مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هفدهم ، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۴۵۹ تا ۴۷۸

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

توسعه سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری برای ارائه سناریوهای بهینه محیط‌زیستی و اقتصادی مدیریت پسماند و بکارگیری آن در یک مطالعه موردی

سیدشهرام نقیب زاده[۱]، مظاهر معین الدینی[۱،*]، مهدی زعفرانیه[۲]

۱- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- گروه ریاضی کاربردی، دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

واژگان کلیدی: سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری، ارزیابی چرخه حیات، ارزیابی هزینه چرخه حیات، سناریوهای مدیریت پسماند

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
moeinaddini@ut.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: برای تصمیم‌گیران مدیریت پسماند، یافتن بهینه‌ترین راهکار، همواره یک چالش مهم بوده است. هدف از این مطالعه توسعه یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری برای یافتن سناریوهای بهینه محیط‌زیستی و اقتصادی مدیریت پسماند است.

روش بررسی: پژوهش حاضر توسعه و بکارگیری یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری است که در آن به کمک ابزارهای ارزیابی چرخه حیات و هزینه چرخه حیات، میزان اثرات محیط‌زیستی و هزینه انجام پردازش‌های پسماند محاسبه شده و سپس به کمک یک مدل برنامه ریزی خطی، سناریوهای بهینه محیط‌زیستی و اقتصادی برای مدیریت پسماند ارائه می‌شود. همچنین از داده‌های سیستم مدیریت پسماند کرج برای بکارگیری این سامانه استفاده شده است.

یافته‌ها: خروجی مدل برنامه‌ریزی خطی در این سامانه، ارائه یك سناریو بر مبنای کمینه اثرات محیط‌زیستی و دو سناریو بر مبنای کمینه هزینه تحمیل شده بر سیستم مدیریت پسماند کرج بود که در آنها کمپوست‌سازی (در سناریوی اول اقتصادی) و سوزاندن پسماند (در سناریوهای محیط‌زیستی و اقتصادی دوم) بیشترین سهم را در مدیریت پسماندهای تولیدی داشتند. همچنین بازیافت حداکثر مقدار ممکن از مواد قابل بازیافت موجود در پسماند با توجه به مطلوبیت‌های محیط‌زیستی و اقتصادی این پردازش نقطه اشتراک سه سناریو بود.

نتیجه‌گیری: نتیجه این مطالعه نشان داد، سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری مدیریت پسماند حاضر می تواند متناسب با تفاوت های ذاتی پسماندهای تولید شده، نوع فناوری‌های بکاررفته و هزینه انجام پردازش‌ها در هر سیستم مدیریت پسماند، بهینه‌ترین سناریوهای محیط‌زیستی و اقتصادی مدیریت پسماند را به تصمیم‌گیران این حوزه ارائه کند.

Please cite this article as: Naghibzadeh SSh, Moeinaddini M, Zafaranieh M. Developing a decision support system to provide environmentally and economically optimized scenarios for waste management: a case study application. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(3):459-78.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

مقدمه

مدیریت پسماند با توجه به مسائل و معضلات مربوط به آن، یکی از نیازهای اصلی هر جامعه است و برای تصمیم‌گیران، انتخاب بهینه‌ترین شیوه مدیریت پسماند، به نحوی که کمترین آثار سوء را بر محیط‌زیست داشته و از طرف دیگر با توان اقتصادی مجموعه مدیریتی همخوانی داشته باشد همواره یک چالش اساسی بوده است (۱). به همین علت است که در جوامع پیشرفته و در حال پیشرفت برای مقایسه اثرات محیط‌زیستی و هزینه اقتصادی سیاست‌های مختلف مدیریت پسماند از ابزارهای گوناگونی استفاده شده است (۲).

ارزیابی چرخه حیات ((Life Cycle assessment(LCA و ارزیابی هزینه چرخه حیات ((Life Cycle Costing(LCC از جمله ابزارهایی هستند که در مطالعات متعددی برای محاسبه و مقایسه اثرات محیط‌زیستی گزینه‌ها و سناریوهای مختلف (۳-۱۶) و برآورد هزینه اقتصادی اجرای آنها (۵، ۱۷-۲۱) به کار گرفته شده‌اند.

همچنین در توسعه سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری ((Decision Support Sysem (DSS و مدل‌های متعددی که برای محاسبه و مقایسه اثرات محیط‌زیستی گزینه‌ها و سناریوهای مختلف مدیریت پسماند طراحی شده‌اند از رویکرد ارزیابی چرخه حیات استفاده شده است. مدل ORWARE، با نام کامل ORganic WAste REsearch یکی از اولین مدل‌های شبیه‌سازی است که بر اساس ارزیابی چرخه حیات و برای مدیریت بخش آلی پسماندهای شهری ساخته شده است. این مدل از چندین زیر مدل تشکیل شده که در هر کدام، اثرات محیط‌زیستی بخش‌های مختلف سیستم مدیریت پسماند، بر اساس میزان انتشار آلاینده‌های هوا و آب و مصرف انرژی محاسبه می‌شود (۲۲). مدل IWM1 (Integrated Waste Management Systems) یک مدل دیگر پشتیبان تصمیم‌گیری بر پایه ارزیابی چرخه حیات است که برای مقایسه سناریوهای مختلف مدیریت پسماند شهری توسعه یافته و تحت برنامه اکسل ارائه شده است. نسخه دوم این مدل با نام IWM2 به صورت یک نرم افزار با قابلیت کاربری آسان ارائه و نسبت به IWM1 به‌روزرسانی شده است (۲۳). مدل WASTED (Environmental Decisions The Waste Analysis Software Tool for) که شامل زیرمدل‌های بخش‌های مختلف پسماند است، یک مدل کامپیوتری است که با ترکیب نتایج به‌دست آمده از زیرمدل‌ها می‌تواند اثرات محیط‌زیستی یک سیستم مدیریت پسماند را محاسبه و با دیگر سیستم‌ها مقایسه کند. در این مدل، تحت عنوان سیستم‌های جبرانی، کاهش اثرات محیط‌زیستی ناشی از بازیابی مواد و انرژی در پردازش‌های پسماند، نسبت به استفاده از ماده خام اولیه و استفاده از سوخت‌های فسیلی، درنظر گرفته شده است (۲۴). ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری ISWM DST (Management-decision support tool) Optimum Integrated municipal solid Waste)برای بهینه‌یابی سیستم جامع مدیریت پسماند طراحی شده است که بهینه‌یابی را بر مبنای دو هدف به حداقل رساندن هزینه کل سیستم مدیریت پسماند و به حداقل رساندن انتشار دی اکسید کربن معادل ($CO_{2\ equivalent}$) تولید شده توسط کل سیستم انجام می‌دهد. این روش از طریق معادلات ریاضی غیر خطی، مدل‌سازی شده و از تعدادی متغیر تصمیم‌گیری و یک پایگاه‌های داده LCA ساده تشکیل شده است (۲۵). در مدل شبیه‌ساز تصادفی مدیریت جامع پسماند ((Simulator (SIWMS Stochastic Integrated Waste Management) که با استفاده از رویکرد چرخه حیات و بر مبنای سیستم‌های جبرانی توسعه یافته است، سعی شده است تا با تلفیق معیارهای اثرات محیط‌زیستی و هزینه‌های انجام گزینه‌های مختلف مدیریت پسماند، امکان مقایسه دقیق تری را فراهم کند (۲۶).

در همه این سامانه‌ها و مدل‌ها، گزینه‌ها و سناریوهای محدودی توسط کاربر انتخاب و تعریف می‌شوند. با اینکه در برخی مطالعات سعی شده است تا با دخالت معیارهای مالی، فنی و اجتماعی (۲۷) به انتخاب سیستم مدیریت پسماند متناسب‌تری دست یافت و یا با ترکیب ابزارهای محیط‌زیستی دیگر مانند تجزیه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

و تحلیل مواد و انرژی (۲۸) و یا ترکیب تحلیل SWOT با ارزیابی چرخه حیات (۲۹) قابلیت تصمیم‌گیری را افزایش داد، اما در این سناریوها نیز امکان مقایسه تعداد اندکی از حالت های ممکن مدیریت پسماند وجود دارد و در حقیقت باید انتخاب از میان یکی از سناریوهای از پیش طراحی شده صورت گیرد. بسیار محتمل است که سناریوی دیده نشده و یا درنظر گرفته نشده‌ای وجود داشته باشد که نسبت به سناریوهای از پیش طراحی شده از نظر محیط‌زیستی و اقتصادی موجه‌تر باشد. بنابراین هدف از این پژوهش، رفع این مشکل با توسعه یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری است که درآن علاوه بر بکارگیری ابزارهای LCA و LCC برای محاسبه اثرات محیط‌زیستی و هزینه اقتصادی اجرای گزینه‌های مختلف مدیریت پسماند، با کمک روش برنامه ریزی خطی بتوان، بهینه ترین سناریوی مدیریت پسماند را از میان گزینه های در دسترس مدیریتی، باتوجه به ماهیت ورودی داده‌های مسئله (مانند میزان تولید و ترکیب پسماند) برای هر سیستم مدیریت پسماند، انتخاب نمود.

مواد و روش‌ها

توسعه و بکارگیری هر سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری نیازمند ورود داده‌های پیش‌زمینه و پس‌زمینه است: داده‌های پیش‌زمینه، ضرایب، معادلات و اعداد ثابتی هستند که از پایگاه‌های داده استاندارد به‌دست می‌آیند و در بانك اطلاعاتی سامانه و یا مدل قرار می‌گیرند و داده‌های پس‌زمینه، داده‌های مربوط به سیستمی هستند که مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (۳۰). در پژوهش حاضر، سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری مدیریت پسماند بر اساس داده‌های پیش‌زمینه میزان مصرف انرژی و سیاهه انتشار آلاینده‌های ناشی از پردازش‌های مختلف پسماند (۲۳, ۲۶, ۲۸, ۳۱-۳۵) و همچنین هزینه‌های هر پردازش توسعه یافته است (۱۹, ۳۶-۳۹) و برای بکارگیری نیازمند واردسازی داده‌های پس‌زمینه مربوط به یک سیستم مدیریت پسماند است که شامل داده‌های مربوط به میزان تولید و ترکیبات پسماند، تعداد ظروف لازم برای جمع‌آوری پسماند، میانگین طول مسیر انتقال پسماند تا محل هر پردازش، برآورد نوع و تعداد وسایل نقلیه و میزان بارندگی منطقه مورد ارزیابی است که در این پژوهش از داده های مربوط سیستم مدیریت پسماند کرج استفاده شده است (۳۷).

به طور کلی بعد از توسعه سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری، برای رسیدن به خروجی نهایی که ارائه سناریوهای بهینه مدیریت پسماند برای یک منطقه از منظر محیط‌زیستی و اقتصادی است، ۵ گام طی می‌شود: ۱) ورود داده‌های پس‌زمینه، ۲) تعیین گزینه‌های مدیریتی (jها) قابل انجام بر هریک از ترکیبات پسماند (iها)، ۳) تعیین محدودیت‌های پردازش هر یک از ترکیبات پسماند، ۴) برآورد اثرات محیط‌زیستی و هزینه انجام پردازش‌های مختلف مربوط به هر ترکیب پسماند، ۵) بسط مدل برنامه ریزی خطی (Linear Programming Model) برای انتخاب سناریوهایی متشکل از یک پردازش و یا ترکیبی از پردازش‌هایی که اثرات محیط‌زیستی و هزینه انجام کمتری دارند.

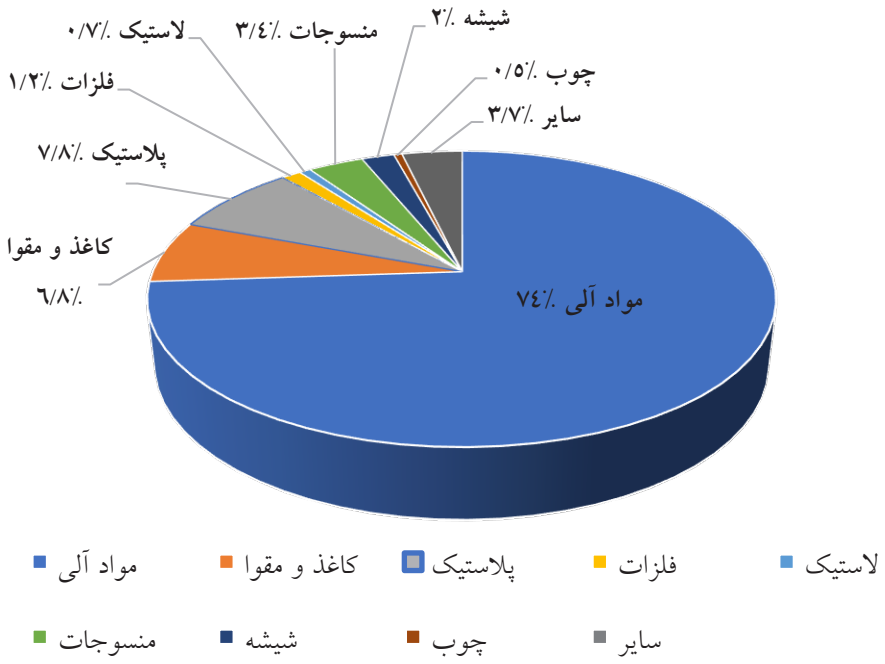
ورود داده های پس‌زمینه:

همانطور که گفته شد برای بکارگیری سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری در این مطالعه، از داده‌های سیستم مدیریت پسماند شهر کرج و برخی مفروضات کلی زیر استفاده شده است:

بر اساس آمار در کلان شهر کرج، روزانه حدود ۱۲۰۰ ton پسماند شهری در ده منطقه شهری کرج و شهر فردیس، تولید می‌شود. در حال حاضر سیستم مدیریت پسماند کرج شامل جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند، کمپوست‌سازی بخشی از پسماندهای آلی در دو کارخانه هریک به ظرفیت ۲۵۰ ton و دفن پسماند باقیمانده در لندفیل حلقه‌دره است (۳۷). مخازن نگهداری پسماند ۷۷۰ L و از نوع گالوانیزه است. فاصله مخازن از یکدیگر ۵۰ m بوده و از کامیون‌های با ظرفیت ۶ ton برای حمل پسماند تا ایستگاه انتقال و از تریلرهای بزرگ برای انتقال پسماند از ایستگاه‌های انتقال تا محل پردازش‌ها استفاده

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

می‌شود. سوخت وسایل نقلیه دیزل است. طول مسیر جمع‌آوری پسماند تا محل دفن مجموعا ۷۰ km، فاصله میانگین مخازن نگهداری پسماند تا ایستگاه انتقال و از ایستگاه انتقال تا محل پردازش‌ها، ۳۵ km فرض شده است. پردازش کمپوست در سیستم مدیریت پسماند این شهر از نوع ردیفی است. پردازش زباله‌سوز از نوع رنده متحرک در نظر گرفته شده است. برق مصرفی از شبکه اصلی گرفته شده و برق تولید شده در پردازش‌ها مستقیما به شبکه برق منتقل شده و به فروش می‌رسد. همچنین متوسط ترکیبات به‌دست آمده از پسماند کرج در طی ماه‌های سال در شکل ۱ نشان داده شده است (۳۷).



شکل ۱- متوسط سالانه ترکیبات پسماند شهر کرج (بر حسب درصد) (۳۷)

مشخص نمودن گزینه های مدیریتی (jها) مربوط به هرکدام از ترکیبات پسماند (iها):

در این گام، پردازش‌های متناسب با ترکیبات پسماند مشخص می‌شود. در واقع برای تصمیم‌گیری در مدیریت پسماند، لازم است که اثرات محیط‌زیستی و هزینه انجام هریک از پردازش‌های ممکن و متناسب با ترکیبات پسماند (شامل: ماده آلی، کاغذ و مقوا، پلاستیک، فلزات، لاستیک، منسوجات، شیشه، چوب و سایر)، را مقایسه نمود (۲۴). به عنوان مثال برای ترکیبات پلاستیکی جداسازی شده از پسماند، گزینه‌های سوزاندن، بازیافت و دفن قابل تصور بوده اما امکان کمپوست‌سازی و یا پردازش این ترکیبات در یک سیستم هضم بی‌هوازی وجود ندارد. در جدول ۱ گزینه‌های ممکن (jها از j۱ تا j۶) برای پردازش هریک از ترکیبات پسماند (i ها از i۱ تا i۹) نشان داده شده است. علامت ✓ به معنی ممکن و علامت ✖ به معنی ناممکن بودن پردازش مورد نظر برای یک ترکیب است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

جدول ۱- گزینه‌های ممکن برای پردازش ترکیبات مختلف پسماند (COM= کمپوست، AD= هضم بی‌هوازی، I= زباله‌سوز، R= بازیافت، L= دفن ساده و LG= دفن با استحصال گاز از لندفیل)

j / i		COM	AD	I	R	L	LG
		۱	۲	۳	٤	٥	٦
۱	ماده آلی	✓	✓	✓	×	✓	✓
۲	کاغذ و مقوا	×	×	✓	✓	✓	✓
۳	پلاستیک	×	×	✓	✓	✓	×
٤	فلزات	×	×	×	✓	✓	×
٥	لاستیک	×	×	✓	✓	✓	×
٦	منسوجات	×	×	✓	×	✓	×
۷	شیشه	×	×	×	✓	✓	×
۸	چوب	×	×	✓	✓	✓	×
۹	سایر	×	×	✓	×	✓	×

تعیین محدودیت های تخصیص هر یک از این ترکیبات به گزینه‌ها و پردازش‌های پسماند:

از آنجایی که توسعه مدل‌های بهینه‌سازی در سیستم‌های مدیریتی (در اینجا مدیریت پسماند)، باید بر پایه یک راهبرد منطقی و چشم‌انداز دقیق صورت گرفته باشد (۴۰)، لازم است تا چشم‌اندازها و انتظارات مدیریتی را در سامانه تعیین نمود. در پژوهش حاضر برای این بخش، حداکثر و حداقل مقادیر تخصیص داده شده به هر پردازش بر اساس سند چشم انداز ۲۰۳۰ و ۲۰۳۵ اتحادیه اروپا (EU-27) تعیین شده که با راهبرد استفاده حداکثری از منابع موجود در پسماند صورت گرفته است. بازیافت تا ۸۵ درصد کاغذ و مقوا، تا ۵۵ درصد پلاستیک، تا ۸۰ درصد فلزات، تا ۵۰ درصد لاستیک، تا ۷۵ درصد شیشه، تا ۳۰ درصد چوب و کاهش میزان پسماند ارسال شده به لندفیل تا ۹۰ درصد از اهداف این سند چشم انداز است (۴۱). مقادیر حداکثر، حداقل و مجموع تخصیص ترکیبات موجود در پسماند به گزینه های مدیریتی در جدول ۲ آمده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

جدول ۲- محدودیت‌های تخصیص اجزای پسماند به هر پردازش بر اساس سند چشم انداز ۲۰۳۰ و ۲۰۳۵ اتحادیه اروپا (۴۱)

	اجزا پسماند (i)		گزینه‌های مدیریت پسماند(j)
۱	مواد آلی	دفن از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد	مجموع کمپوست، هضم بی هوازی و سوزاندن از ۰ تا ۹۰ درصد
۲	کاغذ و مقوا	بازیافت از ۰ تا ۸۵ درصد	مجموع سوزاندن و دفن از ۱۵ تا ۱۰۰ درصد
۳	پلاستیک	بازیافت از ۰ تا ۵۵ درصد	مجموع سوزاندن و دفن از ٤۵ تا ۱۰۰ درصد
٤	فلزات	بازیافت از ۰ تا ۸۰ درصد	دفن از ۲۰ تا ۱۰۰ درصد
۵	لاستیک	بازیافت از ۰ تا ۵۰ درصد	مجموع سوزاندن و دفن از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد
٦	منسوجات	دفن از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد	سوزاندن از ۰ تا ۹۰ درصد
۷	شیشه	بازیافت از ۰ تا ۷۵درصد	دفن از ۲۵ تا ۱۰۰ درصد
۸	چوب	بازیافت از ۰ تا ۳۰ درصد	مجموع سوزاندن و دفن از ۷۰ تا ۱۰۰ درصد
۹	سایر	دفن از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد	سوزاندن از ۰ تا ۹۰ درصد

برآورد اثرات محیط‌زیستی و هزینه اقتصادی پردازش‌های پسماند:

در پژوهش حاضر از روش ارزیابی چرخه حیات برای محاسبه اثرات محیط‌زیستی مدیریت هر تن پسماند به کمک شاخص محیط‌زیستی ((Environmental Indicator (EI (۳۳) و برای محاسبه هزینه اجرای هر پردازش از ارزیابی هزینه چرخه حیات در تحلیل هزینه‌فایده (Cost Benefit Analysis) استفاده شده است.

شاخص محیط‌زیستی (معادله ۱) یک عدد بدون بعد است که بیانگر اثرات محیط‌زیستی مدیریت یک تن پسماند در یک پردازش مشخص است. این شاخص تجمیعی از ضرایب اثرات مربوط به مصرف انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای، تولید گازهای اسیدی، تولید عوامل ایجاد مه‌دود فوتوشیمیایی و تولید خروجی‌های سمی برای انسان و محیط‌زیست است که برای مقایسه اثرات پردازش‌های مختلف پسماند کاربرد دارد. هرچه این عدد برای یک پردازش کوچکتر باشد به معنای اثرات محیط‌زیستی کمتر آن پردازش نسبت به دیگر پردازش‌هاست (۴۲).

نتیجه تحلیل هزینه‌فایده مدیریت هر تن پسماند در یک پردازش مشخص (که به کمک معادلات ۲ تا ۴ به‌دست می‌آید) رقمی بر اساس واحد پولی است. اگر هزینه‌های یک پردازش بیشتر از درآمدهای آن باشد خروجی این تحلیل مقادیر منفی خواهد بود (۴۳). در حالت مقایسه، هرچه این عدد برای یک پردازش بزرگ‌تر باشد به معنای ارجحیت اقتصادی اجرای آن پردازش نسبت به پردازش‌های دیگر است.

در این سامانه تحلیل هزینه‌فایده اجرای پردازش‌های ممکن، بر اساس دو حالت محاسبه می شود: حالت ۱) تاسیسات پردازش پسماند وجود ندارد و باید آنها را ایجاد کرد. بنابراین هزینه ها شامل هزینه های ایجاد تاسیسات و هزینه های راه‌اندازی و نگهداری است. حالت ۲) تاسیسات هر پردازش پسماند وجود دارد و هزینه‌ها تنها شامل هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری است. معادله۱ نحوه محاسبه شاخص محیط‌زیستی و معادلات ۲ تا ۴ نحوه برآورد تحلیل هزینه‌فایده را نشان می‌دهد. اطلاعات لازم (داده‌های پیش‌زمینه) برای انجام محاسبات ارزیابی چرخه حیات و ارزیابی هزینه چرخه حیات، از سیاهه‌های (Inventories) ارائه شده در مدل های WASTED و SIWMS و داده های

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

ارائه شده در مقالات مختلف به دست آمده است (۱۹، ۲۳، ۲۶، ۲۸، ۳۱-۳۹).

$$EI = \left(0.88 * Energy_{consumption}\right) + \left(0.89 * CO_{2_{Equivalent}}\right) + \left(0.4 * SO_{2_{Equivalent}}\right) + 0.29 * C_2H_{4_{Equivalent}}\right) + (0.13 * 1{,}4 - DCB_{Equivalent}) \quad (۱)$$

$$CBA = income - LCC \quad (۲)$$

$$LCC\left(\frac{MU}{ton}\right) = Capital\ cost\ \left(\frac{MU}{ton}\right) + (O\&M\ cost\left(\frac{MU}{ton}\right) * UPWF_r \quad (۳)$$

$$UPWF_r = \left(\frac{1+r}{i-r}\right)\left[1 - \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^n\right] \quad (۴)$$

که در آن‌ها EI شاخص بار محیط‌زیستی، $Energy_{consumption}$ میزان مصرف انرژی برای پردازش پسماند بر حسبGJ، $CO_{2Equivalant}$ میزان معادل سازی شده تولید گازهای گلخانه‌ای در طی پردازش پسماند بر حسب kg/ton گازکربنیک، $SO_{2\ Equivalant}$ میزان معادل سازی شده تولید گازهای اسیدی در طی پردازش پسماند بر حسب kg/ton دی اکسید گوگرد، $C2H_{4\ Equivalant}$ میزان معادل سازی شده تولید عوامل موثر در تشکیل مه‌دود فوتوشیمیایی در طی پردازش پسماند بر حسب kg/ton اتیلن، 1,4-$DCB_{\ Equivalant}$ میزان معادل سازی شده تولید عوامل سمی برای انسان و محیط‌زیست در طی پردازش پسماند بر حسب kg/ton دی‌کلروبنزن، CBA تحلیل هزینه‌فایده، income درآمد حاصل از پردازش، LCC ارزیابی هزینه چرخه حیات، MU واحد پولی(Monetary Unit)، ton واحد تن، Capital cost هزینه‌های سرمایه‌گذاری، O&M cost هزینه‌های تعمیر و نگهداری (Operations and Maintenance cost)، UPWFr عامل ارزش فعلی یکنواخت شده با نرخ تورم (Inflation rate The uniform Present Worth Factor with)، n، طول عمر (Life Span) سیستم r و i به ترتیب نرخ تنزیل (Discount Rate) و نرخ تورم (Inflate Rate) هستند.

بسط مدل برنامه ریزی خطی:

برای رسیدن به بهینه‌ترین سناریوهای اقتصادی و محیط‌زیستی، یک مدل کامل با استفاده از روش برنامه ریزی خطی نوشته شده است. سپس به کمک زبان برنامه نویسی پایتون (Python) پیاده سازی و با استفاده از سالور GLpk (GLpk Solver) بسط و در محیط پیومو (Pyomo) این مسئله شبیه‌سازی و حل شده است. در این مدل (مسئله) متغیر x_{ij} برای ۹ ترکیب پسماند شامل: مواد آلی، کاغذ و مقوا، پلاستیک، لاستیک، فلزات، شیشه، چوب، منسوجات و سایر، امکان یا عدم امکان اعمال شش پردازش شامل کمپوست کردن، هضم بی‌هوازی، سوزاندن، بازیافت، دفن به تنهایی و دفن با استحصال گاز در نظر گرفته شده است. برای تعریف مدل ریاضی نیاز به تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری داریم که به شرح ذیل تعریف می شوند.

x_{ij}=j درصد پسماند پردازش شده از ترکیب i به روش

i=1,2,…,9 (پسماند ترکیبات)

j=1,2,…,6 (پسماند پردازش روش‌های)

تابع هدف انتخاب بهینه‌ترین سناریوی مدیریت پسماند بر اساس کمینه اثرات بر محیط‌زیست پردازش‌های متناسب با ترکیبات پسماند به کمک معادله ۵ به‌دست می‌آید:

$$\min\ \ Z_{env} = \sum_{i=1}^{9}\sum_{j=1}^{6} C_{i,j}^{env} * x_{ij} \quad (۵)$$

که در آن $\min Z_{env}$ کمینه اثرات محیط‌زیستی، $C_{i,j}^{env}$ اثر محیط‌زیستی پردازش اعمال شده j بر روی جز iام از ترکیبات پسماند و $x_{i,j}$ میزان پسماند جز iام از ترکیب پسماند به واحد وزن است که پردازش j بر روی آن اعمال شده است.

تابع هدف انتخاب بهینه‌ترین سناریوی مدیریت پسماند از منظر اقتصادی، بر اساس بیشینه‌ترین مقادیر تحلیل هزینه‌فایده پردازش‌های قابل انجام بر ترکیبات مختلف پسماند، برای دو حالت وجود یا عدم وجود تاسیسات پردازش پسماند، با استفاده

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

از معادله ۶ به‌دست می‌آید. تفاوت این تابع با تابع انتخاب بهینه‌ترین سناریوی محیط‌زیستی در انتخاب هزینه سطر هدف است:

$$\max \ Z_{bnf} = \sum_{i=1}^{9} \sum_{j=1}^{6} C_{i,j}^{bnf} * x_{ij} \qquad (۶)$$

که در آن $\max Z_{bnf}$ بیشینه سود یا حداقل هزینه اقتصادی، $C_{i,j}^{bnf}$ بیشینه سود یا حداقل هزینه پردازش اعمال شده j بر روی جز i ام از ترکیبات پسماند و $x_{i,j}$ میزان پسماند جز i ام از ترکیب پسماند به واحد وزن است که پردازش j بر روی آن اعمال شده است.

از آنجایی که امکان اعمال برخی از پردازش‌ها بر روی بعضی از ترکیبات پسماند وجود ندارد، اثرات محیط‌زیستی و هزینه‌های انجام این حالت‌های نشدنی محاسبه نمی‌شود؛ در این حالت برای جلوگیری از انتخاب این پردازش‌ها توسط مدل (برنامه ریزی خطی) مقادیر بی‌نهایت (Infinite (INF)) را برای آنها در نظر می‌گیریم. ضرایب متناظر با INF ضرایب عددی $M>>0$ (خیلی بزرگتر از صفر) هستند که در این پژوهش برای آن $M=10^6$ در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که این ضرایب جریمه‌هایی هستند که در تابع هدف مینیمم متناظر با حالت‌های نشدنی در نظر گرفته می‌شود تا جواب به دست آمده در این حالت ها مقادیر صفر را برگرداند. اگر تابع هدف مسئله، ماکزیمم باشد ضرایب عددی $M<<0$ — را متناظر با حالت های نشدنی در نظر می‌گیریم (۴۴).

محدودیت‌های هر دو مسئله (بهینه‌ترین سناریوی محیط‌زیستی و اقتصادی) مشترک است و از جدول ۲ گرفته شده است. در این محدودیت ها ابتدا کران‌های بالا و پایین در نامعادلات ۷ در نظر گرفته شده اند و متناظر با متغیرهای داده شده استخراج شدند. به عنوان مثال کران های پایین و بالای عمده‌ترین ترکیب پسماند یعنی ماده آلی (۷۴ درصد از کل) در گزینه دفن به ترتیب ۱۰ و ۱۰۰ درصد است. لذا محدودیت متناظر $10\leq x_{15}\leq 100$ است. متغیر تصمیم x_{15} در اینجا مقدار جز ۱ام از پسماند است (ماده آلی) که پردازش ۵ام (دفن) بر روی آن اعمال شده است. به بیان ساده تر x_{15} بخشی از ماده آلی است که دفن می‌شود. علت اینکه حداقل ۱۰ درصد ماده آلی در گزینه دفن وجود دارد، ناشی از محدودیت‌های فناوری مرحله جداسازی است (۴۵). محدودیت دسته دوم که در نامعادلات ۸ نشان داده شده اند، متناظر با این سطر تخصیص کل ماده‌ی آلی موجود در پسماند بین همه گزینه های ممکن برای پردازش آن است. لذا محدودیت متناظر $\sum_{j=6}^{6} Cf_{ij} * x_{ij}=100$ است. در این محدودیت Cf_{ij} ضریب متغیر x_{ij} است. اگر پسماند i در گزینه j مقدار INF داشته باشد، Cf_{ij} مساوی صفر درنظر گرفته می‌شود، در غیر این‌صورت مساوی یک خواهد بود.

$$Cf_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر پسماند } i \text{ در } j \text{ وجود داشته باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

درسایر محدودیت ها نیز به‌ترتیب مشابه بر اساس جدول ۲ به صورت زیر لیست می‌شوند:

(۷)

$$10\leq x_{15}\leq 100,\ 0\leq x_{24}\leq 85,\ 0\leq x_{34}\leq 55,$$
$$0\leq x_{44}\leq 80,\ 20\leq x_{45}\leq 100,\ 0\leq x_{54}\leq 50,$$
$$0\leq x_{63}\leq 90,\ 10\leq x_{65}\leq 100,\ 0\leq x_{74}\leq 75,$$
$$25\leq x_{75}\leq 100,\ 0\leq x_{84}\leq 30,\ 0\leq x_{93}\leq 90,$$
$$10\leq x_{95}\leq 100$$

(۸)

$$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}=100$$
$$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}=100$$
$$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}=100$$
$$x_{41}+x_{42}+x_{43}+x_{44}+x_{45}+x_{46}=100$$

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} = 100$$

$$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66} = 100$$

$$x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} + x_{76} = 100$$

$$x_{81} + x_{82} + x_{83} + x_{84} + x_{85} + x_{86} = 100$$

$$x_{91} + x_{92} + x_{93} + x_{94} + x_{95} + x_{96} = 100$$

$$x_{ij} \geq 0, \qquad i = 1,2,\dots,9\,, \qquad j = 1,2,\dots,6$$

و در آخر، پس از مشخص شدن میزان تخصیص هر ترکیب به پردازش‌های متناسب با آن، لازم است تا سهم هر پردازش از کل پسماند ورودی را به کمک معادله ۹ مشخص نمود:

(۹) $=\Sigma^{9}_{i=1} X_i * P_i$ سهم هر پردازش از کل پسماند ورودی

که در آن X_i سهم پردازش از جز iام پسماند و Pi سهم جز iام از کل پسماند ورودی است.

یافته‌ها

نتایج شاخص محیط‌زیستی پردازش‌های ممکن ترکیبات مختلف پسماند در جدول ۳ ارائه شده است. علت درج عدد کوچکتر از صفر برای شاخص محیط‌زیستی محاسبه شده در پردازش بازیافت در این جدول، انتشار کمتر همه آلاینده‌های ناشی از استفاده مجدد از مواد بازیافتی به جای ماده خام اولیه است (۲۴-۴۶).

جدول ۴ مقادیر تحلیل هزینه‌فایده پردازش های پسماند برای دو حالت وجود و عدم وجود تاسیسات اولیه پردازش‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول مقادیر منفی به معنی میزان هزینه بیشتر هر پردازش نسبت به درآمدهای آن است.

در این جداول، مقادیر INF به این معناست که برای آن جزء از پسماند، پردازش مورد نظر انجام نمی‌شود. همچنین در این دو جدول، مقادیر شاخص محیط‌زیستی و تحلیل هزینه فایده بخش‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل هر تن پسماند، به مقادیر شاخص محیط‌زیستی و هزینه‌فایده هر پردازش اضافه شده است.

جدول ۳- مقادیر شاخص محیط‌زیستی پردازش از هریک از اجزا پسماند

i \ j	دفن به تنهایی	دفن با استحصال	کمپوست	هضم بی هوازی	سوزاندن	بازیافت
۱ مواد آلی	۱۱۹۹	٦٧٦	۳۱۱	٤۲۰	۲۱۹	INF
۲ کاغذ و مقوا	۷٤۸	۲۲٤	INF	INF	۱۱۷٤	۰>
۳ پلاستیک	۳۳	۳۳	INF	INF	۲۳۸۸	۰>
٤ فلزات	۳۳	۳۳	INF	INF	INF	۰>
٥ لاستیک	۳۳	۳۳	INF	INF	۲۳۸۸	۰>
٦ منسوجات	۳۰۱	۳۹	INF	INF	۱۲٤٥	INF
۷ شیشه	۳۳	۳۳	INF	INF	INF	۰>
۸ چوب	۷٤۸	۲۲٤	INF	INF	۱۱۷٤	۰>
۹ سایر	٤۹۸	۲۳۷	INF	INF	۱۲٤۲	INF

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

جدول ۴- مقادیر تحلیل هزینه‌فایده پردازش‌های مختلف پسماند بر روی هریک از اجزا پسماند (هزارتومان/ton)

i		j	دفن به تنهایی	دفن با استحصال	کمپوست	هضم بی هوازی	سوزاندن	بازیافت
۱	مواد آلی	(۱)	- ۸۶۱	- ۸۹۴	- ۷۳۳	- ۱۲۵۷	- ۷۹۵	INF
		(۲)	- ۸۳۱	- ۸۶۳	-۶۸۶	- ۱۰۲۱	- ۵۱۹	INF
۲	کاغذ و مقوا	(۱)	- ۸۶۱	- ۹۵۱	INF	INF	- ۷۸۰	۶۱۳۴
		(۲)	- ۸۶۱	- ۹۲۱	INF	INF	- ۵۰۴	۶۲۰۲
۳	پلاستیک	(۱)	- ۸۶۱	- ۹۵۱	INF	INF	- ۷۸۰	۱۲۹۳۴
		(۲)	- ۸۶۱	- ۹۲۱	INF	INF	- ۵۰۴	۱۳۰۰۲
۴	فلزات	(۱)	- ۸۶۱	- ۹۵۱	INF	INF	INF	۲۱۶۳۴
		(۲)	- ۸۶۱	- ۹۲۱	INF	INF	INF	۲۱۷۰۲
۵	لاستیک	(۱)	- ۸۶۱	- ۹۵۱	INF	INF	- ۷۸۰	- ۶۵
		(۲)	- ۸۶۱	- ۹۲۱	INF	INF	- ۵۰۴	۲
۶	منسوجات	(۱)	- ۸۶۱	- ۹۵۱	INF	INF	- ۷۸۰	INF
		(۲)	- ۸۶۱	- ۹۲۱	INF	INF	- ۵۰۴	INF
۷	شیشه	(۱)	- ۸۶۱	- ۹۵۱	INF	INF	INF	- ۱۶۵
		(۲)	- ۸۶۱	- ۹۲۱	INF	INF	INF	- ۹۷
۸	چوب	(۱)	- ۸۶۱	- ۹۵۱	INF	INF	- ۷۸۰	۱۳۴
		(۲)	- ۸۶۱	- ۹۲۱	INF	INF	- ۵۰۴	۲۰۲
۹	سایر	(۱)	- ۸۶۱	- ۹۵۱	INF	INF	- ۷۸۰	INF
		(۲)	- ۸۶۱	- ۹۲۱	INF	INF	- ۵۱۹	INF

نتایج مدل برنامه ریزی خطی برای انتخاب بهینه ترین سناریوهای محیط‌زیستی و اقتصادی (برای دو حالت وجود داشتن تاسیسات پردازش و نیاز به ایجاد تاسیسات پردازش) در جدول ۵ ارائه شده است. مقادیر نوشته شده در سطور این جدول، سهم هرگزینه (j) در پردازش یکی از ترکیبات پسماند (i) بر حسب درصد است به نحوی که انجام آن، کمترین اثرات محیط‌زیستی و هزینه را خواهد داشت. همچنین سهم هر پردازش از کل پسماند ورودی با استفاده از معادله ۹ محاسبه و در انتهای جدول ارائه شده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

جدول ۵- نتایج مدل بهینه‌سازی برای انتخاب بهترین سناریوهای اقتصادی و محیط زیستی

i	ترکیبات	سناریوها	پردازش های متناسب
۱	ماده آلی	محیط‌زیستی	۹۰ درصد کمپوست + ۱۰ درصد دفن در لندفیل دارای تاسیسات استحصال گاز
		اقتصادی ۱	۹۰ درصد کمپوست+ ۱۰ درصد دفن در لندفیل ساده
		اقتصادی ۲	۹۰ درصد زباله‌سوز+ ۱۰ درصد دفن در لندفیل ساده
۲	کاغذ و مقوا	محیط‌زیستی	۸۵ درصد بازیافت + ۱۵ درصد دفن در لندفیل دارای تاسیسات استحصال گاز
		اقتصادی ۱ و ۲	۸۵ درصد بازیافت + ۵ درصد زباله‌سوز + ۱۰ درصد دفن در لندفیل ساده
۳	پلاستیک	محیط‌زیستی	۵۵ درصد بازیافت + ٤۵ درصد دفن در هر نوع لندفیل
		اقتصادی ۱ و ۲	۵۵ درصد بازیافت + ۳۵ درصد زباله‌سوز + ۱۰ درصد دفن در لندفیل ساده
٤	فلزات	محیط‌زیستی	۸۰ درصد بازیافت + ۲۰ درصد دفن در هر نوع لندفیل
		اقتصادی ۱ و ۲	۸۰ درصد بازیافت + ۲۰ درصد دفن در لندفیل ساده
۵	لاستیک	محیط‌زیستی	۵۰ درصد بازیافت + ۵۰ درصد دفن در هر نوع لندفیل
		اقتصادی ۱ و ۲	۵۰ درصد بازیافت + ٤۰ درصد زباله‌سوز + ۱۰ درصد دفن در لندفیل ساده
٦	شیشه	محیط‌زیستی	۷۵ درصد بازیافت + ۲۵ درصد دفن در هر نوع لندفیل
		اقتصادی ۱ و ۲	۷۵ درصد بازیافت + ۲۵ درصد دفن در لندفیل ساده
۷	چوب	محیط‌زیستی	۳۰ درصد بازیافت + ۷۰ درصد دفن در هر نوع لندفیل
		اقتصادی ۱ و ۲	۳۰ درصد بازیافت + ٦۰ درصد زباله‌سوز + ۱۰ درصد دفن در لندفیل ساده
۸	منسوجات	محیط‌زیستی	۱۰۰ درصد دفن در لندفیل دارای تاسیسات استحصال گاز
		اقتصادی ۱ و ۲	۹۰ درصد زباله‌سوز + ۱۰ درصد دفن در لندفیل ساده
۹	سایر	محیط‌زیستی	۱۰۰ درصد دفن در لندفیل دارای تاسیسات استحصال گاز
		اقتصادی ۱ و ۲	۹۰ درصد زباله‌سوز + ۱۰ درصد دفن در لندفیل ساده
کل ترکیبات پسماند (معادله۹)		محیط‌زیستی	٦۷ درصد زباله‌سوز+ ۱۳ درصد بازیافت + ۲۰ درصد دفن با استحصال گاز
		اقتصادی ۱	٦۷ درصد کمپوست+ ۱۰ درصد زباله‌سوز+ ۱۳ درصد بازیافت + ۱۰ درصد دفن ساده
		اقتصادی ۲	۷۷ درصد زباله‌سوز+ ۱۳ درصد بازیافت + ۱۰ درصد دفن ساده

بحث

در پژوهش حاضر، بهینه‌ترین راهکارهای مدیریتی برای پردازش ترکیبات مختلف پسماند، ازمقایسه نتایج شاخص محیط‌زیستی و تحلیل هزینه‌فایده این پردازش‌ها به‌دست آمده است. شاخص محیط‌زیستی برآیندی از پنج طبقه اثر محیط زیستی شامل طبقه اثرات میزان مصرف انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای، تولید گازهای اسیدی، تولید آلاینده‌های موثر در ایجاد مه‌دود فوتوشیمیایی و تولید خروجی های سمی برای انسان و محیط‌زیست در پردازش هریک از ترکیبات پسماند است و تحلیل هزینه‌فایده (شاخص CBA) پردازش هر یک از ترکیبات، از کم کردن هزینه‌های چرخه حیات پردازش‌های مختلف از درآمدهای آن پردازش‌ها به دست آمده است. در ادامه به مقایسه محیط‌زیستی و اقتصادی پردازش‌های متناسب با ترکیبات مختلف پسماند بر اساس این شاخص‌ها پرداخته

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

شده است.

مواد آلی سهم بزرگی از پسماندهای شهری را به خود اختصاص می دهد (۴۷). پردازش‌های زیستی، سوزاندن و دفن این ترکیبات از جمله گزینه‌های قابل انجام برای پردازش این بخش هستند. بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه، بهینه‌ترین پردازش بخش آلی موجود در پسماند، مشروط به بهره‌گیری از زباله‌سوزهایی مطابق با جدیدترین فناوری‌های موجود در دنیا و رعایت کامل استانداردهای محیط‌زیستی در این پردازش، سوزاندن آن است که از نظر محیط‌زیستی دارای اثرات کمتری بوده و چنانچه تاسیسات چنین زباله‌سوزی در یک سیستم مدیریت پسماند موجود باشد، هزینه‌های راه‌اندازی و نگه‌داری آن از پردازش کمپوست کمتر خواهد بود. پردازش زباله‌سوز به دلیل انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای نسبت به پردازش کمپوست اثرات محیط‌زیستی کمتری دارد (۴۸). از طرف دیگر در طی فرایند کمپوست‌سازی شیرابه تولید می‌شود که از مهمترین آلاینده‌های آب و خاک است (۴۹)، همچنین مواد باقیمانده از فرایند کمپوست‌سازی بیشتر از پردازش زباله‌سوز است و فضای بیشتری از لندفیل را برای دفن اشغال می کند (۳۱). این یافته ها با نتایج بدست آمده از مطالعات Di Maria و همکاران (۵۰) و Mendes و همکاران (۵۱) مطابقت دارد. با این حال به علت هزینه بالای استقرار تاسیسات زباله‌سوز در سیستم هایی که زباله‌سوز ندارند، ایجاد تاسیسات کمپوست‌سازی ارزان‌تر خواهد بود (۱۹، ۳۷). بنابراین برای مدیریت بهینه پسماندهای آلی شهر کرج برتری محیط‌زیستی با سوزاندن پسماند و صرفه اقتصادی با ایجاد تاسیسات پردازش کمپوست است.

علت عدم گزینش پردازش هضم بی‌هوازی برای بخش آلی پسماند، از هر دو منظر محیط‌زیستی و اقتصادی، انتشار آلاینده‌های بیشتر (بخصوص N_2O و VOCs) نسبت به پردازش زباله‌سوز و کمپوست، نگرانی از اثرات محیط‌زیستی مواد باقیمانده از این پردازش (۵۰) و همچنین هزینه بالا و درآمد پایین استقرار این پردازش است (۳۷).

در مورد انتخاب لندفیل برای ۱۰ درصد از مواد آلی که به علت عدم توانایی جداسازی کامل این بخش از دیگر ترکیبات در قسمت تسهیلات بازیابی مواد (Material Recovery Facility (MRF)) (۵۲)، باید دفن شود، از نظر محیط‌زیستی اولویت با لندفیل دارای تاسیسات استحصال گاز خواهد بود. که با نتایج مطالعات Dong و همکاران (۱۸) مطابقت دارد. از طرفی با توجه به اینکه هزینه استقرار تاسیسات استحصال گاز در لندفیل بیشتر از درآمد حاصل از فروش گاز استحصال شده است، به لحاظ اقتصادی صرفه با دفن ساده است (۱۹، ۳۷).

برای ترکیبات کاغذ و مقوا، پلاستیک، لاستیک و چوبی جداشده از پسماند گزینه‌های سوزاندن، بازیافت و دفن وجود دارد. این مطالعه نشان داد که هم از منظر محیط‌زیستی و هم از نظر اقتصادی، بازیافت این مواد به‌علت صرف انرژی و آلودگی کمتر نسبت به تولید مواد خام و کسب درآمد از فروش مواد بازیافتی نسبت به سایر گزینه‌ها اولویت دارد (۲۴، ۵۳، ۵۴). که با نتایج مطالعه مروری Villanueva و همکار (۱۰)، Merrild و همکاران (۵۵) و Morris (۵۶) مطابقت دارد.

تفاوت اصلی دو دیدگاه محیط‌زیستی و اقتصادی مربوط به انتخاب دوم پردازش این ترکیبات است که از منظر محیط‌زیستی دفن این مواد نسبت به سوزاندن آنها به دلیل انتشار آلاینده‌های ناشی از زباله‌سوزی ارجحیت دارد (۵۵). با این حال به دلیل ارزش حرارتی این ترکیبات، از منظر اقتصادی سوزاندن آنها به دلیل کسب درآمد بیشتر از فروش انرژی بدست آمده از پردازش زباله‌سوز نسبت به پردازش دفن برتری دارد (۱۹).

به‌طور کلی ترکیبات فلزی و شیشه‌ای موجود در پسماند، یا در تسهیلات بازیابی مواد (MRF) برای بازیافت جداسازی شده و یا همراه با سایر ترکیبات (به صورت مخلوط) برای دفن به لندفیل فرستاده می‌شوند. بر اساس شاخص‌های محیط‌زیستی و اقتصادی، بهینه‌ترین راهکار مدیریتی برای پردازش این ترکیبات بازیافت است، با این‌حال بخشی از این ترکیبات به دلیل عدم کارایی کامل تسهیلات بازیابی مواد، در پسماندهای جدا نشده، باقی می‌مانند که باید دفن شوند. ترکیبات فلزی و

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

شیشه‌ای به دلیل عدم تجزیه زیستی نقشی در تولید گاز در لندفیل ندارند (۵۷). بنابراین از نظر محیط‌زیستی تفاوتی در انتخاب نوع لندفیل برای آنها وجود ندارد و از نظر اقتصادی اولویت با دفن آنها در یک لندفیل ساده است.

منسوجات و سایر ترکیبات جدا شده از پسماند را می‌توان سوزاند و یا دفن کرد. نتایج این مطالعه نشان داد از منظر محیط‌زیستی اولویت با دفن این مواد است. از طرفی، به علت ارزش حرارتی ترکیباتی مانند کاغذ و مقوا، پلاستیک، لاستیک و چوب که به‌دلیل عدم کارایی کامل MRFها به بخش سایر وارد می‌شوند از منظر اقتصادی اولویت با سوزاندن آنها است. پرهیز از انتشار آلاینده‌های ناشی از سوزاندن این مواد و کسب درآمد بیشتر از فروش انرژی بدست آمده از زباله‌سوزها، به ترتیب علت این تفاوت در دو دیدگاه را مشخص می‌کند (۱۹، ۳۷، ۵۸).

بر اساس نتایج به دست آمده از مدل برنامه ریزی خطی، بهینه‌ترین سناریوی محیط‌زیستی (بر مبنای کمینه آثار محیط‌زیستی ناشی از پردازش‌های پسماند)، برای مدیریت پسماند شهر کرج، شامل سوزاندن ٪۹۰ از بخش آلی پسماند تولیدی، بازیافت حداکثر مقدار ممکن از مواد قابل بازیافت موجود در پسماند و دفن باقیمانده پسماند در لندفیل دارای تاسیسات استحصال گاز است.

در پژوهش حاضر، سناریوهای اقتصادی بر اساس وجود و یا عدم وجود پردازش‌های مختلف در سیستم مدیریت پسماند ارائه شده‌اند. در سناریوی اقتصادی اول هزینه‌های هر پردازش شامل هزینه سرمایه‌گذاری برای احداث آن پردازش، به‌علاوه‌ی هزینه‌های راه‌اندازی و نگه‌داری است. درحالی‌که در سناریوی دوم با فرض موجود بودن تاسیسات پردازش در سیستم مدیریت پسماند، این هزینه‌ها تنها شامل هزینه‌های راه‌اندازی و نگه‌داری هر پردازش است. اختلاف اصلی انتخاب پردازش‌ها در این دو سناریو، مربوط به گزینه های پردازش بخش آلی پسماند است. همانگونه که گفته شد با توجه به هزینه بالای استقرار تاسیسات زباله‌سوز چنانچه در یک سیستم مدیریت پسماند، تاسیسات زباله‌سوز وجود نداشته باشد و یا از ظرفیت کافی برای پردازش همه پسماندهای آلی برخوردار نباشد (مانند شهر کرج) اولویت پردازش بخش آلی پسماند با کمپوست خواهد بود (سناریوی اقتصادی اول) و در صورت وجود تاسیسات زباله‌سوز با ظرفیت کافی، اولویت پردازش بخش آلی پسماند با سوزاندن آن است. نتایج به دست آمده از مطالعات Sharma و همکار (۱۹) و Martinez-Sanchez و همکاران (۳۶) نتایج به‌دست آمده از مدل برنامه‌ریزی خطی برای سناریوهای اقتصادی را تایید می‌کند.

یافته حائز اهمیت دیگر این پژوهش، اختصاص ۶۹ درصد از مواد قابل بازیافت موجود در پسماند (۱۳ درصد از کل پسماند ورودی) به پردازش بازیافت در هرسه سناریوست، که با توجه به میزان کارایی برآورد شده برای تسهیلات بازیابی مواد در مطالعات دیگر (۴۵، ۵۲) این میزان قابل دستیابی است.

در این پژوهش، سناریوهای بهینه مدیریت پسماند بر اساس معیارهای محیط‌زیستی و اقتصادی ارائه شده‌اند. تحقیقات آتی می‌تواند علاوه بر ملاحظات محیط‌زیستی و اقتصادی شامل جنبه‌های دیگری مانند ملاحظات اجتماعی و فنی هم بوده و سناریوهای دقیق‌تر و کاملتری را به تصمیم‌گیران و مدیران این حوزه ارائه دهد. همچنین می‌توان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مانند روش تاپسیس (TOPSIS)) در طی تحقیقات آتی، وزن و اهمیت دیدگاه‌های محیط‌زیستی و اقتصادی را برای گزینش سناریوی متناسب با سیستم مدیریت پسماند مورد نظر تعیین نمود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری برای سیستم مدیریت پسماند توسعه یافته است که درآن از ابزارهای ارزیابی چرخه حیات و ارزیابی هزینه چرخه حیات برای کمی‌سازی و محاسبه اثرات محیط‌زیستی و هزینه انجام پردازش‌های متناسب با ترکیبات پسماند و از یک مدل برنامه‌ریزی خطی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

برای گزینش بهینه‌ترین پردازش‌ها در قالب ارائه سناریوهای بهینه محیط‌زیستی و اقتصادی استفاده شده است. این سامانه برای بکارگیری، نیازمند ورود داده‌های پس‌زمینه یک منطقه است. با اینکه در پژوهش حاضر نتایج سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری مدیریت پسماند بر اساس داده‌های سیستم مدیریت پسماند شهر کرج ارائه شده است اما با تغییر در پارامترهای ورودی مختص هر منطقه، از این سامانه می‌توان برای ارائه راهکار به سایر مدیران حوزه پسماند، به خوبی استفاده کرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "توسعه سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری سیستم مدیریت پسماند بر پایه شاخص های محیط‌زیستی و اقتصادی" در مقطع دکتری است که با حمایت دانشگاه تهران اجرا شده است.

References

1. Zohoori M, Ghani A. Municipal solid waste management challenges and problems for cities in low-income and developing countries. International Journal of Science and Engineering Applications. 2017;6(2):39-48.

2. Ludwig C, Hellweg S, Stucki S. Municipal Solid Waste Management: Strategies and Technologies for Sustainable Solutions. Berlin: Springer Science & Business Media; 2012.

3. Finnveden G, Ekvall T. Life-cycle assessment as a decision-support tool—the case of recycling versus incineration of paper. Resources, Conservation and Recycling. 1998;24(3-4):235-56.

4. Bovea M, Powell J, Gallardo A, Capuz-Rizo S. The role played by environmental factors in the integration of a transfer station in a municipal solid waste management system. Waste Management. 2007;27(4):545-53.

5. Chaya W, Gheewala SH. Life cycle assessment of MSW-to-energy schemes in Thailand. Journal of Cleaner Production. 2007;15(15):1463-68.

6. Hong R, Wang G, Guo R, Cheng X, Liu Q, Zhang P, et al. Life cycle assessment of BMT-based integrated municipal solid waste management: Case study in Pudong, China. Resources, Conservation and Recycling. 2006;49(2):129-46.

7. Buttol P, Masoni P, Bonoli A, Goldoni S, Belladonna V, Cavazzuti C. LCA of integrated

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

MSW management systems: case study of the Bologna District. Waste Management. 2007;27(8):1059-70.

8. Zazouli M, Karimi Z, Rafiee R. Selecting the best options of management of municipal solid waste using life cycle assessment methodology (Case study: Noor city). Iranian Journal of Health and Environment. 2020;12(4):607-20 (in Persian).

9. Emery A, Davies A, Griffiths A, Williams K. Environmental and economic modelling: A case study of municipal solid waste management scenarios in Wales. Resources, Conservation and Recycling. 2007;49(3):244-63.

10. Villanueva A, Wenzel H. Paper waste– Recycling, incineration or landfilling? A review of existing life cycle assessments. Waste Management. 2007;27(8):S29-S46.

11. Lazarevic D, Aoustin E, Buclet N, Brandt N. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. Resources, Conservation and Recycling. 2010;55(2):246-59.

12. Allesch A, Brunner PH. Assessment methods for solid waste management: A literature review. Waste Management & Research. 2014;32(6):461-73.

13. Yay ASE. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. Journal of Cleaner Production. 2015;94:284-93.

14. Astrup TF, Tonini D, Turconi R, Boldrin A. Life cycle assessment of thermal waste-to-energy technologies: Review and recommendations. Waste Management. 2015;37:104-15.

15. Zhou Z, Chi Y, Dong J, Tang Y, Ni M. Model development of sustainability assessment from a life cycle perspective: A case study on waste management systems in China. Journal of Cleaner Production. 2019;210:1005-14.

16. Fransiscus Y, Farahdiba AU, Warmadewanthi I, Hermana J. Municipal solid waste management in the top 25 most populated countries: A review on the application of LCA to select appropriate system in reducing greenhouse gas emissions. Future Cities and Environment. 2023;9(1):1-11.

17. Reich MC. Economic assessment of municipal waste management systems—case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC). Journal of Cleaner Production. 2005;13(3):253-63.

18. Dong J, Chi Y, Zou D, Fu C, Huang Q, Ni M. Energy–environment–economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: Model development and case study. Applied Energy. 2014;114:400-08.

19. Sharma BK, Chandel MK. Life cycle cost analysis of municipal solid waste management scenarios for Mumbai, India. Waste Management.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

Recycling. 2013;80:46-57.

26. El Hanandeh A, El-Zein A. Life-cycle assessment of municipal solid waste management alternatives with consideration of uncertainty: SIWMS development and application. Waste Management. 2010;30(5):902-11.

27. Skordilis A. Modelling of integrated solid waste management systems in an island. Resources, Conservation and Recycling. 2004;41(3):243-54.

28. Turner DA, Williams ID, Kemp S. Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. Journal of Cleaner Production. 2016;129:234-48.

29. Sabzghabaei G, Tadayonpour N. Selecting the best scenario for urban waste management using life cycle assessment method and SWOT matrix (Case study: Behbahan county). Researches in Earth Sciences. 2022;12(4):32-49 (in Persian).

30. Masoni P, Zamagni A, Bode M, Finkbeiner M, Chomkhamsri K. Guidance Document for Performing LCAs on Fuel Cells and H_2 Technologies. Huesca: HyTechCycling; 2011.

31. Diaz LP, Gunkel-Grillon P, Roth E. Life Cycle Analysis for the treatment of organic matter from municipal solid waste: a case study of France. WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2018;215:69-80.

32. Huijbregts MA, Schöpp W, Verkuijlen E, Heijungs R, Reijnders L. Spatially explicit

2021;124:293-302.

20. Xiao H, Li K, Zhang D, Tang Z, Niu X, Yi L, et al. Environmental, energy, and economic impact assessment of sludge management alternatives based on incineration. Journal of Environmental Management. 2022;321:115848.

21. Xiao H, Zhang D, Tang Z, Li K, Guo H, Niu X, et al. Comparative environmental and economic life cycle assessment of dry and wet anaerobic digestion for treating food waste and biogas digestate. Journal of Cleaner Production. 2022;338:130674.

22. Dalemo M, Sonesson U, Björklund A, Mingarini K, Frostell B, Jönsson H, et al. ORWARE–A simulation model for organic waste handling systems. Part 1: Model description. Resources, Conservation and Recycling. 1997;21(1):17-37.

23. McDougall FR, White PR, Franke M, Hindle P. Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2001.

24. Diaz R, Warith M. Life-cycle assessment of municipal solid wastes: Development of the WASTED model. Waste Management. 2006;26(8):886-901.

25. Minoglou M, Komilis D. Optimizing the treatment and disposal of municipal solid wastes using mathematical programming—A case study in a Greek region. Resources, Conservation and

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

characterization of acidifying and eutrophying air pollution in life-cycle assessment. Journal of Industrial Ecology. 2000;4(3):75-92.

33. Boustead I, Yaros BR, Papasavva S. Eco-labels and eco-indices. Do they make sense?. New York: SAE Technical Paper; 2000. Report No.: 01-1473.

34. Liamsanguan C, Gheewala SH. Environmental assessment of energy production from municipal solid waste incineration. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2007;12:529-36.

35. Zhou C, Jiang D, Zhao Z. Quantification of greenhouse gas emissions from the predisposal stage of municipal solid waste management. Environmental Science & Technology. 2017;51(1):320-27.

36. Martinez-Sanchez V, Kromann MA, Astrup TF. Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies. Waste Management. 2015;36:343-55.

37. Naghibzadeh SS, Moeinaddini M, Zafaranieh M. Comprehensive economic evaluation of municipal waste management and its sensitivity analysis: a case study in Karaj. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;16(3):593-606 (in Persian).

38. Ansari Jafari M, SeifiPour R. Survey economic value projects in the urban recycling plants (case study of the Tehran city). Journal of Environmental Science Studies. 2019;4(3):1663-68 (in Persian).

39. Maleki-Ghelichi E, Sharifi M, Rafiee S. Economic feasibility of producing energy from livestock waste by DRANCO anaerobic digestion process. Iranian Journal of Biosystems Engineering. 2017;48(3):379-87 (in Persian).

40. Economopoulos A. A methodology for developing strategic municipal solid waste management plans with an application in Greece. Waste Management & Research. 2010;28(11):1021-33.

41. Zorpas AA. Strategy development in the framework of waste management. Science of the Total Environment. 2020;716:137088.

42. Zarea MA, Moazed H, Ahmadmoazzam M, Malekghasemi S, Jaafarzadeh N. Life cycle assessment for municipal solid waste management: a case study from Ahvaz, Iran. Environmental Monitoring and Assessment. 2019; 191: 1-13

43. Weng YC, Fujiwara T. Examining the effectiveness of municipal solid waste management systems: An integrated cost–benefit analysis perspective with a financial cost modeling in Taiwan. Waste Management. 2011;31(6):1393-406.

44. Bazaraa MS, Jarvis JJ, Sherali HD. Linear Programming and Network Flows. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2011.

45. Nishtala S, Solano-Mora E. Description of

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

determined by LCA. Resources, Conservation and Recycling. 2004;41(1):47-63.

52. Paes MX, De Medeiros GA, Mancini SD, Bortoleto AP, De Oliveira JAP, Kulay LA. Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. Journal of Cleaner Production. 2020;254:119848.

53. Leonard B. Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks. Collingdale: DIANE Publishing; 2003.

54. Ayodele T, Alao M, Ogunjuyigbe A. Recyclable resources from municipal solid waste: Assessment of its energy, economic and environmental benefits in Nigeria. Resources, Conservation and Recycling. 2018;134:165-73.

55. Merrild H, Christensen TH. Introduction to waste economics. Solid Waste Technology & Management. 2010;1:29-51.

56. Morris J. Recycling versus incineration: an energy conservation analysis. Journal of Hazardous Materials. 1996;47(1-3):277-93.

57. Lee U, Han J, Wang M. Evaluation of landfill gas emissions from municipal solid waste landfills for the life-cycle analysis of waste-to-energy pathways. Journal of Cleaner Production. 2017;166:335-42.

58. Demetrious A, Crossin E. Life cycle assessment of paper and plastic packaging

the Material Recovery Facilities Process Model Design, Cost, and Life-Cycle Inventory. North Carolina: Internal Rep; 1997.

46. Mølgaard C. Environmental impacts by disposal of plastic from municipal solid waste. Resources, Conservation and Recycling. 1995;15(1):51-63.

47. Maghanaki MM, Ghobadian B, Najafi G, Galogah RJ. Potential of biogas production in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013;28:702-14.

48. Hutton B, Horan E, Norrish M. Waste management options to control greenhouse gas emissions–landfill, compost or incineration. International Solid Waste Association (ISWA) Conference, 2009; Portugal. p. 12-15.

49. Roy D, Azaïs A, Benkaraache S, Drogui P, Tyagi RD. Composting leachate: characterization, treatment, and future perspectives. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2018;17:323-49.

50. Di Maria F, Micale C. Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2015;20:377-88.

51. Mendes MR, Aramaki T, Hanaki K. Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in Sao Paulo city as

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

waste in landfill, incineration, and gasification-pyrolysis. Journal of Material Cycles and Waste Management. 2019;21:850-60.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Developing a decision support system to provide environmentally and economically optimized scenarios for waste management: a case study application

Seyyed Shahram Naghibzadeh[1], Mazaher Moeinaddini[1,*], Mehdi Zafaranieh[2]

1- Department of Environmental Science, Natural Resource Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Mathematics and Computer Sciences Department, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 15 June 2024
Revised: 03 September 2024
Accepted: 08 September 2024
Published: 11 December 2024

Keywords: Decision support system, Life cycle assessment, Life cycle cost analysis, Waste management scenariosa

***Corresponding Author:**
moeinaddini@ut.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Identiying the most optimal solution has long been an significant challenge for waste management decision-makers. This study aims to develop a decision support system to identify optimal environmental and economic scenarios for waste management.

Materials and Methods: This study presents the development and application of a decision support system that estimates the environmental burden and cost of waste using Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Cost (LCC) tools. The system then identifies optimal environmental and economic scenarios for waste management through a linear programming model. Data from the Karaj waste management system were utilized to apply and validate the decision support system.

Results: The outputs of the linear programming model in this system included one scenario based on minimizing environmental impacts and two scenarios based on minimizing costs imposed on the Karaj waste management system (MSWS). In both the environmental and second economic scenarios, incineration contributed the most to waste management, whereas composting was the dominant method in the first economic scenario. Additionally, recycling the maximum possible amount of recyclable materials was a common feature in all three scenarios, due to its environmental and economic benefits.

Conclusion: The result of this study demonstrate that the current Decision Support System can provide optimal environmental and economic scenarios for waste management to the decision-makers in the field. This is achieved by considering the inherent differences in the types of waste produced, the technologies employed, and the processing costs associated with each waste management system.

Please cite this article as: Naghibzadeh SSh, Moeinaddini M, Zafaranieh M. Developing a decision support system to provide environmentally and economically optimized scenarios for waste management: a case study application. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(3):459-78.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-26]