مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره شانزدهم ، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۵۹۳ تا ۶۰۶

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

مقاله پژوهشی

ارزیابی جامع اقتصادی مدیریت پسماند شهری و تحلیل حساسیت آن: مطالعه موردی شهر کرج

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: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

واژگان کلیدی: مدیریت پسماند، ارزیابی هزینه چرخه حیات، بازدهی اقتصادی

چکیده

زمینه و هدف: ارزیابی اقتصادی به عنوان ابزاری برای تصمیم گیری مبتنی بر داده، به انتخاب اجزاء مدیریت پسماند و تقدم و تاخر استقرار آنها بر اساس معیارهای اقتصادی کمک می‌کند. هدف از این پژوهش، ارزیابی جامع اقتصادی اجزاء سیستم مدیریت پسماند با استفاده از ارزیابی هزینه چرخه حیات همراه با شاخص ارزش خالص فعلی و نرخ بازده داخلی بود.

روش بررسی: به کمک ارزیابی هزینه چرخه حیات، هزینه پردازش هر تن پسماند در هر جزء مدیریت پسماند محاسبه و با استفاده از شاخص‌های ارزش خالص فعلی و نرخ بازده داخلی، بازدهی هر جزء یا واحد پردازش مدیریت پسماند به دست آمد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بازیافت با ۲۶۰ درصد، نرخ بازدهی داخلی و پس از آن کمپوست کردن با ۴۰ درصد بالاترین نرخ بازدهی داخلی، توانایی بازگشت سرمایه را دارند. تحلیل حساسیت، سودآوری این دو پردازش را با وجود تغییرات ۳۰ ± درصد در پارامترهای تاثیرگذار محاسباتی نشان داد.

نتیجه‌گیری: روش ارزیابی جامع اقتصادی به‌کار رفته در این تحقیق نشان داد استفاده همزمان از ارزیابی هزینه چرخه حیات و شاخص‌های ارزش خالص فعلی و نرخ بازدهی داخلی به همراه تحلیل حساسیت آنها می تواند نقش موثری در تصمیم گیری‌های حوزه مدیریت پسماند داشته باشد.

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

Please cite this article as: Naghibzadeh SSh, 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.

Copyright © 2023 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 2024-11-13]

مقدمه

افزایش بی‌رویه تولید پسماند در شهرها، مدیریت پسماند را به یکی از عمده نگرانی‌های جوامع و سازمان‌های مرتبط با آن تبدیل کرده است (۱) و مواجهه با مقادیر زیادی پسماند، علاوه بر پیامدهای محیط‌زیستی آن، هزینه اقتصادی بسیار زیادی را بر سیستم تحمیل می‌نماید. بنابراین انجام ارزیابی اقتصادی اجزای مختلف سیستم مدیریت پسماند و تصمیم‌گیری در مورد بود و نبود آنها، ابزاری در جهت استفاده صحیح از منابع مالی تخصیص یافته است (۲). ارزیابی اقتصادی (Economical Evaluation) شکلی از تصمیم‌گیری مبتنی بر داده است که با محاسبه و مقایسه هزینه و فایده‌های یک تصمیم با فرصت‌های پیش‌بینی یا تخمینی مرتبط با آن، منطقی بودن یا نبودن اجرا را از دیدگاه اقتصادی مشخص می‌نماید. برای اعتماد تصمیم‌گیران به نتایج بدست آمده، این ارزیابی باید از صحت کافی برخوردار باشد، این صحت مستلزم ورود داده‌ها و اطلاعات صحیح است. بنابراین پیشنهاد شده است که برای پارامترهای اصلی و تاثیرگذار، تحلیل حساسیت انجام شود (۳). از ارزیابی هزینه چرخه حیات (Life Cycle Costing Analysis) به عنوان یک ابزار ارزیابی اقتصادی برای برآورد هزینه‌های اجزاء و پردازش‌های مختلف پسماند به خوبی استفاده شده است. از همراه کردن نتایج ارزیابی هزینه چرخه حیات با شاخص‌هایی مانند ارزش خالص فعلی ((Net Present Value (NPV) که بازدهی اقتصادی یک پروژه را نشان می‌دهند می‌توان به یک مدل جامع برآورد اقتصادی رسید (۴). تاکنون در مطالعات متعددی از ارزیابی هزینه چرخه حیات و شاخص ارزش خالص فعلی برای برآورد اقتصادی تصمیم‌های بالقوه مدیریت پسماند استفاده شده است (۴-۱۳).

Reich (۱۱) به عنوان یکی از پیشگامان استفاده از ارزیابی هزینه چرخه حیات، در مطالعه‌ای هزینه‌های هر کدام از واحدهای پردازش بازیافت، کمپوست، هضم بی‌هوازی و سوزاندن و دفن را در شهرهای مختلف سوئد به کمک LCC با هم مقایسه کرد. Kim و همکاران (۹) به کمک ارزیابی هزینه چرخه حیات، گزینه‌های مختلفی از پردازش پسماند را از منظر گرمایش جهانی و استحصال انرژی با استفاده از قیمت‌های اثرات اجتناب شده کربن ناشی از کاهش CO_2 و همچنین قیمت محصولات جانبی مانند خوراک دام، کمپوست و برق برآورد کردند. Dong و همکاران (۵) از LCC برای مقایسه انواع لندفیل و پسماندسوز با قابلیت استحصال انرژی استفاده کردند.

همچنین مطالعه پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که از ارزیابی هزینه چرخه حیات برای برآورد هزینه سناریوها و استراتژی‌های مختلف مدیریت پسماند استفاده شده است. Elagroudy و همکاران (۱۰) از ارزیابی هزینه چرخه حیات برای برآورد چند سناریوی ترکیبی برای مدیریت پسماند عراق استفاده کردند. Sharma و همکار (۴) برای انجام ارزیابی هزینه چرخه حیات سناریوهای مختلف با ترکیب متفاوتی از پردازش‌های بازیافت، کمپوست، هضم بی‌هوازی، سوزاندن با تولید برق و دفن پسماند با بازیابی بیوگاز از روش ارزش خالص فعلی استفاده کردند. همچنین برای مشخص شدن تاثیر پارامترهای اصلی در نتایج ارائه شده از تحلیل حساسیت استفاده شد. Xiao و همکاران (۷) اثرات اقتصادی سناریوهای مختلف مدیریت پسماندهای غذایی را به کمک ارزیابی چرخه حیات مقایسه کردند. در این مطالعه برای ارزیابی کارایی اقتصادی از ارزیابی LCC همراه با شاخص ارزش خالص فعلی استفاده شد. Xiao و همکاران (۸)، در مطالعه‌ای به ارزیابی هزینه چرخه حیات استراتژی‌های مختلف مدیریتی دفع لجن فاضلاب در قالب چند سناریو پرداختند. این مطالعه قابلیت استفاده از پسماند آلی برای تامین کربن کوره در صنایعی مانند فولاد و سیمان را نشان داد و بهره‌وری آن را

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

تایید کرد.

Martinez-Sanchez و همکاران (۱۲) یک مدل هزینه دقیق و جامع برای ارزیابی اقتصادی سیستم مدیریت پسماند، بر اساس هزینه چرخه حیات ارائه کردند. این مدل، هزینه‌های هر تن پسماند پردازش شده را با پارامترهای فنی و اقتصادی (مثلاً مقدار و هزینه) محاسبه می‌کرد. Wang و همکاران (۶) عملکرد اقتصادی سیستم جامع مدیریت پسماند شهر هورقین چین را به طور کمی با استفاده از هزینه‌یابی چرخه حیات (LCC) بررسی کردند. Li و همکاران (۱۳)، با تمرکز بر سرمایه، مواد و مصرف انرژی در شهر شی آن (چین) به ارزیابی اثرات اقتصادی فرآیند تولید، جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند خانگی پرداختند.

با توجه به مرور منابع و مطالعه پژوهش‌های انجام شده ضرورت دارد، استفاده از ارزیابی چرخه حیات با روش‌هایی که بازدهی اقتصادی تصمیم‌های اخذ شده در مدیریت پسماند را نشان می‌دهد همراه شود تا تصویر کاملتری از ارزیابی اقتصادی اجزاء، پردازش‌ها، سناریوها و استراتژی‌های مختلف مدیریت پسماند حاصل شود. نتایج ارزیابی اقتصادی ممکن است نسبت به تغییر در پارامترهای موثر در روش‌های محاسباتی و جمع‌بندی آنها، دارای حساسیت باشد. هدف از این مطالعه ارائه یک روش ترکیبی برای ارزیابی اقتصادی اجزاء و پردازش‌های مختلف سیستم مدیریت پسماند و تحلیل حساسیت روش ترکیبی است.

مواد و روش‌ها

در کلان شهر کرج (۱۰ منطقه شهرداری کرج به همراه دو منطقه فردیس) با جمعیت ۱۶۱۵۲۱۸ نفر، روزانه بیش از ۱۲۰۰ تن پسماند جامد شهری با سرانه تولید پسماند ۰/۶۵ kg/day تولید می شود. همچنین پیش بینی شده است که تا سال ۱۴۰۴، این رقم به ۱۴۵۰ تن در روز خواهد رسید (۱۴). بر اساس مطالعات انجام شده ترکیب فیزیکی پسماندهای خانگی در شهر کرج تقریبا از ۷۴ درصد پسماند آلی و ۲۶ درصد پسماند خشک (شامل ۶/۸ درصد کاغذ و مقوا، ۷/۱ درصد پلاستیک، ۱/۲ درصد فلزات، ۱/۷ درصد فوم و طلق، ۳/۴ درصد منسوجات، ۲ درصد شیشه، ۰/۵ درصد چوب و ۳/۴ درصد سایر) تشکیل شده است (۱۴). سیستم مدیریت پسماند در شهر کرج شامل مرحله جمع‌آوری پسماندهای مخلوط در مخازن نگهداری پسماند، حمل و نقل (به سه شیوه دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه)، بازیافت مواد با ارزش موجود در پسماند توسط زباله‌گردها، کمپوست کردن بخشی از پسماند منتقل شده به مرکز دفن حلقه دره (در کارخانه‌ای با ظرفیت ۲۵۰ تن در روز)، دفن و مرحله مراقبت‌های پس از دفن است. پسماندهای جمع‌آوری شده از مناطق شهری کرج ابتدا به دو ایستگاه انتقال خلج‌آباد و حصارک و پسماندهای مناطق ۳ و ۱۰ نیز پس از انتقال به ایستگاه انتقال فردیس به مرکز دفن حلقه دره حمل می‌شود (۱۴). در مطالعه حاضر، به منظور ارزیابی اقتصادی سیستم مدیریت پسماند شهر کرج از محاسبه و مقایسه مقادیر LCC، NPV و IRR (Internal Rate of Return) به دست آمده برای اجزا و واحدهای پردازش سیستم مدیریت پسماند با استفاده از معادلات ۱، ۲، ۳ و ۴ مطابق جدول ۱ و شکل ۱ استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز برای این محاسبات از گزارش‌ها و مرور منابع مختلف (۴، ۱۲، ۱۵-۲۳) به‌دست آمد و پارامترهای اثرگذار در این مطالعه شامل نرخ تورم، نرخ تنزیل، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه راه‌اندازی و نگهداری و میزان درآمد حاصل از هرکدام از پردازش‌های پسماند است. در این پژوهش هزینه خرید زمین با توجه به تفاوت قیمت در مکان‌های مختلف (۲۴) و نیز تخصیص دولتی برای این امور (۲۵) لحاظ نشده است. این محاسبات به کمک فرمول نویسی در نرم افزار Excel 2013 انجام شده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

جدول ۱- هزینه ها و درآمدهای مربوط به اجزاء سیستم مدیریت پسماند کرج

اجزاء سیستم	هزینه سرمایه اولیه (Capital Cost (CC))	هزینه راه‌اندازی و نگهداری	درآمد
جمع آوری	خرید و احداث	۷ درصد CC	-
حمل‌ونقل	اجاره و احداث	۲۰ درصد CC	-
کمپوست کردن	احداث	۳۰ درصد CC	فروش کمپوست
هضم بی‌هوازی	احداث	۱۰ درصد CC	فروش کود فروش انرژی
پسماندسوز	احداث	۲۸ درصد CC	فروش انرژی
بازیافت	احداث	۱۰ درصد CC	فروش مواد بازیافتی
دفن	احداث	۱۰ درصد CC	
استحصال گاز از لندفیل	احداث	۱۰ درصد CC	فروش انرژی

(۱)

هزینه سرمایه‌ای (واحد پولی/tonne) = LCC (واحد پولی/tonne) + هزینه راه‌اندازی و نگهداری (واحد پولی/tonne) * $UPWF_r$

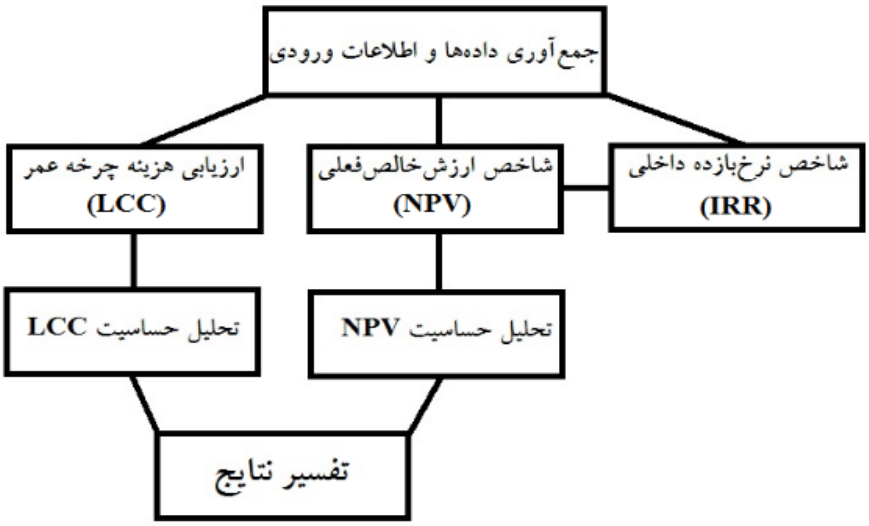
$$UPWF_r = \left(\frac{1+r}{i-r}\right)\left[1-\left(\frac{1+r}{1+i}\right)^n\right] \quad (۲)$$

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{C_n}{(1+r)^n} - C_0 \quad (۳)$$

$$IRR \equiv 0 = NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{C_n}{(1+r)^n} - C_0 \quad (۴)$$

که در آنها $UPWF_r$ (Inflation rate) (The uniform Present Worth Factor with عامل ارزش فعلی یکنواخت شده با نرخ تورم، n طول عمر (Life Span) سیستم، r و i به ترتیب نرخ تنزیل (Discount Rate) و نرخ تورم (Inflate Rate)، NPV ارزش خالص فعلی، C_n تمام جریان‌های نقدی ورودی و خروجی، C_0 سرمایه گذاری اولیه و IRR نرخ بازده داخلی است. تعداد روزهای عملیاتی برای پسماندسوزها به علت نیاز به زمان بیشتر برای بازسازی و تعمیرات ۳۳۵ روز و برای بقیه اجزای سیستم ۳۶۵ روز در نظر گرفته می‌شود (۴). در ارزیابی LCC، هزینه‌ی پردازش یک تن پسماند، به عنوان واحد عملکردی و مرزهای پردازش به عنوان مرزهای سیستم در نظر گرفته می‌شود (۲۶).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]



شکل ۱- فلوچارت روش ترکیبی ارزیابی جامع اقتصادی هریک از اجزاء و پردازش‌های مدیریت پسماند

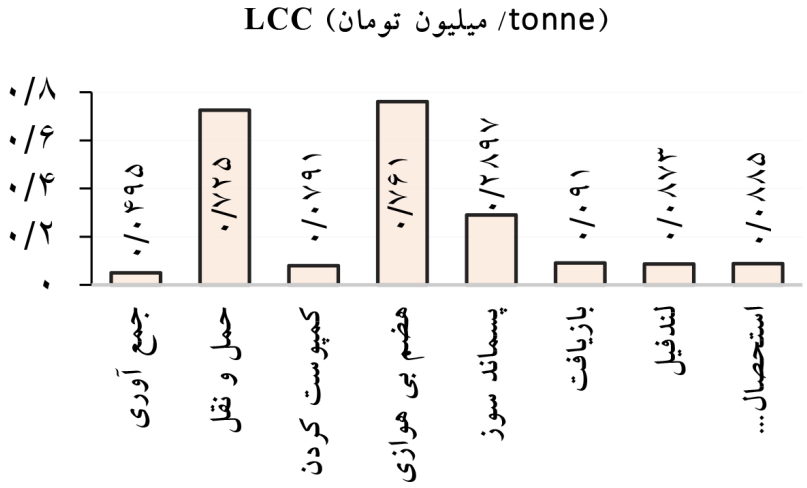
یافته‌ها

نتایج ارزیابی هزینه چرخه حیات، شاخص ارزش خالص فعلی و نرخ بازده داخلی اجزاء و پردازش‌های پیشنهادی سیستم مدیریت پسماند شهر کرج به ترتیب در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ و تحلیل حساسیت ارزیابی هزینه چرخه حیات و شاخص ارزش خالص فعلی در نمودارهای ۴ و ۵ ارائه شده است. یافته‌های ارزیابی چرخه حیات (نمودار ۱) نشان می‌دهد کمپوست کردن با ۷۹ هزار تومان به ازای هر تن کمترین و هضم بی‌هوازی با ۷۶۱ هزار تومان به ازای هر تن بیشترین LCC را از میان پردازش‌های مدیریت پسماند دارند. همچنین بخش جمع‌آوری (شامل هزینه‌ی خرید، تعمیر و نگهداری ظروف ذخیره پسماند) و حمل‌ونقل (شامل خرید و یا اجاره وسایل انتقال پسماند، هزینه تعمیرات و نگهداری، هزینه تامین سوخت و هزینه های پرسنلی) با LCC مجموع ۷۷۵ هزار تومان به ازای هر تن سهم بسیار مهمی در تحمیل هزینه بر سیستم مدیریت پسماند دارد. از این هزینه ها نزدیک به ۵۰ هزارتومان مربوط به بخش جمع آوری و ۷۲۵ هزار تومان مربوط به بخش حمل و نقل است. نتایج شاخص NPV (نمودار ۲) نشان می‌دهد از میان تمام اجزاء و پردازش‌های پسماند تنها بازیافت با بیش از ۲۹۷۲ میلیارد تومان و کمپوست کردن با ۷۵ میلیارد تومان قابلیت سودآوری را دارند. یک پروژه در حالتی سود آور خواهد بود که مقدار NPV به دست آمده از آن مثبت باشد. در این مطالعه شاخص IRR که شکل دیگری از محاسبه NPV است فقط برای پردازش‌های بازیافت، کمپوست کردن، پسماندسوز و استحصال انرژی از لندفیل بدست آمد. زیرا در این پردازش ها درآمد سالانه آنها از هزینه‌های نگهداری و راه‌اندازی بیشتر بود. در این شاخص هم بازیافت با نرخ بازده داخلی ۲۶۰ درصد از بقیه پردازش‌ها متمایز بود. همچنین در این مطالعه برای بررسی اثر تغییرات پارامترهای اصلی در نتایج بدست آمده برای مقادیر LCC و NPV تحلیل حساسیت انجام شد. پارامترهای انتخاب شده برای تحلیل حساسیت ارزیابی هزینه چرخه حیات شامل: نرخ تنزیل، نرخ تورم، سرمایه اولیه و هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری بودند. همچنین برای تحلیل حساسیت ارزش خالص فعلی از تغییر پارامترهای نرخ بهره بانکی، سرمایه اولیه و هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری و میزان درآمد استفاده شد. در این بخش به منظور تعیین تأثیر این پارامترها، هرکدام به میزان ۳۰± درصد با بازه ۱۵± درصد یک‌به‌یک تغییر داده شدند. تحلیل حساسیت ارزیابی هزینه چرخه حیات نشان داد

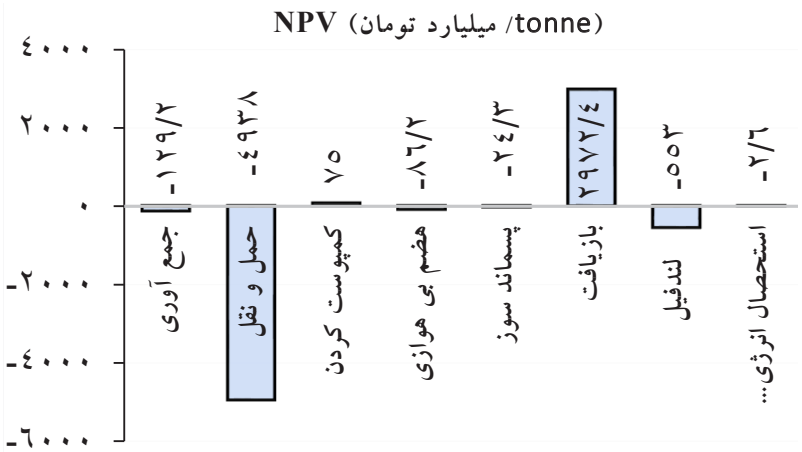
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

که ارتباط پارامترهای میزان سرمایه اولیه، هزینه راه‌اندازی و نگهداری و نرخ تنزیل (در همه اجزاء سیستم مدیریت پسماند) در میزان LCC محاسبه شده برای همه اجزاء و پردازش‌های سیستم مدیریت پسماند بصورت مستقیم است. یعنی کاهش و افزایش این سه پارامتر باعث کاهش و افزایش میزان LCC محاسبه شده، خواهد شد. اما تاثیر نرخ تورم به صورت عکس بوده و با افزایش نرخ تورم میزان LCC محاسبه شده، کاهش می یابد. این موضوع با مطالعات انجام شده، در مورد نقش تورم بالا در کاهش ارزش بدهی‌ها و هزینه پول (بهره حقیقی)، در طول زمان مطابقت دارد (۲۷).

نتایج تحلیل حساسیت ارزش خالص فعلی نشان می‌دهد که پارامتر سود تاثیر مستقیم و دو پارامتر هزینه‌ای تاثیر عکس بر میزان NPV بدست آمده، دارند. تاثیر نرخ بهره به اختلاف عواید بدست آمده و هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری بستگی دارد. چنانچه عواید بیشتر از هزینه‌ها باشد افزایش نرخ بهره باعث افزایش میزان NPV محاسبه شده می شود و بالعکس عواید کمتر از هزینه‌ها میزان NPV محاسبه شده را کاهش می‌دهد.



نمودار ۱- ارزیابی هزینه چرخه حیات (LCC) اجزاء و پردازش‌های سیستم مدیریت پسماند کرج



نمودار ۲- شاخص ارزش خالص فعلی(NPV) اجزاء و پردازش‌های سیستم مدیریت پسماند کرج

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

نمودار ۳- شاخص نرخ بازده داخلی(IRR) اجزاء و پردازش‌های سیستم مدیریت پسماند کرج

بحث

بطور کلی یک سیستم جامع مدیریت پسماند شهری شامل جمع آوری و انتقال پسماند، بازیافت کردن مواد قابل بازیافت، کمپوست و هضم (به تنهایی یا هم زمان) مواد فساد پذیر پسماند، سوزاندن بخش قابل سوزاندن پسماند و دفع نهایی پسماند باقی مانده است (۲۸). در هر سیستم مدیریت می تواند تمام یا بخشی از تاسیسات ذکر شده وجود داشته باشد. هر سیستم مدیریت پسماند حداقل شامل جمع آوری پسماند و انتقال آن به لندفیل است. همانطور که در نمودار ۱ مشاهده می شود، حمل‌ونقل یکی از پرهزینه‌ترین اجزاء مدیریت پسماند است. در این پژوهش مقدار هزینه حمل و نقل ۷۲۵۰۰۰ تومان محاسبه شده است. حمل و نقل یکی از اجزای اجباری سیستم مدیریت پسماند است به این معنی که در همه نظام های مدیریت پسماند وجود دارد. در برخی از منابع آن را به همراه هزینه جمع آوری و در برخی دیگر به تنهایی آورده اند. در این مطالعه از بین اجزاء و گزینه های مدیریت پسماند (چنانچه گزینه هضم بی هوازی در نظر گرفته نشود) هزینه حمل و نقل، بیش از ۵۰ درصد کل هزینه سیستم است که با نتایج مطالعه Rada و همکاران که هزینه حمل‌ونقل را ۵۰ تا ۷۰ درصد هزینه‌های مدیریت پسماند دانسته‌اند، مطابقت دارد (۲۹).

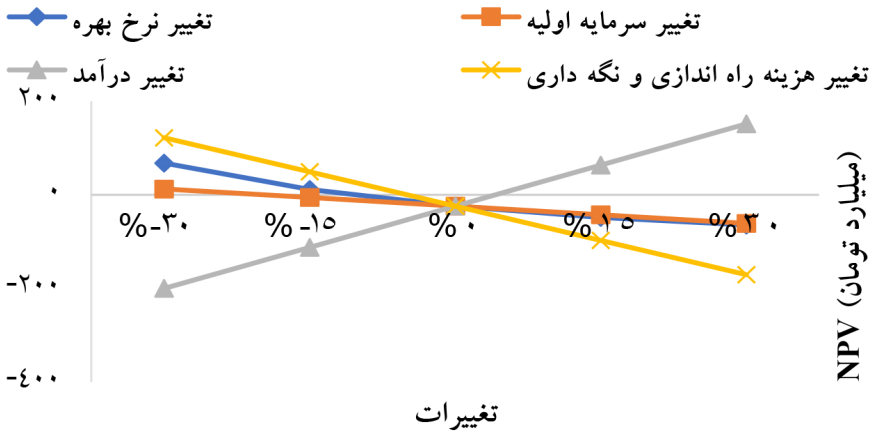
در این قسمت‌ها عایدی قابل محاسبه‌ای برای سیستم مدیریت وجود ندارد. از طرفی همچنین در سناریوهایی که به مقایسه هزینه پردازش‌های مختلف پسماند می‌پردازند، باید هزینه‌های جمع‌آوری و انتقال را به آنها اضافه کرد. با ایجاد ایستگاه‌های انتقال می‌توان تا اندازه‌ای هزینه‌های این بخش را کاهش داد (۳۰-۳۲) تحلیل حساسیت ارزیابی چرخه حیات و شاخص NPV بخش‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند به دلیل عدم درآمد در این اجزاء از نظر اقتصادی جذابیتی ندارد.

نتایج به دست آمده از ارزیابی چرخه حیات (نمودار ۱) نشان می‌دهد، پردازش هضم بی هوازی بالاترین هزینه را از بین پردازش‌های پسماند، به سیستم مدیریت پسماند تحمیل می‌کند. از آنجایی که در طی پردازش هضم بی‌هوازی باید پسماند به صورت رقیق شده به مدت ۲۰ روز در مخازن هضم باقی بماند، ظرفیت پذیرش پسماند در این پردازش کاهش می‌یابد. با کاهش ظرفیت پردازش (به علت نیاز به رقیق سازی پسماند و ماندگاری طولانی مدت پسماند در پردازش)، هزینه پردازش هر تن پسماند به شدت افزایش می‌یابد (۲۱)، همچنین مقدار شاخص NPV این پردازش منفی است یعنی احداث این پردازش برای شهر کرج توجیه اقتصادی ندارد. عدم درج مقدار شاخص IRR به معنای

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

درآمد کمتر این پردازش نسبت به هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری در سال های بعد از احداث است. کم هزینه‌ترین پردازش پسماند، از میان گزینه‌های پیشنهادی، کمپوست ردیفی است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد کمپوست گزینه اول پردازش بخش آلی پسماند است. شاخص NPV (نمودار ۲) توجیه اقتصادی این پردازش را تایید می‌کند. عدد شاخص NPV (۷۵ میلیارد تومان) بیانگر میزان سود پردازش در پایان چرخه حیات سیستم (۲۰ سال) پس از استهلاک همه هزینه‌های سرمایه گذاری و راه‌اندازی و نگهداری بر اساس ارزش فعلی است. مقدار شاخص IRR (نمودار ۳) این پردازش ۴۰ درصد بوده و تاب آوری (Resilience) سیستم مالی تا تغییرات نرخ بهره ۴۰ درصد در طول دوره فعالیت پردازش را برای برگرداندن هزینه‌های سرمایه گذاری و راه‌اندازی و نگهداری نشان می‌دهد. پردازش بازیافت بعد از کمپوست کمترین هزینه را دارد. با این حال توجه به مقدار شاخص‌های NPV و IRR، در نمودارهای ۲ و ۳، برتری مطلق این پردازش را نسبت به هر پردازش دیگر نشان می‌دهد. هرچند نتایج ارزیابی اقتصادی بازیافت به علت ارتباط با بخش غیرآلی پسماند به عنوان ارزیابی اقتصادی جایگزین پردازش‌های کمپوست کردن و هضم بی‌هوازی در نظر گرفته نمی‌شود. نتیجه تحلیل حساسیت در این سه پردازش نشان می‌دهد که در پردازش‌های بازیافت و پس از آن کمپوست به دلیل نرخ بازدهی داخلی بالا با وجود تغییر در پارامترهای ۴ گانه گفته شده، در همه حالات سودآورند و از این جهت مخاطره‌ای بازدهی آنها را تهدید نمی‌کند. در پردازش هضم بی‌هوازی برعکس دو پردازش قبلی با وجود افزایش و کاهش ۳۰ درصدی در هریک از پارامترها به علت درآمد کمتر پردازش نسبت به هزینه‌های جاری آن، سودآور نخواهد بود.

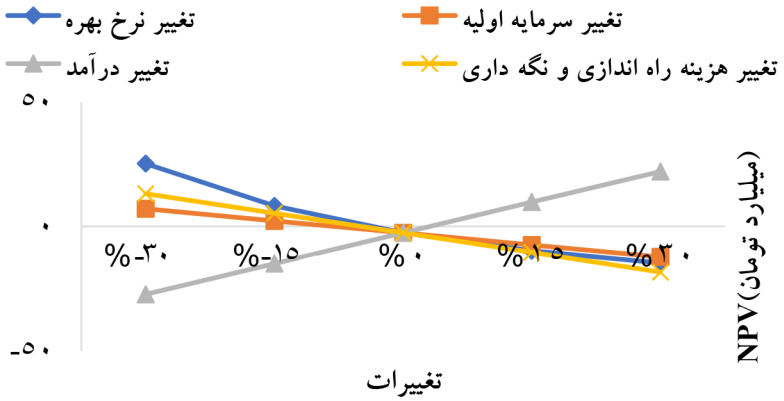
سوزاندن پسماند (نمودار ۱) از نظر هزینه چرخه حیات در رتبه دوم پر هزینه ترین روش پردازش پسماند قرار دارد. با اینکه مقدار شاخص NPV (نمودار ۲) این پردازش منفی است، اما شاخص IRR با ۲۱ درصد (نمودار ۳)، درآمد بیشتر این پردازش نسبت به هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری در سال های بعد از احداث را نشان می‌دهد. با این حال این مقدار درآمد برای استهلاک هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه پروژه بر اساس نرخ فعلی تورم در دوره فعالیت (طول عمر) این پردازش کافی نیست. بنابراین در حال حاضر احداث این پردازش برای شهر کرج توجیه اقتصادی ندارد. یکی از جذاب‌ترین نتایج تحلیل حساسیت شاخص NPV (نمودار ۴) در این مطالعه مربوط به پسماندسوز است. در این پردازش، چنانچه نرخ بهره بانکی ۱۵ درصد یا بیشتر کاهش یابد، یا راه‌حلی برای ۳۰ درصد کاهش در میزان سرمایه لازم برای استقرار آن پیدا شود، یا هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری آن ۱۵ درصد یا بیشتر کاهش یابد و یا قیمت برق خریداری شده به میزان ۱۵ درصد و یا بیشتر افزایش یابد، پروژه سودآور خواهد شد. در همه حالات دیگر پروژه همچنان زیان‌ده خواهد بود.



نمودار ۴- تحلیل حساسیت شاخص ارزش خالص فعلی(NPV) پردازش پسماندسوز

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ نتایج ارزیابی اقتصادی لندفیل، در دو قسمت مجزا ارائه شده است. از آنجایی که پردازش دفن به تنهایی هیچ عایدی برای نظام مدیریت پسماند ندارد، برآورد شاخص NPV مقداری منفی را نشان داد. در صورتی که با سرمایه‌گذاری در بخش جمع‌آوری گاز به کمک لوله‌گذاری با صرف هزینه‌ی ۹۰ هزار تومان به ازای هر تن پسماند ورودی، حداقل ۷ کیلووات ساعت، به ازای هر تن پسماند ورودی، انرژی الکتریکی به دست می آید (۴) که از فروش آن می‌توان عایدی قابل ملاحظه‌ای بدست آورد. با اینکه مقدار شاخص NPV در این حالت هم منفی بدست آمد اما با ملاحظه مقدار شاخص IRR (۲۲ درصد) و توجه به نتایج تحلیل حساسیت این بخش (نمودار ۵) می‌توان انتظار داشت که با تغییر در یکی از مولفه‌های درونی پسماند مانند افزایش میزان ماده آلی مواد دفنی، میزان انرژی قابل حصول آن افزایش یافته و به تبع آن انجام این پردازش، از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر شود. همچنین کاهش میزان سود بانکی از وضعیت فعلی می‌تواند پروژه را سودآور سازد. از طرفی چنین پروژه ای علی رغم زیان‌ده بودن، از نظر محیط‌زیستی موجه خواهد بود (۵).



نمودار ۵- تحلیل حساسیت شاخص ارزش خالص فعلی(NPV) پردازش پسماندسوز

یکی از نکات قابل ذکر در ارزیابی اقتصادی سیستم مدیریت پسماند این است که به علت تفاوت در هزینه راه‌اندازی و نگهداری مانند هزینه پرسنلی و هزینه‌های ساخت و ساز به عنوان بخشی از هزینه سرمایه اولیه، نتایج به دست آمده از هر مطالعه با نتایج گزارش شده از مطالعات دیگر کشورها متفاوت است (۴). به عنوان مثال سوزاندن هرتن پسماند در کشور آلمان چیزی معادل ۵۲ دلار آمریکا هزینه دارد (۳۳) که بسیار بیشتر از نتیجه بدست آمده برای این پردازش در مطالعه حاضر است. این تفاوت می تواند به علت محدودیت‌های سخت گیرانه کشورهای اروپایی برای خروجی دودکش‌های کارخانه (۳۴، ۳۵) و تفاوت در دستمزد نیروی کار کشورهای مختلف باشد. لازم به ذکر است که در این پژوهش تنها به بررسی گزینه های مدیریت پسماند از منظر اقتصادی پرداخته شده است. تحقیقات آتی می‌تواند با ادغام تمام جنبه‌ها (محیط‌زیست، اقتصادی-اجتماعی و فنی) ابزار کاملتری را برای مقایسه گزینه‌های مدیریت پسماند ارائه دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج این ارزیابی نشان داد، بازیافت پسماند و سپس کمپوست کردن، بیشترین بازده اقتصادی را از بین واحدهای پردازش پسماند دارد. همچنین آنالیز حساسیت شاخص NPV در واحدهای پسماندسوز و تاسیسات استحصال گاز از لندفیل

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

نشان داد با افزایش میزان درآمد و یا کاهش پارامترهای نرخ تورم، میزان سرمایه اولیه و هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری، امکان خروج از زیان‌دهی و توجیه‌پذیری اقتصادی آنها وجود دارد. مطالعه حاضر بر ارزیابی اقتصادی سیستم مدیریت پسماند شهرکرج تمرکز دارد. اما با تغییر در اطلاعات ورودی می توان از ساختار این پژوهش برای ارزیابی جامع اقتصادی مدیریت پسماند سایر مناطق استفاده کرد و نتایج خوبی را برای تصمیم‌گیری مدیران حوزه پسماند در اختیار گذاشت. از یافته‌های این پژوهش می‌توان، اجزاء و پردازش‌هایی را که برای سرمایه گذاری جذابیت دارند شناسایی کرد و اطلاعات آن را در اختیار تصمیم‌گیران قرار داد.

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 برپایه شاخص‌های محیط زیستی و اقتصادی" در مقطع دکتری است که با حمایت دانشگاه تهران اجرا شده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

References

1. Mollaei A, Rafie R, Moeinaddini M, Khazaei SH. Modeling of leachate generation in Karaj landfill using HELP model. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(2):319-34.(in Persian)
2. Merrild H, Christensen TH. Introduction to waste economics. Solid Waste Technology & Management. 2010;1:29-51.
3. Mousania Z, Mousavi SH, Mirza Bayati F, Rafiee R. Development of decision support tool for municipal solid waste management system in Iran based on life cycle assessment approach. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(3):533-52. (in Persian)
4. Sharma BK, Chandel MK. Life cycle cost analysis of municipal solid waste management scenarios for Mumbai, India. Waste Management. 2021;124:293-302.
5. 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.
6. Wang Z, Lv J, Gu F, Yang J, Guo J. Environmental and economic performance of an integrated municipal solid waste treatment: A Chinese case study. Science of The Total Environment. 2020;709:136096.
7. 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.
8. 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.
9. Kim M-H, Song Y-E, Song H-B, Kim J-W, Hwang S-J. Evaluation of food waste disposal options by LCC analysis from the perspective of global warming: Jungnang case, South Korea. Waste Management. 2011;31(9-10):2112-20.
10. Elagroudy S, Elkady T, Ghobrial F. Comparative cost benefit analysis of different solid waste management scenarios in Basrah, Iraq. Journal of Environmental Protection. 2011;2(05):555.
11. 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.
12. 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.
13. Li H, Tian Y, Li Z, Wu C, Liu Y. Life-cycle economic and environmental impacts of municipal solid waste reverse logistics in residential areas. Waste Management. 2023;164:200-08.
14. Rafie R, Mirza Bayati F, Moeinaddini M. Development of decision support tool for municipal solid waste management system in Karaj. In: editor.^editors. ed.: Karaj Municipal Waste Management Organization; 2019. p. 138.
15. 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.
16. Tucker EL, Ferraro CC, Laux SJ, Townsend TG.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

Economic and life cycle assessment of recycling municipal glass as a pozzolan in portland cement concrete production. Resources, Conservation and Recycling. 2018;129:240-47.

17. Nixon J, Dey P, Ghosh S. Energy recovery from waste in India: An evidence-based analysis. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2017;21:23-32.
18. Vigneswaran S, Kandasamy J, Johir M. Sustainable operation of composting in solid waste management. Procedia Environmental Sciences. 2016;35:408-15.
19. Pressley PN, Levis JW, Damgaard A, Barlaz MA, DeCarolis JF. Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment. Waste Management. 2015;35:307-17.
20. Organization PaB. schedule of prices of the basic unit of the waste field. In: editor.^editors. ed.: 2023. p.
21. 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)
22. Kumar A, Sharma M. Estimation of GHG emission and energy recovery potential from MSW landfill sites. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2014;5:50-61.
23. Maldonado-Alameda A, Mañosa J, Miro-Escola J, Quintero-Payan AC, Chimenos J. Fluidised-bed incineration bottom ash as the sole precursor of alkali-activated binders: A comparison with bottom ash from grate incinerators. Construction and Building Materials. 2023;364:130001.
24. Xin-Gang Z, Gui-Wu J, Ang L, Yun L. Technology, cost, a performance of waste-to-energy incineration industry in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;55:115-30.
25. EPA U. Municipal Solid Waste Landfills Economic Impact Analysis for the Proposed New Subpart to the New Source Performance Standards. 2014.
26. Sharma BK, Chandel MK. Life cycle assessment of potential municipal solid waste management strategies for Mumbai, India. Waste Management & Research. 2017;35(1):79-91.
27. Rezaei N, Norouzi A. Economic policy uncertainty, banks' lending decisions. Journal of Investment Knowledge. 2019;8(32):315-30. (in Persian)
28. Diaz R, Warith M. Life-cycle assessment of municipal solid wastes: Development of the WASTED model. Waste Management. 2006;26(8):886-901.
29. Rada EC, Ragazzi M, Fedrizzi P. Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. Waste Management. 2013;33(4):785-92.
30. Jia D, Li X, Shen Z. Robust optimization model of waste transfer station location considering existing facility adjustment. Journal of Cleaner Production. 2022;340:130827.
31. Ağaçsapan B, Çabuk SN. Determination of suitable waste transfer station areas for sustainable territories: Eskisehir case. Sustainable Cities and Society. 2020;52:101829.
32. 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.
33. Hogg D. Costs for municipal waste management in the EU: final report to directorate general environment, European Commission. Eunomia Research and Consulting on behalf of Ecotec Research and Consulting. 2012.
34. Kaza S, Yao L, Bhada-Tata P, Van Woerden F. What a

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050: World Bank Publications; 2018.

35. Makarichi L, Jutidamrongphan W, Techato K-a. The evolution of waste-to-energy incineration: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018;91:812-21.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-11-13]

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

Original Article

Comprehensive economic evaluation of municipal waste management and its sensitivity analysis: a case study in Karaj

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: 30 September 2023
Revised: 18 November 2023
Accepted: 22 November 2023
Published: 06 December 2023

Keywords: Waste management, Life cycle costing assessment, Economic efficiency

ABSTRACT

Background and Objective: The economic evaluation is a tool for decision-making based on data that helps to select and prioritize waste management components and their implementation based on economic criteria. The purpose of this study was a comprehensive economic evaluation of the waste management components by life cycle costing assessment (LCC) , Net Present Value index (NPV), and Internal Rate of Return (IRR).

Materials and Methods: The cost of each waste management component, was calculated by LCC for one tonne of waste in. The efficiency of each waste management component was obtained using the NPV and IRR indicators.

Results: The results showed that recycling with 260%, and then composting with 40%, have the highest economic returns and the ability to return capital. The sensitivity analysis showed the profitability of these two processes despite the changes of ±30% in the influential calculation parameters.

Conclusion: In this study, comprehensive economic evaluation showed that using LCC, NPV, and IRR with their sensitivity analysis, simultaneity can have an important role in waste management decision-making.

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

Please cite this article as: Naghibzadeh SSh, 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.

Copyright © 2023 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 2024-11-13]