

Modeling and Optimization of Municipal Solid Waste Management System With Emission Reduction Approach: Case Study of Tehran, Iran

ABSTRACT

Background and Aim: The impact of various types of waste produced in the system, transportation and treatment of waste, and diversity of pollutants due to waste collection are some standard problems that communities, including Iran, are struggling with. The city of Tehran, as the capital of Iran, produces more than 7,000 tons of waste per day, and if this volume of waste is not properly managed, it will release excessive emissions into the environment.

Material and Methods: In this research, a superstructure model for solid waste management was presented, with an approach to achieve the maximum avoided emissions. Optimization was done by normalizing the output of the emissions and then categorizing and sorting the data.

Results: We examined 31250 different scenarios and based on the obtained results, the best scenario in terms of emission optimization was scenario 21303. Based on this scenario, organic materials, paper, and wood undergo anaerobic digestion while plastics, glass, and metals enter a recycling system. In this case, the amount of emissions avoided is equal to -837027 kg of carbon dioxide equivalent per day.

Conclusion: Anaerobic digestion of organic materials, paper, and wood and recycling of plastics, glass, and iron can be selected as a sustainable model for the current waste management system in Tehran. In this case, the amount of emission avoided will be very high and it can be considered the best environmentally friendly option.

Keywords: Superstructure, Optimization, Waste Management, Emissions, Tehran

Sayed Amir Hosseini Largani

M.Sc. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.

Shahin Rafiee

* Professor, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (Corresponding Author): shahinrafiee@ut.ac.ir

Seyed Saeid Mohtasebi

Professor, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Received: 2021/06/28

Accepted: 2021/10/02

Document Type: Research article

► **Citation:** Hosseini Largani SA, Rafiee Sh, Mohtasebi SS. Modeling and Optimization of Municipal Solid Waste Management System With Emission Reduction Approach: Case Study of Tehran, Iran. *Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2021; 7(3): 226-234.

مدل سازی و بهینه سازی در سیستم مدیریت پسماند جامد شهری با رویکرد کاهش انتشارات – مطالعه موردی: شهر تهران

چکیده

زمینه و هدف: تأثیر تنوع انواع پسماند تولید شده در سامانه، حمل و نقل و تیمار پسماند، تنوع آلاینده‌گی ناشی از جمع‌آوری زباله و غیره مشکلات استاندارد می‌باشند که جوامع از جمله ایران با آن سروکار دارند. شهر تهران به عنوان پایتخت ایران، روزانه بیش از ۷۰۰۰ تن پسماند تولید می‌کند و در صورت عدم مدیریت صحیح این حجم از پسماند، انتشاراتی بیش از حد مجاز به محیط زیست وارد می‌کند. مطالعه حاضر با هدف کمینه کردن انتشارات تولیدی ناشی از پسماند در شهر تهران انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، یک مدل ابرساختار برای مدیریت پسماند جامد ارائه شد که رویکرد آن، رسیدن به حداکثر انتشارات اجتناب شده می‌باشد. بهینه‌سازی با نرمال‌سازی خروجی مربوط به انتشارات و سپس دسته‌بندی و مرتب کردن داده‌ها انجام شد.

یافته‌ها: با بررسی ۳۱۲۵۰ سناریوی مختلف و بر اساس نتایج به دست آمده، بهترین سناریو از نظر بهینه‌سازی انتشارات، سناریو ۲۱۳۰۳ بود و حالتی است که مواد آلی، کاغذ و چوب وارد هضم بی‌هوازی و پلاستیک، شیشه و آهن وارد فرآیند بازیافت شوند. در این حالت میزان انتشارات اجتناب شده برابر ۸۳۷۰۲۷- کیلوگرم کربن دی اکسید معادل در هر روز است.

نتیجه گیری: می‌توان هضم بی‌هوازی مواد آلی، کاغذ و چوب و بازیافت پلاستیک، شیشه و آهن را به عنوان یک الگوی پایدار برای سیستم فعلی مدیریت پسماند شهر تهران انتخاب کرد. در این حالت میزان اجتناب شده انتشارات نیز افزایش زیادی می‌یابد و می‌توان آن را به عنوان بهترین گزینه دوست‌دار محیط زیست در نظر گرفت.

کلید واژه‌ها: ابرساختار، انتشارات، بهینه‌سازی، تهران، مدیریت پسماند

سید امیر حسینی لرگانی

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر)، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

شاهین رفیعی

* استاد، گروه ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول):

shahinrafiee@ut.ac.ir

سید سعید محتسبی

استاد، گروه ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰

نوع مقاله: مقاله علمی - پژوهشی

◀ **استناد:** حسینی لرگانی س الف، رفیعی ش، محتسبی س س. مدل‌سازی و بهینه‌سازی در سیستم مدیریت پسماند جامد شهری با رویکرد کاهش انتشارات- مطالعه موردی: شهر تهران. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۴۰۰؛ ۷(۳): ۲۲۶-۲۳۴.

مقدمه

تولید پسماند در مناطق شهری در طول زمان منجر به برهم زدن تعادل منابع طبیعی می‌شود (۱). در سراسر جهان، نرخ تولید پسماند رو به افزایش است. در سال ۲۰۱۲ شهرهای جهان ۱/۳ میلیارد تن پسماند جامد در سال تولید کردند که معادل ۱/۲ کیلوگرم برای هر نفر در روز است. هم‌اکنون در بسیاری از نقاط، مدیریت زباله عمدتاً شامل دفن، سوزاندن با/ بدون بازیابی انرژی، بازیافت و کمپوست می‌باشد. قوانین، طبیعت پسماندها و روند بازار همچنان به تعریف مجدد فعالیت‌های مدیریتی، تأثیرات و مسئولیت‌های آن ادامه می‌دهد و به‌وسیله ماهیت توسعه شهری، پیچیدگی‌هایی نیز به آن افزوده می‌شود (۱).

طبق گزارش ارائه شده از سوی سازمان مدیریت پسماند استان تهران، ایرانی‌ها هر روز حدود ۴۰ هزار تن زباله تولید کرده که از این میان بیش از ۷ هزار تن آن متعلق به تهران است (۲). در حال حاضر این حجم از پسماند در مناطق اطراف، دیو، دفن یا سوزانده می‌شود و از عوامل آلودگی محیط می‌باشد. علاوه بر لزوم دفع صحیح و بهداشتی پسماند تولید شده، احداث فناوری تیمار پسماند مناسب (زباله‌سوزی، گازی‌سازی و غیره) برای مدیریت آن نیز هزینه‌بر بوده و انتخاب فناوری مناسب قبل از احداث می‌تواند کمک زیادی به صرفه‌جویی در هزینه و زمان کند و دستیابی به بهترین بهره‌وری از این منبع عظیم انرژی را داشته باشد. همچنین با توجه به رویکرد مدیران شهری، بین عوامل مختلف در سیستم مدیریت پسماند جامد می‌توان مصالحه‌هایی انجام داد؛ به عبارت دیگر با توجه به شرایط مختلف می‌توان اقدام به بررسی عوامل مختلف (مانند عوامل اقتصادی، انرژی، انتشارات و غیره) به صورت مجزا یا یکپارچه کرد. بنابراین باید بتوان بهترین گزینه برای دفع هر یک از اجزای پسماند را شناسایی کرد و یک راهکار پایدار برای مدیریت پسماند جامد شهر تهران ارائه کرد.

در این راستا مطالعات متعددی در زمینه مدل‌سازی و بهینه‌سازی در سیستم مدیریت پسماند جامد شهری انجام شده است. حبیبی و همکاران طی پژوهشی یک مدل بهینه‌سازی

چندهدفه برای یک سیستم مدیریت زباله شهری (MSW) را که شامل مشتریان، ایستگاه‌های انتقال، دفن زباله، کارخانه‌های بازیافت و وسایل نقلیه زباله می‌باشد را ارائه کردند. مدل پیشنهادی آن‌ها به‌طور همزمان با به حداقل رساندن هزینه کل، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی بصری، دیدگاه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی و اجتماعی این سیستم را بیان می‌کند (۳).

سینگ و باساک به ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم مدیریت پسماند جامد شهری با استفاده از رویکرد اکولوژی صنعت در کشور هند پرداختند (۴). دانگ و همکاران میزان ذخیره انرژی و پتانسیل کاهش کربن از پسماندهای بازیافتی در شانگهای چین را کشف کردند (۵). رجایی‌فر و همکاران به بررسی پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تولید برق از طریق فناوری‌های مختلف مدیریت پسماند جامد شهری پرداختند (۷). چن و لو میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای استراتژی‌های مختلف مدیریت پسماندهای جامد شهری را ارزیابی کردند (۸).

شملو و پاول به ارائه یک پیش‌زمینه روش‌شناختی جدید برای مدل‌سازی مدیریت پسماند جامد منطقه‌ای با توجه به الگوی فضایی و زمانی پردازش و تولید پسماند، اثرات زیست‌محیطی و همچنین تأثیرات اقتصادی توسعه سیستم با تأکید ویژه بر سلامت عمومی و تنوع زیستی پرداختند. در این تحقیق سه رویکرد تجزیه و تحلیل فهرست چرخه عمر، رویکرد بهینه‌سازی چندمعیاره و رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی با هم ادغام شد. آن‌ها از روش روسی^۱ برای محاسبه خسارت‌های زیست‌محیطی و ساده‌سازی تجزیه و تحلیل انتشارات استفاده کردند (۹). چن به بررسی هزینه‌های کاهش انتشار کربن در چین و آینده توسعه انرژی تا سال ۲۰۵۰ پرداخت. وی برای این کار از مدل مارکال-مارکو^۲ که یک مدل یکپارچه اقتصادی-اجتماعی-زیست‌محیطی است، استفاده کرد (۱۰).

در برخی از تحقیقات، تنها مدل‌سازی و در برخی دیگر پتانسیل‌سنجی

1. Municipal Solid Waste
2. Russian
3. MARKAL-MARCO

بهینه سازی انتشارات انجام شود و پس از بهینه سازی، سناریوی بهینه معرفی و میزان انتشارات اجتناب شده آن بررسی شود. در نهایت پس از مدل سازی و بهینه سازی در نرم افزار پایتون، عدم قطعیت پارامترهای استفاده شده بر روی نتایج مدل سازی انجام گیرد.

روش کار

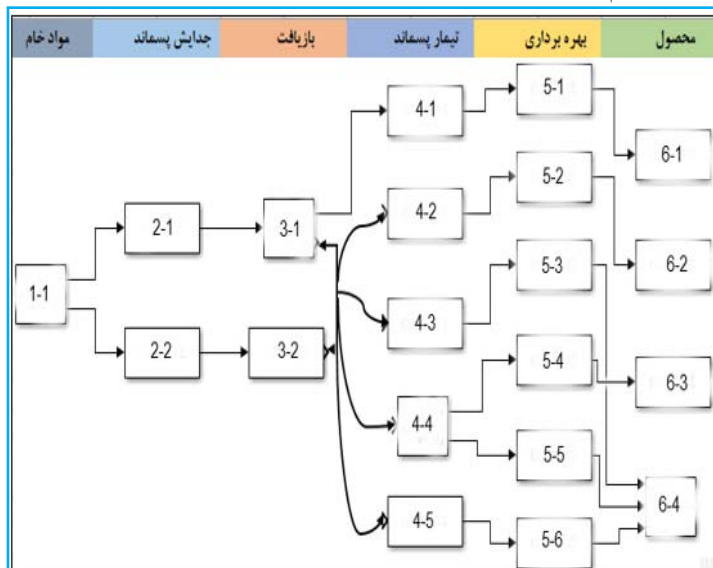
مدل ابرساختار

در این پژوهش برای پردازش و تبدیل زباله جامد شهری به انرژی و محصولات باارزش، یک مدل ابرساختار پیشنهاد شد. مدل ابرساختار شامل: فرآیندهای کمپوست، هضم بی هوازی به دنبال تولید برق از بیوگاز، گازی سازی به دنبال تولید برق، گازی سازی با انتقال کاتالیست برای تولید بیواتانول و سوزاندن با تولید برق می باشد. در شکل ۱، مدل ابرساختار برای مدیریت پسماند قابل مشاهده است. در این مدل، گزینه ۱-۱ مقدار ورودی ماده خام به مدل ابرساختار و برابر ۷۴۸۹ تن پسماند (میزان پسماند روزانه تولید شده در شهر تهران) می باشد. همچنین مراحل جدایش پسماند و بازیافت برای سادگی کار می تواند توسط گزینه های ۲-۲ و ۳-۲ کنار گذاشته شود. سایر گزینه های ابرساختار در جدول ۱ ذکر شده است. جدول ۲ نیز تخصیص پسماند را به هر یک از فناوری های به کار گرفته در پژوهش نشان می دهد (۱۳).

کاهش انتشار گازهای گلخانه ای انجام شده است. لازم به ذکر است هنگامی که صحبت از بهینه سازی چندهدفه در تحقیقات می شود، مصالحه ای بین اهداف صورت می گیرد که لزوماً همه آن عوامل بهینه نیستند، بلکه برآیندی از آنها بهینه می باشد. در مقابل هنگامی که صحبت از بهینه سازی یک عامل (مثلاً انتشارات) می شود، لزوماً خروجی نهایی به طور کامل از منظر عامل مذکور بهینه است (۱۱). در هیچ یک از تحقیقات انجام شده، مدل سازی و بهینه سازی تک هدفه با در نظر گرفتن عامل انتشارات انجام نشده است.

در این پژوهش با توجه به آلودگی هوای شهر تهران و اهمیت مسائل زیست محیطی در سطوح بالای کشور، تجزیه و تحلیل انتشارات به صورت مجزا صورت گرفت. در فرآیندهای مختلف تیمار پسماند، مواد خطرناکی مانند سرب، فوران، دی اکسید، اکسیدهای نیتروژن، گوگرد و غیره تولید می شوند که هر کدام عوارض خطرناکی دارند. به عنوان مثال از عوارض سرب تولید شده ناشی از فرآیند سوزاندن پسماند، می توان به اختلال در واکنش های آنزیمی بدن، کاهش عمر گلبول های قرمز، اثرات منفی روی جنین، تومورزایی و کاهش حافظه، کم خونی، سرطان کلیه و غیره اشاره کرد و به طور کلی روی تمام سیستم های ایمنی بدن انسان اثر دارد (۱۲).

مطالعه حاضر با هدف ارائه یک مدل ابرساختار برای سیستم مدیریت پسماند جامد شهر تهران انجام شد تا با استفاده از آن،



شکل ۱. مدل ابرساختار برای مدیریت پسماند

جدول ۱. لیست فناوری‌های مورد استفاده

شماره هر قسمت	فناوری‌ها
۱-۱	پسماند اولیه
۲-۱	جداسازی
۲-۲	خالی
۳-۱	خالی
۳-۲	خالی
۴-۱	بازیافت
۴-۲	کمپوست
۴-۳	هضم بی‌هوازی
۴-۴	گازی‌سازی
۴-۵	سوزاندن
۵-۱	خالی
۵-۲	خالی
۵-۳	تولید برق از بیوگاز
۵-۴	انتقال کاتالیست
۵-۵	تولید برق از سینگاز
۵-۶	تولید برق از سوزاندن
۶-۱	مواد بازیافت شده
۶-۲	کود (کمپوست)
۶-۳	بیواتانول
۶-۴	برق

جدول ۲. اختصاص پسماند به فناوری‌های مختلف

بازیافت	کمپوست	هضم بی‌هوازی	گازی‌سازی	سوزاندن
مواد آلی	*	*	*	*
کاغذ	*	*	*	*
پلاستیک	*	*	*	*
شیشه	*	*	*	*
فلزات	*	*	*	*
چوب	*	*	*	*

مدل‌سازی انتشارات

مقدار انتشارات بر حسب کربن دی‌اکسید معادل^۱ بیان می‌شود. لازم به ذکر است که هر ۱ کیلوگرم متان، برابر ۲۴ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل است. میزان انتشارات به آب در جدول ۳ و میزان

انتشار مواد بازیافتی و مواد خام در جدول ۴ آمده است (۴، ۵، ۶)

جدول ۳. میزان انتشارات به آب برای هر فناوری (۴)

فناوری	مقدار انتشار به آب (کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر تن)
کمپوست	۲۵۶/۴۲۸
هضم بی‌هوازی	۳/۷۳
گازی‌سازی	۹۲۲/۳۴
سوزاندن	۹۴۰/۸۲

انتشار اجتناب شده برق با ۱/۰۲ (کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر منبع فسیلی کیلووات ساعت)

جدول ۴. میزان انتشار مواد خام و مواد بازیافتی برای هر یک از اجزای پسماند (۵)

اجزاء	میزان انتشار مواد بازیافتی (کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر تن)	میزان انتشار مواد خام (کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر تن)
کاغذ و مقوا	۱۳۶۰	۱۸۹۰
پلاستیک	۴۶۰	۲۲۸۰
شیشه	۳۸۰	۱۰۲۰
فلزات	۶۸۵	۷۲۶۵
چوب	۱۹۰	۲۰۳۰

برای مدل‌سازی انتشارات مصرفی از معادلات شماره ۱ و ۲ استفاده شد (۱۳).

$$EM_{tt} = (M_t \times SPC \times EM_t) \quad \text{معادله (۱)}$$

$$EM_{cr} = \sum_i (M_t \times SPC \times P_c \times EM_{cc}) \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن‌ها، متغیرهای EM_{tt} و EM_t به ترتیب نشان‌دهنده مقدار انتشار مصرفی هر فناوری و انتشار مصرفی مربوط به همان فناوری برحسب کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل و کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر تن می‌باشند. متغیرهای EM_{cc} و EM_{cr} انتشار مصرفی مواد بازیافتی و میزان انتشار مواد بازیافتی هریک از اجزاء برحسب کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل و کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر تن می‌باشند.

برای محاسبه مقدار انتشار تولیدی و انتشار اجتناب شده از معادلات شماره ۳ تا ۵ استفاده شد (۱۳).

1. CO₂ eq

و میزان انتشارات اجتناب شده آن مورد بررسی قرار گرفت تا با استفاده از آن بتوان یک سناریوی بهینه برای دفع پسماند شهر تهران با رویکرد کمترین انتشارات ممکن ارائه کرد.

یافته‌ها

همانطور که در ابتدا گفته شد، زیاله جامد شهری پتانسیل بالایی برای تولید انرژی و مواد با ارزش دارد، اما در طول فرآیندهایی که منجر به تولیدات ذکر شده می‌شود، مواد خطرناک، آلاینده‌ها و غیره نیز تولید می‌شود که با مدیریت صحیح می‌توان این انتشارات را به حداقل رساند. پس از مدل سازی و بهینه سازی، ۱۰ سناریوی برتر به لحاظ انتشارات، ارائه شده و در نمودار میله‌ای ۱ آورده شده است. در این شکل، محور افقی شماره سناریو و محور عمودی داده‌های نرمال شده را نشان می‌دهد و مقادیر بهینه انتشارات از کمترین مقدار خود (یعنی ۰/۰۰) شروع می‌شوند و روند صعودی دارند؛ به عبارت دیگر، از آنجا که مقادیر اجتناب شده از منفی شروع می‌شوند، بنابراین بهترین سناریو که بیشترین مقدار انتشارات اجتناب شده را دارد، پس از نرمال سازی خروجی، معادل عدد صفر می‌شود و مابقی سناریوها از آنجایی که مقدار انتشارات اجتناب شده کمتری نسبت به سناریو بهینه دارند، نرمال سازی خروجی آن‌ها عددی بیشتر از صفر است.

بر اساس نتایج به دست آمده، بهترین سناریو از نظر بهینه سازی انتشارات، سناریو ۲۱۳۰۳ بوده و حالتی است که مواد آلی، کاغذ و چوب وارد هضم بی‌هوازی و پلاستیک، شیشه و آهن وارد بازیافت شوند. در جدول ۵، مقدار اجتناب شده انرژی، هزینه و انتشارات با توجه به بهینه سازی انتشارات آورده شده است. در این حالت میزان انتشارات اجتناب شده برابر ۸۳۷۰۲۷- کیلوگرم کربن دی اکسید معادل در هر روز است.

جدول ۵. مقادیر اجتناب شده انرژی، هزینه و انتشارات برای بهینه سازی انتشارات

انرژی	هزینه	انتشارات
واحد	دلار (\$)	Kg CO ₂ eq
مقدار اجتناب شده	-۱۰۱۰۰	-۸۵۴۴۰۰

$$\text{EMgr} = \sum_i (M_t \times \text{SPC} \times P_c \times \text{EMcp}) \quad (۳)$$

$$\text{EMag} = (M_t \times \text{EMgc} \times \text{EMaf}) \quad (۴)$$

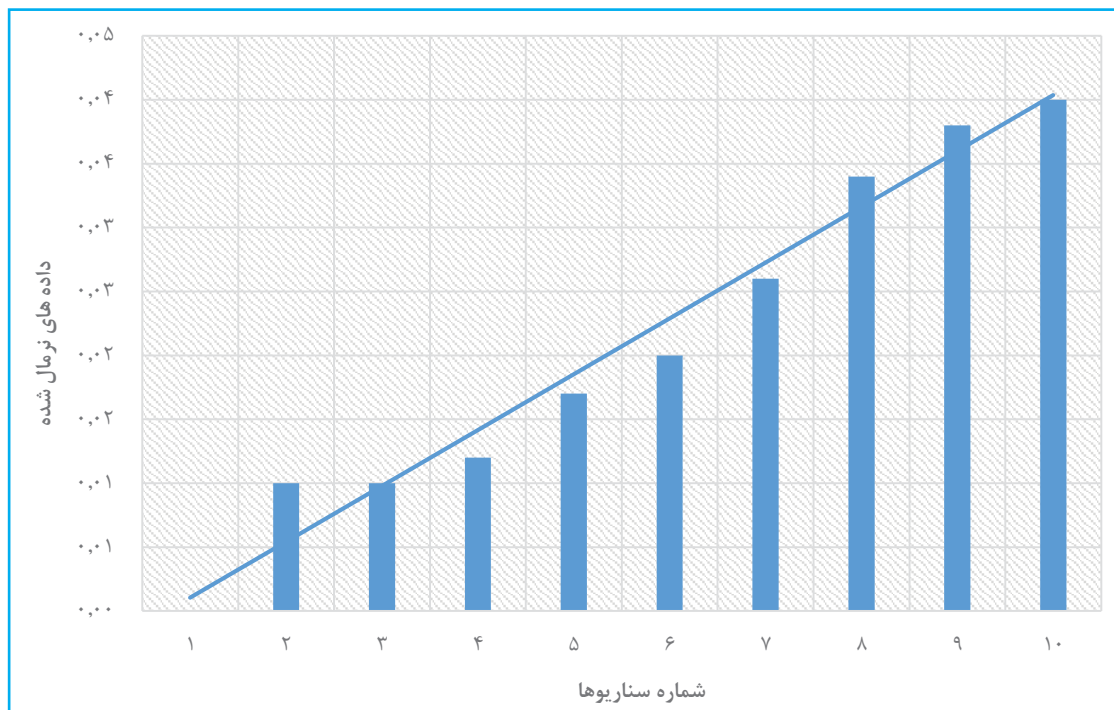
$$\text{EMat} = \sum_j (\text{EMctot}) - \sum_j (\text{EMgtot}) \quad (۵)$$

که در این روابط، EMag، EMgr، EMat به ترتیب نشان دهنده انتشار تولیدی مواد بازیافتی، انتشار اجتناب شده از برق تولیدی هر فناوری، مقدار کل انتشار اجتناب شده برحسب کیلوگرم کربن دی اکسید معادل و EMcp نشان دهنده میزان انتشار مواد خام برای هر یک از اجزاء برحسب کیلوگرم کربن دی اکسید معادل بر تن می‌باشند. همچنین متغیرهای EMgc و EMaf به ترتیب انتشار تولیدی هر یک از اجزاء و انتشار اجتناب شده برق با منبع فسیلی برحسب کیلوگرم کربن دی اکسید معادل بر تن می‌باشند. همچنین EMgtot و EMctot برای بیان انتشار مصرفی کل و انتشار تولیدی کل برحسب کیلوگرم کربن دی اکسید معادل هستند.

بهینه سازی مدل و ارائه سناریو بهینه

پس از آنکه مدل سازی طرح با استفاده از مدل ابرساختار، جریان‌های مرجع و واحدهای محاسباتی انجام شد، بهینه سازی انتشارات با در نظر گرفتن ۵ فناوری تیمار پسماند و ۶ مؤلفه زیاله شامل: مواد آلی، کاغذ، پلاستیک، شیشه، آهن و چوب انجام شد (سایر اجزای پسماند نیز در این پژوهش حذف شد). نتایج بهینه سازی برای ۵۶ تکرار با در نظر گرفتن دو حالت تولید الکتریسیته و تولید بیواتانول برای فرآیند گازی سازی، ۳۱۲۵۰ تکرار شد.

در اینجا نتایج نرمال شده مطرح است که بر اساس رابطه $\frac{x - \min}{\max - \min}$ ، تمام مقادیر بین ۰ و ۱ محاسبه شدند. با در نظر گرفتن وزن یکسان، تمام حالت‌های ممکن در گره‌های تصمیم گیری به صورت ۰ و ۱ (یا به فناوری مورد نظر وارد می‌شوند و یا وارد نمی‌شوند) محاسبه شدند. سپس میزان اجتناب شده انتشارات محاسبه شده و از کمترین تا بیشترین مقدار دسته بندی شد. مقدار بهینه در این حالت، کمترین مقدار بود. لازم به ذکر است که برنامه نویسی برای مدل سازی و بهینه سازی در نرم افزار پایتون نسخه ۳.۵.۸ صورت گرفت. در نهایت سناریوی بهینه، معرفی



نمودار ۱. نمودار میله‌ای بهینه‌سازی انتشارات برای ۱۰ سناریوی برتر

از نیروگاه بخاری ۸۱۷ گرم کربن دی‌اکسید منتشر می‌کند (۱۴). از آنجایی که در این پژوهش حدود ۸۳۷۰۰۰ کیلوگرم کربن دی‌اکسید در هر روز اجتناب شده است، می‌توان دریافت که این مقدار معادل انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از تولید حدود یک میلیون کیلووات ساعت برق تولیدی در یک نیروگاه بخاری می‌باشد.

از دیگر برتری‌های این پژوهش می‌توان به این موضوع اشاره کرد که در مدل‌سازی انجام شده، تمام ۳۱۲۵۰ سناریو قابل مشاهده است و می‌توان در صورت نیاز و با توجه به شرایط، سناریوی بهینه دیگری را انتخاب کرد. به عنوان مثال برای شهر تهران بهترین سناریو به لحاظ انتشارات، گزینه بازیافت است، ولی در عین حال نمی‌توان از هزینه و انرژی که برای ساخت نیروگاه زیاله‌سوز مصرف شده است، چشم‌پوشی کرد. در این حالت می‌توان ارزیابی کرد که وجود فناوری زیاله‌سوزی جزء کدام سناریو بوده و آیا بهینه است یا خیر. همچنین در این حالت چه مقدار انتشارات اجتناب می‌شود. این کار تصمیم‌گیری را برای مدیران شهری آسان‌تر می‌کند و می‌تواند با گستردگی بیشتری، تصمیم‌نهایی را اتخاذ کنند.

همه فعالیت‌ها اعم از زیاله‌سوزی، کمپوست، گازی‌سازی و هضم بی‌هوازی تولید انتشاراتی به آب، هوا یا خاک دارند که از این جمله می‌توان به آلوده کردن هوا توسط دود زیاله‌سوزها، آلوده شدن آب و خاک توسط شیرابه فرآیند کمپوست و غیره اشاره کرد. یکی از بهترین گزینه‌ها برای اجتناب از این عوامل، بازیافت است. البته استفاده از چوب و کاغذ در فرآیند هضم بی‌هوازی باعث کاهش اثرات گلخانه‌ای و همچنین تولید انرژی و اجتناب از تولید شیرابه خطرناک می‌شود. لازم به ذکر است که سوزاندن چوب و کاغذ منجر به تولید کربن دی‌اکسید و آلودگی هوا می‌شود. استفاده از چوب و کاغذ در فرآیند گازی‌سازی نیز منجر به تولید آلاینده‌های متان و کربن دی‌اکسید می‌شود. استفاده از آن‌ها در فرآیند کمپوست نیز به دلیل صرف زمان زیاد مشکل به نظر می‌رسد.

بحث

سوخت‌های فسیلی، منبع مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای و عامل اصلی گرمایش جهانی است که ۹۵٪ انرژی الکتریسیته ایران نیز از همین منابع تولید می‌شود. هر کیلووات ساعت برق تولیدی

نتیجه گیری

با توجه به تحلیل هایی که انجام شد، می توان هضم بی هوازی مواد آلی، کاغذ و چوب و بازیافت پلاستیک، شیشه و آهن را به عنوان یک الگوی پایدار برای سیستم فعلی مدیریت پسماند شهر تهران انتخاب کرد. در این حالت میزان اجتناب شده انتشارات نیز افزایش زیادی می یابد و می توان آن را به عنوان بهترین گزینه دوست دار محیط زیست در نظر گرفت.

لازم به ذکر است که همه فعالیت ها اعم از زیاله سوزی، کمپوست و غیره انتشاراتی مانند آلوده کردن هوا توسط دود زیاله سوزها، آلوده شدن آب و غیره دارند. یکی از بهترین گزینه ها برای اجتناب از این عوامل، بازیافت است. بازیافت اجزاء بازیافت پذیر علاوه بر صرف هزینه کمتر و تولید آلاینده گی کمتر می تواند محصولات باارزشی تولید کند و نیاز به انرژی برای تولید مجدد آن محصولات را کاهش دهد. همچنین استفاده از چوب و کاغذ در فرآیند هضم بی هوازی باعث کاهش اثرات گلخانه ای و همچنین تولید انرژی و اجتناب از تولید شیرابه خطرناک می کند. همچنین سوزاندن چوب و کاغذ منجر به تولید کربن دی اکسید و آلودگی هوا می شود. استفاده از چوب و کاغذ در فرآیند گازی سازی نیز منجر به تولید آلاینده های متان و کربن دی اکسید می شود. استفاده از آن ها در فرآیند کمپوست نیز به دلیل صرف زمان زیاد مشکل به نظر می رسد. بنابراین استفاده ترکیبی از دو فرآیند هضم بی هوازی و بازیافت را می توان به عنوان گزینه ای برای کاهش انتشارات تولیدی ناشی از پسماند برای شهر تهران در نظر گرفت.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می کنند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان پسماند شهر تهران که داده های این پژوهش را در اختیارمان قرار داد، تشکر و قدردانی می شود.

دانگ و همکاران در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که با استفاده از سیستم بازیافت در کشور چین می توان ۱۶/۸۱ تن کربن دی اکسید را کاهش داد و پتانسیل یک گزینه مناسب برای دفع پایدار پسماند را دارد. همچنین بازیافت فلزات غیرآهنی و استیل می توانند به ترتیب باعث افزایش ۳۳ و ۶۰ درصدی در میزان کربن دی اکسید شوند (۵). این بخش از تحقیقات آن ها که شامل تأثیر بازیافت در کاهش انتشارات است، مشابه با نتایجی است که مطالعه حاضر گزارش شد.

علاوه بر این در پژوهش سینگ و باساک، تجزیه و تحلیل مفهومی نشان داد که هضم بی هوازی حداکثر تمایل به کاهش گرمایش کره زمین (۱۲۳ تن کربن دی اکسید معادل در هر روز) را دارد و می تواند سودی معادل ۲۹۳ دلار در هر روز را داشته باشد (۴). این قسمت از پژوهش سینگ و باساک نیز با پژوهش حاضر که به هضم بی هوازی برای کاهش انتشارات اشاره می کند، مطابقت داشت.

عدم قطعیت

هدف این بخش، بررسی عدم قطعیت پارامترهای استفاده شده بر روی نتایج مدل سازی است. به عبارتی باید مشخص شود با ایجاد تغییر در ورودی، خروجی مدل به چه میزان تغییر می کند. پارامترهایی که مدل به آن وابسته است، خود نیز به هر یک از مؤلفه های پسماند و مقدار آن بستگی دارد، لذا هر یک از مؤلفه های پسماند با گام ۱٪ تغییر داده شد تا در نهایت بتوان در گام های مختلف، تغییرات مؤلفه خروجی را مورد ارزیابی قرار داد.

برای انجام این تحلیل، ارزش هر پارامتر به طور جداگانه متغیر بوده و سپس نتایج تأثیر آن بر نتایج بهینه سازی مورد بررسی قرار می گیرد، درحالی که تمام پارامترهای دیگر ثابت نگه داشته شده اند. با افزایش گام ۳۰ درصدی در مؤلفه های پسماند، سناریوی بهینه تغییر می کند و سناریوی بهینه، سناریو ۱۸۷۶۱ می شود. در این حالت، مواد آلی و چوب وارد هضم بی هوازی و کاغذ، پلاستیک، شیشه و آهن وارد مرحله بازیافت می شوند. میزان انتشارات اجتناب شده برای سناریوی ۱۷۷۶۱ برابر ۷۷۱۰۰۰- کیلوگرم کربن دی اکسید معادل در هر روز است.

References

- Kolikkathara N, Feng H, Stern E. A purview of Waste managment evolution: Special emphasis on USA. *Waste Management* 2009; 29: 974-985.
- Khoshnevisan B. Enabling Integrated Municipal Waste Management through Biorefineries - Study of Abali Biogas Plant [PhD thesis]. Iran. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. 2018. (Persian)
- Habibi F, Asadi E, Sadjadi S, Barzinpour F. A multi-objective robust optimization model for site-selection and capacity allocation of municipal solid waste facilities: A case study in Tehran. *Journal of Cleaner Production* 2017; 166: 816-834.
- Singh A, Basak P. Economic and environmental evaluation of municipal solid waste management system using industrial ecology approach: Evidence from India. *Journal of Cleaner Production* 2018; 195: 10-20.
- Dong H, Geng Y, Yu X, Li J. Uncovering energy saving and carbon reduction potential from recycling wastes: A case of Shanghai in China. *Journal of Cleaner Production* 2018; 205: 27-35.
- LCI databases in SimaPro, the renowned ecoinvent v3 database, 2020.
- Rajaeifar M. A, Ghanavati H, Dashti B, Heijungs R, Aghbashlo M, Tabatabaei M. Electricity generation and GHG emission reduction potentials through different municipal solid waste management technologies: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 79: 414-439.
- Chen Y, Lo S. Evaluation of greenhouse gas emissions for several municipal solid waste management strategies. *Journal of Cleaner Production* 2015; 1-7.
- Shmelev S.E, Powell J.R. Ecological-economic modelling for strategic regional waste management systems. *ECOLOGICAL ECONOMICS* 2006; 59: 115-130.
- Chen W. The costs of mitigating carbon emissions in China: findings from China MARKAL-MACRO modeling. *Energy Policy* 2005; 33: 885-896.
- Murphy J. D, McKeogh E. Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. *Renewable Energy* 2004; 29(7): 1043-1057.
- Mohsenizadeh M, Kemal Tural M, Kentel E. Municipal solid waste management with cost minimization and emission control objectives: A case study of Ankara. *Sustainable Cities and Society* 2020; 52: 101807.
- Rizwan M, Saif Y, Almansoori A, Elkamel A. Optimal processing route for the utilization and conversion of municipal solid waste into energy and valuable products. *Journal of Cleaner Production* 2018; 174: 857-867.
- Sadeghi H, Noori M, Biyabani K. The role of electricity generation from renewable sources in reducing greenhouse gases: An econometric approach. *Irinin Journal of Energy* 2014; 17:23-38. (Persian)