

Estimation and assessment of cost and revenue for solid waste management subsystems in Tehran city using mathematical functions

Sajad Nasrollahi-Sarvaghaji^{1*}, Reza Alimardani², Mohammad Sharifi³, Mohammad Reza Taghizadeh Yazdi⁴

1. MSc, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Background and Aims: The municipality of Tehran has recently attempted to implement the integrated waste management system (IWMS) with the approach of minimizing environmental emissions, the lowest cost and the maximum utilization of existing potential. The present study set out with the aim of assessing the fixed and variable investment costs along with estimating the cost functions of its subsystems.

Materials and Methods: Recorded data from September to October in 2014- 2015 were used, making arrangements well in advance. The annual waste input to each subsystems of IWMS was firstly divided into 0 to twice of input ratio. The amount of fixed and variable investment costs along with future costs were then determined considering experts' opinions. Finally, MATLAB software version 7.1 was used in order to coding, estimating cost functions, and determining the correlation coefficient (R^2) between the input and cost values.

Results: The results showed that transportation subsystem allocated the maximum amount of costs (43%). Processing (23%), anaerobic digestion (12%), aerobic digestion (9%), landfilling (7%), and incineration (6%) were ranked in the next positions, respectively. Furthermore, using actual cost data based on existing capacity as well as peer reviewed experts' data with theoretical capacity indicated that all subsystems had economic scale with high correlation coefficients.

Conclusion: It is concluded that directing the waste flow from burial site to other waste processing technologies such as separation of recyclable materials, aerobic digestion, anaerobic digestion, and incineration would result in a significant reduction in the total amount of costs.

Keywords: Municipal solid waste, Waste management, Mathematical Functions, Operating cost, Unit cost

***Corresponding author:** Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

Email: nasroolah@ut.ac.ir

Received: 18 Dec 2016

برآورد و ارزیابی هزینه و درآمد سامانه‌های مدیریت پسماند شهر تهران با استفاده از توابع ریاضی

سجاد نصرالهی سروآغاجی^{۱*}، رضا علیمردانی^۲، محمد شریفی^۳، محمد رضا تقی زاده یزدی^۴

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: اخیراً، شهرداری تهران اقدام به پیاده‌سازی سامانه یکپارچه مدیریت پسماند با رویکرد کمترین نشر آلاینده‌های زیستی، کمترین هزینه و بیشترین بهره‌برداری از پتانسیل‌های موجود کرده است. هدف از این مطالعه بررسی هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و متغیر به همراه برآورد توابع هزینه‌ای و هزینه واحد زیرسامانه‌های آن انتخاب گردید.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، با هماهنگی سازمان مدیریت پسماند شهر تهران، از داده‌های ثبت شده مهر ماه ۱۳۹۳ تا آبان ۱۳۹۴ استفاده شد. ابتدا پسماند ورودی سالانه به هر زیرسامانه در بازه صفر تا ۲ برابر نرخ ورودی به تعداد مساوی تقسیم و سپس میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، عملیاتی و آینده با گرفتن نظرات کارشناسی تعیین شد، در نهایت از نرم افزار MATLAB نسخه ۱,۷ به منظور کدنویسی و تخمین توابع و ضریب همبستگی بین مقدار ورودی و مقدار هزینه استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، زیرسامانه حمل و نقل با ۴۳٪ بیشترین مقدار هزینه‌ها را به خود اختصاص داده است. پس از آن، پردازش با ۲۳٪، هضم بی‌هوازی با ۱۲٪، هضم هوازی با ۹٪، پسماندسوز با ۷٪ و لندفیل با ۶٪ در جایگاه بعدی قرار داشتند. همچنین استفاده از داده‌های واقعی با ظرفیت موجود به همراه داده‌های کارشناسی با ظرفیت فرضی نشان داد، تمام زیرسامانه‌ها دارای مقایسه اقتصادی با ضریب همبستگی بالا می‌باشند.

نتیجه‌گیری: بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت در سامانه مدیریت پسماند چنانچه جریان پسماندها از دفن مستقیم به سمت سایر فن‌آوری‌های پردازش و دفن مانند تفکیک‌سازی مواد قابل بازیافت، هضم هوازی، هضم بی‌هوازی و پسماندسوزی هدایت شوند، مقدار قابل توجهی از هزینه‌ها کاسته خواهد شد.

کلید واژه‌ها: پسماند جامد شهری، مدیریت پسماند، توابع ریاضی، هزینه عملیاتی، هزینه واحد

مقدمه

در طی چند دهه اخیر رشد بی‌رویه جمعیت شهری در کشورهای در حال توسعه به ویژه تراکم بالای جمعیت در شهرهای بزرگ همراه با عدم برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری صحیح و ارزیابی دقیق از روند موجود با توجه به برنامه جامع و کلان ملی موجب تولید و تخلیه حجم عظیمی از پسماندهای جامد شهری (MSW: Municipal Solid Waste) و شیرابه‌های ناشی از آن در محیط زیست و به خطر انداختن کیفیت بهداشت، محیط زیست طبیعی و سلامت انسان شده است [۲،۱]. توده‌های زشت مواد زائد، حفره‌های روباز پر از پسماند و سایر فضولات همگی نشان‌دهنده تخریب و آلودگی محیط زیست در این کشورها می‌باشند، به طوری که ساکنین این مناطق در معرض بیماری‌های منتقله توسط پاتوژن‌ها و انگل‌های موجود در این پسماندها و مزاحمت‌ها و خطرات ناشی از آن قرار دارند [۴،۳]. با توجه به زیان‌های بهداشتی و اقتصادی ناشی از عدم کنترل MSW، انجام و اجرای یک برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح اقتصادی و زیست محیطی در چهارچوب سامانه یکپارچه مدیریت پسماند جامد (ISWMS: Integrated solid waste management system) ضروری به نظر می‌رسد. با این حال در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، عموماً بزرگترین چالش جهت رسیدن به سامانه مدیریتی با کارایی بالا محدودیت منابع مالی می‌باشد [۶،۵]. بنابراین جهت استقرار سامانه یکپارچه مدیریت پسماند به شکل اصولی و فنی در یک منطقه، طراحی و اجرای برنامه‌های مربوط به پردازش و دفن بهداشتی از قبیل هضم هوازی (کمپوست‌سازی)، استحصال انرژی از پسماند، تولید بیوگاز، بازیافت و استفاده مجدد نیاز به تعیین دقیق توابع هزینه‌ای، هزینه کل و هزینه واحد مربوط به هر کدام از این زیرسامانه‌ها می‌باشد. توابع هزینه‌ای مرسوم در یک سامانه‌ی مدیریت پسماند از هزینه‌های کلی سرمایه‌گذاری ثابت و متغیر تشکیل شده است، در حالی که یک تابع هزینه‌ای، با هدف ارتقاء سطح خدمات و استفاده بهینه از بودجه تخصیصی، باید شامل هزینه مطالعات و سرمایه‌گذاری اولیه، حقوق کارکنان، هزینه‌های سوخت، الکتریسته، سرویس، تعمیر و نگهداری روزانه و سایر هزینه‌های مربوطه به طور دقیق و تفکیک شده برای هر یک از زیرسامانه‌ها باشد [۸،۷]. برآورد هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری نه تنها به عنوان ابزاری سودمند جهت تعیین نیازمندی‌های آینده سامانه به کار گرفته می‌شود بلکه به بهبود تصمیم‌گیری‌ها در بخش‌های مختلف سامانه از قبیل عقد قراردادهای جدید، سیاست‌های عملیاتی و همچنین سرویس، تعمیر و نگهداری تجهیزات نیز کمک شایانی می‌کند [۱۰،۹]. بر طبق بررسی‌های انجام شده، از کل هزینه‌های اختصاص یافته برای جمع‌آوری، پردازش و دفع پسماندهای شهری

در ایران حدود ۸۰ درصد جهت جمع‌آوری و حمل و نقل داخل شهری و رسیدن پسماندها به ایستگاه‌های میانی صرف می‌شود، به طوری که ۶۰ درصد از آن نیز شامل حقوق و دستمزد نیروی انسانی می‌باشد [۴]. از همین رو، در مطالعات صورت گرفته، بخش حمل و نقل و جمع‌آوری داخل شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است، به نحوی که اکثر مطالعات با هدف پیش‌بینی نرخ پسماند تولیدی، برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و متغیر در خدمات داخل شهری و همچنین پیدا کردن راه‌کارهای علمی جهت کاهش هزینه‌ها و نرخ تولید پسماند بوده است. در مطالعه‌ای که پیرامون مقایسه اقتصادی زیرسامانه پردازش و دفن بهداشتی پسماند شهر کنگاور صورت گرفت، دل‌انگیزان و محمدی (۲۰۱۲) عنوان کردند، در این شهر، احداث زیرسامانه‌های هضم هوازی (تولید کمپوست) و هضم بی‌هوازی (تولید الکتریسیته و بیوگاز) به جای دفن بهداشتی علاوه بر کاهش هزینه‌های کل، می‌تواند مقدار قابل توجهی سود اقتصادی نیز ایجاد کرده و همچنین از نشر آلاینده‌های زیست محیطی جلوگیری کند [۱۱]. نوری و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی از مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی بر پایه الگوریتم لوبنبرگ مارکوارت و تبدیل موجک (مدل عصبی - موجکی) برای پیش‌بینی نرخ تولید پسماند هفتگی شهر تهران استفاده کردند، نتایج نشان داد مدل موجکی دارای توانایی بسیار بالا در تعمیم و برآورد نرخ تولید پسماند می‌باشد [۱۲]. کال و همکاران (۲۰۱۶) از ابزار GIS جهت بهینه‌سازی جمع‌آوری و حمل و نقل پسماند جامد شهر Sfax تونس در چهار سناریو S0 (وضعیت فعلی)، S1 (تغییر تنها در ترتیب‌های توقف)، S2 (تغییر در ترتیب‌های توقف و تجهیزات) و S3 (تغییر در ترتیب‌های توقف و روش‌های جمع‌آوری) استفاده کردند، نتایج نشان داد سه سناریوی طراحی شده (S1، S2، S3) نسبت به وضعیت موجود (S0) از لحاظ زمان و فاصله جمع‌آوری عملکرد بهتری دارند که نهایتاً منجر به صرفه‌جویی در مصرف سوخت، هزینه‌ها و کاهش آلودگی می‌شود [۱۳]. دونزا و همکاران (۲۰۱۶) و بوسکوویچ و همکاران (۲۰۱۶) در دو مطالعه‌ی جداگانه، یک روش ریاضی برای محاسبه هزینه‌ی کامل و آنالیز بهره‌وری در جمع‌آوری پسماندهای تفکیک شده پیشنهاد دادند، بررسی و تفسیر مطالعات مذکور نشان داد از مدل ریاضی پیشنهادی جهت محاسبه هزینه‌ی روش‌های مختلف جمع‌آوری پسماند و همچنین مدیریت شرکت‌های فاقد سامانه حسابداری پیشرفته به عنوان ابزار مدیریتی سودمند می‌توان بهره برد [۱۴،۱۵]. کرباسی و همکاران (۲۰۰۸) از نرم افزار WAGS به منظور مدیریت جمع‌آوری پسماندهای خانگی و محاسبه بودجه مورد نیاز برای ۱۵ سال آینده در منطقه ۲۲ شهر تهران استفاده کردند. نتایج نشان داد که هزینه نیروی انسانی با ۷۳/۶۷ درصد دارای بیشترین سهم از هزینه کل می‌باشد و همچنین هزینه‌های

افزایش پیدا کرده است که سهم قابل توجهی از آن را هزینه‌های حمل و نقل به خود اختصاص داده است. همچنین افزایش نرخ تفکیک، افزایش ارزش مواد آلی از طریق تبدیل آنها به مواد قابل استفاده (کود)، شفاف‌سازی درآمدها و مکانیزم‌های مالی و افزایش کارایی هزینه‌های پرداختی را از عوامل بهبود و پایداری اقتصادی این سامانه داشتند [۱۲]. بل و فیجا (۲۰۱۰)، هزینه‌های ناشی از سامانه مدیریت پسماند در شهر گالیسیا اسپانیا را به صورت تجربی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد در منطقه مورد مطالعه هیچ تفاوت هزینه‌ای بین جمع‌آوری و تحویل توسط ارگان‌های خصوصی و دولتی وجود ندارد و همچنین مشخصه‌های شهری از قبیل توریستی بودن، داشتن یا نداشتن زیرسامانه پسماندسوز و کیفیت خدمات (تعداد جمع‌آوری پسماند در هفته) تاثیر بسزایی در هزینه‌های مدیریت پسماند دارد [۲۲]. کومیس و لیوگکاس (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های واقعی و فرضی هزینه کل مربوط به ۷ زیرسامانه پردازش و دفع موجود و در حال ساخت را در یونان مورد ارزیابی قرار دادند [۳۲]. همانطور که اشاره شد، پژوهش‌های متعددی در ایران جهت برآورد هزینه جمع‌آوری و حمل و نقل داخل شهری پسماند صورت گرفته ولی تاکنون مطالعه‌ای با هدف برآورد هزینه و درآمد دیگر زیرسامانه‌های پردازش و دفع پسماند شهری انجام نشده است. هدف از این مطالعه ابتدا تفکیک هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و متغیر مربوط به هر یک از زیرسامانه‌ها به اجزا تشکیل دهنده و سپس برآورد توابع هزینه‌ای کل و واحد با استفاده از داده‌های موجود و داده‌های کارشناسی اخذ شده، جهت بومی‌سازی و استفاده از آنها در سامانه‌های مدیریت پسماند شهری ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مجتمع دفن و پردازش آراد کوه از سال‌های اولیه دهه ۴۰ شمسی پذیرای مقدار قابل توجهی از پسماندهای تولیدی شهر تهران بوده است، به تدریج و با بسته شدن محل دفن آبعلی در سال ۱۳۶۷، این محل به عنوان اصلی‌ترین محل پردازش و دفن پسماندهای شهر تهران مطرح بوده است. مجتمع دفن و پردازش آراد کوه با مساحتی حدود ۸۰۰ هکتار، میانگین دمای 13°C ، متوسط بارش سالیانه mm ۲۰۵، رطوبت نسبی بین ۳۲ تا ۷۰ درصد و تعداد روزهای یخبندان ۱۱۴ روز در سال در جنوب شهر تهران واقع شده است [۲۴]. در حال حاضر روزانه حدود ۷۵۰۰ تن ($2/5$ میلیون تن در سال) پسماند در شهر تهران تولید می‌شود که پس از جمع‌آوری از معابر مناطق ۲۲ گانه به ۱۱ ایستگاه میانی منتقل می‌شود، سپس حدود ۹۶ درصد به مجتمع دفن و پردازش آراد کوه و ۴ درصد نیز به

تامین ماشین‌ها با $16/31$ درصد، هزینه تعمیرات با $6/36$ درصد، هزینه سوخت با $2/71$ درصد و هزینه سایر موارد با $0/92$ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند [۱] مجلسی و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل هزینه جمع‌آوری و حمل و نقل پسماند شهری پرداختند. نتایج نشان داد، شهر بندرعباس جهت مدیریت جمع‌آوری و انتقال پسماند این منطقه در ۱۵ سال آینده به ۳۵ میلیارد تومان اعتبار نیاز دارد [۴] در مطالعه‌ای دیگر حکمت‌نیا (۲۰۰۸) مدیریت پسماندهای خانگی شهرستان یزد را با استفاده از نرم افزار WAGS برای ۱۵ سال آینده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد [۱۶]. همچنین در مطالعات مشابهی داسگوپتا (۲۰۱۴)، رزمجوی عسگر آبادی (۲۰۰۸)، ظاهری (۲۰۰۷) و غزنوی (۲۰۰۹) به بررسی و ارزیابی هزینه‌های جمع‌آوری و حمل و نقل پسماندها در داخل شهر پرداختند و نتایج حاکی از سهم بالای هزینه‌های پرسنلی بود [۱۷-۲۰]. در یک سامانه یکپارچه مدیریت پسماند، زیرسامانه جمع‌آوری و حمل و نقل داخل شهری با وجود اهمیت بالایی که به لحاظ اقتصادی، زیست محیطی و زیبایی محیط داخل شهری دارد اما به تنهایی جهت حل مشکل پسماند و رهایی از آسیب‌های زیست محیطی ناشی از تلمبار شدن آن به ویژه در شهرهای پر جمعیت کافی نمی‌باشد. به همین سبب لازم است پس از جمع‌آوری اصولی و بهداشتی، در مکان و زمان مناسبی پردازش، پالایش و در صورت نیاز به شکل بهداشتی دفن شود. از همین رو لزوم بررسی و ارزیابی جنبه‌های اقتصادی زیرسامانه‌های بعد از جمع‌آوری و حمل و نقل داخل شهری از قبیل حمل و نقل از ایستگاه‌های میانی تا مجتمع دفع و پردازش، پردازش و تفکیک پسماندها، تبدیل مواد آلی به کمپوست و بیوگاز، پسماندسوزی جهت تولید الکتریسیته و دفن بهداشتی به شدت احساس می‌شود. به طوری که اخیراً در کشورهای دیگر نیز مطالعاتی با همین رویکرد و جهت بومی‌سازی توابع هزینه‌ای و هزینه واحد هر کدام از زیرسامانه انجام شده است. پارتان و همکاران (۲۰۱۲)، رویه، مشکلات و چشم‌اندازهای اقتصادی سامانه‌های یکپارچه مدیریت پسماند را به منظور برآورد توابع هزینه‌ای و هزینه واحد هر کدام از زیرسامانه‌ها در کشورهای در حال توسعه مورد مطالعه و ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش که به صورت مروری انجام شد، عواملی مانند فقدان داده‌های هزینه‌ای، عدم تفکیک هزینه‌های کل به عناصر تشکیل دهنده و همچنین برخوردار نبودن داده‌ها از کیفیت مطلوب به عنوان بزرگترین مشکلات در سامانه‌های یکپارچه مدیریت پسماند کشورهای در حال توسعه شناخته شد [۶] هزینه و درآمد حاصل از سامانه مدیریت پسماند شهری توسط لوری و همکاران (۲۰۱۴) در شهر باهیردر اتیوپی مورد مطالعه قرار گرفت. ایشان گزارش کردند هزینه مدیریت پسماند بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ با توجه به افزایش نرخ تولید پسماند به طور قابل توجهی

بی‌هوازی (تولید بیوگاز و الکتریسیته) با ۲ درصد (آبعلی) پردازش شده و بقیه به محل دفن (آراد کوه) منتقل می‌شود [۲۵]. جدول ۱ و شکل ۱ به ترتیب مشخصات ایستگاه‌های میانی و نحوه استقرار هر یک در نقشه شهر تهران و نقاط تحت پوشش آنها را نشان می‌دهد.

مجتمع آبعلی انتقال پیدا می‌کند. بخش عمده این پسماندها توسط واحدهای مختلف پردازش و بازیافت شامل تفکیک‌سازی مواد قابل بازیافت با ۳-۵ درصد، هضم بی‌هوازی (کمپوست‌سازی) با ۵۰ درصد، پسماندسوزی (تولید الکتریسیته) با ۲-۳ درصد (آراد کوه) و هضم

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های میانی حمل پسماند شهر تهران

ایستگاه حمل میانی	فاصله تا آراد کوه (کیلومتر)	ظرفیت روزانه (تن)	تعداد دستگاه‌های حمل و نقل (کامیون)
دارآباد	۵۶	۵۵۰	۱۱
زنجان	۴۸	۷۰۰	۱۳
بنی هاشم	۵۰	۷۷۵	۱۴
حکیمیه	۵۰	۷۵۰	۱۴
چیتگر	۵۲	۷۵۰	۱۳
بیهقی	۴۶	۸۷۵	۱۴
آزادگان	۲۶	۹۷۵	۱۶
یاران	۳۲	۷۰۰	۱۲
جهاد	۲۰	۵۰۰	۱۰
شهری	۱۲	۳۷۵	۷
شوش	۲۸	۵۵۰	۱۲



شکل ۱- استقرار ایستگاه‌های انتقال میانی در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

روش محاسبه

جهت محاسبه هزینه کل مربوط به یک زیرسامانه ابتدا لازم است وضعیت زیرسامانه از لحاظ فیزیکی (موجود یا در حال ساخت) و نوع هزینه (هزینه جاری زیرسامانه یا هزینه پیش‌بینی شده برای زیرسامانه در زمان‌های آینده مانند هزینه مراقبت و نگهداری از یک مرکز لندفیل بعد از تکمیل ظرفیت و پوشش) مشخص شده و سپس با استفاده از روابط زیر محاسبات مربوط به هزینه هر یک از زیرسامانه‌ها انجام شود.

سامانه مدیریت پسماند شهر تهران بعد از جمع‌آوری و حمل و نقل داخل شهری از ۶ زیرسامانه حمل و نقل، پردازش و تفکیک، هضم بی‌هوازی، هضم بی‌هوازی و لندفیل تشکیل شده است. داده‌های مورد نیاز برای این پژوهش با استفاده از اطلاعات ثبت شده در مجتمع آراد کوه، مصاحبه حضوری با کارشناسان و مسئولین امر در مجتمع آراد کوه و آبعلی و همچنین مطالعه اسناد، آمار و اطلاعات موجود در کتابخانه سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران به دست آمده است.

۱: نرخ بهره واقعی سالانه، K_P : پرداختی‌های یکنواخت سال‌های گذشته که براساس هزینه سرمایه گذاری اولیه و طول عمر طراحی شده برای زیرسامانه محاسبه می‌شود (y /واحد پول)، n : طول عمر برآوردی برای زیرسامانه، IC_P : هزینه سرمایه گذاری اولیه (واحد پول)، IC_{PF} : هزینه سرمایه گذاری تا سال ۱۳۹۴ (سال آنالیز)، YRC : سال ساخت زیرسامانه، IC_R : هزینه سرمایه گذاری باقی مانده‌ای که در طول عمر باقی مانده زیرسامانه مستهلک خواهد شد (واحد پول)، IC_{R1394} : ارزش حاضر هزینه سرمایه گذاری باقی مانده در سال ۱۳۹۴ (واحد پول)، CPI_i : شاخص قیمت مصرف‌کننده براس سال t ام، K_F : پرداختی‌های یکنواخت سال‌های آینده که هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای طول عمر باقی مانده زیرسامانه را نشان می‌دهد (y /واحد پول)، n_r : طول عمر باقی مانده زیرسامانه، Cap : هزینه مربوط به پوشاندن و نظارت بر زیرسامانه لندفیل (واحد پول)، nm : دوره نظارت بر لندفیل، OC : هزینه‌های عملیاتی (y /واحد پول)، FC : هزینه سرمایه‌گذاری در آینده برای لندفیل (y /واحد پول)، TCF : هزینه کل (t /واحد پول)، MSW : نرخ پسماند ورودی در زیرسامانه (t/y).

روش برآورد توابع هزینه‌ای

جهت برآورد و ارزیابی توابع هزینه‌ای پردازش یک تن پسماند تولیدی روزانه در هر یک از زیرسامانه‌های پردازش و دفع پسماند، با الهام گرفتن از مطالعه کومیلز و لیوگکاس (۲۰۱۴) و تسیلمو و پاناگیوتا کوپولوس (۲۰۰۶)، ابتدا پسماند ورودی سالانه به هر یک از زیرسامانه‌ها در بازه صفر تا حدود ۲ برابر نرخ ورودی زیرسامانه مورد نظر، به تعداد مساوی تقسیم (جهت بدست آوردن چند نرخ ورودی و هزینه هر کدام با استفاده از معادلات مذکور) و سپس میزان هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های آینده (در صورت وجود) مربوط به هر کدام از نرخ‌های ورودی به صورت فرضی و با گرفتن نظرات کارشناسی تعیین شد، در نهایت از تابع رگرسیون به منظور توصیف رابطه ریاضی بین نرخ ورودی و میزان هزینه کل و همچنین میزان هزینه به ازاء یک تن پسماند ورودی استفاده به عمل آمد [۲۶، ۲۳]. همچنین در این مطالعه هزینه کل (TC) مربوط به هر کدام از زیر سامانه‌ها به صورت واحد پول بر تن محاسبه شده است. در نهایت از نرم افزار MATLAB نسخه ۱،۷ (R۲۰۱۲a) به منظور کدنویسی و تخمین توابع هزینه‌ای و ضریب گزی (R^2) بین مقدار ورودی و مقدار هزینه برآوردی استفاده شد.

هزینه کل محاسباتی برای زیرسامانه‌های در حال ساخت واحد هزینه کل (t /واحد پول) مربوط به هر کدام از زیرسامانه‌های در حال ساخت با استفاده از روابط ۱ و ۲ و با در نظر گرفتن هزینه‌های سرمایه‌گذاری (IC) و عملیاتی (OC) محاسبه شد.

$$TC = (IC * CRF + OC) / MSW \quad (1)$$

$$CRF = \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

TC : هزینه کل (t /واحد پول)، IC : هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (واحد پول)، OC : هزینه‌های عملیاتی (y /واحد پول)، MSW : نرخ پسماند ورودی در زیرسامانه (t/y)، CRF : نرخ بازگشت سرمایه، i : نرخ بهره واقعی سالانه، n : طول عمر برآوردی برای زیرسامانه

هزینه کل محاسباتی برای زیرسامانه‌های موجود

محاسبه واحد هزینه کل مربوط به این زیرسامانه‌ها نیز همانند زیرسامانه‌های در حال ساخت می‌باشد با این تفاوت که هزینه‌ها به ازای طول عمر باقی مانده از زیر سامانه محاسبه می‌شود و همچنین در مورد زیرسامانه لندفیل لازم است که هزینه‌های مربوط به پوشش، بازسازی محل و نظارت در آینده برآورد شود (روابط ۳-۹).

$$K_P = IC_P * \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

$$IC_{PF} = K_P * \frac{(1+i)^{1394-YRC} - 1}{i * (1+i)^{1394-YRC}} \quad (4)$$

$$IC_R = IC_P - IC_{PF} \quad (5)$$

$$IC_{R1394} = IC_R * \frac{CPI_{1394}}{CPI_{YCR}} \quad (6)$$

$$K_F = IC_{R1394} * \frac{i * (1+i)^{n_r}}{(1+i)^{n_r} - 1} \quad (7)$$

$$FC = Cap * \frac{i * (1+i)^{n_m}}{(1+i)^{n_m} - 1} \quad (8)$$

$$TC_F = (K_F + OC * \frac{n_r}{20} + FC) / MSW \quad (9)$$

یافته‌ها

برآورد توابع هزینه‌ای، هزینه‌های کل و واحد در سامانه یکپارچه مدیریت پسماند شهری
 جداول ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ تقسیم‌بندی و سهم نهاده‌ها و ستانده‌ها در هزینه و درآمد کل و همچنین شکل‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ توابع هزینه‌ای کل و واحد مربوط به هر کدام از زیر سامانه‌ها را نشان می‌دهد.

برآورد توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه حمل و نقل

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در زیرسامانه حمل و نقل ماشین‌ها و ادوات بیشترین مقدار هزینه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و پس از آن، نیروی انسانی، سوخت دیزل و سرویس، تعمیر و نگهداری در رده‌های بعدی قرار دارند.

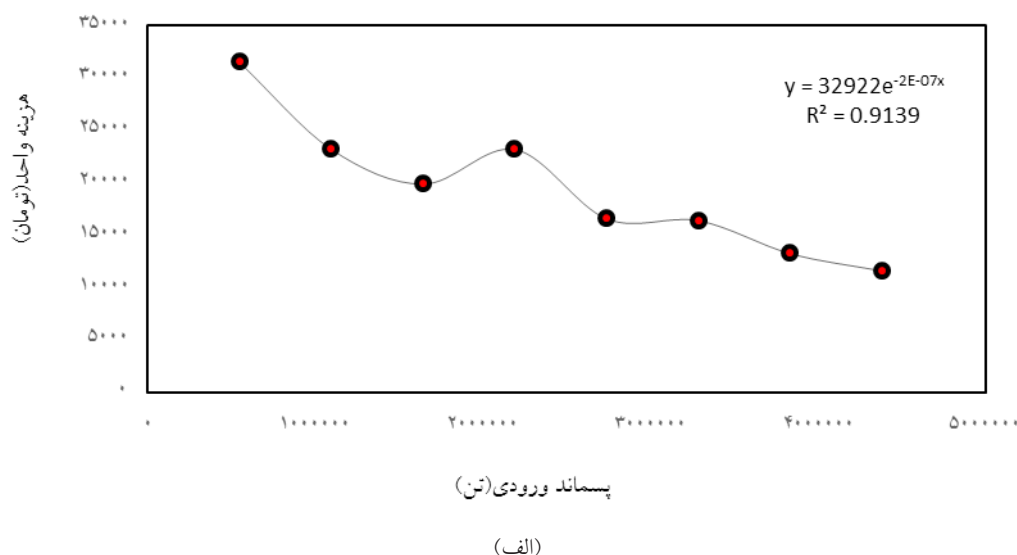
جدول ۲- تقسیم‌بندی انواع هزینه‌ها در زیرسامانه حمل و نقل

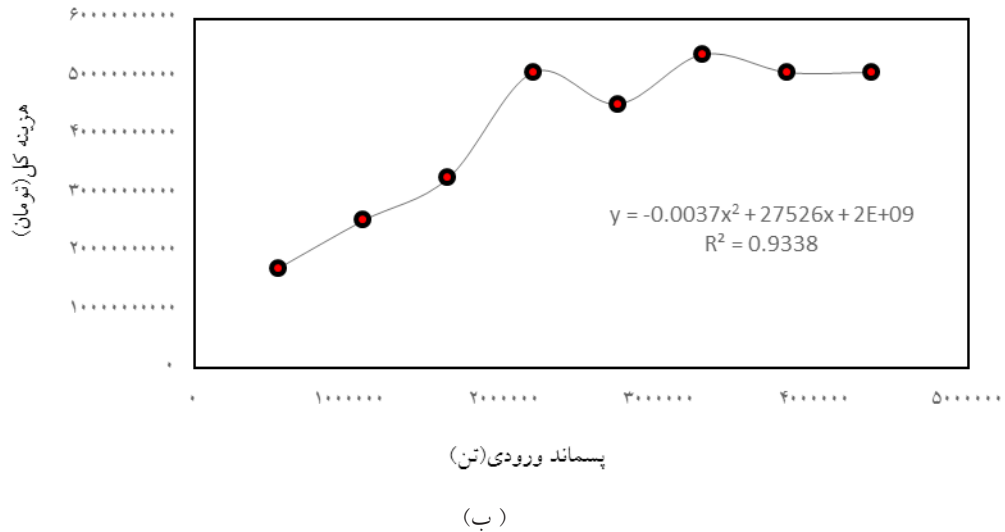
نوع هزینه	سالانه*	واحد (تومان بر تن)	سهم از کل (%)
الف- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه			
۱. ماشین‌ها و ادوات	۱۷۱۷۸۲۱۵۰۵۰	۶۲۷۵/۱	۳۷/۸۷
۲. ساختمان و تعمیرگاه	۱۳۷۴۸۵۰۳۶۰	۵۰۲/۲	۳/۰۳
ب- هزینه عملیاتی			
۱. نیروی انسانی	۱۰۳۵۷۲۰۰۰۰۰	۳۷۸۳/۵	۲۲/۸۴
۲. سوخت	۷۹۵۶۰۰۰۰۰۰	۲۹۰۶/۳	۱۷/۵۴
۳. سرویس، تعمیر و نگهداری	۷۷۶۴۰۰۰۰۰۰	۲۸۳۶/۲	۱۷/۱۲
۴. هزینه‌های جانبی	۷۲۳۶۰۰۰۰۰	۲۶۴/۳	۱/۶
مجموع هزینه‌ها	۴۵۳۵۳۸۶۵۴۱۰	۱۶۵۶۷/۶۲	۱۰۰

* میزان هزینه‌ای که به ازاء حمل و نقل پسماند تولیدی سالانه پرداخت می‌شود.

ورودی هر کدام از زیرسامانه‌های پردازش می‌باشد در شکل ۲ (الف) و (ب) نشان داده شده است.

توابع هزینه‌ای کل و واحد برای زیرسامانه‌ی حمل و نقل که شامل کلیه‌ی اقلام هزینه‌ای از ایستگاه‌های حمل و نقل داخل شهری تا





شکل ۲- تابع هزینه‌ای برای زیر سامانه حمل و نقل مدیریت یکپارچه پسماند شهر تهران. (الف): هزینه کل، (ب): هزینه واحد

انسانی با ۴۸/۵ درصد دارای بیشترین سهم در هزینه کل می‌باشند. بعد از آن، ماشین‌ها و ادوات با ۲۳/۴۹ درصد، الکتریسیته با ۱۷ درصد، هزینه‌های جانبی با ۱۲/۶۳ درصد و سرویس، تعمیر و نگهداری با ۷/۴۳ درصد سهم قابل توجهی از هزینه‌های کل بودند.

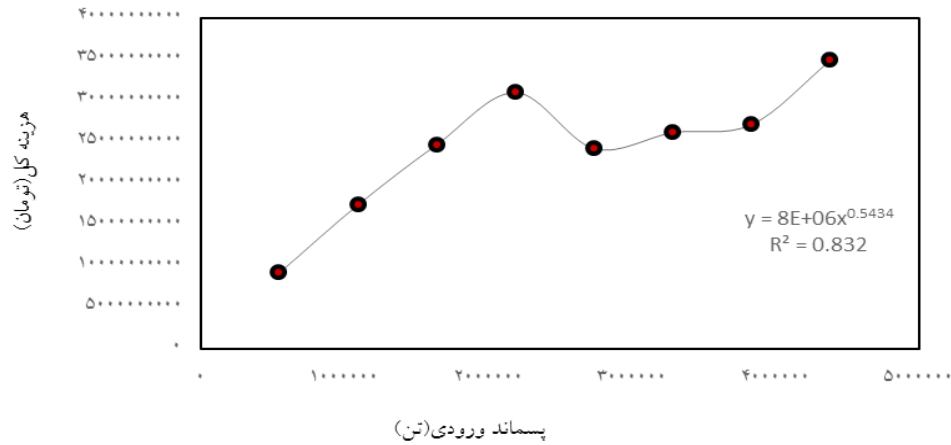
برآورد توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیر سامانه پردازش جدول ۳ سهم هر کدام از نهاده‌ها در هزینه کل زیر سامانه پردازش (تفکیک و بازیافت) و همچنین میزان تاثیر مواد بازیافتی در کاهش این هزینه‌ها را نشان می‌دهد. مطابق انتظار در این بخش نیروی

جدول ۳- تقسیم‌بندی انواع هزینه‌ها در زیر سامانه پردازش

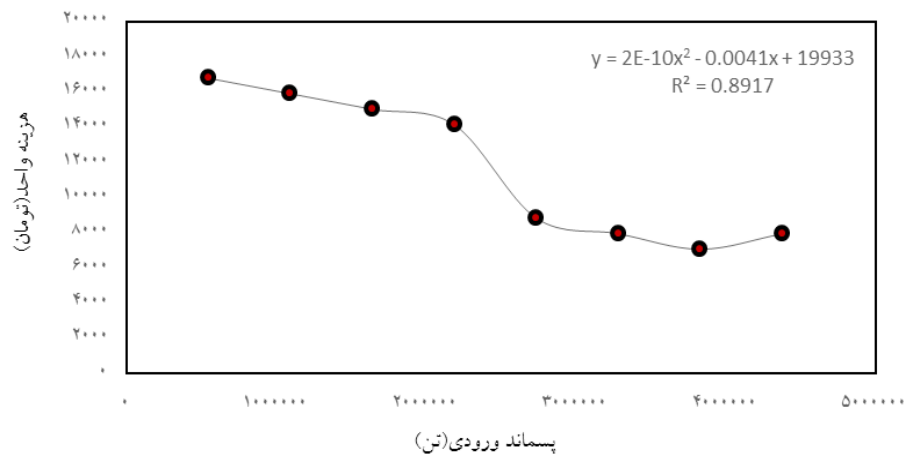
نوع هزینه	سالانه*	واحد (تومان بر تن)	سهم از کل (%)
الف- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه			
۱. ماشین‌ها و ادوات			
حمل و نقل	۳۱۷۷۷۰۹۶۸	۸۷۰/۶	۹/۸۴
ایاب‌الذهاب (مالکیتی)	۱۶۹۴۷۳۰	۴/۶۴	۰/۰۵
ثابت (خرید و نصب)	۴۳۹۰۹۴۴۵۶	۱۲۰/۳	۱۳/۶
۲. ساختمان خدماتی	۸۴۸۱۶۷۸۱	۲۳۲/۵۶	۲/۶۳
ب- هزینه عملیاتی			
۱. نیروی انسانی			
حمل و نقل	۲۱۰۰۰۰۰۰	۵۷۵/۳۴	۶/۵
سورتینگ و بازیافت	۱۳۵۶۰۰۰۰۰	۳۷۱۵/۱	۴۲
۲. سوخت	۱۱۷۰۰۰۰۰۰	۳۲۰/۵۴	۳/۶۲
۳. الکتریسیته	۵۴۰۰۰۰۰۰	۱۴۷/۹۵	۱۷
۴. سرویس، تعمیر و نگهداری	۲۴۰۰۰۰۰۰	۶۵۷/۵۳	۷/۴۳
۵. هزینه‌های جانبی	۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۱۱۷/۸	۱۲/۶۳
مجموع هزینه‌ها	۲۴۲۱۳۳۵۲۰۱۳	۸۸۴۵	۱۰۰
درآمد حاصل از فروش اقلام بازیافتی	۲۹۹۰۲۴۲۹۹۵۸	۱۰۹۲۳/۳	-

* میزان هزینه‌ای که به ازاء پردازش پسماند تولیدی سالانه پرداخت می‌شود.

در شکل ۳ (الف) تابع هزینه‌ای کل مرتبط به زیرسامانه پردازش با نرخ‌های مختلف ورودی پسماند در طول یک سال نشان داده شده است. همچنین شکل ۳ (ب) تابع هزینه واحد مربوط به این زیرسامانه را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۳- تابع هزینه‌ای برای زیر سامانه پردازش مدیریت یکپارچه پسماند شهر تهران. (الف): هزینه کل، (ب): هزینه واحد

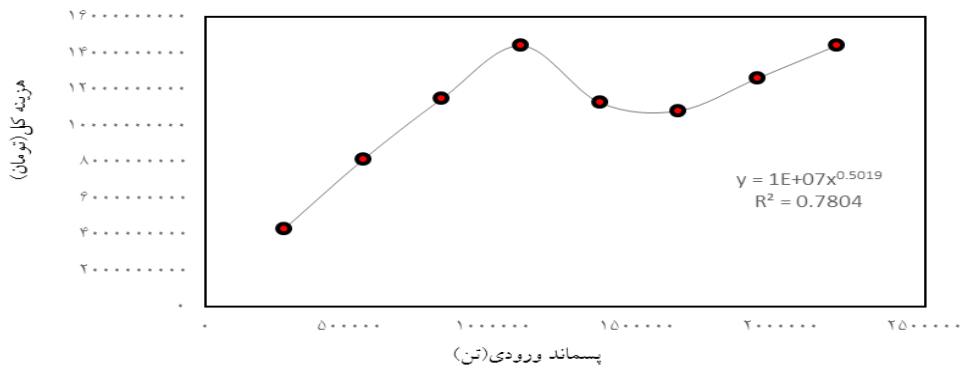
تابع هزینه کل و هزینه واحد جهت تخمین جریان هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و متغیر برای زیرسامانه‌ی هضم هوازی در نرخ‌های مختلف پسماند تولیدی سالانه در شکل ۴ الف و ب به معرض نمایش درآمده است.

برآورد توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه هضم هوازی در جدول ۴ نیز تقسیم‌بندی انواع هزینه در زیرسامانه هضم هوازی (کمپوست) ارائه شده است. در این بخش نیز همانند زیر سامانه حمل و نقل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه سهم عمده‌ای را به خود اختصاص داده‌اند.

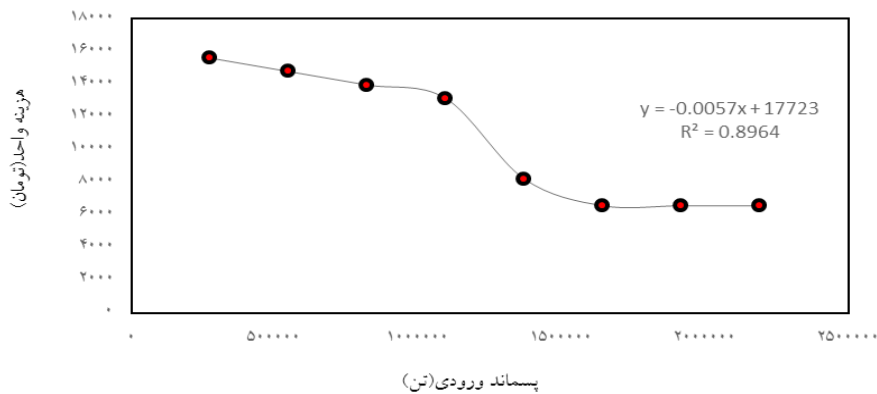
جدول ۴- تقسیم‌بندی انواع هزینه‌ها در زیرسامانه کمپوست

نوع هزینه	سالانه*	واحد (تومان بر تن)	سهم از کل (%)
الف- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه			
۱. ماشین‌ها و ادوات			
حمل و نقل	۱۹۸۶۰۱۲۶۵۴	۱۴۵۱	۲۱/۰۲
تاپ‌ترن	۸۹۳۵۱۶۳۴۱	۶۵۲/۸	۹/۴۵
ثابت (خرید و نصب)	۷۹۴۴۰۵۰۶۱	۵۸۰/۴	۸/۴۱
۲. ساختمان خدماتی	۱۵۸۸۸۱۰۱۲	۱۱۶	۱/۷
ب- هزینه عملیاتی			
۱. نیروی انسانی			
حمل و نقل	۱۵۷۵۰۰۰۰۰۰	۱۱۵۰/۶۸	۱۶/۶۷
پردازش کمپوست	۹۷۲۰۰۰۰۰۰	۷۱۰/۱	۱۰/۳
۲. سوخت	۹۵۰۶۲۵۰۰۰	۶۹۴/۵	۱۰
۳. الکتریسیته	۴۴۹۵۵۰۰۰	۳۲/۸۴	۰/۵
۴. سرویس، تعمیر و نگهداری	۱۸۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۳۱۵/۱	۱۹
۵. هزینه‌های جانبی	۲۷۰۰۰۰۰۰۰	۱۹۷/۲	۲/۸۵
مجموع هزینه‌ها	۱۱۲۴۵۳۹۵۰۶۸	۶۹۰۰/۷	۱۰۰
درآمد حاصل از فروش کمپوست	۵۸۲۷۵۰۰۰۰۰	۴۱۹۶/۲	-

* میزان هزینه‌ای که به ازاء هضم‌هوازی پسماند تولیدی سالانه پرداخت می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۴- تابع هزینه‌ای برای زیر سامانه هضم هوازی مدیریت یکپارچه پسماند شهر تهران. (الف): هزینه کل، (ب): هزینه واحد

در این بخش به ترتیب هزینه‌های مربوط به جاده‌کشی و آماده‌سازی (۴۱/۵ درصد)، ماشین‌ها و ادوات (۳۹/۴۵ درصد)، نیروی انسانی (۱۰/۳ درصد) و تعمیر و نگهداری (۶/۲۷ درصد) دارای بیشترین و همچنین هزینه‌های مربوط به ساختمان خدماتی (۰/۵۵ درصد)، سوخت (۰/۲۵ درصد) و ایاب‌الذهب (۰/۰۷ درصد) دارای کمترین

برآورد توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه پسماندسوز تکنولوژی مربوط به زیرسامانه پسماندسوز اخیرا با سرمایه‌گذاری اولیه‌ای بالغ بر ۳۰ میلیارد تومان در مجتمع دفع و پردازش آرادکوه راه‌اندازی شده است، همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است

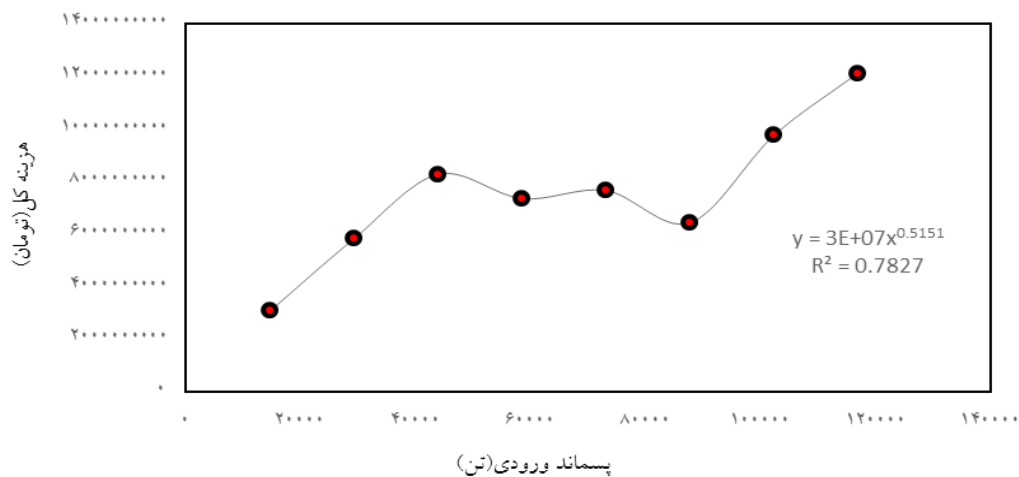
سهم از کل هزینه‌ها می‌باشند.

جدول ۵- تقسیم‌بندی انواع هزینه‌ها در زیرسامانه پسماندسوزی

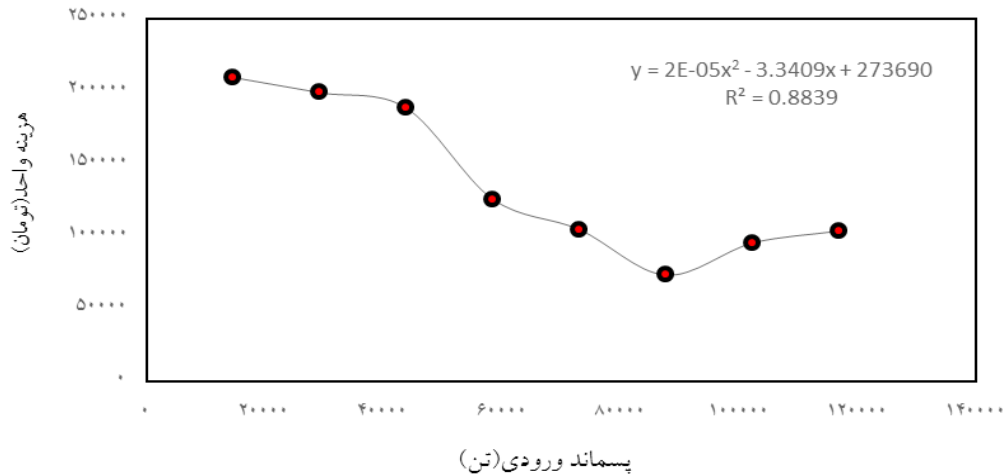
نوع هزینه	سالانه*	واحد (تومان بر تن)	سهم از کل (%)
الف- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه			
۱. ماشین‌ها و ادوات			
حمل و نقل	۴۲۳۶۸۲۷۰	۵۸۰/۴	۰/۵۵
ثابت (خرید و نصب)	۲۹۷۰۴۳۹۴۰۶	۴۰۶۹۱	۳۸/۹
۲. ساختمان خدماتی	۴۲۳۶۸۲۷۰	۵۸۰/۴	۰/۵۵
۳. جاده‌کشی و آماده‌سازی	۳۱۷۷۶۲۰۲۴۶	۴۳۵۲۹	۴۱/۵
ب- هزینه عملیاتی			
۱. نیروی انسانی			
حمل و نقل	۳۰۰۰۰۰۰	۴۱۱	۰/۴
پسماندسوز	۷۵۶۰۰۰۰۰	۱۰۳۵۶/۲	۹/۹
۲. سوخت	۱۹۵۰۰۰۰۰	۲۶۷/۱	۰/۲۵
۳. ایاب‌الذهب (اجاره‌ای)	۵۴۰۰۰۰۰	۷۴	۰/۰۷
۴. سروی، تعمیر و نگهداری	۴۸۰۰۰۰۰۰	۶۵۷۵/۴	۶/۲۷
۵. هزینه‌های جانبی	۱۲۶۰۰۰۰۰	۱۷۲۶	۱/۶۴
مجموع هزینه‌ها	۷۶۴۹۶۹۶۱۹۲	۱۰۴۷۹۰/۴	۱۰۰
درآمد حاصل از فروش الکتریسیته	۱۲۳۱۲۰۰۰۰۰	۱۶۸۶۵۶	-

* میزان هزینه‌ای که به ازاء سوزاندن پسماندهای ریجکت تولیدی سالانه پرداخت می‌شود.

شکل ۵ توابع هزینه‌ای کل و واحد برای زیرسامانه پسماندسوز در سامانه یکپارچه مدیریت پسماند را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۵- تابع هزینه‌ای برای زیر سامانه پسماندسوز مدیریت یکپارچه پسماند شهر تهران. (الف): هزینه کل، (ب): هزینه واحد

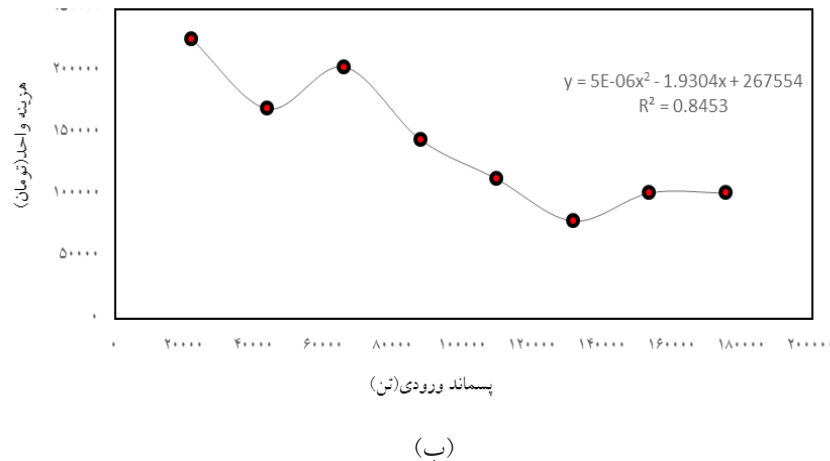
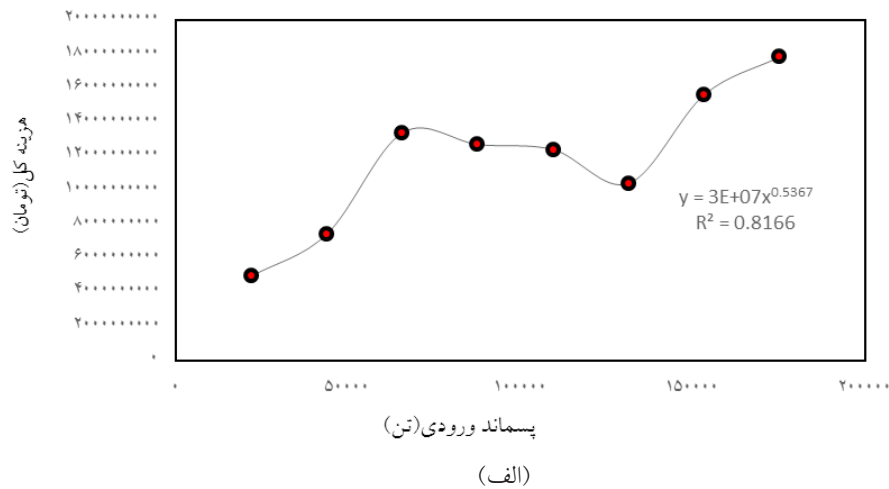
برآورد توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه هضم بی‌هوازی تقسیم‌بندی و سهم هرکدام از نهاده‌های مورد استفاده در زیرسامانه هضم بی‌هوازی به تفکیک و با در نظر گرفتن هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و عملیاتی در جدول ۶ خلاصه شده است.

جدول ۶- تقسیم‌بندی انواع هزینه‌ها در زیرسامانه هضم بی‌هوازی

نوع هزینه	سالانه (تومان)*	واحد (تومان بر تن)	سهم از کل (%)
الف- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه			
۱. ماشین‌ها و ادوات			
حمل و نقل	۱۱۶۵۱۲۷۴۲	۱۰۶۴	۰/۹۴
ثابت (خرید و نصب)	۳۷۰۷۲۲۳۶۲۰	۳۳۸۵۵/۹	۲۹/۹
۲. تجهیزات تبدیل بیوگاز به الکتریسیته	۱۶۴۳۸۸۸۸۷۴	۱۵۰۱۲/۷	۱۳/۲۶
۳. ساختمان خدماتی	۴۲۳۶۸۲۷۰	۳۸۶/۹	۰/۳۴
۴. جاده‌کشی و آماده‌سازی	۳۸۱۳۱۴۴۲۹۵	۳۴۸۲۳/۲	۳۰/۷۷
ب- هزینه عملیاتی			
۱. نیروی انسانی			
حمل و نقل	۶۰۰۰۰۰۰۰	۵۴۷/۹۵	۰/۴۸
هضم بی‌هوازی	۵۴۲۴۰۰۰۰۰	۹۵۵۳/۴	۴/۳۷
۲. سوخت	۳۹۰۰۰۰۰۰۰	۳۵۶۱/۷	۳/۱۴
۳. الکتریسیته	۱۵۱۲۰۰۰۰۰	۱۳۸۰/۸	۱/۲۲
۴. تبدیل بیوگاز به برق	۱۲۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۹۵۸/۹	۹/۶۸
۵. ایاب‌الذهاب (اجاره‌ای)	۲۸۸۰۰۰۰۰	۲۶۳	۰/۲۳
۶. سرویس، تعمیر و نگهداری	۶۰۰۰۰۰۰۰۰	۵۴۷۹/۴۵	۴/۸۴
۷. هزینه‌های جانبی	۹۶۰۰۰۰۰۰	۸۷۶/۷	۰/۷۷
مجموع هزینه‌ها	۱۲۳۹۱۵۳۷۸۰۱	۱۱۳۱۶۴/۷	۱۰۰
درآمد فروش الکتریسیته و کمپوست	۵۵۴۲۲۰۰۰۰۰	۵۰۶۱۳/۷	-

* میزان هزینه‌ای که به ازاء هضم بی‌هوازی پسماندهای آلی تولیدی سالانه پرداخت می‌شود.

مطابق شکل ۶ الف و ب، توابع هزینه‌ای کل و واحد مربوط به زیرسامانه هضم بی‌هوازی به معرض نمایش درآمده است.



شکل ۶- تابع هزینه‌ای برای زیر سامانه هضم بی‌هوازی مدیریت یکپارچه پسماند شهر تهران. (الف: هزینه کل، ب: هزینه واحد)

برآورد توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه لندفیل

همانطور که در جدول ۷ نشان داده شده است، در زیرسامانه لندفیل هزینه‌های مربوط به سوخت، ماشین‌ها و ادوات، سرویس، تعمیر و نگهداری و نیروی انسانی بیشترین مقدار هزینه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

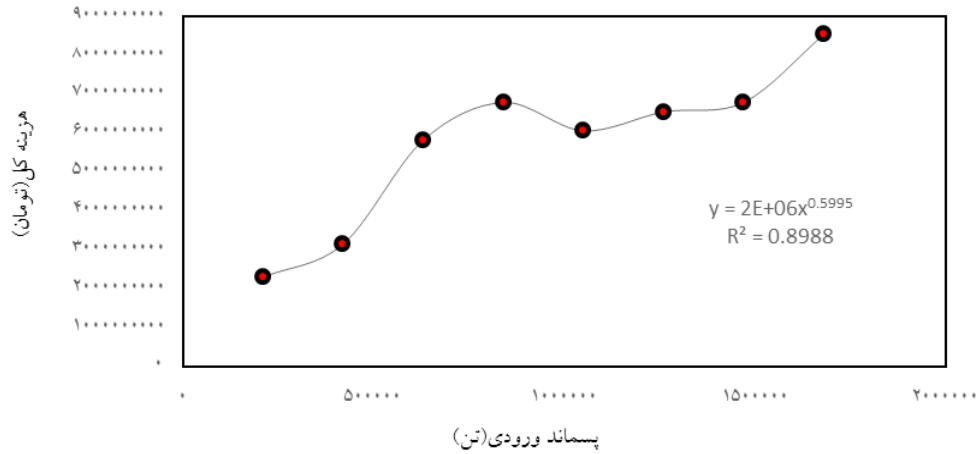
جدول ۷- تقسیم‌بندی انواع هزینه‌ها در زیرسامانه لندفیل

نوع هزینه	سالانه (تومان)*	واحد (تومان بر تن)	سهم از کل (%)
الف- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه			
۱. ماشین‌ها و ادوات			
حمل و نقل	۸۴۷۳۶۵۴۰	۸۰/۷۵	۱/۴
دفن	۱۴۶۳۸۲۳۷۲۷	۱۳۹۴/۹۵	۲۴/۱
۲. ساختمان خدماتی	۸۴۷۳۶۵۴۰	۸۰/۷۵	۱/۴
ب- هزینه عملیاتی			
۱. نیروی انسانی			
حمل و نقل	۶۰۰۰۰۰۰۰	۵۷۱/۸	۹/۸۸
لندفیل	۳۲۴۰۰۰۰۰۰	۳۰۸/۷۵	۵/۳۳
۲. سوخت	۱۸۵۲۵۰۰۰۰۰	۱۷۶۵/۳۳	۳۰/۵
۳. الکتریسیته	۳۰۰۰۰۰۲۴۰	۲۸/۶	۰/۵
۴. تعمیر و نگهداری	۱۳۹۲۰۰۰۰۰۰	۱۳۲۶/۵	۲۲/۹۲
۵. سایر	۲۴۰۰۰۰۰۰۰	۲۲۸/۷	۳/۹۵
مجموع هزینه‌ها	۶۰۱۷۷۹۷۰۴۷	۵۷۸۶/۱	۱۰۰

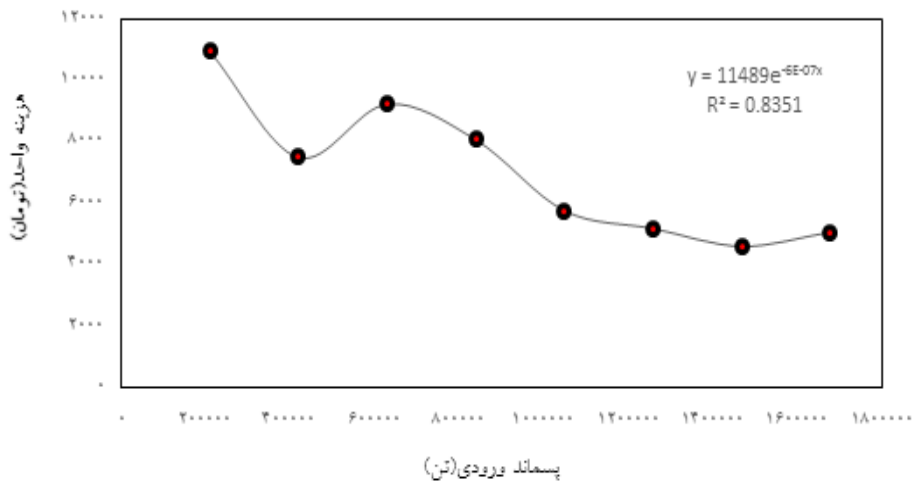
* میزان هزینه‌ای که به ازاء دفن بهداشتی پسماند تولیدی سالانه پرداخت می‌شود.

با ۸ نرخ ورودی مختلف شامل چندین نرخ فرضی و نرخ ورودی موجود به صورت شکل ۷ الف و ب بدست آمد.

سهام زیرسامانه لندفیل از کل پسماندهای تولیدی شهر تهران حدود ۳۸ درصد می‌باشد، توابع هزینه‌ای مربوط به این زیرسامانه با در نظر گرفتن مفروضات هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و عملیاتی سالیانه



(الف)



(ب)

شکل ۷- تابع هزینه‌ای برای زیر سامانه لندفیل مدیریت یکپارچه پسماند شهر تهران. (الف): هزینه کل، (ب): هزینه واحد

و برنامه‌ریزان دچار سردرگمی می‌شوند. در این مطالعه به منظور بررسی و تشریح کامل اقلام هزینه‌های تشکیل دهنده هزینه کل یک زیرسامانه، ابتدا هزینه‌ها به دو جزء هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های عملیاتی تقسیم گردید و سپس هر کدام به اجزای تشکیل دهنده خود تفکیک شد.

تجزیه و تحلیل توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه حمل و نقل

در این زیرسامانه، استفاده از ماشین‌های فرسوده با حجم جابجایی کم و الزام رعایت اصول بهداشتی و استانداردهای ایمنی سبب شده

بحث

تجزیه و تحلیل توابع هزینه‌ای، هزینه‌های کل و واحد در سامانه یکپارچه مدیریت پسماند

در یک سامانه یکپارچه مدیریت پسماند تعیین میزان هزینه‌های کل مربوط به طراحی و ساخت زیرسامانه‌ها دارای نقش به‌سزایی می‌باشد، ولی از آنجایی که هرگز جزئیات هزینه‌های تشکیل دهنده هزینه کل مانند هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی، درآمد حاصل از فروش محصولات (در صورت وجود) و فرضیات آنها به طور دقیق مشخص نمی‌شود، اغلب در بررسی منابع محققان

تجزیه و تحلیل توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه هضم هوازی

از جمله موارد بسیار مهم در این بخش، درآمد حاصل از فروش کمپوست تولید شده می‌باشد که با توجه سهم عمده مواد آلی در ترکیب مواد اولیه این نوع کمپوست و همچنین خالص‌سازی آن بعد از تخمیر، از ارزش بالایی در بخش کشاورزی برخوردار است، بنابراین مدیریت مناسب، استفاده از روش‌های نوین در فرآوری و همچنین بازاریابی و آگاهی‌سازی بخش کشاورزی، می‌تواند درآمد قابل توجهی ایجاد کرده و بخش زیادی از هزینه‌ها را برگرداند.

همانطور که قبل نیز اشاره شد، زیرسامانه مورد مطالعه روزانه حدود ۵۰ درصد از کل پسماند ورودی به مجتمع را پردازش می‌کند که با توجه به توابع تخمینی با نرخ تولید موجود، روزانه حدود ۸۲۱۶ تومان صرف پردازش و پالایش هر تن پسماند ورودی در این سامانه می‌شود. بررسی توابع هزینه‌ای نشان می‌دهد که در صورت افزایش نرخ تولید روزانه، هزینه واحد به مقدار ۶۵۷۲ تومان به ازاء هر تن خواهد رسید که این امر می‌تواند به دلیل استفاده از دستگاه‌های تاپ‌ترن مخصوص هواددهی در چندین نوبت و با رعایت تناوب هواددهی برای توده‌های مختلف پسماند باشد. همچنین با توجه به فرسوده بودن تاسیسات و تجهیزات پردازش و حمل و نقل داخل زیرسامانه هزینه‌های سوخت و سرویس، تعمیر و نگهداری (۲۹ درصد) سهم قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند که با انجام سرمایه‌گذاری جدید و نو کردن تجهیزات مورد اشاره می‌توان تا حدود زیادی هزینه‌های واحد را کاهش داد.

تجزیه و تحلیل توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه پسماندسوزی

همانطور که ملاحظه می‌شود در این زیرسامانه با وجود هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه بالا و نو بودن تاسیسات باز هم هزینه مربوط به سرویس، تعمیر و نگهداری دارای سهم عمده‌ای در هزینه کل می‌باشد که این به دلیل تکنولوژی پیچیده و حساسیت بالای کوره‌های پسماندسوز و سایر تجهیزات آن به سرویس و نگهداری روزانه می‌باشد، بنابراین لازم است نیروی انسانی تخصص کافی در بکارگیری و نگهداری از این تاسیسات را داشته باشد تا از هرگونه خرابی و یا پایین آمدن قابلیت اطمینان دستگاه‌ها کاسته شود.

در این زیرسامانه با توجه به نرخ ورودی پایین (۲۰۰ تن در روز)، هزینه بسیار بالای سرمایه‌گذاری اولیه، استفاده از تیم عملیاتی خارجی و همچنین نیاز به سرویس، تعمیر و نگهداری روزانه به دلیل حساسیت بالای تاسیسات هزینه‌های کل و واحد زیرسامانه بسیار بالا می‌باشد، بنابراین به منظور کاهش سطح هزینه‌ها و همچنین امکان سودآوری این بخش با توجه به پتانسیل بالای موجود نیاز

است تا هزینه‌های مربوط به ماشین‌ها، بیشترین مقدار را به خود اختصاص دهند و همچنین بالا بودن تعداد ماشین‌ها و استفاده از ماشین‌های نامناسب و فرسوده موجب افزایش هزینه‌های عملیاتی مانند سوخت و سرویس، تعمیر و نگهداری شده است. استفاده از جایگاه‌های مناسب و سرپوشیده برای نگهداری ماشین‌ها و همچنین سرویس و تعمیر به موقع می‌تواند سهم بسزایی در کاهش هزینه‌های عملیاتی و همچنین افزایش طول عمر ماشین‌ها داشته باشد.

بر اساس شکل ۲ (الف) با افزایش میزان پسماند تولیدی سالانه نرخ هزینه‌ها نیز با شیب ملایمی افزایش می‌یابد، ولی از آنجایی که در برخی نقاط، هزینه‌های سرمایه‌ای مانند سمی‌تریلی‌ها جهت حمل آن حجم از پسماندها در یک بازه زمانی محدود کفاف نمی‌کند، بنابراین مدیریت ملزم به خریداری دستگاه‌های حمل بیشتر و به تبع آن افزایش هزینه‌ها می‌باشد، در این صورت، نقاط جهشی در روند افزایش هزینه‌های کل ایجاد می‌گردد.

شکل ۲ (ب)، هزینه واحد را نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌شود، در این زیرسامانه نرخ‌های ورودی پایین، هزینه واحد بسیار بالایی دارند که این امر به دلیل نرخ ورودی کمتر با هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا می‌باشد؛ ولی به مرور و با افزایش نرخ ورودی و از آنجایی که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تا حد مشخصی ثابت می‌ماند، این هزینه‌ها نیز کاهش پیدا می‌کنند.

تجزیه و تحلیل توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه پردازش

بالا بودن تعداد نیروی انسانی و الزام رعایت اصول بهداشتی از قبیل استفاده از لباس، کفش، ماسک و دستکش‌های مناسب و تعویض به موقع آنها، باعث افزایش هزینه‌های جانبی شده است.

در این زیرسامانه استفاده از روش‌های نوین جهت جداسازی مواد قابل بازیافت، سرویس و تعمیر به موقع ماشین‌ها، راه‌اندازی واحدهای بازیافت در داخل مجتمع و کنترل کیفی کار نیروی انسانی، می‌تواند از مهم‌ترین عوامل در کاهش هزینه و افزایش کیفیت کار باشد.

مطابق شکل در این زیرسامانه با توجه به بالا بودن ظرفیت پردازش هر کدام از دستگاه‌های جداسازی، قیمت بالای سرمایه‌گذاری اولیه و تعداد بالای نیروی انسانی در نرخ‌های ورودی کمتر از ۲۱۹۰۰۰۰ تن، هزینه واحد دارای بیشترین مقدار می‌باشد، اما به تدریج با افزایش نرخ ورودی و از آنجایی نیازهای سرمایه‌گذاری اولیه از قبیل آماده‌سازی محل، جاده‌کشی، خرید و نصب دستگاه‌های پردازش کمتر و به صورت همپوشانی تا ۱۰ درصد ظرفیت قبلی صورت می‌گیرد، این هزینه‌ها نیز کاهش پیدا می‌کنند.

رقم بسیار بالایی (۱۱۳۱۶۴ تومان) می‌باشد که لازم اقدامات لازم جهت بومی‌سازی و افزایش راندمان کار صورت گیرد.

تجزیه و تحلیل توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه لندفیل

در این زیرسامانه با توجه به عدم بکارگیری ماشین‌ها و تاسیسات تکنولوژیکی پیچیده و خاص هزینه مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه درصد کمتری از هزینه کل را به خود اختصاص داده است. همچنین استفاده از ماشین‌های سنگین مانند کمپکتور، لودر، گریدر، بولدزر باعث افزایش هزینه‌های سوخت شده است. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، روزانه حدود ۳۸ درصد از کل پسماندهای تولیدی شهر تهران به صورت لندفیل دفن می‌شود؛ بنابراین با توجه به پتانسیل بالای تولید بیوگاز در این حجم عظیم از پسماندها، بکارگیری تجهیزات مربوط به استحصال بیوگاز از داخل توده پسماندهای تلمبار شده، فرآوری و استفاده از آن می‌تواند تاثیر بسزایی در کاهش هزینه و حتی درآمدزایی در این بخش داشته باشد.

بررسی توابع هزینه‌ای نشان داد که در این زیرسامانه مقدار هزینه واحد در نرخ‌های ورودی کمتر از ۱۷۵۰ تن در روز دارای بیشترین مقدار می‌باشد؛ اما در صورت افزایش نرخ پسماند، همانند دیگر بخش‌ها این زیرسامانه نیز دچار کاهش هزینه واحد خواهد شد به طوری که در نرخ ورودی ۴۰۲۵ تن در روز به کمترین مقدار خود یعنی ۴۶۲۹ تومان به ازاء هر تن می‌رسد. البته باید توجه داشت بخش عمده‌ای از هزینه‌های این بخش مربوط به سوخت مصرفی و هزینه‌های سرویس، تعمیر و نگهداری (حدود ۵۳ درصد) است که این امر عمدتاً به دلیل فرسوده بودن ماشین‌های دفع و حمل و نقل درون زیرسامانه مورد مطالعه می‌باشد و در صورت استفاده از ماشین‌های نو و با ظرفیت مناسب تا حدود زیادی در هزینه‌ها صرفه جویی خواهد شد.

مطابق بررسی‌ها و مرور منابع انجام شده، مطالعه حاضر جز معدود مطالعات انجام شده در سطح جهان و همچنین اولین مطالعه در ایران جهت بررسی هزینه و درآمد سامانه پردازش و مدیریت پسماند جامد شهری می‌باشد که با توجه به بالا بودن میزان هزینه‌های پردازش و دفع پسماند در کلانشهرها و همچنین پتانسیل بالای درآمدزایی این بخش، نتایج حاصل از مطالعه حاضر جهت مدیریت مناسب پسماندهای شهری بسیار مفید فایده خواهد بود؛ اما همانطور که در قسمت مواد و روش اشاره گردید، در این مطالعه با محدودیت‌هایی از قبیل تعداد اندک سامانه‌های مدیریت پسماند کلانشهرها در کشور و به تبع آن نبود داده‌های واقعی هزینه و درآمد در نرخ‌های مختلف پسماند ورودی رو به رو بودیم که امید است در سال‌های آینده با اعمال مدیریت مناسب در سطح کشور شاهد احداث سامانه‌های

به تشکیل کارگروه‌های علمی جهت بررسی نرخ ورودی بهینه، بومی‌سازی تکنولوژی مورد استفاده و همچنین استفاده از ترکیب مناسب پسماند جهت تزریق داخل کوره‌ها ضروری به نظر می‌رسد. همچنین همانطور که ذکر شد، بخش عمده‌ای از هزینه‌های سالانه این زیرسامانه (حدود ۸۰ درصد) مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه از قبیل خرید و نصب دستگاه‌ها، آماده‌سازی، جاده‌کشی و فنداسیون‌بندی می‌باشد، که در صورت انجام سرویس، تعمیر و نگهداری به موقع و همچنین استفاده از نیروهای مجرب در بخش راه‌اندازی و استفاده از تاسیسات طول عمر مفید زیرسامانه به حداکثر مقدار خود خواهد رسید که در این صورت باعث کاهش چشمگیری در هزینه‌های کل و واحد خواهد بود.

تجزیه و تحلیل توابع هزینه‌ای، هزینه کل و واحد در زیرسامانه هضم بی‌هوازی

همانطور که ملاحظه می‌شود در این زیرسامانه از طریق فروش کمپوست و الکتریسیته حاصل از پردازش و فرآوری پسماند، می‌توان درآمدی در حدود ۴۵ درصد هزینه کل کسب و بخش عمده‌ای از هزینه‌های مربوط به این بخش را جبران کرد که در مقایسه با دیگر زیرسامانه‌ها رقم قابل توجهی می‌باشد. این زیرسامانه در واقع حالت ایزوله شده‌ای از زیرسامانه هضم هوازی می‌باشد که علاوه بر پردازش و دفع بهداشتی پسماند محصولاتی مانند کمپوست و بیوگاز را نیز ارائه می‌دهد. به عبارتی بهتر، برخلاف زیرسامانه‌های دیگر که هدف صرفاً کاهش حجم مواد فرستاده شده به لندفیل و در کنار آن بهره برداری اندک از پتانسیل‌های موجود است، در این بخش با به کارگیری تکنولوژی‌های مدرن و مدیریت مناسب می‌توان علاوه بر تحقق هدف اولیه درآمدی قابل توجهی نیز کسب کرد. سایر اقلام هزینه‌ای در این بخش تفاوت چندانی با بخش‌های دیگر ندارد و به عبارتی دیگر می‌توان گفت که تفاوت عمده همان محصولات جانبی و درآمد حاصل از آنها می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود، توابع هزینه‌ای این زیرسامانه از یک الگوی سینوسی با شیب ملایم کاهشی پیروی می‌کنند. در این زیرسامانه که اخیراً با نرخ پردازش روزانه ۳۰۰ تن راه‌اندازی شده است، بررسی توابع نشان می‌دهد که حالت بهینه برای کمترین مقدار هزینه کل و واحد نرخ ورودی ۱۳۱۴۰۰ تن در سال می‌باشد که در این صورت با کمترین تغییرات در هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و عملیاتی، می‌توان هزینه واحد را تا ۳۴ هزار تومان نسبت به نرخ ورودی ۳۰۰ تن در روز (۱۰۹۵۰۰ تن در سال) کاهش داد. البته ذکر این نکته ضروریست که در این زیرسامانه نیز به مانند زیرسامانه پسماندسوز به دلیل استفاده از فن‌آوری‌ها و تاسیسات خارجی و همچنین قیمت بالای ارز، هزینه تمام شده به ازاء واحد تن دارای

یکپارچه مدیریت و به دنبال آن داده‌های واقعی در این زمینه جهت بررسی‌های دقیق‌تر و قابل استنادتر باشیم.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش که به منظور برآورد و ارزیابی هزینه‌های واحد و توابع هزینه‌ای مربوط به هریک از زیرسامانه‌های دفع و پردازش پسماند شهر تهران انجام گرفت، نتایج نشان داد روزانه به طور متوسط جهت پردازش و دفع پسماندهای تولیدی شهر تهران از ایستگاه‌های حمل میانی تا دفع نهایی پسماند به صورت لندفیل ۲۸۹ میلیون تومان هزینه صرف می‌شود. در بین زیرسامانه‌های مختلف پردازش و دفع پسماند حمل و نقل با ۴۳ درصد و پردازش با ۲۳ درصد دارای بیشترین سهم بودند. در حالی که زیرسامانه‌های هضم بی‌هوازی، هضم هوازی، پسماندسوزی و لندفیل به ترتیب با ۱۲، ۹، ۷ و ۶ درصد در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. همچنین بررسی درآمدهای حاصل از بخش‌های مختلف نشان داد، روزانه حدود ۱۴۱۶۰۰۰۰۰ تومان درآمد از طریق فروش مواد تفکیک شده، کمپوست و الکتروسیته تولید شده حاصل می‌شود که به ترتیب زیرسامانه پردازش با ۵۸ درصد، پسماندسوز با ۲۴ درصد، هضم بی‌هوازی با ۱۱ درصد و هضم هوازی با ۷ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین دو زیرسامانه حمل و نقل و لندفیل دارای قابلیت درآمدزایی نبودند.

کومیلِس و لیوگکاس (۲۰۱۴) هزینه‌های کل مربوط به ۷ زیرسامانه‌ی پردازش و دفع موجود و در حال ساخت را با استفاده از داده‌های واقعی و فرضی در یونان بررسی کردند. در این مطالعه هزینه واحد دفن بهداشتی ۴۵ دلار بر تن، هضم بی‌هوازی ۵۰ تا ۱۰۴ دلار بر تن، هضم هوازی ۴۸ تا ۱۳۸ دلار بر تن، پسماندسوزی ۱۱۵ دلار بر تن، تفکیک ۳۲ دلار بر تن و حمل و نقل از ایستگاه‌های میانی تا مجتمع پردازش ۰/۵ تا ۲۸ دلار بر تن بدست آمد [۲۳] که با توجه به نرخ ارز در ایران تا حدود زیادی در توافق با نتایج مطالعه حاضر است، البته باید توجه داشت جهت مقایسه دقیق‌تر، شرایط مطالعه از قبیل

مرزهای زیرسامانه، فرض‌های پژوهش و همچنین شرایط اقتصادی-اجتماعی باید در توافق کاملاً باهم باشند.

با توجه به نتایج حاصل، می‌توان نتیجه گرفت در یک سامانه یکپارچه مدیریت پسماند شهری اگر چنانچه جریان پسماندها از دفن مستقیم به سمت سایر فن‌آوری‌های پردازش و دفن مانند تفکیک‌سازی مواد قابل بازیافت، هضم هوازی، هضم بی‌هوازی و پسماندسوزی هدایت شوند، مقدار قابل توجهی از هزینه‌ها و همچنین نشر آلاینده‌های زیست محیطی ناشی از شیرابه پسماند کاسته خواهد شد. البته باید توجه داشت انجام مطالعاتی در زمینه پیدا کردن مقدار و ترکیب بهینه پسماند ورودی به هریک از زیرسامانه‌ها و ترکیب بهینه نوع زیرسامانه‌ها در این راستا بسیار مفید فایده خواهد بود، به عبارتی بهتر در یک سامانه مدیریت پسماند الزامی وجود ندارد که همه فن‌آوری‌های پردازش و دفع وجود داشته باشند بلکه سامانه‌ای مفید خواهد بود که شامل زیرسامانه‌هایی با کمترین مقدار نشر آلاینده‌های زیست محیطی در درجه اول و کمترین مقدار هزینه‌های صرف شده در درجه دوم باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه با عنوان "مطالعه و امکان‌سنجی برآورد کمترین هزینه و انتشار آلاینده‌های دفع پسماندهای جامد شهری به روش کمپوست با استفاده از تکنیک‌های تحقیق در عملیات در تهران" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۴ است که با حمایت پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی اجرا شده است. بدینوسیله از مسئولین محترم دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران و مسئولین محترم سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران به ویژه مهندس سعید مرادکیا و افشین آزادی‌فر که در این پژوهش همکاری نمودند، صمیمانه سپاس‌گزاریم.

References

- 1- Karbasi A, Monavari SM, Omrani G, Zaheri L. Effects of physic-chemical characteristics of municipal waste on the estimation of collecting vehicles using WAGS software Case study municipality No.22, Tehran. Journal of Environmental Science and Technology 2010; 12(3):127-36 (In Persian).
- 2- Wilson DC, Rodic L, Scheinberg A, Velis CA, Alabaster G. Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. Waste Management & Research 2012; 30(3):237-54.
- 3- Komilis D. Conceptual modeling to optimize the haul and transfer of municipal solid waste. Waste Management 2008; 28(11):2355-65.

- 4- Majlessi M, Zamani A-A, Mahdipoor F, Shamsaee V, Sharifi-Maleksari H, Darvar P. Solid waste collection and transportation cost analysis of region 1 of Bandar-Abbas city. *Journal of Health in the Field* 2013; 1 (1):37-45 (In Persian).
- 5- Memon MA. Integrated solid waste management based on the 3R approach. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2010; 12(1):30-40.
- 6- Parthan SR, Milke MW, Wilson DC, Cocks JH. Cost estimation for solid waste management in industrialising regions—Precedents, problems and prospects. *Waste Management* 2012; 32(3):584-94.
- 7- Guerrero LA, Maas G, Hogland W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management* 2013; 33(1):220-32.
- 8- Schaeffer M. *Municipal Budgeting*. Washington: The World Bank; 2000.
- 9- Milke M. The Alchemist's dream resource. *Waste Management* 2006; 26(11):1203-204.
- 10- Ostwald PF, McLaren TS. *Cost analysis and estimating for engineering and management*. New Jersey: Pearson Prentice Hall Prentice Hall 2004.
- 11- Del Angizan S, Mahmodi M. Economic evaluation and comparison of two methods of recycling and disposal of urban waste of Kangavar. *Proceedings of the 4th National Congress on Urban Planning and Management conference* 2012 May. 11-12; Mashhad, Iran. pp. 61-75 (In Persian).
- 12- Noori R, Abdoli MA, Farokhnia A, Ghaemi A. Solid waste generation predicting by hybrid of artificial neural network and wavelet transform. *Journal of Environmental Studies* 2009; 35 (49):25-30 (In Persian).
- 13- Kallel A, Serbaji MM, Zairi M. Using GIS-Based tools for the optimization of solid waste collection and transport: Case study of Sfax City, Tunisia. *Journal of Engineering* 2016; 2016.
- 14- D'Onza G, Greco G, Allegrini M. Full cost accounting in the analysis of separated waste collection efficiency: A methodological proposal. *Journal of Environmental Management* 2016; 167:59-65.
- 15- Boskovic G, Jovicic N, Jovanovic S, Simovic V. Calculating the costs of waste collection: A methodological proposal. *Waste Management & Research* 2016; 34(8):775-83.
- 16- Hekmat Nia N. *Environmental management waste transport using software WAGS: Case study regions of Yazd Municipality*. *Proceedings of the 11th National Conference of Environmental Health*, 2008 Nov. 7-8; Zahedan, Iran, pp. 1191-1200 (In Persian).
- 17- Dasgupta T. Cost analysis of solid waste management system for the City of Lake Bhopal. *International Journal of Engineering Science Invention Research & Development* 2014; 1(6):207-212.
- 18- Gaznavi M. *Environmental management waste transport using software WAGS: case study region 3 of Tehran Municipality [dissertation]*. School of Environment: University of Tehran 2009 (In Persian).
- 19- Razmjuy Askar Abadi Y. *Physical and chemical characteristics of waste and environmental management material transport domestic waste by using software WAGS [dissertation]*. School of Environment: Islamic Azad

University 2008 (In Persian).

20- Zaheri L. Physical and chemical characteristics of waste and environmental management material transport domestic waste by using software WAGS [dissertation]. School of Environment: Islamic Azad University 2008 (In Persian).

21- Lohri CR, Camenzind EJ, Zurbrügg C. Financial sustainability in municipal solid waste management—Costs and revenues in Bahir Dar, Ethiopia. *Waste Management* 2014; 34(2):542-52.

22- Bel G, Fageda X. Empirical analysis of solid management waste costs: Some evidence from Galicia, Spain. *Resources, Conservation and Recycling* 2010; 54(3):187-93.

23- Komilis D, Liogkas V. Full cost accounting on existing and future municipal solid waste management facilities in Greece. *Global Nest Journal* 2014; 16(4):787-96.

24- Statistical Center of Iran. Annual Report. Tehran: Statistical Center of Iran; 2015 Available from: <http://www.amar.org.ir>. Accessed Jul 30, 2015 (In Persian).

25- Tehran Waste Management Organization. Tehran Municipality, Iran, Statistics report on 2015. Available from: <http://pasmamand.tehran.ir/Default.aspx?alias=pasmamand.tehran.ir/en>. Accessed Jan 12, 2015 (In Persian).

26- Tsilemou K, Panagiotakopoulos D. Approximate cost functions for solid waste treatment facilities. *Waste Management & Research* 2006; 24(4):310-22.