

## Estimation of Energy Consumption and Environmental ECO-Costs of Compost Production from Municipal Solid Waste in Rasht

LEYLA BEHROOZNI<sup>1</sup>, MOHAMMAD SHARIFI<sup>2\*</sup>, SEYED HASHEM MOUSAVI-AVVAL<sup>3</sup>, HOMA HOSSEINZADEH-BANDBAFHA<sup>4</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Ph.D. Student, Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University, Wooster, OH, United States
4. Ph.D. Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran  
(Received: Jan. 31, 2018- Revised: May. 26. 2018- Accepted: June. 17, 2018)

### ABSTRACT

According to technology progress and the increase in human populations since the Industrial Revolution, the amount of waste generated is increasing. With the increase in waste production, due to problems and challenges such as emissions from waste, require to sustainable management of waste has increased. One of the methods of waste management is to use it for the production of compost. In this study, the composting plant in Rasht was investigated, with a daily input of around 400 ton of MSW. Of this 400 ton of waste, 64.1 percent is the organic material, that 48 percent (192 ton) after the processing is separated from the MSW and sent to the fermentation location, and finally 12 ton compost is produced. The amount of energy consumed at this plant, after calculating the input and output energy, was about 82.02 GJ. Energy productivity index was calculated as 0.15 ton/GJ. Environmental ECO-costs for the entire composting process were obtained as  $4.92 \times 10^7$  Rial.

**Keywords:** Energy consumption, Municipal solid waste, Environmental ECO-Cost, Compost.

## ارزیابی انرژی مصرفی و هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی تولید کمپوست از زباله‌های جامد شهری شهرستان رشت

لیلا بهروزنیا<sup>۱</sup>، محمد شریفی<sup>۲\*</sup>، سید هاشم موسوی اول<sup>۳</sup>، هما حسین‌زاده بندبافها<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع غذایی، کشاورزی و زیست‌شناسی، دانشگاه ایالتی اوهایو، ایالات متحده آمریکا

۴. دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۳/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۳/۲۷)

### چکیده

با توجه به پیشرفت فناوری و افزایش جمعیت انسانی از زمان انقلاب صنعتی، میزان تولید زباله در حال رشد است. با افزایش تولید زباله، به دلیل مشکلات و چالش‌های ایجاد شده مانند آلاینده‌گی انتشار یافته از زباله، مدیریت درست آن جایگاه مهمی پیدا کرده است. یکی از روش‌های مدیریت زباله، استفاده از آن برای تولید کود آلی کمپوست است. در این مطالعه کارخانه تولید کمپوست در شهر رشت مورد بررسی قرار گرفت که میزان زباله ورودی روزانه به آن حدود ۴۰۰ تن می‌باشد. از این ۴۰۰ تن زباله، ۶۴/۱ درصد از آن مواد آلی است که بعد از فرآوری، ۴۸ درصد (۱۹۲ تن) آن برای تولید کمپوست نهایی از زباله جدا می‌شود و به سالن تولید کود ارسال می‌شود و در نهایت ۱۲ تن کود نهایی تولید می‌شود. مقدار انرژی مصرفی در این کارخانه، پس از محاسبه انرژی ورودی و خروجی، حدود ۸۲/۰۲ گیگاژول به دست آمد. شاخص بهره‌وری انرژی برابر ۰/۱۵ تن بر گیگاژول محاسبه شد. هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی برای کل فرایند تولید کمپوست برابر  $4/92 \times 10^7$  ریال به دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی مصرفی، زباله جامد شهری، هزینه پیش‌گیرانه زیست محیطی، کمپوست

### مقدمه

با توجه به پیشرفت چشمگیر فناوری و افزایش جمعیت انسانی از زمان انقلاب صنعتی، میزان تولید زباله همچنان به رشد خود ادامه می‌دهد (Yang et al., 2007). علاوه بر این، مسائل زیست محیطی مربوط به تولید غیرمتعارف انواع مختلف زباله از هر زمان مهم‌تر شده است. زباله جامد شهری (MSW<sup>۱</sup>) شامل ضایعات خانگی، باغی و همچنین زباله‌های سازمانی است. پیش‌بینی شده است که MSW در دهه آینده به دلیل رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی و توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورهای کم و متوسط درآمد دو برابر شود. مدیریت MSW به عنوان یکی از مسائل مهم در کشورهای مختلف مطرح است (Karak et al., 2012). میزان تولید MSW در ایران هم در دهه

اخیر به سرعت در حال افزایش است. به علت دامنه گسترده مواد موجود در پسماند (شیشه، فلز، کاغذ، پلاستیک، مواد آلی و ...) و اختلاط کامل این مواد، مشکلات متعددی در مدیریت آنها بروز می‌کند. همچنین ترکیب پسماند در فصل‌های مختلف، در مناطق جغرافیایی مختلف و از کشوری به کشور دیگر و از شهری به شهر دیگر تغییر می‌کند و همین عوامل مانع از آن هستند که نسخه‌ی واحدی برای تمام شهرها پیچیده شود. بر اساس تعریف سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD<sup>۲</sup>)، پسماند عبارت است از موادی اجتناب‌ناپذیر ناشی از فعالیت‌های انسانی که در حال حاضر و در آینده نزدیک نیازی به آن نیست و فرآوری و یا دفع آن ضروری است (Behrooznia & Sharifi, 2017).

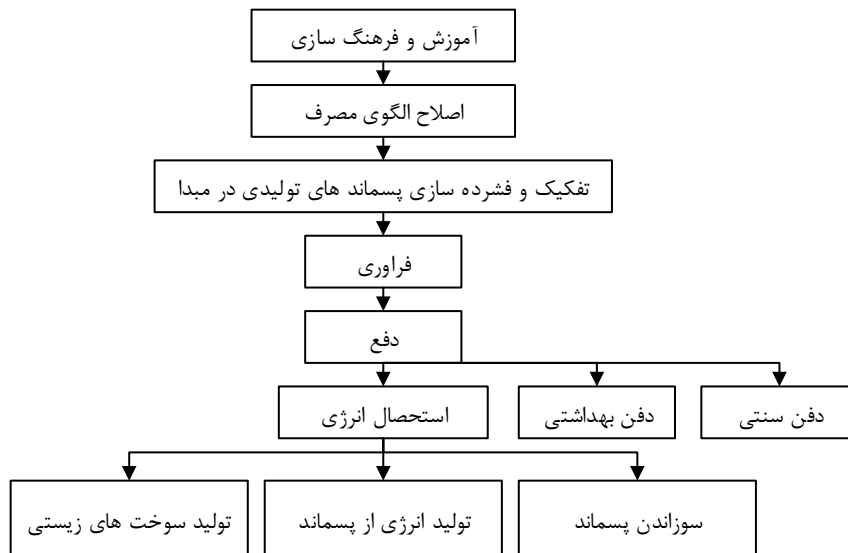
\* نویسنده مسئول: m.sharifi@ut.ac.ir

1. Municipal solid waste

2. The Organization for Economic Co-operation and Development

استفاده می‌گردد. با این وجود الگوی رایج در این خصوص را می‌توان به صورت شکل (۱) بیان کرد (Nasrollahi-Sarvaghaji, 2016; et al., 2016).

امروزه در بسیاری از کشورهای جهان بنا به شرایط مختلفی مانند جمعیت، شرایط جغرافیایی، میزان دسترسی به انرژی، شرایط آب و هوایی و ترکیب پسماند تولیدی، از روش‌های مختلفی برای مدیریت و دفع پسماندهای جامد شهری



شکل ۱- الگوی رایج مدیریت پسماندهای شهری در سراسر دنیا

دسترس نیستند. هزینه‌های زیست محیطی باید به عنوان تعهدات پنهان در نظر گرفته شود که آن را هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی<sup>۱</sup> یا "هزینه‌های خارجی" می‌نامند. استفاده عملی از هزینه‌های زیست محیطی برای مقایسه پایداری چندین نوع محصول با عملکرد مشابه است.

انرژی ظرفیت انجام کار است؛ اگر چه انرژی به اشکال مختلف یافت می‌شود، اما همه اشکال آن ظرفیت انجام کار را دارند. مقدار انرژی مصرفی در سامانه‌های مختلف تولیدی نه تنها به نوع محصول تولیدی بلکه به نوع نهاده‌های به کار گرفته شده در تولید آن محصول نیز بستگی دارد. تفاوت در نحوه رفتار سامانه‌های مختلف در به‌کارگیری نهاده‌ها و منابع انرژی موجب بروز اختلاف در کارایی انرژی در هر سامانه تولیدی می‌شود. بازده مصرف انرژی یکی از شاخص‌های مهم در سنجش میزان توسعه پایدار به شمار می‌رود. از دیگر مزایای بهره‌برداری از منابع انرژی به شکل کارا می‌توان به صرفه‌جویی اقتصادی، حفاظت از منابع فسیلی و کاهش اثرات زیست محیطی و آلودگی هوا اشاره نمود (Almasi et al., 2008).

تاکنون، مطالعات زیادی برای مدیریت زباله شهری و ارزیابی چرخه زندگی و انرژی در دنیا صورت گرفته است ولی

مرسوم‌ترین روش دفع بخش آلی زباله‌های جامد شهری به ویژه در شهرهای بزرگ، تبدیل بیولوژیکی شناخته شده است (Montejo et al., 2013). با توجه به اینکه کمپوست یک روش جذاب و کم هزینه است، می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های مناسب معرفی شود که زباله‌های آلی را به کار می‌گیرد، محتوای آلی خاک را افزایش می‌دهد و محیط زیست را حفظ می‌کند (Haug, 1993). کمپوست عبارت است از تجزیه مواد زاید جامد قابل تجزیه بیولوژیکی تحت شرایط کنترل شده که به محصولی به نام کمپوست یا کود یا هوموس تبدیل می‌شود این فرآیند از تجزیه مواد آلی تا حدی ادامه دارد که از ماده اولیه آلی مقدار کمی باقی می‌ماند (Behrooznia & Sharifi, 2017).

آلودگی هوا یکی از مشکلات اصلی جامعه بشری است؛ بنابراین تحقیقات گسترده‌ای در مورد انتشار و کنترل آلاینده‌ها صورت گرفته است. در میان آلودگی‌های مختلف هوا، گازهای گلخانه‌ای بیشترین توجه را به خود جلب کرده است (Talaiekhosani, 2016). هزینه‌های زیست محیطی برای اندازه‌گیری میزان بار زیست محیطی یک محصول بر اساس پیشگیری از این بار است. این‌ها هزینه‌هایی است که باید برای کاهش آلودگی محیط زیست در منطقه صرف شود. هزینه‌های زیست محیطی هزینه‌های مجازی هستند، زیرا هنوز در هزینه‌های واقعی زنجیره‌های تولید فعلی (هزینه‌های چرخه زندگی) در

زندگی، برای مدیریت زباله در تهران دو سناریو که شامل ۱- سناریو لندفیل کردن و ۲- سناریو کمپوست به علاوه لندفیل کردن بود را مقایسه و ارزیابی کردند. برای ارزیابی اثرات چرخه زندگی در این مطالعه ۵ طبقه اثر زیست محیطی مدیریت زباله را مورد بررسی قرار دادند که شامل تغییرات اقلیمی، اسیدی شدن، اثرات تنفسی، سرطان زایی، سمیت زیستی، تهی سازی لایه اوزون و استخراج انرژی مازاد بر مصرف آینده بود. نتایج اصلی این مطالعه نشان داد که سناریو ۲ (کمپوست به علاوه لندفیل) اثرات زیست محیطی بیشتری در مقایسه سناریو لندفیل داشت.

Yay (2015) روش ارزیابی چرخه زندگی را برای بررسی جنبه های زیست محیطی یک سیستم مدیریت پسماند شهری مورد استفاده قرار داد. در این مطالعه، ۱۰ طبقه اثر مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که LCA یک ابزار ارزشمند برای کمک به مدیران و تصمیم گیرندگان برای مدیریت مناسب MSW است.

Kashefi-asl et al. (2014) برای بررسی زباله های جامد شهری از نظر انتشار گازهای گلخانه ای در شهر بهرگان، چهار سناریوی دفع پسماند ارائه کردند. میزان انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از اجرای هر یک از سناریوهای تعریف شده، با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت به این نتیجه رسیدند که روش کمپوست بی هوازی به دلیل تولید کمتر گازهای گلخانه ای روش مطلوب تری می باشد.

بر این اساس هدف از این مطالعه، بررسی چگونگی کود آلی از زباله های جامد شهری و ارزیابی انرژی مصرفی و هزینه های پیش گیرانه زیست محیطی تولید کمپوست از زباله های جامد شهری در کارخانه کمپوست شهرستان رشت می باشد.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

شهر رشت یکی از شهرهای استان گیلان است و دارای جمعیت حدود ۷۴۰ هزار نفر می باشد. شهر رشت در مرکز جلگه گیلان، در محدوده بین ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه و ۴۵ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه ۱۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی واقع شده است که شامل پنج منطقه شهری ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ می باشد و مساحت آن حدود ۱۸۰ کیلومتر مربع است. آب و هوای رشت معتدل و مرطوب است. میانگین سالانه بارندگی در این شهر ۱۳۵۹ میلی متر می باشد. میانگین سالانه دمای هوا در رشت ۱۵/۹ درجه سلسیوس است. میانگین حداکثر سالانه دمای هوا ۲۰/۶ و میانگین حداقل سالانه آن ۱۱/۳ درجه سلسیوس می باشد که

درخصوص ارزیابی هزینه های پیش گیرانه آلاینده های زیست محیطی تحقیقات کمی صورت گرفته است که از آن جمله می توان به مطالعات زیر اشاره کرد؛

Reich (2005) یک تحقیق در ارزیابی اقتصادی سامانه های مدیریت زباله شهری را انجام داد و از ترکیب ارزیابی چرخه زندگی (LCA<sup>۱</sup>) و هزینه های چرخه عمر (LCC<sup>۲</sup>) استفاده کرد. در این پژوهش برخی از امکانات تلفیق اطلاعات اقتصادی با ارزیابی چرخه زندگی در هنگام مطالعه سامانه های مدیریت زباله شهری مورد بررسی قرار گرفت. یک اصطلاح و روش شناسی برای ارزیابی اقتصادی سامانه های مدیریت زباله شهری پیشنهاد و مورد آزمایش قرار گرفت.

Nabavi-Pelesaraei et al. (2017) مطالعه ای برای مدیریت زباله های جامد شهری در شهر تهران انجام دادند. هدف از این مطالعه، ارزیابی مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی سناریوهای سوزاندن و دفن زباله بود و از الگوریتم آموزش Levenberg-Marquardt برای پیش بینی عوامل محیطی و الکترونیسته و مصرف انرژی برای مدیریت زباله های جامد شهری استفاده کردند.

Tang et al. (2013) کل چرخه زندگی سوزاندن MSW را با استفاده از روش LCA ارزیابی کرد. علاوه بر این، تحلیل حساسیت به منظور شناسایی مهم ترین منبع تأثیرگذاری انجام شد.

Rafiee et al. (2009) مطالعه ای را به منظور بررسی وضعیت سامانه مدیریت پسماند شهر مشهد انجام دادند که از روش ارزیابی چرخه زندگی استفاده کردند. برای این منظور ۳ سناریو که شامل انتقال مستقیم پسماند، کمپوست کردن و انتقال غیرمستقیم از راه ایستگاه های انتقال در نظر گرفته شد. سپس، نتایج با ۵ طبقه اثر شامل مصرف انرژی، گازهای گلخانه ای، گازهای اسیدی، مه دود فتوشیمیایی و خروجی های سمی تخصیص داده شد. از نقطه نظر محیط زیستی، نتایج این مطالعه نشان داد که کمپوست کردن به عنوان یکی از گزینه های مدیریتی و نیز کاربرد ایستگاه های انتقال پسماند در مواردی که محل دفن و سایر تأسیسات سامانه مانند کارخانه بازیافت و کمپوست در فواصل دور از نقاط ثقل تولید قرار می گیرند، نقش مهمی در کاهش بار آلاینده ها و نیز مصرف انرژی ناشی از سامانه مدیریت پسماند دارد.

Abduli et al. (2010) با استفاده از ارزیابی اثرات چرخه

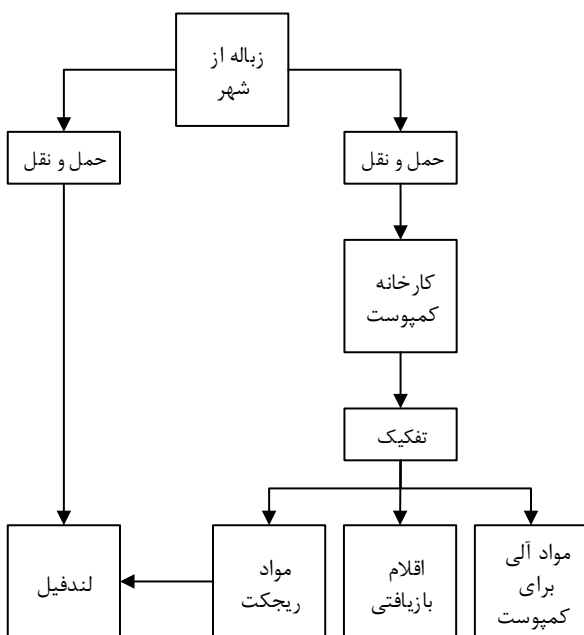
1 . Life Cycle Assessment  
2 . Life Cycle Cost

عرصه و اعیان کارخانه ۸ هکتار قرار گرفته است (Dian et al., 2009; Anonymous, 2017). شکل (۲) نقشه رشت را نشان می‌دهد.

دمای هوا در گرم‌ترین روزها به ۴۰ درجه سلسیوس و در سردترین روزها به ۱۸- درجه سلسیوس می‌رسد. کارخانه کمپوست رشت در ۱۰ کیلومتری جاده رشت- لاکان به مساحت



شکل ۲- تصویر منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- فرآیند مدیریت پسماندهای جامد شهرستان رشت

فرآیند مدیریت پسماندهای جامد شهر رشت را می‌توان به صورت شکل (۳) بیان کرد. بازیافت عبارت است از فرآیند پردازش مواد مصرف شده به محصولات و مواد تازه به منظور جلوگیری از به هدر رفتن مواد سودمند بالقوه (ذخیره‌های)، کاهش مصرف مواد خام، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی هوا حاصل از سوختن مواد و آلودگی آب‌ها ناشی از تدفین زباله‌ها در خاک به وسیله کاهش مقدار معمول زباله‌ها و کم کردن نشر گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با تولید خالص. بازیافت یک مولفه کلیدی در مدیریت مدرن کاهش مواد زائد که شامل سلسله مراتب کم کردن، دوباره مصرف کردن و بازیافت است. مواد قابل بازیافت شامل موارد زیادی از جمله بسیاری از انواع شیشه‌ها، فلزات، پلاستیک، آلومینیوم‌ها و ... را شامل می‌شوند. اما استفاده مجدد از زباله‌های زیستی همچون پسماند مواد خوراکی به عنوان مواد آلی محسوب می‌شوند و برای تولید کود کمپوست استفاده می‌گردد. دیگر مواد باقی مانده از جمله پلاستیک‌های سبک، چوب، شن، سنگ و ... به عنوان مواد بی‌استفاده و ریجکت و بی‌ارزش محسوب می‌شوند و برای دفن به لندفیل<sup>۱</sup> انتقال می‌یابند.

بر اساس محاسبات صورت گرفته سرانه تولید روزانه پسماند به ازای هر شهروند در شهر رشت در حدود ۹۳۱ گرم می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به تجزیه و تحلیل فیزیکی پسماند شهر رشت در سال ۱۳۹۵ مشخص گردید که حدود ۶۴ درصد از پسماند شهر رشت را پسماندهای آلی و ۲۷/۱ درصد را مواد

1. Landfill

شهر رشت محاسبه شده در کارخانه کمپوست را نشان می‌دهد (Anonymous, 2017).

خشک و حدود ۸/۴ درصد را مواد قابل بازیافت تشکیل می‌دهد. اقلام بازیافتی پس از تفکیک، به شرکت‌های بازیافت مواد فروخته می‌شود. جدول (۱) ترکیب فیزیکی پسماندهای جامد

جدول ۱- ترکیب فیزیکی پسماندهای جامد شهر رشت

میزان زباله (%)	انواع زباله‌های ورودی
۲/۸	شیشه
۹/۷	پلاستیک‌های نرم (اکثراً نایلون بسته بندی زباله)
۷/۶	کاغذ و مقوا
۰/۶	چوب و برگ
۳/۱	پلاستیک‌های سخت (ظرف شامپو، تسمه، فوم، ظرف ماست و شوینده، کفش)
۲/۲	پارچه
۱/۳	پت
۶/۳	زباله‌های بهداشتی
۱/۲	مواد فلزی (ظرف حشره کش و اسپری، قوطی نوشابه و رب، حلب روغن، کنسرو، کمپوت و ...)
۶۴/۱	مواد آلی
۱/۱	سایر
۱۰۰	کل

به واحدهای پردازش ارسال می‌شود. به طور کلی فرایند پردازش پسماند عبارت از جداسازی پسماندهای خشک و تر از یکدیگر با استفاده از نیروی انسانی و تجهیزات موجود می‌باشد. در فرآیند پردازش پسماند های تر (مواد آلی) توسط دو سرند موجود از دیگر پسماندها جدا شده و به سایت‌های هوادهی برای تجزیه مواد آلی و تولید کود کمپوست ارسال می‌شود.

پسماندهای ورودی به سالن تفکیک توسط کارگران به صورت جداگانه تفکیک شده و مواد قابل بازیافت که شامل مواد فلزی، پلاستیک‌های سخت، پت و شیشه می‌باشند از دیگر مواد باقی‌مانده جدا می‌شوند و برای بازیافت به پیمانکارها به فروش می‌رسند. مواد باقی مانده از سالن تفکیک که غالباً از نوع پسماندهای خشک حجیم غیر ارزشمندی چون کیسه‌های نایلونی، لاستیک‌ها و گونی‌ها می‌باشد و "مواد ریجکتی" نامیده می‌شود، پس از ریخته شدن به بیرون توسط کامیون به لندفیل سراوان ارسال می‌گردند.

شکل (۴) فرآیند کلی جریان مواد را در واحدهای پردازش نشان می‌دهند.

### روش جمع‌آوری اطلاعات

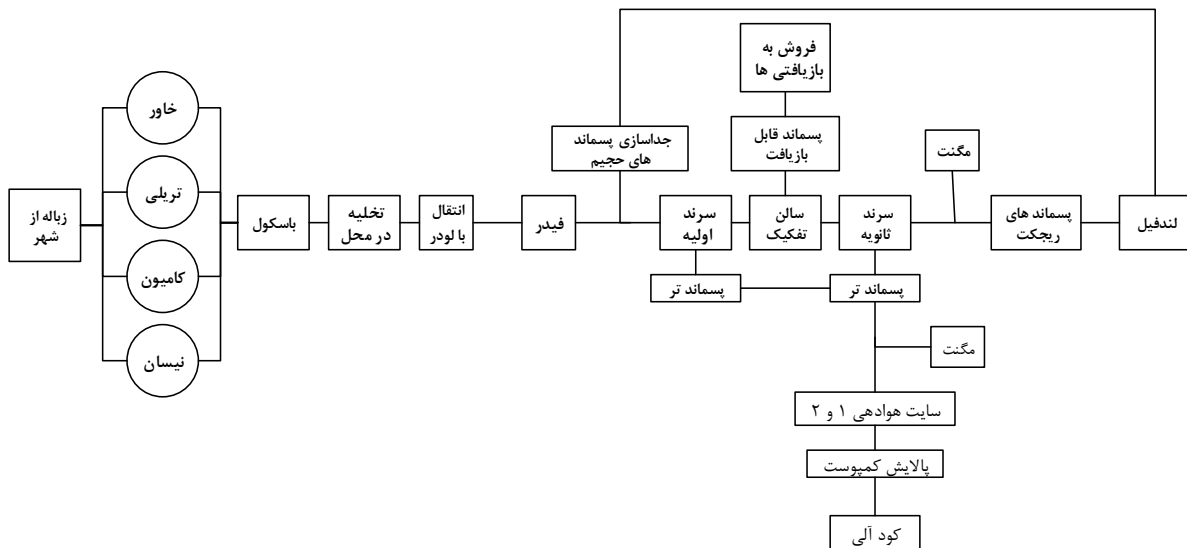
داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز مانند اطلاعات سوخت، حمل و نقل، نیروی انسانی، چگونگی تولید کمپوست و ... برای انجام این مطالعه در کارخانه کمپوست رشت، با مصاحبه حضوری با کارشناسان و مسئولین در این کارخانه جمع‌آوری شد.

### روش انجام فرایند تولید کمپوست

#### کارخانه کمپوست

کارخانه کمپوست رشت از سال ۱۳۸۴ با ظرفیت ۲۵۰ تن زباله در روز به منظور پردازش بخشی از پسماندهای تولیدی احداث شد و در سال ۱۳۹۳ ظرفیت این کارخانه به ۴۰۰ تن در روز افزایش یافت. این کارخانه پذیرای پسماندهای شهر رشت و شهرهای اطراف می‌باشد که هر شهرداری، به میزان سهمی که دارد می‌تواند پسماند خود را به کارخانه کمپوست وارد کند. در این تحقیق، فرض شده است که همه زباله‌های ورودی به کارخانه کمپوست، از مرکز شهر رشت می‌باشد. در این کارخانه زباله‌های ورودی ابتدا توزین می‌شوند و سپس برای تولید کود آلی پردازش می‌شوند (Anonymous, 2017).

پسماندهای تخلیه شده به تدریج توسط لودرهای موجود



شکل ۴- فرایند کلی جریان مواد در واحد فرآوری

#### فرایند تولید کود آلی (کمپوست)

پسماندهای تر (آلی) جدا شده در خطوط پردازش کارخانه توسط تسمه نقاله به سایت‌های هوادهی شماره ۱ و ۲ (فاز ۱ و ۲) منتقل می‌شوند. پسماندهای تر پس از ورود به سایت به صورت پشته‌هایی به ارتفاع تقریبی ۱ متر بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند (شکل ۵). با گذشت زمان و بر اثر فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی دما در درون و مرکز پشته‌ها تا ۷۰ درجه سلسیوس افزایش یافته و بخش عمده‌ای از عوامل پاتوژن (بیماری‌زا) موجود از بین می‌روند. با توجه به افزایش دما، تابش نور خورشید و وزش باد، رطوبت موجود در پشته‌ها به صورت بخار خارج می‌شود، به طوری که در حدود ۵۵ درصد از کل وزن پسماند تر ورودی به سایت هوادهی به صورت بخار از آنها خارج می‌شود. با گذشت زمان و تجزیه پسماندهای تر توسط میکروارگانیسم‌ها، این مواد به کمپوست نابالغ تبدیل می‌شود. در هر کدام از دو سالن تجزیه، مواد آلی به کمک دستگاه ماکو که به صورت خودکار کار می‌کند و در قسمت بالای سالن‌ها قرار داده شده در ده ردیف ریخته می‌شود. توده تشکیل شده در ردیف‌ها ۶۰ تا ۷۰ روز داخل سالن می‌ماند. در هر کدام از سالن‌ها، توده‌ها از دو طریق هوادهی می‌شوند که شامل دو فن در یک طرف سالن که هوا را به داخل کانال‌های ایجاد شده در زیر توده‌ها که دارای شیارهایی می‌باشد می‌فرستد و دیگری، ماشین‌های ویندرو که با مکانیزم هلیسی توده مواد آلی در ردیف‌ها را هوادهی می‌کند.

#### پالایش کمپوست و تولید کود آلی نهایی

پسماند خام تولید شده در سالن‌های تجزیه ۱ و ۲ به منظور خالص‌سازی و جداسازی مواد نامطلوب موجود به واحدهای پالایش کارخانه کمپوست (سالن تولید کود نهایی) ارسال می‌شود. در واحدهای پالایش کمپوست خروجی از سرندها پس از فرآوری نهایی، به صورت بسته‌بندی شده، به پیمان‌کاران فضای سبز فروخته می‌شود و مواد باقیمانده در سرند نیز به عنوان مواد دور ریز از آن خارج شده و به لندفیل منتقل می‌شوند. کمپوست شکل (۵) فرایند پالایش تولید کمپوست را نشان می‌دهد.

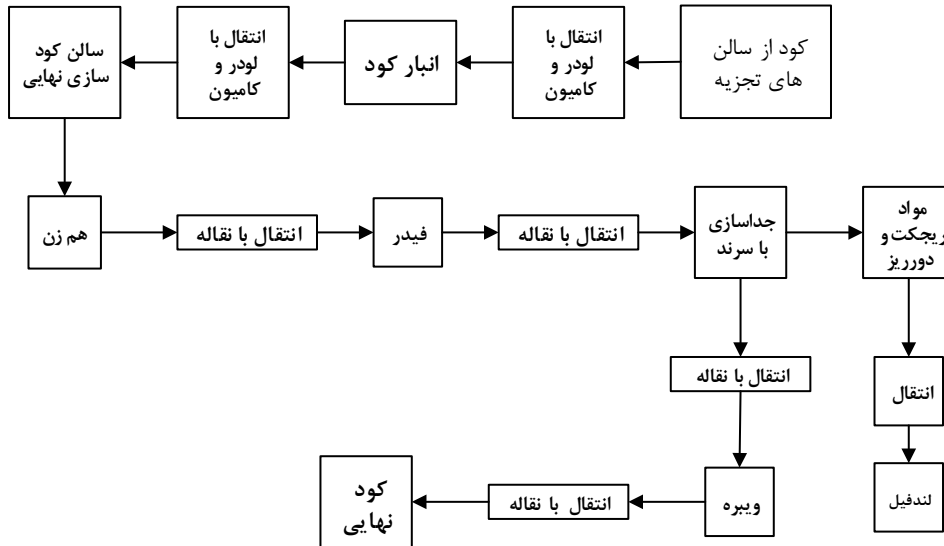
#### انرژی ورودی و خروجی کارخانه تولید کمپوست

اولین گام برای ارزیابی چرخه انرژی، به دست آوردن مقدار انرژی ورودی و خروجی مربوط به سامانه مورد بررسی است. مقدار انرژی، با ضرب کردن مقدار نهاده‌ها در ضرایب معادل انرژی ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین می‌شوند.

در جریان فرآیندهای بخش صنعتی، نهاده‌های گوناگونی به صورت مواد خام یا انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر یک از این نهاده‌ها دارای محتوای انرژی است (Kitani, 1999). مجموعه محتوای انرژی نهاده‌های مصرف‌شده و تولیدشده در طی فرآیند تولید را انرژی ورودی و خروجی برای یک سامانه تولیدی گویند؛ انرژی ورودی برای انجام عملیات مختلف زراعی یا تولید نهاده‌های مصرفی مورداستفاده قرار می‌گیرد و انرژی خروجی محتوای انرژی محصول است (Koocheki & Hosseini, 1994; Koocheki et al., 1997) که در این سامانه

می‌گردد که بیان‌کننده میزان محتوای انرژی نهاده‌ها یا ستانده‌ها (محصول) بوده که جریان فرآیند تولید به سامانه تولیدی وارد شده یا از آن خارج می‌گردند (جدول ۲).

تولید کمپوست، سوخت دیزل، برق، نیروی انسانی و حمل و نقل، گاز و ... ورودی هستند و کود آلی کمپوست به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود. معادل انرژی به ضرایبی اطلاق



شکل ۵- فرآیند پالایش تولید کمپوست

جدول ۲- معادل انرژی ورودی‌ها و خروجی در سامانه کمپوست

مقدار (GJ)	واحد	ورودی و خروجی
الف) ورودی‌ها		
$1/96 \times 10^{-3}$	h	۱. نیروی انسانی
$47/8 \times 10^{-3}$	L	۲. سوخت دیزل
$4/5 \times 10^{-3}$	t.km	۳. حمل و نقل
$11/93 \times 10^{-3}$	kWh	۴. برق
$42 \times 10^{-3}$	L	۵. روغن
$62/7 \times 10^{-3}$	kg	۶. ماشین‌ها
$49/5 \times 10^{-3}$	m <sup>3</sup>	۷. گاز
ب) خروجی		
۰/۳	ton	۱. کمپوست آلی

(رابطه ۴)

انرژی ورودی ( $GJ t^{-1}$ ) - انرژی خروجی ( $GJ t^{-1}$ ) = افزوده خالص انرژی شدت انرژی بسته به نوع محصول کشاورزی، موقعیت و زمان، متفاوت است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف تولید محصول موردنظر باشد. شدت انرژی نشان‌دهنده مصرف انرژی برای تولید یک واحد از محصول است. بهره‌وری انرژی عکس شدت انرژی می‌باشد و بیان‌کننده مقدار تولید محصول به ازای هر واحد انرژی مصرف شده است. نسبت انرژی بیانگر نسبت بین کالری گرمایی محصولات خروجی و کل انرژی صرف شده در

علاوه بر این، برای تجزیه و تحلیل بهتر جریان انرژی در فرایندهای کمپوست، شاخص‌های انرژی اعمال می‌شود. محاسبه این شاخص‌ها در روابط ۱ تا ۴ آمده است:

(رابطه ۱)

عملکرد ( $t t^{-1}$ ) / انرژی ورودی ( $GJ t^{-1}$ ) = شدت انرژی ( $GJ t^{-1}$ ) (رابطه ۲)

انرژی ورودی ( $GJ t^{-1}$ ) / عملکرد ( $t t^{-1}$ ) = بهره‌وری انرژی ( $t GJ^{-1}$ ) (رابطه ۳)

انرژی ورودی ( $GJ t^{-1}$ ) / انرژی خروجی ( $GJ t^{-1}$ ) = نسبت انرژی



زندگی (LCIA<sup>۲</sup>) و (۴) تفسیر نتایج

تعریف هدف و دامنه، توصیف مرزهای سامانه و انتخاب یک واحد کارکردی (FU<sup>۳</sup>) است (Nemecek *et al.*, 2011). برای تعریف هدف و دامنه در این مطالعه، از سامانه موجودی چرخه زندگی بین‌المللی (ILCD<sup>۴</sup>) استفاده می‌شود. بر این اساس، هدف این مطالعه ارزیابی هزینه‌های زیست محیطی سامانه‌های کمپوست می‌باشد. واحد عملکردی برای این مطالعه ۴۰۰ تن MSW محسوب می‌شود، بدین معنی که تمام آلودگی‌های منتشر شده و هزینه‌های این آلودگی‌ها بر مبنای ورودی‌هایی که برای دفع ۴۰۰ تن MSW استفاده می‌شود، محاسبه و گزارش می‌گردد.

مرزهای سامانه در این تحقیق از مرحله حمل و نقل پسماند از شهر تا حمل و نقل مواد ریجکت باقی مانده از کارخانه کمپوست تا لندفیل تعریف می‌شود که در شکل (۶) ارائه شده است.

عوامل تولید است؛ فاقد واحد می‌باشد و مقدار انرژی به‌دست آمده به ازای هر واحد مصرف انرژی برای تولید را نشان می‌دهد. افزوده خالص انرژی، بیانگر تفاوت بین انرژی محصولات خروجی و کل انرژی صرف شده در عوامل تولید می‌باشد.

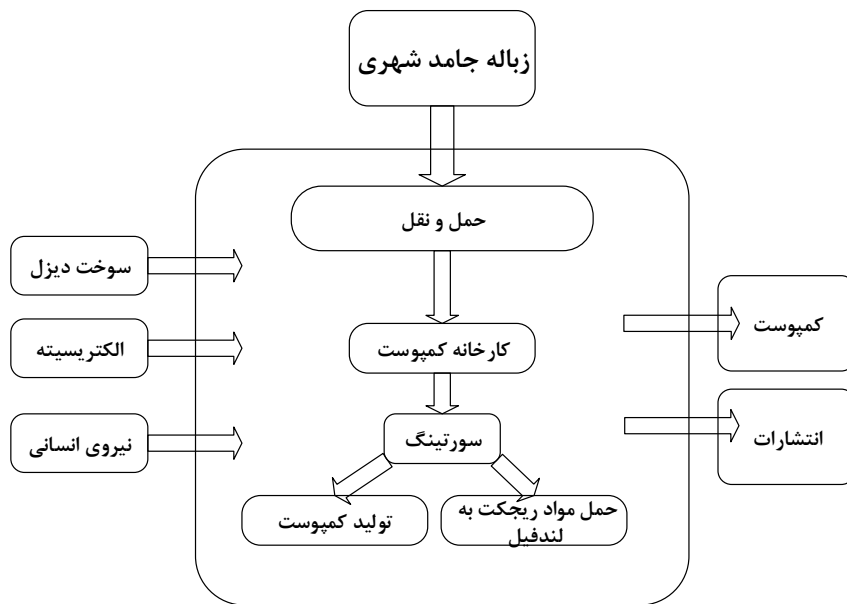
### ارزیابی چرخه زندگی

ارزیابی چرخه زندگی، یکی از روش‌های رایانه‌ای و یک ابزار قدرتمند برای ارزیابی محیط زیست و عبارت از گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و تأثیرات زیست محیطی بالقوه در یک فرآیند تولیدی در طول چرخه زندگی آن محصول می‌باشد. محبوبیت LCA باعث شده است بسیاری از محققان در سراسر جهان این روش را برای ارزیابی بار زیست محیطی MSW به کار گیرند. LCA شامل چهار مرحله جداگانه است که به یک رویکرد متحد کمک می‌کنند (ISO, 2006):

(۱) تعریف هدف و دامنه؛ (۲) فهرست موجودی‌های چرخه زندگی (تحلیل سیاهه) (LCI<sup>۱</sup>)؛ (۳) ارزیابی اثرات چرخه

2. Life Cycle Impact Assessment  
3. Functional unit  
4. International Life Cycle Data System

1. Life Cycle Inventory



شکل ۶- مرز سامانه در این مطالعه

بخش‌های اثرگذار خلاصه و ارائه می‌شود.

### ارزیابی هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی

روش ارزیابی هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی با ارزیابی چرخه زندگی انجام می‌شود. هزینه‌های زیست محیطی را می‌توان با استفاده از برنامه‌های نرم‌افزاری کلاسیک مانند Simapro در LCA کلاسیک مورد استفاده قرار داد. با این حال

در مرحله تحلیل سیاهه منابع استفاده شده مانند سوخت دیزل، روغن، برق، مسافت طی شده توسط ماشین‌های حمل زباله، ماشین‌های فعال در کارخانه کمپوست و ... و انتشار آلاینده‌ها در کل یا بخشی از دوره زندگی محصول که با توجه به مرزهای سامانه تعیین می‌گردند، در نظر گرفته می‌شود. به منظور تفسیر نتایج در مرحله ارزیابی اثرات چرخه زندگی، انتشار آلاینده‌های مهم در

محیطی<sup>۴</sup> (EC)، اکسیداسیون فتوشیمیایی<sup>۵</sup> (PO)، پتانسیل اسیدی شدن<sup>۶</sup> (AC)، اختناق دریاچه ای<sup>۷</sup> (EP)، گرد و غبار<sup>۸</sup> (Fine dust 2.5) محاسبه شدند. برای محاسبه‌ی هزینه پیش‌گیرانه زیست محیطی ناشی از هر کدام از دسته‌های اثر، در موقع خروجی گرفتن از نرم افزار سیمپرو، از روش‌های اشاره شده در جدول ۳ بر حسب واحد عملکردی به کار رفته در LCA، یعنی ۴۰۰ تن استفاده می‌شود.

4. Ecotoxicity potential
5. Photochemical oxidation potential
6. Acidification potential
7. Eutrophication potential
8. Fine dust

سامانه هزینه‌های زیست‌محیطی نیز یک روش عملی<sup>۱</sup> برای LCA است. این یک روش عملی برای طراحان و مدیران کسب و کار است. مزیت هزینه‌های زیست محیطی این است که خروجی این محاسبات در ارزش پولی (ریال) بیان می‌شود که به نظر می‌رسد به راحتی توسط گزینه قابل درک است. برای محاسبه هزینه پیش‌گیرانه زیست محیطی کل ایجاد شده در اثر تولید کود کمپوست، براساس دستورالعمل سازمان اکو کاست، هفت دسته اثر شامل پتانسیل گرمایش جهانی<sup>۲</sup> (GWP)، پتانسیل مسمومیت انسان‌ها<sup>۳</sup> (HT)، مسمومیت زیست

1. Fast Track LCA
2. Global warming potential
3. Human toxicity potential

جدول ۳- روش‌های استفاده شده در نرم افزار سیمپرو بر حسب واحد عملکردی در دسته‌های اثر

دسته اثر	روش استفاده شده در نرم افزار سیمپرو
گرمایش جهانی	IPCC 2013 GWP 100a V1.03
اکسیداسیون فتوشیمیایی	CML-IA baseline V3.04 / World 2000
پتانسیل اسیدی شدن	CML-IA baseline V3.04 / World 2000
پتانسیل اختناق دریاچه‌ای	CML-IA baseline V3.04 / World 2000
سمیت انسان	USEtox Recommended + Interim V1.02
گرد و غبار	IMPACT 2002+ V2.13 / IMPACT 2002+
سمیت زیست محیطی	USEtox Recommended + Interim V1.02

## بحث و نتایج

### جریان انرژی ورودی-خروجی

مقدار انرژی، با ضرب مقدار معادل انرژی هر ورودی (جدول ۲)، در مقدار ورودی های مصرفی به دست می آید. داده های ورودی و خروجی بر حسب  $1 \text{ GJ (400 t MSW)}$  در جدول (۵) ارائه شده است.

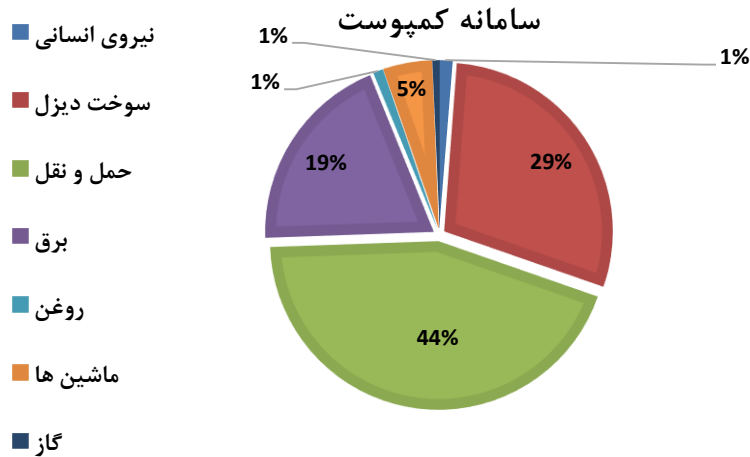
نتایج نشان می دهد که مجموع انرژی ورودی در سامانه کمپوست (که شامل حمل و نقل از شهر تا کارخانه کمپوست، سورتینگ و پردازش کمپوست و حمل و نقل از کارخانه کمپوست به لندفیل می‌باشد) برابر  $82/02 \text{ GJ}$  است (جدول ۵)، که حدود ۴۴ درصد از کل انرژی مصرف شده، مربوط به حمل و نقل در این کارخانه می‌باشد و دومین سهم را بین ورودی ها، مصرف سوخت دیزل (۲۹ درصد) دارد. شکل (۷) کل انرژی مصرفی را برای سامانه کمپوست نشان می دهد. به طور کلی، حمل و نقل نقش مهمی در سامانه کمپوست دارد.

شاخص‌های انرژی برای سامانه کمپوست در جدول (۶) ارائه شده است. بر اساس جدول (۶) برای هر  $0/15$  تن خروجی کمپوست،  $1 \text{ GJ}$  انرژی مصرف می شود. چون مقدار انرژی ورودی نسبت به انرژی خروجی خیلی بالاتر است، بر این اساس میزان شاخص نسبت انرژی، بسیار کم و همچنین شاخص افزوده خالص انرژی، منفی شده است.

لازم است قبل از تجزیه و تحلیل جریان انرژی، میزان استفاده از هر ورودی و میزان تولید هر خروجی تعیین شود. در این تحقیق، ورودی های سامانه کمپوست در جدول (۴) برای مصرف هر ورودی به ازای هر ۴۰۰ تن زباله پردازش شده برای تولید کمپوست نشان داده شده است.

جدول ۴- ورودی‌ها و خروجی از کارخانه کمپوست

ورودی و خروجی	واحد	مقدار
الف) ورودی ها		
۱. نیروی انسانی	hr	۵۰۰
۲. سوخت دیزل	L	۵۰۰
۳. حمل و نقل	t.km	۸۰۴۰
۴. برق	kWh	۱۳۳۳/۳۳
۵. روغن	L	۱۹
۶. ماشین ها	kg	۶۰
۷. گاز	m <sup>3</sup>	۱۰
ب) خروجی		
۱. کمپوست آلی	ton	۱۲



شکل ۷- سهم هر یک از ورودی‌ها در جریان انرژی

محاسبه هزینه آلاینده‌های GWP، این مقدار در هزینه ۱ کیلوگرم CO<sub>2</sub> معادل که برابر ۰/۱۱۶ یورو<sup>۱</sup> (۵۸۰۰ ریال) است، ضرب می‌شود. این هزینه باید صرف کارهایی شود که باعث کنترل و خنثی سازی آلاینده‌های ایجاد شده از فرآیند کمپوست می‌شود، برای مثال برای هر ۱ کیلوگرم انتشار CO<sub>2</sub>، باید ۰/۱۱۶ یورو صرف درختکاری در اطراف کارخانه کمپوست شود تا آلاینده‌ها را خنثی کند (جدول ۷).

هزینه پیش‌گیرانه زیست محیطی ناشی از اکسیداسیون فتوشیمیایی، پتانسیل اسیدی‌سازی و پتانسیل اختناق دریاچه‌ای مقدار وزن کل این اثرات به ترتیب برابر ۰/۴۶ kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq، ۳/۶۰ kg PO<sub>4</sub>--- eq و ۲۵/۱۴ SO<sub>2</sub> eq می‌باشد. برای محاسبه هزینه آلاینده‌های این اثرات، این مقادیر در هزینه ۱ کیلوگرم از وزن معادل که به ترتیب برابر ۱۰/۳۸، ۸/۸۳ و ۴/۱۷ یورو (۵۱۹۰۰۰، ۴۴۱۵۰۰ و ۲۰۸۵۰۰ ریال) می‌باشد، ضرب می‌شود (جدول ۷).

هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی برای سمیت انسان مقدار وزن کل این اثر، برابر ۱/۸۴×۱۰<sup>-۴</sup> می‌باشد. برای محاسبه هزینه آلاینده‌های این اثر، این مقدار وزن، در هزینه ۱ کیلوگرم CTUh معادل که برابر ۹۲۰ هزار یورو (۴۶ میلیارد ریال) می‌باشد، ضرب می‌شود. نتایج کلی در جدول (۷) ارائه شده است.

هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی اثر گرد و غبار مقدار وزن کل این اثر، برابر ۲/۱۷ kg PM<sub>2.5</sub> eq می‌باشد. برای محاسبه هزینه آلاینده‌های این اثر، این مقدار در هزینه ۱

جدول ۵- انرژی ورودی و خروجی فرآیند کمپوست

مقدار (GJ)	ورودی و خروجی
	الف) ورودی‌ها
۰/۹۸	(۱) نیروی انسانی
۲۳/۹	(۲) سوخت دیزل
۳۶/۱۸	(۳) حمل و نقل
۱۵/۹۰	(۴) برق
۰/۸۰	(۵) روغن
۳/۷۶	(۶) ماشین‌ها
۰/۴۹	(۷) گاز
	ب) خروجی
۳/۶	(۱) کمپوست آلی

جدول ۶- شاخص‌های انرژی برای سامانه کمپوست

مقدار	واحد	شاخص‌ها
۰/۱۵	t GJ <sup>-1</sup>	بهره‌وری انرژی
۶/۸۳	GJ t <sup>-1</sup>	شدت انرژی
۰/۰۴	-	نسبت انرژی
-۷۸/۴۲	GJ t <sup>-1</sup>	افزوده خالص انرژی

### هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی

هزینه پیش‌گیرانه زیست محیطی ناشی از گرمایش جهانی مقدار خروجی حاصل از نرم‌افزار سیمپرو که وزن کل آلاینده‌ها را نشان می‌دهد، برابر ۴۲۸۲/۲۹ kg CO<sub>2</sub> eq می‌باشد. برای

۱. قیمت هر یورو برابر ۵۰۰۰۰ ریال

محاسبه هزینه آلاینده‌های این اثر، در ابتدا مقدار وزن در فاکتور این اثر (برابر  $۵/۵۴ \times ۱۰^{-۶}$ ) می‌شود و سپس این مقدار در هزینه ۱ کیلوگرم CTUe معادل که برابر ۵۵ یورو (۲۷۵۰ هزار ریال) می‌باشد، ضرب می‌شود (جدول ۷).

کیلوگرم PM2.5 معادل، یعنی ۳۴ هزار یورو (۱۷۰۰ هزار ریال)، ضرب می‌شود (جدول ۷).

هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی اثر سمیت زیست محیطی مقدار وزن کل این اثر، برابر CTUe ۱۰۲۳۹/۲۱ می‌باشد. برای

جدول ۷- مقادیر و هزینه‌های دسته‌های اثر

دسته اثر	واحد	مقدار	هزینه هر واحد (Rial/kg)	فاکتور	هزینه کلی
گرمایش جهانی	kg CO <sub>2</sub> eq	۴۲۸۲/۲۹	۵۸۰۰		$۲/۴۸ \times ۱۰^۷$
اکسیداسیون فتوشیمیایی	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	۰/۴۶	$۵/۱۹ \times ۱۰^۵$		$۲/۳۸ \times ۱۰^۵$
پتانسیل اسیدی شدن	kg SO <sub>2</sub> eq	۲۵/۱۴	$۴/۴۴ \times ۱۰^۵$		$۱/۱۱ \times ۱۰^۷$
پتانسیل اختناق دریاچه‌ای	kg PO <sub>4</sub> --- eq	۳/۶۰	$۲/۰۹ \times ۱۰^۵$		$۷/۵۰ \times ۱۰^۵$
سمیت انسان	CTUh	$۱/۸۴ \times ۱۰^{-۴}$	$۴/۶ \times ۱۰^{۱۰}$		$۸/۴۵ \times ۱۰^۶$
گرد و غبار	kg PM2.5 eq	۲/۱۷	$۱/۷ \times ۱۰^۶$		$۳/۶۹ \times ۱۰^۶$
سمیت زیست محیطی	CTUe	۱۰۲۳۹/۲۱	$۲/۷۵ \times ۱۰^۶$	$۵/۵۴ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۵۶ \times ۱۰^۵$

برای آموزش مردم شهر در جهت تفکیک زباله از مبدا صرف شود، زیرا با این کار علاوه بر اینکه زباله‌های منتقل شده نهایی به لندفیل کم می‌شود، بلکه زباله‌های دارای ارزش اقتصادی و قابل بازیافت جدا می‌شود. همچنین می‌توان سرمایه‌گذاری‌هایی در زمینه‌های احداث پارک‌های آسیاب بادی برای کاهش اثر CO<sub>2</sub> انجام داد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش تولید کمپوست در کارخانه شهر رشت ارائه شد که در این کارخانه، مقدار کمپوست تولیدی حدود ۳ درصد از کل ۴۰۰ تن زباله ورودی به کارخانه، (۱۲ تن کود کمپوست) به دست می‌آید. تولید کمپوست با صرف انرژی زیادی همراه است که تعیین مقادیر واقعی آن می‌تواند چشم انداز جدیدی در شناسایی و به‌کارگیری راه‌های کاهش انرژی تولید کمپوست، قرار دهد. از شاخص‌های انرژی، مقدار بهره‌وری انرژی برابر ۰/۱۵ تن بر گیگاژول به دست آمد که از این مقدار می‌توان نتیجه گرفت که به ازای هر ۰/۱۵ تن خروجی کمپوست، ۱ گیگاژول انرژی مصرف می‌شود. مزیت مهم تولید کمپوست از زباله جامد شهری این است که می‌توان با تولید کمپوست از آلاینده‌هایی که در اثر دفن زباله ایجاد می‌شود، کاست. هزینه‌های زیست محیطی برای اندازه‌گیری میزان بار زیست محیطی یک محصول بر اساس پیشگیری از این بار است. این هزینه‌ها، هزینه‌هایی است که باید برای کاهش آلودگی محیط زیست در منطقه صرف شود. مقدار هزینه‌ی پیش‌گیرانه برای سه دسته اثر شامل سلامتی

هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست محیطی مربوط به دسته "گرمایش جهانی"، "سلامتی انسان" و "زیست محیطی"

برای محاسبه هزینه‌های مربوط به سه بخش اثر گرمایش جهانی، سلامتی انسان و سمیت زیست محیطی، اثرات مربوط به هر بخش با هم ترکیب می‌شوند. اثر مربوط به گرمایش جهانی، فقط خود آن مقدار می‌باشد. اثراتی که در سلامتی انسان‌ها تاثیر می‌گذارد، شامل اکسیداسیون فتوشیمیایی، اثر گرد و غبار و مسمومیت انسان‌ها می‌باشد که این سه مقدار با هم جمع می‌شوند و همچنین اثرات مربوط به سمیت زیست محیطی شامل اثر مسمومیت محیط زیست، پتانسیل اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای می‌باشد که مقادیر این سه اثر نیز با هم جمع می‌شوند (جدول ۸). در نهایت، سه بخش هزینه‌های تأثیرگذار در سلامتی انسان، سمیت زیست محیطی و گرمایش جهانی با هم جمع می‌شوند و برابر  $۴/۹۲ \times ۱۰^۷$  ریال می‌باشد.

جدول ۸- مقادیر مربوط به سه بخش اثر سلامتی انسان، سمیت زیست محیطی و گرمایش جهانی

دسته اثر	هزینه پیش‌گیرانه برای هر دسته (ریال)
سلامتی انسان	$۱/۲۴ \times ۱۰^۷$
سمیت زیست محیطی	$۱/۲۰ \times ۱۰^۷$
گرمایش جهانی	$۲/۴۸ \times ۱۰^۷$
جمع کل	$۴/۹۲ \times ۱۰^۷$

این هزینه‌ها باید برای خنثی کردن آلودگی زیست محیطی در منطقه صرف شود. بخشی از این هزینه‌ها می‌تواند

هزینه پیش‌گیرانه کل فرایند تولید کمپوست برابر  $۴/۹۲ \times ۱۰^۷$  ریال محاسبه شد.

انسان، سمیت زیست محیطی و گرمایش جهانی، به ترتیب برابر  $۱/۲۴ \times ۱۰^۷$ ،  $۱/۲۰ \times ۱۰^۷$ ،  $۲/۴۸ \times ۱۰^۷$  ریال و همچنین مقدار

## REFERENCES

- Abduli, M.A., Naghib, A., Yonesi, M., Akbari, A. (2010). Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill. *Environ Monit Assess*, 178, 487-498.
- Almasi, M., Kiani, S., Loveymi, N. (2008). Basics of Agricultural Mechanization. Fourth Edition, Forest Publishing. (In Farsi)
- Anonymous. (2017). Statistics of waste management organization of Rasht, Rasht Waste Management Organization, Rasht, Iran. Website: <http://www.rasht-bazyaft.ir>
- Behrooznia, L., Sharifi, M. (2017). Municipal Solid waste and its application in the production of compost. Seventh Sustainable Agricultural and Natural Resources Conference. Tehran. (In Farsi)
- Dian, B., Khezri, S.M., Tavakoli, B. (2009). Environmental inspection of Rasht Compost Plant. *Journal of Life Sciences*, Lahijan, Third Year, No. 4.
- Haug, R.T. (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, USA, Boca Raton.
- ISO. (2006). ISO 14040 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework.
- Karak, T., Bhagat, R.M., Bhattacharyya, P. (2012). Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario. *Crit. Rev. Env. Sci. Tec*, 42 (15), 1509-1630.
- Kashefi-asl, M., Marandi, R., Afrasyabi, A.S. (2014). Comparison of municipal Solid Waste Treatments scenarios in terms of Greenhouse Gas Emissions in the Behrigan area. *Journal of Marine Science & Technology Research*, Eighth, No.1. (In Farsi)
- Kitani, O. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. Energy and biomass engineering, vol. 5. St. Joseph, MI: ASAE Publications.
- Koocheki, A., Hosseini, M. (1994). Energy efficiency in agricultural ecosystems. Ferdowsi University. Mashhad Publishing. (In Farsi)
- Koocheki, A., Hosseini, M., Khazae, H. (1997). Sustainable Agricultural Systems. Mashhad Collegiate jahad Publishing. (In Farsi)
- Montejo, C., Tonini, D., Marquez, M.C., Astrup, T.F. (2013). Mechanical-biological treatment: performance and potentials. An LCA of 8 MBT plants including waste characterization. *J. Environ. Manage*, 128, 661-673
- Nabavi-Pelesaraei, A., Bayat, R., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Afrasyabi, H., Chau, K.W. (2017). Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and Landfill Systems of municipal solid waste management - A case study in Tehran Metropolis of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 148, 427- 440.
- Nasrollahi-Sarvaghaji, S. (2016). Feasibility and Study to Estimate the Minimum Cost and Emission of Environmental Pollutants from Disposal of Municipal Solid Waste with Composting Method by Using Operations Research Techniques in Tehran. M.Sc. thesis. Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi)
- Nasrollahi-Sarvaghaji, S., Alimardani, R., Sharifi, M., Taghizadeh Yazdi, M.R. (2016). Comparison of the Environmental Impacts of Different Municipal Solid Waste Treatments using Life Cycle Assessment (LCA) (Case Study: Tehran). *Journal of Health & Environ, Iran*, 9(2), 273-288. (In Farsi)
- Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., Chervet, A., (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems*, 104, 233-245.
- Rafiee, R., Salman-Mahini, A., Khorasani, N. (2009). Environmental life cycle assessment of municipal waste management system (case study: Mashhad city). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16, Special 2. (In Farsi)
- Reich, M.C. (2005). 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*, 13, 253-263
- Talaiekhazani, A.R., Morudi, M., Darvar, P. (2016). Investigating emissions of carbon dioxide, Nonmethan organic gasses from landfills in Bandar Abbas. *The 6th National and 1th International Conference of Applications of Chemistry in Advanced Technologies*, 29 December, Isfahan, Iran. (In Farsi)
- Tang, Y., Ma, X., Lai, Z., & Chen, Y. (2013). Energy analysis and environmental impacts of a MSW oxy-fuel incineration power plant in China. *Energy policy*, 60, 132-141.
- Yang, Y. B., Phan, A. N., Ryu, C., Sharifi, V., & Swithenbank, J. (2007). Mathematical modelling of slow pyrolysis of segregated solid wastes in a packed-bed pyrolyser. *Fuel*, 86(1-2), 169-180.
- Yay, A.S.E. (2015). Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. *J. Clean. Prod.* 94, 284-293.