباله‌ی سراوان را نمی‌توان به‌عنوان یک محل دفن بهداشتی قلمداد کرد؛ زیرا فاقد بیشتر معیارها و تجهیزات و تمهیدات لازم برای محل دفن بهداشتی است؛ که شامل نقص‌هایی مانند: خاک پوششی موردنیاز روزانه، لایر، زه‌کشی شیرابه، حفاظ پوششی، و سیستم جمع‌آوری و تصفیه‌ی شیرابه و گاز است. محل تلنبار زباله در یک دره با پوشش گیاهی طبیعی قرار گرفته و مشابه همه‌ی مناطق شمالی ایران به‌علت گسترش جنگل سراوان، توسط درختان احاطه شده است.

مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی شناخته‌شده در محل دفن زباله‌ی سراوان، عبارتند از:

- آلودگی آب‌های سطحی توسط انتشار شیرابه.
- نفوذ شیرابه به لایه‌های زیرین و احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی.
- انتشار گاز در اتمسفر.
- تغذیه‌ی حیوانات بومی از زباله‌ها.
- آسیب به پوشش گیاهی و حیات وحش موجود.

براساس برآوردها، مقدار پسماند دفن‌شده در دفن‌گاه سراوان تاکنون بالغ بر حدود ۱۷ میلیون تن است و در حال حاضر نیز به طور روزانه، حدود ۶۰۰ تن زباله‌ی شهری به آنجا منتقل می‌شود.

شیرابه‌ی زباله، حاوی ترکیب‌ها و آلاینده‌های گوناگون، از جمله فلزات سنگین است. بهترین مکان برای دفن مواد زائد برای جلوگیری از نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی، مکان‌هایی هستند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند. در چنین مکان‌هایی عمده‌تاً به‌دلیل وجود زمین کافی و پایین‌بودن عمق آب‌های زیرزمینی، شرایط دفن نسبتاً ایمن است.

۲.۳. کارخانه‌ی کود آلی (کمپوست)

کارخانه‌ی کود آلی، شامل زمینی به مساحت ۷ هکتار است؛ که دارای سوله‌ی عملیات مکانیکی (دریافت و جداسازی دستی)، سوله‌های مخصوص تخمیر اولیه و مخصوص تخمیر ثانویه، سوله‌ی تولید کود نرم، انبارها (انبار مخصوص قطعات کارخانه و انبار کود)، و ساختمان‌های اداری و کارگری است.

پسماندها (اعم از تر و خشک)، در سالن دریافت شرکت کود آلی، دپو و سپس به سالن عملیات مکانیکی وارد می‌شوند. پس از طی مراحل جداسازی و تفکیک ضایعات خشک، که بر روی تفرال به‌صورت دستی انجام می‌شود، مواد همجنس جدا و در تونل‌های مخصوص جمع‌آوری می‌شوند. در نهایت، پس از جمع‌آوری و بسته‌بندی به انبار تحویل داده می‌شوند.

جدول ۳. درصد مواد تشکیل‌دهنده‌ی غیرقابل بازیافت زباله‌های شهری.

type of waste	Quantity (tons per day)	Mass percentage (%)
Organic materials	432	72
Plastic	71	11.8
Paper	64	10.7
rubber	15	2.5
textiles	12	2
Wood	6	1
Total	600	100

۲.۲. روش حل مدل

حل مدل نهایی مسئله با نرم‌افزار گمز^۱ در طی دو سناریو (۱. وجود تأسیسات زباله‌سوز؛ ۲. نبود تأسیسات زباله‌سوز) برنامه‌ریزی شده است، تا طرح مذکور را به جهت امکان بهبود وضعیت موجود از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی امکان‌سنجی سازد.

۳. مطالعه‌ی موردی (احداث نیروگاه زباله‌سوز در شهر رشت: استان گیلان)

سیستم مدیریت پسماند زباله‌ی غیرقابل‌بازیافت، در حال حاضر شامل دپوی غیربهداشتی در منطقه‌ی سراوان و نیز کارخانه‌ی کود آلی (کمپوست) در شهرک صنعتی لاکان رشت است، که پژوهش حاضر قصد دارد نیروگاه زباله‌سوز را به‌عنوان گزینه‌ی سوم فرایند مذکور از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی بررسی کند.

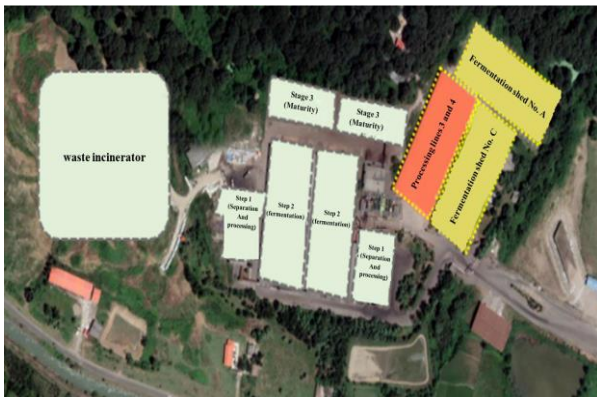
زباله‌های شهر رشت و شهرهای حوزه‌ی مرکزی استان گیلان (شامل ۱۳ شهر و ۵۲ دهستان) در حدود ۸۰۰ تن در روز هستند؛ که حدود ۶۰۰ تن از آن‌ها، شامل زباله‌های غیرقابل بازیافت است، که موضوع بحث پژوهش حاضر است. مقادیر تولید زباله در شهر رشت، عمده‌تاً شامل پسماندهای خانگی و پسماندهای جمع‌آوری‌شده از برخی مراکز تجاری با خصوصیات شبیه پسماند خانگی است، که جزئیات آن در جدول ۳ ارائه شده است.

لذا در بخش کنونی، به بررسی اولیه‌ی هر یک از روش‌های مدیریت پسماند پرداخته شده است.

۱.۳. دپوی غیربهداشتی زباله

زباله‌های کلان‌شهر رشت از سال ۱۳۶۳ به منطقه‌ی جنگلی سراوان انتقال یافته‌اند. منطقه‌ی سراوان در فاصله‌ی ۲۰ کیلومتری جنوب شهر رشت واقع شده است؛ که فاصله‌ی آن تا جاده‌ی اصلی قزوین- رشت، حدوداً ۲ کیلومتر با ارتفاع ۲۰۰ متر از سطح دریاست، که زباله‌ها، روزانه به‌صورت غیراصولی در آن دفن می‌شوند.

¹ GAMS



شکل ۳. حوزه پرداز پسماند بخش مرکزی استان گیلان- شهرک صنعتی لاکان.

مواد قابل تبدیل به کود آلی (زباله‌ی تر) به سالن مسقف تخمیر زباله منتقل و در آنجا با هوادهی مستمر و اختلاط و جابجایی مداوم آبیگری می‌شوند. سپس، توسط دستگاه هوادهنده خشک می‌شوند و در ادامه، تخمیر هوازی نیز صورت می‌گیرد. پس از غربال کردن‌های متوالی، کمپوست تشکیل شده‌ی قابل‌ارائه به بازار، در انبار محصول جمع‌آوری می‌شود.

شرکت کود آلی گیلان، در حال حاضر دو خط اسمی ۲۵۰ تنی و دو سوله‌ی تخمیر به متراژ ۶۰۰۰ مترمربع دارد. ظرفیت فعلی ورودی زباله در هر خط آن در هر شیفت کاری حدود ۲۰۰ تن در روز است، که زیر سرنده‌ی‌های آن‌ها، برای تولید کمپوست تفکیک می‌شوند و پس از ورود به سالن تخمیر، برای مدت ۶۰ روز نگهداری می‌شوند، تا فرایند تخمیر کامل شود. بنابراین، بعد از گذشت دو ماه، کود حاصل از تخمیر به سالن‌های بلوغ وارد و پس از فرآوری و دانه‌بندی برای فروش آماده می‌شود.

براساس آمار ارائه‌شده از شرکت کود آلی، روزانه ۶ تن کود از حدود ۴۰۰ تن زباله‌ی ورودی به خطوط تولید می‌شود. به عبارتی، به ازاء هر تن زباله‌ی تر، حدود ۱۵ کیلوگرم کود کمپوست به دست می‌آید، که شیرابه‌ی حاصل از آن در حدود ۱۲ مترمکب در روز و به ازاء هر تن زباله، حدود ۳۰ لیتر است. همچنین شایان ذکر است که هزینه‌ی ناشی از تبدیل هر تن زباله به کود کمپوست، در حدود ۴,۰۰۰,۰۰۰ ریال (معادل ۸ دلار آمریکا) برآورد شده است.

۳.۳. نیروگاه زباله‌سوز

پروژه‌ای که در گزارش حاضر ارزیابی شده است، با عنوان "طرح احداث نیروگاه زباله‌سوز شهر رشت" با ظرفیت پذیرش سالانه حدود ۲۱۸,۰۰۰ و ۶۰۰ تن زائدات جامد شهری در روز در قالب ۴ خط ۱۵۰ تنی با تولید انرژی برق به میزان ۳۸,۰۰۰ مگاوات ساعت خالص انرژی الکتریکی اسمی در سال جهت تریق به شبکه‌ی سراسری تحت کارفرمایی شهرداری شهر رشت است. این تذکر لازم است که مرتبط با نوع سیستم زباله‌سوزی، مقدار ریجکت خروجی از ۲۵٪ وزنی تا ۵٪ متفاوت است. برای نیروگاه مذکور با فناوری گازی‌سازی، حدوداً مقدار ۱۰٪ ریجکت قابل انتظار است.

نیروگاه‌های زباله‌سوز، مزایای زیادی همچون عدم نیاز به اراضی زیاد برای دفن زائدات، عدم آلودگی محیط‌زیست، تولید انرژی الکتریکی (و حرارتی) در مقیاس نیروگاهی، و داشتن ظرفیت‌های متغیر (امحاء زائدات و تولید انرژی) دارند. لذا دقت در به‌کارگیری سیستم‌های کنترل آلودگی و رعایت استانداردهای زیست‌محیطی، مهم‌ترین بخش استفاده از زباله‌سوزهاست.

گزینه‌های فنی، شامل: زباله‌سوز، دفن بهداشتی، و تولید کود آلی هستند؛ که با توجه به سیاست‌گذاری دفع پسماند‌های شهری در شهرهای شمالی کشور، تولید کود آلی و زباله‌سوز در دستور کار قرار گرفته است. در حال حاضر، شرکت کود آلی رشت فعال است، لذا گزینه‌های زباله‌سوز و دفن پسماند نیز در وضع موجود تحلیل شده‌اند. در شکل ۳، جانمایی بخش‌های مختلف مرکز کمپوست و نیز محل احداث نیروگاه زباله‌سوز و همچنین در یک نما، کلیات اماکن مذکور مشاهده می‌شود.

در جدول ۴، آنالیزی از مشخصات و آلاینده‌های موجود در هر یک از روش‌های مدیریت پسماند (دفع زباله) زیر نظر سازمان پسماند شهرداری رشت اعم از این موارد ارائه شده است:

- ۱- شیرابه‌ی حاصل از زباله‌های دپوشده در منطقه‌ی سراوان.
- ۲- مشخصات آلاینده‌های موجود در شیرابه‌ی حاصل از زباله‌های کمپوست‌شده در شرکت کود آلی (کمپوست).
- ۳- آلاینده‌های تأسیسات زباله‌سوز (توسط سازمان محیط‌زیست و به درخواست سازمان مدیریت پسماند و شرکت کود آلی رشت به انجام رسیده است).

گزارش نهایی بازنگری انرژی زیست‌محیطی (EER)^۲ طی دو سال با همکاری کامل دولت ایران و کمک مشاوران بین‌المللی و ملی تهیه شده است؛ که شامل این موارد است:

- تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی با توجه به تولید و استفاده از انرژی.
- ارزیابی چشم‌انداز رشد با توجه به تولید و استفاده از انرژی.
- شناسایی مسائل زیست‌محیطی ناشی از تولید و استفاده از انرژی و برآورد هزینه‌ی خسارت‌ها.
- ارزیابی میزان مشارکت در پدیده‌ی تغییر اقلیم از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای.
- ارزیابی اقدام‌های کاهش‌ی پیشنهادی برای مشکلات زیست‌محیطی شناسایی‌شده‌ی پیشین.

تأکید EER بر آلودگی هواست، که قطعاً در شهرهای بزرگ، شدیدترین و قابل مشاهده‌ترین نشانه‌ی آسیب زیست‌محیطی است. منبع اصلی آلودگی هوا، بخش انرژی است؛ که کلید اقتصاد ایران و موتور اصلی رشد اقتصادی آینده است.

هیئت بین‌المللی تغییرات اقلیمی (IPCC)^۳ نیز به‌طور مشترک توسط سازمان جهانی هواشناسی و ایالات متحده تشکیل شده است. برنامه‌ی زیست‌محیطی مذکور به‌منظور ارائه‌ی یک بیانیه‌ی معتبر بین‌المللی از درک علمی تغییرات آب‌وهوایی ایجاد شده است. ارزیابی‌های دوره‌ای IPCC از علل، آثار، و راهبردهای واکنش احتمالی به تغییرات آب‌وهوایی، جامع‌ترین و به‌روزترین گزارش‌های موجود در این زمینه و همچنین، مرجعی استاندارد برای همی افراد مرتبط با تغییرات آب‌وهوایی در دانشگاه، دولت، و صنعت در سراسر جهان است.

از طریق سه گروه، صدها کارشناس بین‌المللی، تغییرات آب‌وهوایی را در طی گزارش‌هایی ارزیابی کرده‌اند، که از سه جلد اصلی با عنوان تغییرات آب‌وهوایی ۲۰۰۷ تشکیل شده است، که همگی در انتشارات دانشگاه کمبریج موجود

³ IPCC

² EER

جدول ۴. میزان انتشار مؤثرترین آلاینده‌های روش‌های مختلف مدیریت پسماند (گزارش سازمان محیط‌زیست با درخواست مدیریت پسماند شهرداری رشت).

Pollutant name	chemical mixture	compost (g per ton of waste)	waste incinerator (g per ton of waste)	Landfill (g per ton of waste)
Phosphate	PO_4^{-3}	0	0	1.56
Lead	Pb	107	0.008	107
Zink	Zn	470	0.0069	470
iron	Fe	0	0	0.15
cadmium	Cd	0.2	0.0023	0.2
Manganese	Mn	0	0	0.12
copper	Cu	265	0.000016	265
Chrome	Cr	31	0.0005	0.003
Refinery	O&G	0	0	1.86
animosity	NTU	0	0	4.35
Sulphate	SO_4^{-2}	0	0	3.51
Nitrite	NO_2^{-}	0	0	0.9
Nitrate	NO_3^{-}	0	0	1.71
chloride	Cl^{-}	0	0	71.73
Ammonium	NH_4^{+}	0	0	29.25
methane	CH ₄	0	0	85
nickel	Ni	17	0.002	0
Cobalt	Co	0	0	0
Mercury	Hg	0.01	0.0002	0
Arsenic	As	0.06	0.00003	0
Boron	B	0	0.0044	0
antimony	Sb	0	0.00017	0
hydrochloric acid	HCl	0	55	0
Carbon monoxide	CO	8	122	8
Nitrogen oxides	NO _x	0	686	0
Sulfur dioxide	SO ₂	0	86	0
Carbon dioxide	CO ₂	0	86400	95

حال با درنظرداشتن هزینه‌های زیست‌محیطی آلاینده‌ها، محاسبات مربوط به میزان نهایی هزینه‌های مربوط به هر یک از روش‌های مدیریت پسماند در جدول ۶ ارائه شده است.

۴.۳. ارزش حرارتی پسماند

یکی دیگر از موارد مهم و کلیدی در میزان انرژی تولیدی حاصل از سوزاندن زباله، بحث ارزش حرارتی اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی پسماند شهری است، که در جدول ۷ به تفکیک ارائه شده است.

۵.۳. آنالیز هزینه‌ای احداث نیروگاه زباله‌سوز

در جدول ۸، مقدار پارامترهای هزینه‌ای بر مبنای فازهای راه‌اندازی پروژه، که پیش‌تر نیز عنوان شده است، بر حسب دلار بیان شده است.

برای آنالیز اقتصادی یک نیروگاه زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی، در ابتدا میزان هزینه‌ی سرمایه‌گذاری کل با درنظرداشتن پارامترهای اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از روش‌های مختلف مدیریت پسماند محاسبه شده است.

است. لذا از خروجی منابع معتبر اخیر، هزینه‌های برخی از آلاینده‌های زیست‌محیطی مطابق جدول ۵ استخراج شده است:

جدول ۵. هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از انواع آلاینده‌های منتشرشده از زباله.

pollutants	Cost (\$ per ton)
CH ₄	0.210
CO ₂	0.010
CO	0.188
NO _x (NO ₂ – NO ₃)	0.600
SO ₂	1.825
HCl (0.88 * SO ₂)	1.606
DCB	4.300
Pb (12 * DCB)	51.600
Hg (1400 * DCB)	6.020
Cd (13 * DCB)	55.900

جدول ۶. هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از انواع آلاینده‌های ناشی از روش‌های مختلف مدیریت پسماند.

pollutants	compost (\$ per ton of waste)	waste incinerator (\$ per ton of waste)	Landfill (\$ per ton of waste)
CH ₄	0	0	17.85
CO ₂	0	864	0.95
CO	1.50	22.94	1.504
NO _x	0	411.6	1.566
SO ₂	0	156.95	0
HCl	0	88.33	0
DCB	0	0	0
Pb	5521.2	0.40	5521.2
Hg	60.2	1.37	60.2
Cd	11.18	0.13	11.18
Total	5594	1546	5614

جدول ۷. ارزش حرارتی ویژه‌ی پسماند ورودی زباله‌سوز (آنالیز سازمان مدیریت پسماند شهرداری رشت).

Constituent materials	Specific calorific value (Kj/Ton)	Specific calorific value (Kwh/Ton)
Plastic	25.000	6945
textiles	13.000	3611
Paper	12.000	3333
Organic materials	3.000	833
Wood	15.000	4167
rubber	16.000	4444

* هر کیلووات ساعت، معادل ۳/۶ کیلوژول است.

به ازاء هر کیلووات ساعت برق تولیدی در سال ۱۴۰۲، با توجه به تجدیدپذیربودن برق، از سوی سازمان وزارت نیرو به مبلغ ۲۸،۵۰۰ ریال (حدوداً معادل ۰/۰۶ دلار آمریکا) خریداری شده است.

۶.۳. مدل در مطالعه‌ی موردی

با توجه به ماهیت مسئله درخصوص ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه زباله‌سوز، بدیهی است که به امکان‌سنجی احداث نیروگاه زباله‌سوز پرداخته شده است. سپس، مدل به‌دست‌آمده در فصل پیش طی دو سناریوی مختلف، یعنی ارزیابی شرایط در صورت احداث نیروگاه به‌عنوان سناریوی اول و نیز ارزیابی شرایط حاضر، در صورت عدم احداث نیروگاه زباله‌سوز در سناریوی دوم بررسی شده است. در ادامه، خروجی مدل و نتایج حاصل از اجرای دو سناریوی مذکور نیز ملاحظه می‌شود.

سناریوی ۱. در سناریوی اول، شرایطی لحاظ شده است که در آن، نیروگاه زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی، در کنار دو روش دیگر دفع پسماند، یعنی دپوی غیربهداشتی (لندفیل) و شرکت کمپوست‌سازی (کود آلی)، احداث شده است؛ تا بتوان از سه روش مذکور در جهت مدیریت پسماند زباله‌ی شهری بهره‌برداری کرد.

نتایج حاصل از اجرای مدل در نرم‌افزار گمز تحت شرایط برنامه‌ریزی عدد صحیح نشان می‌دهد که روش بهینه‌ی مدیریت پسماند در صورت احداث تأسیسات زباله‌سوز، همین روش بوده است. لذا، با درنظرداشتن مقدار ۶۰۰ تن از انواع زباله‌های شهری، که معادل تولید روزانه‌ی پسماند شهر رشت و نیز ظرفیت اسمی پردازش زباله در نیروگاه زباله‌سوز است؛ کلیه‌ی مقادیر اخیر، با

جدول ۸. هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیروگاه زباله‌سوز با تکنولوژی گازی‌سازی.

parameter	cost (\$)
Land and accessories	10.000.000
building construction	12.000.000
Production line equipment	40.000.000
salary	3.000.000
Total	65.000.000

سپس، براساس میزان درآمد نیروگاه و سوددهی پروژه ناشی از فروش برق و میزان بازگشت سرمایه، مدل و خروجی نهایی آن به‌دست آمده است.

با درنظرداشتن این مسئله که چشم‌انداز نیروگاه زباله‌سوز، بازگشت سرمایه در طی مدت ۷ سال است، با فرض انجام فعالیت در تمام روزهای سال با بیشینه‌ی ظرفیت پردازش (۶۰۰ تن در روز)، هزینه‌ی اقتصادی فعالیت نیروگاه به ازاء هر تن زباله، به صورت رابطه‌ی ۱ به‌دست می‌آید:

$$(1) \quad \$ 4.42 = 600 \div 365 \div 7 \div 65,000,000$$

لذا به جهت حصول دیدگاهی بهتر از هزینه‌های طرح، جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹. هزینه‌های کلی گزینه‌های مدیریت پسماند.

Facilities (j)	Daily processing capacity (a(j))-ton	Economic cost (c(j))-\$	Environmental cost (cc(j))-\$	Product purchase rate (r(j))-\$	Residual rate-rr(j) %
Landfill	600	10	5614	0	0
Compost	400	8	5594	60	50
Incinerator	600	42	1546	0.06	10

۱.۴. خلاصه‌ی مسئله‌ی پژوهش

یکی از اهداف اصلی پژوهش حاضر، بهبود وضعیت مدیریت پسماند در ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی بوده است. در این راستا، پس از مطالعه‌ی نوشتارها و مشاهداتی شرایط موجود در منطقه‌ی سراوان استان گیلان از نظر دفع غیربهداشتی پسماند و نبود روش‌های مطلوب در دفع مناسب زباله‌ها سعی شده است تا با درنظرداشتن احداث نیروگاه زباله‌سوز در نزدیکی منطقه‌ی مذکور (شهرک صنعتی لاکان در محدوده‌ی شهرستان رشت) امکان‌سنجی طرح مذکور در کنار گزینه‌های موجود، یعنی دپوی غیربهداشتی و نیز کمپوست‌سازی توسط شرکت کودآلی، بررسی شود.

لذا، یک مدل ریاضی با درنظرداشتن عوامل و شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی پیشنهاد شده است، که قابلیت تعمیم به سایر مناطق را با درنظرداشتن پارامترهای مربوط به موقعیت موجود داشته باشد. لذا پس از تکمیل مدل، به منظور امکان‌سنجی احداث نیروگاه زباله‌سوز، دو سناریو در شرایط احداث و نیز عدم احداث نیروگاه برای مسئله‌ی اخیر تعریف شده است.

۲.۴. دستاوردهای پژوهش

نتایج به‌دست‌آمده به‌منظور اجرای مدل ریاضی مسئله در نرم‌افزار گمز (نسخه‌ی ۲۰۱۸) با روش برنامه‌ریزی عدد صحیح استفاده شده‌اند، که خروجی اجرای آن‌ها به گونه‌ای رقم خورده است که در شرایط احداث کارخانه، کلیه‌ی زباله‌ی تولیدی که معادل ۶۰۰ تن روزانه برآورد شده است، توسط مدل به نیروگاه تخصیص یافته و با هزینه‌ی نهایی ۸۸۱،۳۲۵ دلار به‌عنوان کارآمدترین و بهترین روش گزارش شده است.

اما در سناریویی که شرایط عدم احداث نیروگاه لحاظ شده است، نتیجه به گونه‌ای بوده است که در ابتدا، شرکت کود آلی به‌عنوان گزینه‌ی بهتر شناخته شده و پس از تکمیل ظرفیت آن، که معادل ۴۰۰ تن بوده است، مابقی ۲۰۰ تن پسماند باقی‌مانده، به روش دپوی غیربهداشتی با مجموع هزینه‌ی ۳،۳۶۷،۲۴۰ واگذار شده است. شایان ذکر است که در صورت وجود ظرفیت مضاف بر وضعیت کنونی، دفع کلیه‌ی پسماند به کمپوست‌سازی تخصیص پیدا می‌کند.

نکته‌ی قابل بحث در این میان به گونه‌ای است که مابه‌التفاوت هزینه‌ها در شرایط احداث و عدم احداث نیروگاه زباله‌سوز، چیزی در حدود ۲،۴۸۵،۹۱۵ دلار است، که معادل حدود ۷۴٪ صرفه‌جویی در مجموع عوامل اقتصادی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهد.

با وجود این، نتایج حاکی از آن است که علی‌رغم اینکه احداث نیروگاه نیاز به سرمایه‌گذاری دارد و به ظاهر پرهزینه است، ولی درنهایت با کاهش شدید پیامدهای زیست‌محیطی و نیز تولید الکتریسیته و ایجاد زمینه‌ی فروش و

مجموع هزینه (اعم از ساخت، عملیات، و محیط‌زیست) در حدود ۸۸۱،۳۲۵ دلار (با تقریب دو رقم اعشار)، شرایط بهینه را ارائه می‌کنند.

۲. سناریوی ۲. در سناریوی دوم، به بررسی شرایطی پرداخته شده است که در آن، نیروگاه زباله‌سوز احداث نشود و فقط از پتانسیل موجود، یعنی دو روش کمپوست‌سازی توسط شرکت کود آلی رشت و دپوی غیربهداشتی در منطقه‌ی سراوان به‌منظور دفع پسماند استفاده شود.

نتایج حاصل از اجرای مدل مذکور در نرم‌افزار گمز تحت شرایط برنامه‌ریزی عدد صحیح نشان داده است که روش بهینه‌ی مدیریت پسماند در صورت عدم احداث تأسیسات زباله‌سوز، تلفیقی از دو روش اخیر است، یعنی کمپوست‌سازی (با بیشینه‌ی ظرفیت موجود معادل پردازش ۴۰۰ تن پسماند در روز) و دپوی غیربهداشتی (لندفیل) برای دفع مابقی پسماند پردازش‌نشده توسط شرکت کود آلی (کمپوست)، که معادل ۲۰۰ تن در روز است. کلیه‌ی مقادیر اخیر، با مجموع هزینه (اعم از عملیاتی و زیست‌محیطی)، در حدود ۳،۳۶۷،۲۴۰ دلار، شرایط بهینه را ارائه می‌کنند.

۴. نتیجه‌گیری

در استان‌های شمالی کشور، سیستم مدیریت مواد زائد جامد شهری، به این دلایل نیازمند تغییرات و بازنگری اساسی است، تا با انجام اصلاحات لازم در بخش‌های مختلف، کارایی آن به نحو مطلوبی افزایش یابد:

۱- تراکم بالای جمعیت و کمبود فضای مناسب و کافی جهت دفن انبوه زباله‌های اهالی و گردشگران.

۲- ارزش بالای زمین از نظر اقتصادی، اجتماعی، و زیستگاهی.

۳- اقلیم بسیار حساس و شکننده‌ی منطقه.

۴- اهمیت راهبرد فعالیت‌های کشاورزی و گردشگری.

۵- وجود جنگل‌های انبوه و شیب تند دامنه‌ی شمالی البرز.

۶- با توجه به بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی در استان‌های شمالی کشور و تولید شیرابه، که آلودگی مضاعفی را به محیط تحمیل می‌کند.

پژوهش حاضر، سعی داشته است که به بررسی و مطالعه‌ی عمیق پیرامون معضل دفع پسماند شهری و نیز استحصال انرژی از آن، به‌عنوان یک منبع کمکی در تأمین الکتریسیته و همچنین کاهش پیامدهای اقتصادی و به‌خصوص زیست‌محیطی بپردازد و به‌منظور بهبود شرایط کنونی، مدلی را به جهت مدیریت پسماند معرفی کند و درنهایت، با اجرای آن درخصوص زباله‌ی شهر رشت در استان گیلان به‌عنوان یک مطالعه‌ی موردی، کارایی و عملکرد مدل مذکور را بسنجد.

زیاله (در مقایسه با روش گازی‌سازی که در نوشتار حاضر بحث شده است)، موضوع مناسبی به جهت انجام پژوهش محسوب می‌شود.

در پژوهش حاضر تا حد امکان سعی شده است تا آثار اجتماعی نیز در ذیل سایر پارامترهای فنی در نظر گرفته شود، اما در کنار روش‌های مدیریت پسماند، در نظر داشتن پارامترهای اجتماعی مؤثر می‌تواند به منظور کسب نتایج دقیق‌تر شایان توجه باشد.

به‌عنوان پیشنهاد دیگری در مطالعات آتی، بررسی سیاست‌های موجود در حوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر، علی‌الخصوص در بخش نیروگاه‌های زباله‌سوز و نقش راهبردی این سیاست‌ها در پیشرفت مدیریت پسماند و بهبود وضعیت انرژی، می‌تواند از جمله موارد حائز اهمیت در پژوهش‌های علاقه‌مندان باشد.

درآمدزایی جانبی از این طریق، روش بهینه در بین گزینه‌های موجود مدیریت پسماند به شمار می‌رود.

۳.۴. پیشنهاد پژوهش‌های آتی

از میان رویکردهای متفاوتی که در دفع پسماند شناسایی شده‌اند، روش دفع بهداشتی زیست‌توده با قابلیت استحصال انرژی از گازهای حاصل از آن، نظیر متان، روش قابل‌تأملی است؛ که به پژوهشگران این حوزه پیشنهاد می‌شود با محاسبه‌ی آثار اقتصادی و زیست‌محیطی آن و با استفاده از مدل ریاضی پژوهش حاضر، به مقایسه‌ی آن با رویکردهای موجود بپردازند.

از بُعد فنی نیز بررسی فناوری‌های مختلف موجود در دنیا در زمینه‌ی سوزاندن

References – منابع

1. Akbulut, A. 2012. Techno-economic analysis of electricity and heat generation from farm-scale biogas plant: Çiçekdağı case study. *J. of Energy*, 44(1), pp.381–390. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.06.017>.
2. Leme, M.M.V., Rocha, M.H., Lora, E.E.S., Venturini, O.J., Lopes, B.M. and Ferreira, C.H. 2014. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. *J. of Resources, Conservation and Recycling*, 87, pp.8–20. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.003>.
3. Luz, F.C., Rocha, M.H., Lora, E.E.S., Venturini, O.J., Andrade, R.V., Leme, M.M.V. and del Olmo, O.A. 2015. Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil. *J. of Energy Conversion and Management*, 103, pp.321–337. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.074>.
4. Martínez, J., Ramírez-Seañez, A.R. and Marina-Clemente, J.A. 2020. Factores socioeconómicos y nivel de adopción tecnológica en unidades de producción de piña en Loma Bonita, Oaxaca, México. *J. of Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 80, pp.71–79. DOI:<https://doi.org/10.33064/iycaua2020803006>.
5. Zhao, X., Jiang, G., Li, A. and Wang, L. 2016. Economic analysis of waste-to-energy industry in China. *J. of Waste Management*, [online] 48, pp.604–618. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.014>.
6. Cobuloglu, H.I. and Büyüktaktın, İ.E. 2014. A mixed-integer optimization model for the economic and environmental analysis of biomass production. *J. of Biomass and Bioenergy*, 67, pp.8–23. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.025>.
7. Gavurova, B., Rigelsky, M. and Ivankova, V. 2021. Greenhouse Gas Emissions and Health in the Countries of the European Union. *J. of Frontiers in Public Health*, 9. DOI:<https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.756652>.
8. Kabir, Z. and Khan, I. 2020. Environmental impact assessment of waste to energy projects in developing countries: General guidelines in the context of Bangladesh. *J. of Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, p.100619. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100619>.
9. Wang, A. and Dong, W. 2019. Discussion on waste incineration power generation and its process calculation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 490, p.072047. DOI:<https://doi.org/10.1088/1757-899x/490/7/072047>.
10. Dong, J., Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q. and Ni, M. (2014). Energy–environment–economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: Model development and case study. *J. of Applied Energy*, 114, pp.400–408. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.037>.
11. Soltani, M., Moradi Kashkooli, F., Dehghani-Sanij, A.R., Nokhosteen, A., Ahmadi-Joughi, A., Gharali, K., Mahbaz, S.B. and Dusseault, M.B. 2019. A

- comprehensive review of geothermal energy evolution and development. *J. of Green Energy*, 16(13), pp.971–1009. DOI:<https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1650047>.
12. Chand Malav, L., Yadav, K.K., Gupta, N., Kumar, S., Sharma, G.K., Krishnan, S., Rezaia, S., Kamyab, H., Pham, Q.B., Yadav, S., Bhattacharyya, S., Yadav, V.K. and Bach, Q.-V. 2020. A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities. *J. of Cleaner Production*, 277, p.123227. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123227>.
13. Wibowo, H., Susanto, H., Grisdanurak, N., Hantoko, D., Yoshikawa, K., Qun, H. and Yan, M. 2021. Recent developments of deep eutectic solvent as absorbent for CO₂ removal from syngas produced from gasification: Current status, challenges, and further research. *J. of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), p.105439. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105439>.
14. Li, L., Li, J., Li, Y., Luo, J., Wang, Y. and Wang, X. 2023. Perspective of Waste to Energy and Fuel with Negative Emission Potential: Smart Environmental and Techno-economic Analysis. *Energy & Fuels*, 37(19), pp.14556–14573. DOI:<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c02109>.