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

یاسین مظلوم کلیمانی

کارشناس ارشد بهینه‌سازی سیستم‌ها، دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌ها ، دانشگاه تربیت مدرس
Yasin_mazloom@modares.ac.ir

سید حسام‌الدین ذگردی [1]

استاد، دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس zegordi@modares.ac.ir

چکیده:

در این مقاله، سیستم مدیریت پسماند برای ارزیابی احداث نیروگاه زباله‌سوز در نظرگرفته شده‌است. زباله‌ها، روزانه بصورت غیراصولی در منطقه سراوان رشت بدون رعایت اصول مهندسی، دپوشده و می‌توان به پیامدهای زیست محیطی متعددی برای آن اشاره نمود. لذا این مطالعه با ارائه مدلی، به ارزیابی تولید انرژی از پسماند زباله‌های شهری استان گیلان پرداخته و اجرای این طرح را از جنبه‌های مختلف اقتصادی و زیست‌محیطی بررسی می‌نماید.

این مطالعه برای سه روش دپوی غیربهداشتی، کمپوست‌سازی و تاسیسات زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی طی دو سناریو، احداث و یا عدم احداث نیروگاه زباله‌سوز را بررسی نموده و مدل نهایی را با نرم‌افزار گمز، تحت روش برنامه‌ریزی عددصحیح اجرا نموده است. لذا نتیجه امکان‌سنجی احداث نیروگاه زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی، صرفه‌جویی معادل ۲،۴۸۵،۹۱۵ دلار روزانه با احداث نیروگاه زباله‌سوز، به جهت دفع 600 تن پسماند را در مجموع شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی:

انرژی تجدیدپذیر - مدل اقتصادی - محیط زیست - زباله‌سوز.

[1] نویسنده مسئول

Economic and environmental optimization model of the amount of waste allocated to different methods of urban waste disposal in Gilan province

Y. Mazloom Kalimani, Yasin_mazloom@modares.ac.ir

Senior expert in systems optimization, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University

S.H. Zegordi, zegordi@modares.ac.ir

Professor, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University

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 highlighted 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 it is apparently expensive, but 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.

Keywords: Renewable energy - economic model - environment - Garbage incineration.

1 ـ مقدمه و تاریخچه تحقیقات

رشد فزاینده مواد زائد تولیدی از فعالیت‌های بشر، از نظر تنوع و مقدار و مضرات بالقوه آنها بر محیط زیست و سلامتی جوامع، آگاهی‌های فزاینده‌ای را در سطح جهانی در مورد نیاز ضروری به استفاده و به کارگیری روش‌های علمی برای دفع ایمن پسماندها ایجادکرده‌است.[1]

1 ـ 1 ـ پیشینه‌ی پژوهش

از آنجا که نیاز آشکاری برای کاهش تولید پسماندها و تلاش برای بازیافت و استفاده مجدد از آنها وجود دارد، فناوری‌های استحصال انرژی از پسماندها می‌تواند نقش مهمی در کاهش مشکلات در کنار بازیافت انرژی ذاتی آن‌ها داشته باشد این فناوری‌ها می‌توانند کاهش قابل توجهی در میزان کل مقادیر پسماند که نیاز به دفع نهایی دارد، ایجاد کنند و موجب ایجاد دفع بهداشتی بهتری در شرایط کنترل‌شده و با رعایت استانداردهای کنترل آلودگی شوند. در بررسی‌های اقتصادی هر طرح، علاوه بر مسائل فنی و مالی ، لازم است تاثیرات طرح بر محیط زیست را لحاظ نموده و در محاسبات، هزینه‌های زیست محیطی به حساب آید.

به طور مثال در مقالات، صرفاً امکان‌سنجی اقتصادی با استفاده از شاخص‌های ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی ارزیابی شده‌است. [2] و[3].

امروزه هزینه دفن پسماند در زیر خاک چه از نظر اقتصادی و مخصوصا زیست‌محیطی خیلی بیشترشده و عملاً کار را با مشکل مواجه ساخته‌است. زباله‌سوزی، راه حل دیگری برای دفع پسماندهاست که از سال‌ها قبل در کشورهای پیشرفته صنعتی دنیا مرسوم بوده‌است. ارزش حرارتی پسماند، کمبود زمین در بسیاری مناطق و آلودگی‌هایی که دفن پسماندها در محیط زیست و آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌کنند، از جمله مواردی است که سبب توسعه استفاده از زباله‌سوزها شده‌است.

از این‌رو، زباله‌سوزی یکی از راه‌های نوین دفع پسماند در جوامع پیشرفته‌تر بوده‌است. دفن، کمپوست و سوزاندن در دمای بالا، روش‌های اصلی دفع زباله‌های شهری هستند. روش دفن اگرچه به راحتی اجرا می‌شود، اما باعث آلودگی ثانویه منابع طبیعی مانند خاک، جو و آب‌های زیرزمینی می‌گردد. 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 بر اساس منابع و کاهش نیازها برای تصفیه زباله‌های جامد شهری، آسیب کمتری به همراه داشته باشد، موثرترین روش است. این رویکرد، اجزای قابل احتراق زباله را در دمای بالا می‌سوزاند و این اجزا، کاملاً اکسید می‌شوند و در نهایت به خاکستر بی ضرر و پایدار تبدیل می‌گردند. [4] تا [6].

سوزاندن به طورکلی امکان کاهش قابل توجه ضایعات را فراهم می‌کند و اشغال زمین را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و انرژی حرارتی را برای گرمایش و تولید برق بازیابی می‌کند. سوزاندن نوعی فناوری تصفیه زباله‌های خانگی شهری است که به طور گسترده در برخی از کشورهای پیشرفته جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از عملیات سوزاندن، حجم زباله‌ها را می‌توان تا 90 درصد کاهش داد. علاوه بر این، سوزاندن در دمای بالا می‌تواند تعداد زیادی از باکتری‌های بیماری‌زا و مواد سمی را از بین ببرد و درجه باکتری‌های مضر را که محیط را آلوده می‌کنند، کاهش دهد. [7] تا [9].

چگونگی انتخاب یک سیستم مدیریت پسماند جامد شهری با انرژی کارآمد، سازگار با محیط زیست و مقرون به صرفه، چالش بزرگی است که باید توسط تصمیم‌گیرندگان انجام شود. [10]

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

1 ـ 2 ـ ضرورت ارزیابی نحوه مدیریت پسماند شهری

درحال حاضر هدف نهایی از حفاظت محیط زیست، دستیابی به توسعه پایدار در قالب برنامه‌های اقتصادی هماهنگ با اصول حفاظت از محیط زیست و ممانعت از تخریب و تهی‌سازی منابع تجدیدشونده و غیرقابل تجدید است.

از این‌رو برای حل بنیادی مشکلات بحرانی محیط زیست باید دیدگاه‌های کلان و زیربنایی توسعه منطبق با قانونمندی‌های حفاظت محیط زیست طراحی شود.

هرگونه سیاستگذاری و برنامه‌ریزی‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آینده کشور بر شالوده حفاظت محیط زیست و منابع طبیعی و بهره‌وری خردمندانه از این منابع با نگرش ایجاد تعادل و تناسب بین قانونمندی‌های محیط‌زیست و توسعه‌پایدار صورت گیرد.

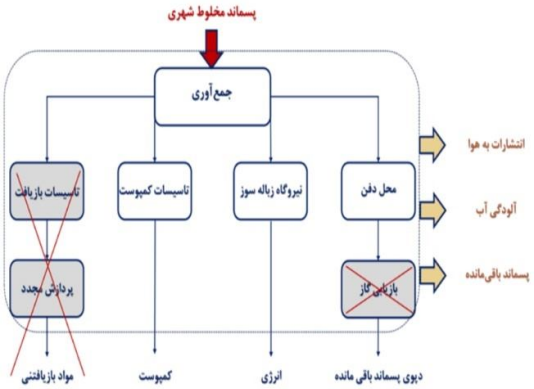
کاربرد ارزیابی اثرات زیست محیطی به‌عنوان یکی از ابزارهای مدیریت محیط زیست، چنان‌که از سه دهه قبل در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه معمول بوده، الزام استفاده از این نگرش را برای پروژه‌های بزرگ عمرانی نظیر محل‌های دفن زباله شهری تاکید می‌نماید. مشکلات زیست محیطی محل‌های دفن زباله شهری و محیط‌های پیرامونی آن‌ها از دیرباز مورد توجه مردم و مسئولین بوده است.

در دهه‌های اخیر، به ویژه پس از توسعه دانش مدیریت مواد زائد جامد، محل‌های دفن زباله شهری به شکلی که در سال‌های قرن گذشته مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت، موجب‌شده که مسائل مرتبط با محیط‌زیست نیز به صورت بحرانی‌تری مطرح شود.

لذا برای کاهش مشکلات زیست محیطی موجود، نخستین هدف ارزیابی برای اطمینان یافتن از رعایت سیاست‌ها و خط‌مشی‌های تعیین‌شده در برنامه‌ها و فعالیت‌های طرح‌ها و با پروژه‌های مذکور در راستای ضوابط معیارها، قوانین و مقررات زیست محیطی دولتی مطرح شده‌است. از این رو تهیه یک مدل ارزیابی شامل شناسایی کلیه اثرات مهم طرح‌ها و یا پروژه‌های پیشنهادی ساختارهای دفع زباله شهری، ضروری است که با ارائه گزینه‌های منطقی و مقبول، حداقل اثرات منفی و سوء را با حداکثر افزایش کیفیت زندگی برای انسان‌ها و بیشترین اعتماد و اطمینان را در سطوح تصمیم‌گیران و مردم ایجاد نماید.

ساختار کلی مسئله به صورت شماتیک، مطابق شکل1 بوده و مدل مورد بررسی در پژوهش حاضر، بنابر ساختار شکل1، روند مدیریت پسماند را صرفاً با درنظر گرفتن زباله‌های غیرقابل بازیافت که دارای همپوشانی از نظر نوع پسماند مصرفی هستند، در شرایط لندفیل غیربهداشتی، کمپوست‌سازی و زباله‌سوزی مورد بررسی قرار می‌دهد. زباله‌های کلان شهر رشت از سال 1363 به منطقه جنگلی سراوان انتقال یافت.

محل تلنبار زباله سراوان رشت طبق اصول مهندسی محل دفن طراحی و اجرانشده و فاقد اجزاء لازم برای محل دفن بهداشتی است. از اصلی‌ترین مسائل زیست محیطی شناخته‌شده در این محل دفن، می‌توان به آلودگی آب‌های سطحی با انتشار شیرابه، نفوذ شیرابه به لایه‌های زیرین و احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی، مسمومیت و آسیب‌های جدی به ساکنین منطقه، تغذیه حیوانات بومی از زباله‌ها، انتشار گاز در اتمسفر و آسیب به پوشش گیاهی و حیات وحش موجود اشاره نمود. بر اساس برآوردها، مقدار پسماند دفن شده در دفنگاه سراوان تا کنون بالغ بر حدود 17میلیون‌تن می باشد و در حال حاضر نیز به طور روزانه حدود 600 تن زباله شهری به این منطقه منتقل می‌گردد. شکل1، فرآیند مدیریت زباله غیرقابل بازیافت را نشان می‌دهد.



شکل 1 - نمای شماتیک از فرآیند مدیریت زباله غیرقابل بازیافت

1 ـ 3 ـ فناوری گازی‌سازی

نیروگاه زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی یک روش نوین برای تبدیل زباله‌های شهری به انرژی است. در این فرایند، زباله‌ها با استفاده از فرایند گازی‌سازی به گازهای قابل سوخت تبدیل می‌شوند. این گازها شامل گازهای متان، هیدروژن، اکسید کربن و گازهای سنتزی هستند که قابلیت استفاده به عنوان سوخت در تولید برق و حرارت را دارند.

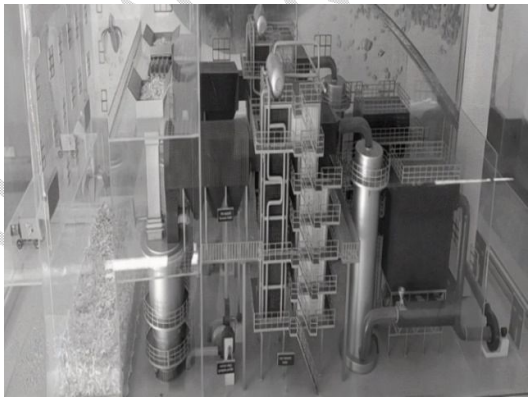
فناوری گازی‌سازی در نیروگاه زباله سوز برخی مزایا و فواید مهم را دارد. به عنوان مثال، این فناوری به دلیل استفاده از زباله‌های شهری به عنوان منبع انرژی، می‌تواند به تحقق اهداف مدیریت پایدار زباله‌ها و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کند. همچنین، استفاده از آن می‌تواند باعث کاهش آلاینده‌های محیطی ناشی از دفن زباله‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای شود. مدیریت پسماندها و تولید انرژی پایدار در جوامع شهری به یک چالش جدی تبدیل شده‌است.

به منظور مواجهه با این چالش، نیروگاه‌های زباله‌سوز با تکنولوژی "گازی سازی" به عنوان یک روش پیشرفته برای تولید انرژی حرارتی- الکتریکی از زباله‌ها به منظور مدیریت بهینه پسماندها و تأمین انرژی پایدار در حال ظهور هستند.

نیروگاه از طریق فرایندی تحت عنوان "گازی‌سازی" زباله‌های جامد را به گازهای قابل سوخت تبدیل می‌کند. در این فرایند، زباله‌ها در دماهای بالا و درشرایط آب و هوایی بی‌هوازی تحت عملیات شیمیایی تجزیه می‌شوند وگازهای قابل سوخت مانند متان و هیدروژن تولید می‌شوند.

سپس این گازها دریک موتور توربین‌گازی به انرژی‌حرارتی تبدیل‌شده و از طریق یک ژنراتور به انرژی‌الکتریکی تبدیل می‌شوند. [11]تا[14].

شکل2 ، به‌صورت شماتیک، ساختار کلی نیروگاه زباله‌سوز مورد بررسی را نمایش می‌دهد.



شکل 2- ماکت فرایند زباله سوزی پسماند شهری

- بخش اول مربوط به زباله سوزی می باشد؛ در این بخش زباله‌ها با گذر از یک واحد تفکیک و پردازش به واحد زباله سوزی وارد می‌گردد. رعایت فناوری گازی‌سازی و پیرولیز سازنده خارجی با هدف کنترل درجه حرارت و زمان ماند و همچنین نوع کوره‌های بکارگرفته‌شده به دلیل تولید حداقل گازهای غیر قابل کنترل و مضر بوده‌است.
- بخش دوم مربوط به تجهیزات تولید برق نیروگاه می‌باشد؛ گازهای گرم تولید شده در حدود 1200 درجه حرارت با عبور از بویلر، انرژی حرارتی خود را به ژنراتور و توربین جهت تولید برق انتقال خواهد داد.
- بخش‌سوم مربوط به تجهیزات کنترل آلاینده‌ها در اسید اسکرابر و سیستم فیلتراسیون خروجی گاز با هدف دستیابی به استاندارد محیط‌زیست آمریکا (2012) بوده‌است. این بخش شامل سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب و شیرابه می‌گردد که منوط به رعایت استاندارد پساب خروجی ملی ایران خواهد بود.

2 ـ ارزیابی ساخت نیروگاه زباله‌سوز

همانطور که در بخش مقدمه عنوان شد، با درنظرداشتن روند کلی طرح مدیریت پسماند ، ذی نفعان طرح عبارتند از؛

1. ساکنین منطقه در وهله‌ی اول بعنوان اصلی‌ترین تاثیرپذیران پیامدهای مختلف وضعیت پسماند منطقه
2. سازمان مدیریت پسماند شهرداری
3. مجری طرح نیروگاه زباله‌سوز (شرکت خصوصی)
4. وزارت نیرو بعنوان یکی از متولیان امر

2 ـ 1 ـ مدل ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی

مدل ریاضی ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی اجرای طرح نیروگاه زباله سوز بعنوان یکی از روش‌های مدیریت پسماند و نیز استحصال انرژی از زباله به شرح زیر در رابطه(1)، قابل اجرا خواهد بود؛

$$MinZ = \sum_i \sum_j \left(-V_{ij} \cdot r_j + c_j + l \cdot rr_j + cc_j \right) \cdot x_{ij} \qquad (1)$$

که اجزای تابع هدف نیز در رابطه(1)، به شرح زیر می‌باشند:

V_{ij} ارزش حرارتی ویژه زباله نوع i در تأسیسات نوع j ، r_j نرخ خرید خروجی حاصل در تأسیسات نوع j ، c_j هزینه احداث و عملیات تأسیسات نوع j ، l هزینه دپوی زباله نهایی، rr_j نرخ زباله ی باقیمانده پس از عملیات در تاسیسات نوع j ، cc_j هزینه زیست محیطی تاسیسات نوع j ، X_{ij} بعنوان متغیر اصلی مسئله، مقدار زباله دفع شده نوع i در تاسیسات نوع j و Z بعنوان مقدار خروجی نهایی مسئله، هزینه دفع زباله از روش‌های مختلف است که به دنبال کمینه‌کردن آن هستیم.

اما روابط مربوط به محدودیت‌های مدل، بصورت زیر است:

رابطه(2) در خصوص ظرفیت دفع تأسیسات نوع j و

رابطه(3) در خصوص تقاضای دفع زباله نوع i است.

$$capacity = \sum_i X_{ij} \le a_j \qquad (2)$$

$$demand = \sum_j X_{ij} \ge g_i \qquad (3)$$

لذا برای این مسئله، یک متغیر اصلی و دو محدودیت در نظر گرفته شده‌است.

با توجه به ماهیت طرح مورد بررسی، مفروضات به این صورت است که درحال حاضر، زباله‌ها به دو شکل دپوی غیربهداشتی و کمپوست‌سازی دفع می‌گردند و روش‌های مذکور، وضعیت جاری ساختار مدیریت پسماند را ترسیم می‌نماید. برنامه ما در این‌جا، اضافه نمودن نیروگاه زباله‌سوز بعنوان روش سوم این ساختار می‌باشد و لذا هدف از اجرای این مدل، امکان‌سنجی و ارزیابی وضعیت، با ساخت نیروگاه می‌باشد. حال باید خاطر نشان نمود که با توجه مفروضات ذکرشده، عناوین هزینه‌ها و درآمدهای ناشی از اجرای طرح که در ساختار مدل نیز گنجانده‌شده، در جدول1 به شرح زیر است؛

جدول 1- هزینه های سرمایه‌گذاری نیروگاه زباله سوز با تکنولوژی گازی‌سازی

شاخص	مورد
هزینه	زمین و موارد جانبی
	ساخت ابنیه
	تجهیزات خط تولید
	حقوق و دستمزد
	زیست محیطی ناشی از آلاینده‌ها
درآمد	فروش کود کمپوست
	فروش برق نیروگاه

در جدول2 ، ترکیبات موجود در زباله شهری که توسط روش‌های مختلف دفع می‌گردد، بعنوان یکی از عوامل مهم که در ساختار مدل دخیل است، آورده شده‌است.

جدول 2 - ترکیبات پسماند موجود فرآوری شده یا دفع‌شده توسط تاسیسات مختلف

تاسیسات	ترکیب زباله
دپوی غیربهداشتی کمپوست زباله سوز	**مواد ارگانیک**
	مواد غیر ارگانیک : - لاستیک - پلاستیک - کاغذ - منسوجات - چوب

2 ـ 2 ـ روش حل مدل

حل مدل نهایی مسئله با نرم افزار گمز[1] در طی دو سناریو (1- وجود تاسیسات زباله‌سوز 2- عدم وجود تاسیسات زباله سوز) ، برنامه‌ریزی شده‌است که طرح مذکور را به جهت امکان بهبود وضعیت موجود از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی امکان‌سنجی نماید.

3 ـــ مطالعه موردی، احداث نیروگاه زباله‌ســوز در شهر رشت، استان گیلان

سیستم مدیریت پسماند زباله غیرقابل بازیافت، درحال حاضر شامل دپوی غیربهداشتی در منطقه‌ی سراوان و نیز کارخانه کود آلی (کمپوست) در شهرک صنعتی لاکان رشت است که پژوهش حاضر قصد دارد نیروگاه زباله سوز را به عنوان گزینه سوم این فرایند از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی، مورد بررسی قراردهد.

زباله‌های شهر رشت و شهرهای حوزه مرکزی استان گیلان (شامل 13 شهر و 52 دهستان) در حدود 800 تن در روز می‌باشد و حدود 600 تن از آن شامل زباله‌های غیرقابل بازیافت است که موضوع بحث ما را تشکیل می‌دهد. مقادیر تولید زباله در شهر رشت عمدتاً شامل پسماندهای خانگی و پسماندهای جمع‌آوری‌شده از برخی مراکز تجاری با خصوصیات شبیه پسماند خانگی است که جزئیات آن به شرح جدول 3 خواهد بود.

جدول 3- درصد مواد تشکیل دهنده غیرقابل بازیافت زباله های شهری

نوع پسماند	درصد جرمی	مقدار (تن در روز)
مواد ارگانیک	%72	432
پلاستیک	%11,8	71
کاغذ	%10,7	64
لاستیک	%2,5	15
منسوجات	%2	12
چوب	%1	6
جمع	**%100**	**600**

لذا به بررسی اولیه هریک از روش‌های مدیریت پسماند می‌پردازیم؛

3 ـ 1 ـ دپوی غیربهداشتی زباله

زباله‌های کلان شهر رشت از سال 1363 به منطقه جنگلی سراوان انتقال یافت. این منطقه در فاصله 20

[1] GAMS

کیلومتری جنوب شهر رشت واقع گردیده است. فاصله این بخش تا جاده اصلی قزوین ـ رشت حدودا 2 کیلومتر با ارتفاع 200 متر از سطح دریاست که زباله‌ها، روزانه بصورت غیراصولی در آن دفن می‌گردد.

این محل دفن را نمی‌توان بعنوان یک محل دفن بهداشتی قلمداد کرد؛ زیرا فاقد اکثر معیارها و تجهیزات و تمهیدات لازم برای محل دفن بهداشتی است.

لذا این نقص‌ها شامل خاک پوششی مورد نیاز روزانه، لاینر، زه‌کشی شیرابه، حفاظ پوششی، سیستم جمع‌آوری و تصفیه شیرابه و گاز است.

این محل تلنبار در یک دره با پوشش گیاهی طبیعی قرار داشته و مشابه همه مناطق شمالی ایران بعلت گسترش جنگل سراوان ، توسط درختان احاطه گردیده است.

مهمترین مسائل زیست‌محیطی شناخته‌شده در این محل دفن عبارتنداز:

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

بر اساس برآوردها، مقدار پسماند دفن‌شده در دفنگاه سراوان تا کنون بالغ بر حدود 17میلیون تن می‌باشد و در حال حاضر نیز به طور روزانه حدود 600 تن زباله شهری به این منطقه منتقل می‌گردد.

شیرابه زباله حاوی ترکیبات و آلاینده‌های گوناگون از جمله فلزات سنگین است. بهترین مکان برای دفن مواد زاید برای جلوگیری از نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی، مکان‌هایی هستند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند. در چنین مکان‌هایی عمدتاً به دلیل وجود زمین کافی و پایین بودن عمق آب‌های زیرزمینی شرایط دفن نسبتاً ایمن است.

3 ـ 2 ـ کارخانه کود آلی (کمپوست)

کارخانه کود آلی شامل زمینی به مساحت 7 هکتار است. این کارخانه دارای سوله عملیات مکانیکی (دریافت و جداسازی دستی) ، سوله‌های مخصوص تخمیر اولیه و مخصوص تخمیر ثانویه، سوله 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 می‌شوند و این زباله‌ها پس از دپو، وارد سالن عملیات مکانیکی‌شده و پس از طی مراحل جداسازی و تفکیک ضایعات خشک که بر روی تفاله بصورت دستی انجام می‌گیرد، مواد همجنس جداشده و در تونل‌های مخصوص جمع‌آوری می‌شوند و پس از جمع‌آوری و بسته‌بندی به انبار تحویل داده خواهند شد.

مواد قابل تبدیل به کود آلی (زباله تر) به سالن تخمیر زباله منتقل‌شده و در این سالن مسقف با هوادهی مستمر و اختلاط و جابجایی مداوم، آبگیری و بوسیله دستگاه هوادهنده، خشک شده و تخمیر هوازی نیز در ادامه صورت می‌گیرد.کمپوست تشکیل‌شده پس از غربال‌کردن‌های متوالی قابل ارائه به بازار، در انبار محصول جمع آوری می‌گردد.

شرکت کود آلی گیلان در حال حاضر دارای در دو خط اسمی 250 تنی و دو سوله تخمیر به متراژ 6000 متر مربع می‌باشد. ظرفیت فعلی ورودی زباله در هر خط آن در هر شیفت کاری حدود 200 تن در روز است که از این مقدار زیر سرندی‌ها برای تولید کمپوست تفکیک می‌گردند. سپس زباله‌های تفکیکی به سالن تخمیر واردشده برای مدت 60 روز نگهداری شده تا فرایند تخمیر کامل شود، بنابراین بعد از گذشت دو ماه کود حاصله از تخمیر به سالن‌های بلوغ وارد شده و پس از فرآوری و دانه‌بندی برای فروش آماده می‌شود.

بر اساس آمار ارائه‌شده از شرکت کود آلی، روزانه 6 تن کود از حدود 400 تن زباله ورودی به خطوط ، تولید می‌گردد. به عبارتی به ازای هر تن زباله تر، حدود 15 کیلوگرم کود کمپوست بدست می‌آید که شیرابه حاصل از آن در حدود 12مترمکعب در روز و به ازای هر تن زباله، حدود 30 لیتر است. همچنین قابل ذکر است که هزینه ناشی از تبدیل هر تن زباله به کود کمپوست، در حدود ۴،۰۰۰،۰۰۰ریال (معادل 8 دلار آمریکا) برآوردگردیده است.

3 ـ 3 ـ نیروگاه زباله سوز

پروژه‌ای که دراین گزارش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، با عنوان "طرح احداث نیروگاه زباله سوز شهر رشت" با ظرفیت پذیرش سالانه حدود ۲۱۸،۰۰۰ و 600 تن زائدات جامد شهری در روز در قالب 4 خط 150 تنی با تولید انرژی برق

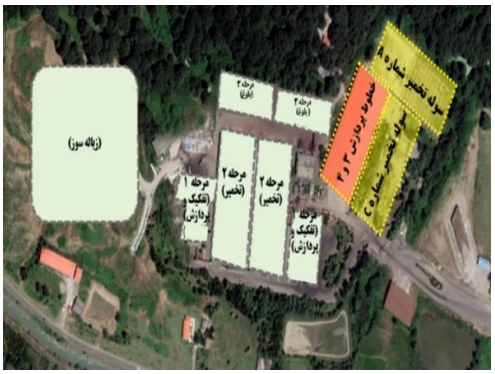
به میزان ۳۸،۰۰۰ مگاوات ساعت خالص انرژی الکتریکی اسمی در سال جهت تزریق به شبکه سراسری تحت کارفرمایی شهرداری شهر رشت است. قابل ذکر است که مرتبط با نوع سیستم زباله سوزی، مقدار ریجکت خروجی از 25درصد وزنی تا 5 درصد متفاوت است.

برای این نیروگاه با فناوری گازی‌سازی، حدوداً مقدار 10درصد ریجکت قابل انتظار است.

نیروگاه‌های زباله‌سوز، دارای مزایای زیادی همچون عدم نیاز به اراضی زیاد برای دفن زائدات، عدم آلایندگی محیط‌زیست، تولید انرژی الکتریکی (و حرارتی) در مقیاس نیروگاهی و برخورداری از ظرفیت‌های متغیر (امحاء زائدات و تولید انرژی) هستند. لذا دقت در بکارگیری سیستم‌های کنترل آلودگی و رعایت استانداردهای زیست‌محیطی مهم‌ترین بخش استفاده از زباله‌سوزها است.

گزینه‌های فنی شامل زباله‌سوز، دفن بهداشتی و تولید کود آلی است که با توجه به سیاست‌گذاری دفع پسماندهای شهری در شهرهای شمالی کشور، تولید کود آلی و زباله سوز در دستور کار قرار می‌گیرد. در حال حاضر شرکت کود آلی رشت فعال است، لذا گزینه زباله‌سوز و دفن پسماند نیز در وضع موجود بعنوان گزینه‌های مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

شکل3 نیز نشانگر جانمایی بخش‌های مختلف مرکز کمپوست و نیز محل احداث نیروگاه زباله‌سوز بوده و در یک نما، کلیات این اماکن را به نمایش می‌گذارد.



شکل 3- حوزه پردازش پسماند بخش مرکزی استان گیلان – شهرک صنعتی لاکان

در جدول4 ، آنالیزی از مشخصات و آلاینده‌های موجود در هریک از روش‌های مدیریت پسماند (دفع زباله) زیر نظر سازماند پسماند شهرداری رشت را نشان می‌دهد؛ اعم از؛

1- شیرابه حاصل از زباله‌های دپوشده در منطقه سراوان

2- مشخصات آلاینده‌های موجود در شیرابه حاصل از زباله‌های کمپوست‌شده در شرکت کود آلی (کمپوست)

3- آلاینده های تاسیسات زباله‌سوز

توسط سازمان محیط زیست و به درخواست سازمان مدیریت پسماند و شرکت کود آلی رشت به انجام رسیده است.

نام آلاینده	ترکیب شیمیایی	لندفیل (گرم در هر تن زباله)	زباله سوز (گرم در هر تن زباله)	کمپوست (گرم در هر تن زباله)
فسفات	PO_4^{-3}	1,56	0	0
سرب	Pb	107	0,008	107
روی	Zn	470	0,0069	470
آهن	Fe	0,15	0	0
کادمیم	Cd	0,2	0,0023	0,2
منگنز	Mn	0,12	0	0
مس	Cu	265	0,000016	265
کروم	Cr	0,003	0,0005	31
پالایشگاهی	O&G	1,86	0	0
سولفات	SO_4^{-2}	3,51	0	0
نیتریت	NO_2^-	0,9	0	0
نیترات	NO_3^-	1,71	0	0
کلراید	Cl^-	71,73	0	0
آمونیوم	NH_4^+	29,25	0	0
متان	CH_4	85	0	0
نیکل	Ni	0	0,002	17
کبالت	Co	0	0	0
جیوه	Hg	0	0,0002	0,01
آرسنیک	As	0	0,00003	0,06
هیدروکلریک اسید	HCl	0	55	0
کربن مونوکسید	CO	8	122	8
اکسیدهای نیتروژن	NO_X	0	686	0
گوگرد دی‌اکسید	SO_2	0	86	0
کربن دی اکسید	CO_2	95	86400	0

جدول 4- میزان انتشار موثرترین آلاینده‌های روش های مختلف مدیریت پسماند – گزارش سازمان محیط زیست با درخواست مدیریت پسماند شهرداری رشت

گزارش نهایی بازنگری انرژی زیست محیطی[2] ، طی دو سال با همکاری کامل دولت ایران و کمک مشاوران بین‌المللی و ملی تهیه شده‌است. گزارش EER شامل موارد زیر است:

- تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی با توجه به تولید و استفاده از انرژی.
- ارزیابی چشم انداز رشد با توجه به تولید و استفاده از انرژی
- شناسایی مسائل زیست محیطی ناشی از تولید و استفاده از انرژی و برآورد هزینه خسارات.
- ارزیابی میزان مشارکت در پدیده تغییر اقلیم از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای.
- ارزیابی اقدامات کاهشی پیشنهادی برای مشکلات زیست محیطی شناسایی شده قبلی

تاکید EER بر آلودگی هوا است که قطعا در شهرهای بزرگ، شدیدترین و قابل مشاهده‌ترین نشانه آسیب زیست محیطی است. منبع اصلی آلودگی هوا، بخش انرژی می‌باشد که کلید اقتصاد ایران و موتور اصلی رشد اقتصادی آینده است.

هیئت بین المللی تغییرات اقلیمی[3] نیز به طور مشترک توسط سازمان جهانی هواشناسی و ایالات متحده تشکیل شده‌است. این برنامه زیست‌محیطی ، به منظور ارائه یک بیانیه معتبر بین المللی از درک علمی تغییرات آب و هوایی، ایجاد شد. ارزیابی‌های دوره‌ای IPCC از علل، تأثیرات و استراتژی‌های واکنش احتمالی به تغییرات آب و هوایی، جامع‌ترین و به‌روزترین گزارش‌های موجود در این زمینه است و مرجع استاندارد برای همه افراد مرتبط با تغییرات آب و هوایی در دانشگاه، دولت و صنعت در سراسر جهان است.

از طریق سه گروه، صدها کارشناس بین‌المللی، تغییرات آب و هوایی را در طی گزارشاتی، ارزیابی می‌کنند. این گزارش از سه جلد اصلی تحت عنوان تغییرات آب و هوایی 2007 تشکیل شده‌است که همگی در انتشارات دانشگاه کمبریج موجود است. لذا از خروجی منابع معتبر فوق،

هزینه‌های برخی از آلاینده‌های زیست‌محیطی استخراج گردیده، که در جدول5، قابل مشاهده است.

آلاینده ها	هزینه (دلار به ازای هر تن)
CH_4	0,210
CO_2	0,010
CO	0,188
NOx ($NO_2 – NO_3$)	0,600
SO_2	1,825
HCl (0.88 * SO_2)	1,606
DCB	4,300
Pb (12 * DCB)	51,600
Hg (1400 * DCB)	۶،۰۲۰
Cd (13 * DCB)	55,900

جدول 5- هزینه های زیست‌محیطی ناشی از انواع آلایندهای منتشرشده از زباله.[4]

حال با درنظرداشتن هزینه‌های زیست محیطی آلاینده‌ها ، محاسبات مربوط به میزان نهایی هزینه‌های مربوط به هریک از روش‌های مدیریت پسماند ، در جدول 6، آمده‌است.

جدول 6- هزینه های زیست‌محیطی ناشی از انواع آلایندهای ناشی از روش‌های مختلف مدیریت پسماند

[2] EER
[3] IPCC

[4] Bank, W. (2004). Iran – Energy
at: http://hdl.handle.net/10986/14387
Solomon, S., On, P. and Al, E. (2007). Climate change: Cambridge University Press.

3 ـ 4 ـ ارزش حرارتی پسماند

یکی دیگر از موارد مهم و کلیدی در میزان انرژی تولیدی حاصل از سوزاندن زباله، بحث ارزش حرارتی اجزای تشکیل‌دهنده پسماند شهری است که در جدول 7 به تفکیک آورده شده‌است.

جدول 7- ارزش حراتی ویژه پسماند ورودی زباله سوز – (آنالیز سازمان مدیریت پسماند شهرداری رشت)

مواد تشکیل دهنده	ارزش حرارتی ویژه (Kj/Ton)	ارزش حرارتی ویژه (Kwh/Ton)
پلاستیک	۲۵،۰۰۰	6945
منسوجات	۱۳،۰۰۰	3611
کاغذ	۱۲،۰۰۰	3333
مواد ارگانیک	۳،۰۰۰	833
چوب	۱۵،۰۰۰	4167
لاستیک	۱۶،۰۰۰	4444

*هر کیلووات ساعت ، معادل 3,6 کیلوژول است.

به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی در سال 1402، با توجه به تجدیدپذیر بودن برق، از سوی سازمان وزارت نیرو، به مبلغ ۲۸،۵۰۰ ریال (حدوداً معادل 0,06 دلار آمریکا) خریداری می‌گردد.

3 ـ 5 ـ آنالیز هزینه‌ای احداث نیروگاه زباله سوز

در جدول8، مقدار پارامترهای هزینه‌ای بر مبنای فازهای راه‌اندازی پروژه که پیش‌تر عنوان شد، برحسب دلار بیان‌شده‌است.

جدول 8- هزینه های سرمایه‌گذاری نیروگاه زباله سوز با تکنولوژی گازی‌سازی

پارامتر	هزینه (دلار)
زمین و موارد جانبی	۱۰،۰۰۰،۰۰۰
ساخت ابنیه	۱۲،۰۰۰،۰۰۰
تجهیزات خط تولید	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
حقوق و دستمزد	۳،۰۰۰،۰۰۰
جمع	**۶۵،۰۰۰،۰۰۰**

برای آنالیز اقتصادی یک نیروگاه زباله‌سوز با فناوری گازی‌سازی در ابتدا میزان هزینه سرمایه‌گذاری کل با درنظر داشتن پارامترهای اقتصادی و زیست محیطی ناشی از روش‌های مختلف مدیریت پسماند محاسبه‌شده، سپس براساس میزان درآمد نیروگاه و سوددهی پروژه ناشی از فروش برق و میزان بازگشت سرمایه، مدل و خروجی نهایی آن بدست می‌آید.

با درنظرداشتن این مسئله که چشم‌انداز نیروگاه زباله‌سوز، بازگشت سرمایه در طی مدت 7سال است، با فرض انجام فعالیت در تمام روزهای سال با حداکثر ظرفیت پردازش (600 تن در روز)، هزینه اقتصادی فعالیت نیروگاه به ازای هر تن زباله، به صورت زیر بدست می‌آید؛

$$۶۵،۰۰۰،۰۰۰ \div 7 \div 365 \div 600 = 42.4\ \$$$

لذا به جهت حصول دید بهتر از هزینه‌های طرح، جدول9 نیز در ذیل قرار داده شده‌است.

جدول 9- هزینه‌های کلی گزینه‌های مدیریت پسماند

نوع تاسیس (j)	ظرفیت پردازش روزانه -(a(j)) تن	هزینه اقتصادی -(c(j)) دلار	هزینه زیست محیطی (cc(j)) -دلار	نرخ خرید محصول -(r(j)) دلار	نرخ باقی مانده rr(j) درصد
لندفیل آلاینده‌ها	600	10	5614	0	0
کمپوست	400	8	5594	60	50
زباله‌سوز	600	42	1546	0,06	10

CO_2	0,95	864	0
CO	1,504	22,94	1,50
NO_x	1,566	411,6	0
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
مجموع	5614	1546	5594

3 ـ 6 ـ حل مدل در مطالعه ی موردی

باتوجه به ماهیت مسئله در خصوص ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه زباله‌سوز، بدیهی است که به امکان‌سنجی احداث این نیروگاه پرداخته و مدل بدست آمده

در فصل قبل را طی دو سناریوی مختلف، یعنی ارزیابی شرایط در صورت احداث نیروگاه بعنوان سناریوی اول و نیز ارزیابی شرایط حاضر، در صورت عدم احداث نیروگاه زباله‌سوز را مورد بررسی قرار می‌دهیم و در ادامه، خروجی مدل و نتایج حاصل از اجرای این دو سناریو را ملاحظه می‌نماییم.

سناریوی 1: در سناریوی اول، شرایطی را لحاظ می‌کنیم که در آن، نیروگاه زباله سوز با فناوری گازی‌سازی، در کنار دو روش دیگر دفع پسماند، یعنی دپوی غیربهداشتی (لندفیل) و شرکت کمپوست‌سازی (کود آلی) احداث‌شده و بتوان از این سه روش در جهت مدیریت پسماند زباله شهری بهره‌برداری نمود.

نتایج حاصل از اجرای مدل در نرم افزار گمز تحت شرایط برنامه‌ریزی عدد صحیح، نشان می‌دهد که روش بهینه مدیریت پسماند در صورت احداث تاسیسات زباله‌سوز، همین روش بوده و با درنظر داشتن مقدار 600 تن از انواع زباله‌های شهری که معادل تولید روزانه پسماند شهر رشت و نیز ظرفیت اسمی پردازش زباله در این نیروگاه می‌باشد، کلیه این مقدار، با مجموع هزینه (اعم از ساخت ، عملیات و محیط زیست) در حدود ۸۸۱،۳۲۵ دلار (با تقریب دو رقم اعشار)، شرایط بهینه را ارائه می‌کند.

سناریوی 2: در سناریوی 2 ، به بررسی شرایطی می‌پردازیم که در آن نیروگاه زباله‌سوز احداث نگردد و صرفاً از پتانسیل موجود، یعنی دو روش کمپوست‌سازی توسط شرکت کود آلی رشت و دپوی غیربهداشتی در منطقه سراوان به منظور دفع پسماند ، استفاده گردد.

نتایج حاصل از اجرای مدل در نرم افزار گمز تحت شرایط برنامه‌ریزی عدد صحیح نشان می‌دهد که روش بهینه مدیریت پسماند در صورت عدم احداث تاسیسات زباله سوز، تلفیقی از دو روش مذکور، یعنی کمپوست‌سازی (با حداکثر ظرفیت موجود معادل پردازش 400 تن پسماند در روز) و دپوی غیربهداشتی (لندفیل) برای دفع مابقی پسماند پردازش‌نشده توسط شرکت کود آلی(کمپوست) که معادل 200 تن در روز می‌باشد را شاهدیم و کلیه این مقدار، با مجموع هزینه (اعم از عملیاتی و زیست محیطی) در حدود ۳،۳۶۷۲۴۰ دلار، شرایط بهینه را ارائه می‌دهد.

4 ـ نتیجه‌گیری

در استان‌های شمالی کشور، به دلایل مشروحه زیر سیستم مدیریت مواد زائدجامدشهری نیازمند تغییرات و بازنگری اساسی می‌باشد تا با انجام‌اصلاحات لازم دربخش‌های مختلف کارائی‌آن به نحو مطلوبی افزایش‌یابد:

1- تراکم بالای جمعیت و کمبود فضای مناسب و کافی جهت دفن انبوه زباله های اهالی و گردشگران.

2- ارزش بالای زمین از نظر اقتصادی و اجتماعی و زیستگاهی

3- اقلیم بسیار حساس و شکننده منطقه

4- اهمیت استراتژی فعالیت‌های کشاورزی و گردشگری

5- وجود جنگل‌های انبوه و شیب تند دامنه شمالی البرز

6- با توجه به بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در این استان‌ها و تولید شیرابه که آلودگی مضاعفی را به محیط تحمیل می‌نماید.

پژوهش حاضر، سعی داشت به بررسی و مطالعه عمیق پیرامون معضل دفع پسماند شهری و نیز استحصال انرژی از آن، به عنوان یک منبع کمکی در تامین الکتریسیته و همچنین کاهش پیامدهای اقتصادی و به خصوص زیست‌محیطی پرداخته و به منظور بهبود شرایط کنونی، مدلی را به جهت مدیریت پسماند معرفی نموده و در نهایت با اجرای آن در خصوص زباله شهر رشت در استان گیلان بعنوان یک مطالعه موردی، کارایی و عملکرد این مدل را بسنجد.

4 ـ 1 ـ خلاصه مسئله پژوهش

یکی از اهداف اصلی این پژوهش، بهبود وضعیت مدیریت پسماند در ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی بود. در این راستا پس از مطالعه مقالات و مشاهده شرایط موجود در منطقه سراوان استان گیلان ازنظر دفع غیربهداشتی پسماند و نبود روش‌های مطلوب در دفع مناسب زباله‌ها، سعی شد تا با درنظر داشتن احداث نیروگاه زباله‌سوز در نزدیکی منطقه مذکور (شهرک صنعتی لاکان در محدوده شهرستان رشت) امکان‌سنجی طرح فوق را درکنار گزینه‌های موجود یعنی دپوی غیربهداشتی و نیز کمپوست‌سازی توسط شرکت کودآلی ، بررسی نماییم.

از این رو مدل ریاضی با درنظر داشتن عوامل و شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی پیشنهاد شد که مدل مذکور قابلیت تعمیم به سایر مناطق را با درنظرداشتن پارامترهای مربوط به موقعیت موجود، دارا است. لذا پس از تکمیل مدل، به منظور امکان‌سنجی احداث نیروگاه زباله‌سوز،

دو سناریو در شرایط احداث و نیز عدم احداث نیروگاه برای این مسئله تعریف گردید.

4 ـ 2 ـ دستاوردهای پژوهش

نتایج به منظور اجرای مدل ریاضی مسئله، نرم‌افزار گمز نسخه 2018 با روش برنامه‌ریزی عددصحیح به‌کار گرفته‌شد که خروجی اجرای آن‌ها به گونه‌ای رقم خورد که در شرایط احداث کارخانه، کلیه‌ی زباله تولیدی که معادل600 تن روزانه برآورد گردیده، توسط مدل، به نیروگاه تخصیص یافته و با هزینه نهایی ۸۸۱،۳25 دلار به عنوان کارآمدترین و بهترین روش گزارش گردید.

اما در سناریویی که شرایط عدم احداث نیروگاه را لحاظ می‌نماید، نتیجه به گونه‌ای بود که در ابتدا، شرکت کود آلی به عنوان گزینه بهتر شناخته شد و پس از تکمیل ظرفیت آن که معادل 400 تن می‌باشد، مابقی 200 تن پسماند باقی‌مانده، به روش دپوی غیربهداشتی با مجموع هزینه ۳،۳۶۷،۲۴۰ واگذار گردید که شایان ذکر است که در صورت وجود ظرفیت مضاف بر وضعیت کنونی، دفع کلیه پسماند، به کمپوست‌سازی تخصیص پیدا می‌نمود.

لذا 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 که معادل حدود 74% صرفه‌جویی در مجموع عوامل اقتصادی و زیست‌محیطی است را نشان می‌دهد.

با این وجود، نتایج حاکی از آن است که علی‌رغم این که احداث نیروگاه، نیاز به سرمایه‌گذاری دارد و به ظاهر پرهزینه است، ولی در نهایت با کاهش شدید پیامدهای زیست‌محیطی و نیز تولید الکتریسیته و ایجاد زمینه فروش و درآمدزایی جانبی از این طریق، روش بهینه در بین گزینه‌های موجود مدیریت پسماند به شمار می‌رود.

4 ـ 3 ـ پیشنهاد پژوهش‌های آتی

از میان رویکردهای متفاوتی که در دفع پسماند شناسایی گردیده ، در کنار روش‌های مذکور ، دفع بهداشتی زیست‌توده با قابلیت استحصال انرژی از گازهای حاصل از آن نظیر متان ، روش قابل تاملی است که به پژوهشگران این حوزه پیشنهاد می‌شود با محاسبه آثار اقتصادی و زیست محیطی آن و با استفاده از مدل ریاضی این پژوهش ، به مقایسه آن با رویکردهای موجود بپردازند.

از بعد فنی نیز بررسی فناوری‌های مختلف موجود در دنیا در زمینه‌ی سوزاندن زباله (در مقایسه با روش گازی‌سازی که در این مقاله بحث شد)، موضوع مناسبی به جهت انجام پژوهش محسوب می‌گردد.

در این پژوهش تا حد امکان سعی گردید تا آثار اجتماعی نیز در ذیل سایر پارامترهای فنی درنظر گرفته‌شود، اما در کنار روش‌های مدیریت پسماند، در نظر داشتن پارامترهای اجتماعی موثر می‌تواند به منظور کسب نتایج دقیق‌تر، شایان توجه باشد.

بعنوان پیشنهاد دیگر در مطالعات آتی ، بررسی سیاست های موجود در حوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر، علی‌الخصوص در بخش نیروگاه‌های زباله‌سوز و نقش راهبردی این سیاست ها در پیشرفت مدیریت پسماند و بهبود وضعیت انرژی ، می‌تواند ازجمله موارد حائز اهمیت در پژوهش‌های علاقه‌مندان باشد.

منابع

[1] Akbulut, A. 2012. Techno-economic analysis of electricity and heat generation from farm-scale biogas plant: Çiçekdağı case study. 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. 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. 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. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, (80), pp.71–79. doi:https://doi.org/10.33064/iycuaa2020803006.

for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities. Journal 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. Journal 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.

[5] Zhao, X., Jiang, G., Li, A. and Wang, L. 2016. Economic analysis of waste-to-energy industry in China. Waste Management, [online] 48, pp.604–618. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.014.

[6] Cobuloglu, H.I. and Büyüktahtakın, İ.E. 2014. A mixed-integer optimization model for the economic and environmental analysis of biomass production. 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. 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. 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. 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. International Journal 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., Rezania, 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