

## Environmental Impact Assessment of Compost Production from Municipal Solid Waste Using Life Cycle Assessment (Case Study: Rasht City)

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

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
  2. Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University, Wooster, OH, United States
- (Received: May. 29, 2019- Revised: Sep. 14, 2019- Accepted: Sep. 25, 2019)

### ABSTRACT

Municipal solid waste, known as reject material, is increasingly being added to the world, causing more problems, such as air pollution and greenhouse gas emissions in the environment. As a result, the need for proper and sustainable waste management is felt more by managers. Accordingly, compost production is one of the methods used in agriculture in addition to reducing pollution. In Rasht, this method is used to manage 400 tons of waste per day. In the process of composting, pollutants are created that affect the environment. In this study, the CML-IA baseline V3.04 / World 2000 method using SimaPro software was applied to evaluate the life cycle and 11 impact categories have been investigated and finally the results were normalized and weighed. The functional unit in this study was 400 tonnes of compost produced per day. The results showed that the global warming potential was calculated with  $4.28 \times 10^3$  kgCO<sub>2</sub> and the largest share in this section was due to direct emissions and transportation. Also, normalization results showed that compost production from waste had the most effect on marine aquatic ecotoxicity and human toxicity potential, respectively.

**Keywords:** Global warming potential, Greenhouse gas emissions, Environmental pollution, Compost

---

\* Corresponding author's Email: [m.sharifi@ut.ac.ir](mailto:m.sharifi@ut.ac.ir)

## ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید کمپوست از پسماند جامد شهری با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی (مطالعه موردی: شهر رشت)

محمد شریفی<sup>۱\*</sup>، لیلا بهروزنیا<sup>۱</sup>، سید هاشم موسوی اول<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. گروه مهندسی صنایع غذایی، کشاورزی و زیست‌شناسی، دانشگاه ایالتی اوهایو، ایالات متحده آمریکا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۶/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۷/۳)

### چکیده

پسماند جامد شهری، به عنوان مواد دور ریز شناخته می‌شود و به طور روزافزون به این مواد در جهان اضافه می‌شود و سبب ایجاد مشکلات بیشتری از جمله آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محیط زیست می‌شود. در نتیجه، نیاز به مدیریت درست و پایدار زباله توسط مدیران بیشتر احساس می‌شود. بر این اساس، تولید کمپوست، یکی از روش‌هایی است که علاوه بر کاهش آلاینده‌ها، در کشاورزی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شهر رشت نیز از روش تولید کمپوست برای مدیریت ۴۰۰ تن زباله در روز بهره گرفته می‌شود. در فرایند تولید کمپوست، آلاینده‌هایی ایجاد می‌شود که باعث اثرگذاری در محیط زیست می‌گردد. در این مطالعه، برای ارزیابی چرخه زندگی، از نرم افزار سیمپرو، از روش CML-IA baseline / World 2000 استفاده شد و ۱۱ بخش اثر بررسی گردید و در نهایت نتایج نرمال‌سازی و وزن‌دهی شدند. واحد کارکردی در این مطالعه ۴۰۰ تن کمپوست تولیدی به ازای یک روز در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مقدار پتانسیل گرمایش جهانی برابر  $4/28 \times 10^3$  kgCO<sub>2</sub> eq می‌باشد و بیشترین سهم را در این بخش اثر، آلاینده‌های مستقیم و حمل و نقل دارند. همچنین نتایج پس از نرمال‌سازی نشان داد که تولید کمپوست از زباله بیشترین اثر را به ترتیب در سمیت آب‌های آزاد و سمیت انسان دارد.

**واژه‌های کلیدی:** پتانسیل گرمایش جهانی، گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌های زیست محیطی، کمپوست

### مقدمه

کاغذ، پلاستیک، مواد آلی و ... و اختلاط کامل این مواد در مدیریت شهرها بوده است. 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 برنامه واحدی برای تمام مناطق جغرافیایی به کار برده شود (Ayer et al., 2016). بر این اساس، نیاز به مدیریت پایدار زباله به ضرورت احساس می‌شود (Salehiyou et al., 2019). 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 et al., 2016). انجام فرایند کمپوست هم یک سری آلاینده‌هایی ایجاد می‌کند که باعث تاثیر بر محیط زیست می‌شود.

در همین راستا، ارزیابی چرخه‌ی زندگی<sup>۱</sup> (LCA) به عنوان روشی برای تعیین کمیت و تفسیر اثرات ناشی از جریان مواد و

مواد زائد جامد شهری<sup>۱</sup> (MSW)، معمولاً به عنوان مواد دور ریز شناخته شده که حاصل از مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی می‌باشد (Salehiyou et al., 2019; Salehiyou et al., 2020; Fodor & Klemeš, 2012). افزایش جمعیت جهان، تغییر الگوهای مصرف، توسعه اقتصادی، شهرنشینی و صنعتی شدن سبب افزایش میزان پسماند شهری می‌گردد که این مورد برای کشورهای در حال توسعه، بیشتر است (Salehiyou et al., 2013; Noor et al., 2020). امروزه تولید زیاد زباله، چالش‌های زیادی در محیط زیست ایجاد کرده است. حفظ سلامت عمومی و رهایی از آزارهای ناشی از این محصول ناخواسته، در گرو دور ساختن آن از محل سکونت و دفع مناسب زباله تولید شده است. میزان تولید پسماند شهری در ایران هم در دهه اخیر به سرعت در حال افزایش است. پسماند خانگی همواره مسئله‌ای پیچیده‌ای به علت دامنه گسترده مواد موجود در این پسماند (شیشه، فلز،

\* نویسنده مسئول: m.sharifi@ut.ac.ir

فنی و اجتماعی و زیست محیطی در انتخاب نوع مدیریت پسماند مورد نظر قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل معیارهای زیست محیطی در انواع مختلف مدیریت از رویکرد ارزیابی چرخه زندگی استفاده کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که مؤثرترین روش در کاهش بار زیست محیطی و در عین حال کاهش هزینه ها، تهیه کمپوست از بخش آلی آن می باشد.

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 هریک 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.

Abduli *et al.*, (2010) با استفاده از ارزیابی اثرات چرخه زندگی، برای مدیریت زباله در تهران دو سناریو که شامل ۱- سناریو محل دفن زباله و ۲- سناریو کمپوست به علاوه محل دفن زباله بود را مقایسه و ارزیابی کردند. برای ارزیابی اثرات چرخه زندگی در این مطالعه پنج 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 محل دفن زباله) اثرات زیست محیطی بیشتری در مقایسه سناریو محل دفن زباله داشت.

Allegrini *et al.*, (2015) به بررسی و ارزیابی اثرات زیست محیطی سامانه مدیریت سوزاندن پسماند جامد شهری با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی پرداختند و جنبه های زندگی آن را شناسایی کرده و پایه بهبود یافته را برای ارزیابی زیست محیطی سامانه های تبدیل زباله به انرژی فراهم آوردند. سامانه ذکر شده فقط برای سوزاندن در این مطالعه گنجانده شد و شش گروه اثر مورد ارزیابی قرار گرفت.

هدف از این تحقیق، برآورد و ارزیابی چرخه زندگی تولید کمپوست از زباله جامد شهری در کارخانه کمپوست واقع در شهر رشت در استان گیلان می باشد.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

رشت یکی از کلان شهرهای ایران، مرکز استان گیلان در شمال ایران است. شهر رشت در محدوده بین ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه و

انرژی به محیط (شامل انتشارهای به هوا، آب و زمین و همچنین مصرف انرژی و منابع دیگر) در کل چرخه زندگی محصول یا خدمات است (Ayer *et al.*, 2016). همچنین، ارزیابی چرخه زندگی با توجه به توانایی بالا در حل مسائل پیچیده و مبهم به عنوان یک ابزار توانمند در تصمیم سازی و ارزیابی اثرات زیست محیطی سامانه های مختلف مدیریت پسماند، در سال های اخیر مطرح و توسعه داده شده است (Gentil *et al.*, 2010; Liamsanguan & Gheewala, 2007). ارزیابی چرخه زندگی عبارت از گردآوری و ارزیابی ورودی ها، خروجی ها و تأثیرات زیست محیطی بالقوه در یک فرایند تولیدی در طول چرخه زندگی آن محصول می باشد (ISO, 2006). به عبارت دیگر در یک پروژه ارزیابی چرخه زندگی تمام فرایندهای تولید یک محصول از مرحله استخراج مواد اولیه تا دفع پسماندهای باقی مانده از مصرف آن محصول (گهواره تا گور) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن، جهت کاهش اثرات مخرب زیست محیطی مورد استفاده قرار می گیرد. بر این اساس تاکنون مطالعات زیادی برای مدیریت زباله شهری و ارزیابی چرخه زندگی در دنیا صورت گرفته است که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

Liamsanguan & Gheewala (2007) برای ارزیابی تأثیرات زیست محیطی زباله جامد شهری در شهر نیویورک، از روش ارزیابی چرخه زندگی و تجزیه و تحلیل چند معیاره استفاده کردند. سناریوهایی را در این راستا تعریف کردند و در نهایت بهترین سناریو را با حداقل تأثیر منفی زیست محیطی، انتخاب کردند.

در پژوهشی مقایسه اثرات زیست محیطی سناریوهای مختلف پردازش و دفع پسماند جامد شهری به کمک روش ارزیابی چرخه زندگی در شهرستان تهران انجام شد. نتایج نشان داد در یک سامانه یکپارچه مدیریت پسماند شهری هر چقدر نرخ تفکیک و بازیافت افزایش یابد، با توجه به افزایش مقدار مواد جهت بازیافت و بازاستفاده و همچنین جلوگیری از انتشارات ناشی از تولید مواد اولیه، میزان نشر آلاینده های زیست محیطی نیز به طور قابل توجهی کاهش پیدا خواهد کرد (Nasrollahi-Sarvagahaji *et al.*, 2016).

Bueno *et al.*, (2010) مدیریت و پردازش پسماند را با تأکید بر بازیافت انرژی و بازیافت مواد با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در صورتی که سهم بالایی از پسماند را مواد تفکیک شده تشکیل دهند، بخش اثر پتانسیل گرمایش به طور قابل توجهی بهبود خواهد یافت.

Skordilis (2004) نظام جامع مدیریت پسماند جامد در یک جزیره توریستی را ارائه کرد. در این مطالعه معیارهای مختلف مالی،

شهری استفاده شد. بنابراین در ابتدا نیاز به تعیین خصوصیات فیزیکی پسماند تولید شده و نهاده‌ها و کارهای انجام شده برای مدیریت پسماند می‌باشد تا مراحل مختلف روش ارزیابی چرخه زندگی بررسی و انجام شود. بر این اساس، میزان پسماند ورودی به کارخانه کمپوست برابر ۴۰۰ تن در روز می‌باشد و به این صورت در نظر گرفته می‌شود که همه زباله های ورودی به کارخانه از مرکز شهر رشت می‌باشد. پسماندهای تولید شده توسط کامیون‌ها و زباله‌کش های مخصوص به کارخانه کمپوست که در فاصله‌ی ۱۰ کیلومتری از شهر قرار گرفته، حمل گردید و سپس بعد از توزین، برای تفکیک و پردازش با دستگاه‌های مخصوص به سالن پردازش انتقال داده شد. بعد از تفکیک در کارخانه، مقدار مواد بازیافتی جدا شده برابر ۱/۵ درصد بود که این مواد به پیمانکاران بازیافتی به فروش می‌رسید. مواد بازیافتی جمع‌آوری شده به تفکیک نوع شامل مواد پلیمری، کاغذ و مقوا، شیشه، فلزات، نان خشک و ظروف پت بود. مقدار مواد آلی جدا شده نیز برابر ۶۴/۱ درصد از کل پسماند بود که این مواد برای تولید کمپوست به سالن تجزیه انتقال یافت. همچنین مواد باقی مانده و دور ریز خارج شده در طول فرایند که برابر ۵۰/۵ درصد از کل پسماند بود، با کامیون‌های موجود در شرکت به محل دفن زباله واقع در ۲۰ کیلومتری کارخانه کمپوست انتقال داده شد. مواد آلی منتقل شده به سالن تجزیه پس از فراوری و هوادهی با ماشین ویندرو و پس از ۶۰-۷۰ روز تجزیه برای تولید کود نهایی به سالن تولید کود انتقال یافت که مقدار کود کمپوست تولیدی در مرحله آخر برابر ۳ درصد از کل پسماندهای ورودی (یعنی ۱۲ تن کمپوست) بود. داده‌ها و اطلاعات نهاده‌های استفاده شده در این تحقیق، به ازای یک روز کار انجام شده به طور میانگین بود.

۴۵ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه ۱۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی واقع شده است و از سه منطقه شهری تشکیل شده که شامل مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ می‌گردد. مساحت آن حدود ۱۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد (Behrooznia *et al.*, 2018a,b).

رشت ۲۳ درصد از جمعیت استان را به خود اختصاص داده است و بر اساس سرشماری رسمی در سال ۱۳۹۵، جمعیت ساکن آن حدود ۷۴۰ هزار نفر بوده است. آب و هوای رشت معتدل و مرطوب است و میانگین سالانه بارندگی در این شهر ۱۳۵۹ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای هوا در رشت ۱۵/۹ درجه سلسیوس و میانگین حداکثر سالانه دمای هوا ۲۰/۶ و میانگین حداقل سالانه آن ۱۱/۳ درجه می‌باشد که دمای هوا در گرم‌ترین روزها به ۴۰ درجه سلسیوس و در سردترین روزها به ۱۸- درجه سلسیوس می‌رسد. تصویر منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است.

### روش جمع آوری اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز مانند اطلاعات سوخت، حمل و نقل، نیروی انسانی، مقدار تولید کمپوست و اطلاعات بخش زیست محیطی مربوط به فرآیندهای حمل و نقل، توزین، پردازش و دفع، با مصاحبه حضوری با کارشناسان و مسئولین امر در سازمان مدیریت پسماند رشت، کارشناسان بخش کارخانه کمپوست و از پیمانکاران مسئول جمع آوری و حمل و نقل پسماند و مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای جمع آوری گردید.

### روش تحقیق

در این تحقیق از روش ارزیابی چرخه زندگی برای محاسبه شاخص‌های زیست محیطی تولید کمپوست از پسماندهای جامد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر رشت در استان گیلان و ایران

از جمله حمل و نقل پسماند از مرکز شهر، پردازش و تولید کمپوست در کارخانه کمپوست و در نتیجه حمل و نقل پسماند برگشتی تا محل دفن زباله می‌باشد. همچنین، علاوه بر انتشار مستقیم از سامانه کمپوست، انتشار غیر مستقیم از فرایند تولید سوخت های دیزلی، روغن، برق و غیره بررسی خواهند شد.

### فهرست موجودی‌های چرخه زندگی

در این مرحله، نهاده‌های ورودی مانند سوخت دیزل و روغن مصرفی برای ماشین‌های موجود در کارخانه تولید کمپوست مانند لودر و دستگاه ویندرو، برق مصرفی برای اجزای فعال مانند تسمه نقاله‌ها، سرند، دستگاه ماکو و ... در کارخانه کمپوست و قسمت اداری کارخانه، آب مصرفی برای شستشوی ماشین‌آلات و قسمت اداری، مسافت طی شده توسط ماشین‌های حمل زباله، ماشین‌های فعال در کارخانه کمپوست و انتشار آلاینده‌ها در کل یا بخشی از دوره زندگی محصول که با توجه به مرزهای سامانه تعیین می‌شوند، در نظر گرفته شد. به طوری که مصرف سوخت دیزل در سامانه کمپوست به ازای هر تن پسماند ورودی و پردازش شده برابر ۱/۳۲ لیتر بود. مقدار پسماند منتقل شده از شهر به کارخانه کمپوست و حمل و نقل پسماند برگشتی از کارخانه کمپوست تا محل دفن زباله به ترتیب برابر ۴۰۰۰ و ۴۰۴۰ تن کیلومتر در روز بود. همچنین، انتشار گازهای خروجی از کامیون‌ها و سایر ماشین‌آلات در نظر گرفته شد و نوع آنها به ترتیب به صورت industrial machine, heavy, و Transport, freight, lorry 7.5-16 t unspecified از دیتابیس سیماپرو، اکوینونت ۲.۲ انتخاب شد. برای محاسبه میزان آلاینده‌گی احتراق سوخت دیزل، ضریب انتشارات مربوط به آن از نرم‌افزار سیماپرو استخراج گردید. در نتیجه میزان انتشارات با توجه به مقدار سوخت دیزل مصرفی و فاکتور انتشارات محاسبه شد.

### ارزیابی چرخه زندگی

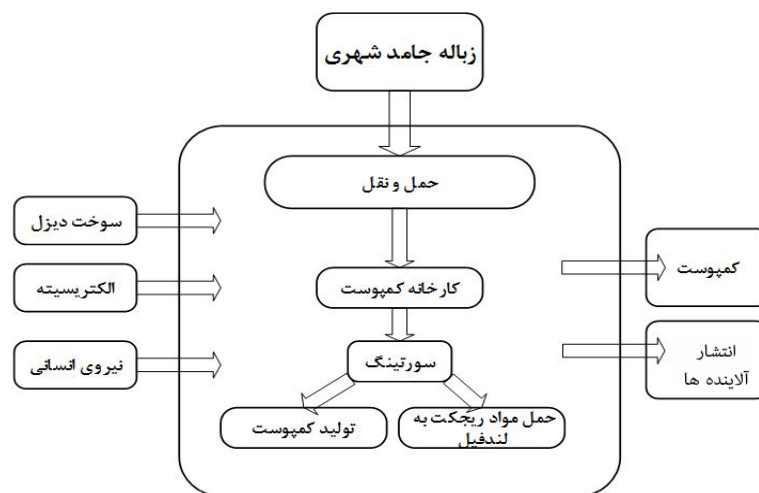
در این تحقیق، مطالعه ارزیابی چرخه زندگی بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ تهیه شد (Nasrollahi-Sarvaghaji *et al.*, 2016; Behrooznia *et al.*, 2018a). بر این اساس، ارزیابی چرخه زندگی دارای چهار مرحله الزامی، تعریف هدف و دامنه، فهرست موجودی‌های چرخه زندگی، ارزیابی اثرات چرخه زندگی و تفسیر نتایج بود.

### تعریف هدف و دامنه

دامنه‌ی کاربرد شامل مرز سامانه و سطح جزئیات در هر چرخه است که بسته به موضوع و هدف مورد نظر، وسعت ارزیابی چرخه‌ی زندگی، می‌تواند متفاوت باشد. در این مرحله چهارچوب کلی کار که شامل واحدهای کارکردی (جریان‌های مرجع) مرزهای سامانه، تخصیص منابع و انتخاب بخش‌های اثر است، مشخص گردید. یکی از اقدامات مهم و الزامی در مرحله تعیین هدف و دامنه، انتخاب مرز سامانه است. اهمیت موضوع زمانی مشخص می‌شود که بدانیم مشکلات زیست محیطی سامانه‌های کشاورزی حتی پس از برداشت محصول نهایی و در طول فرآیندهای مختلف پس از برداشت نیز می‌توانند ادامه داشته باشند (Khoshnevisan *et al.*, 2013). بر این اساس، هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد زیست محیطی سامانه تولید کمپوست می‌باشد.

واحد کارکردی در این مطالعه ۴۰۰ تن کمپوست تولیدی به ازای یک روز در نظر گرفته شده است. بدین معنی که تمام آلودگی‌های منتشر شده بر مبنای ورودی‌هایی که برای مدیریت ۴۰۰ تن پسماند با تولید کمپوست مورد استفاده قرار می‌گیرند، محاسبه و گزارش گردید.

در این مطالعه مرز سامانه (شکل ۲)، شامل تمام بخش‌ها



شکل ۲- مرز سامانه تولید کمپوست از زباله جامد شهری

### ارزیابی اثرات چرخه زندگی

این تحقیق در مورد هر کدام از این بخش‌ها به طور کامل توضیح داده شده‌است. همچنین در این مطالعه تفسیر نتایج شامل سه مرحله طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن دهی می‌باشد.

### نتایج و بحث

ترکیب فیزیکی پسماندهای جامد شهر رشت، طبق جدول (۱) شامل ۶۴/۱ درصد مواد آلی، ۸/۴ درصد مواد قابل بازیافت و ۲۷/۵ درصد شامل مواد خشک و دارای ارزش کم می‌باشد (Rasht Waste Management Organization, 2017).

### نتایج ارزیابی

چرخه زندگی به دست آمده از نرم افزار سیمپرو برای ۱۱ دسته اثرات برای سامانه کمپوست بر اساس ۴۰۰ تن پسماند، در جدول (۲) ارائه شده است. علاوه بر این، سهم نهادهای ورودی و خروجی بر اثرات زیست محیطی سامانه کمپوست در شکل (۳) نشان داده شده است.

جهت ارزیابی چرخه زندگی در این مطالعه، داده های محاسبه شده در مرحله تحلیل سیاهه، وارد نرم افزار سیمپرو، ورژن ۳.۰۴ شد. این نرم افزار یکی از محبوب‌ترین و پرکاربردترین نرم‌افزار ارزیابی چرخه زندگی می‌باشد (Mousazadeh *et al.*, 2011; Behrooznia *et al.*, 2018a). به منظور تفسیر نتایج در این مرحله، انتشار آلاینده‌های مهم در بخش‌های اثرگذار خلاصه و ارائه گردید. روش انتخاب شده برای ارزیابی اثرات در این مطالعه، CML-IA V3.04 / World 2000 می‌باشد و ۱۱ بخش اثر ارزیابی خواهند شد (Guinée *et al.*, 2001). بخش‌های اثر مورد استفاده در این مطالعه شامل تقلیل منابع آلی، تقلیل منابع غیر آلی (سوخت فسیلی)، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل اختناق دریاچه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی، نقصان لایه ازن، پتانسیل سمیت انسان‌ها، سمیت آب‌های سطحی، سمیت آب‌های آزاد، سمیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی می‌باشد که در ادامه

جدول ۱- ترکیبات فیزیکی پسماندهای جامد شهر رشت

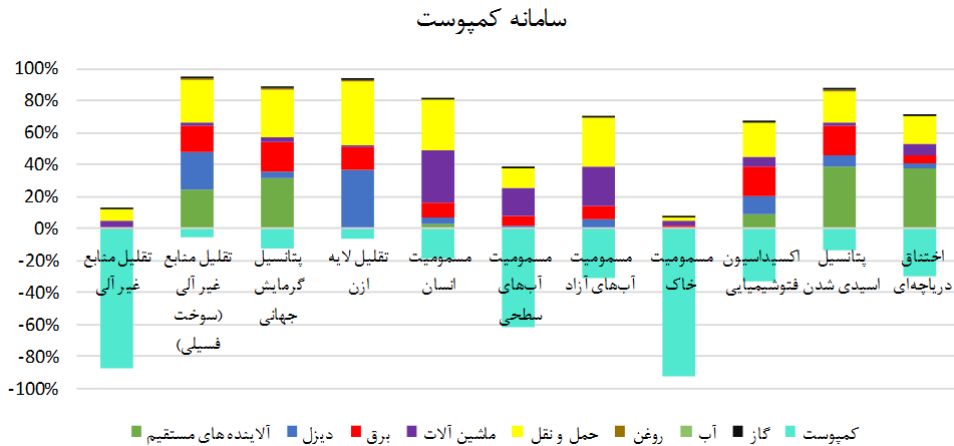
خصوصیات فیزیکی پسماند	مواد آلی	مواد فلزی	زباله های بهداشتی	پت	پارچه	پلاستیک‌های سخت	چوب و برگ	کاغذ و مقوا	پلاستیک های نرم	شیشه	سایر
میزان زباله (%)	۶۴/۱	۱/۲	۶/۳	۱/۳	۲/۲	۳/۱	۰/۶	۷/۶	۹/۷	۲/۸	۱/۱

جدول ۲- شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید کمپوست به ازاء ۴۰۰ تن مواد زائد جامد شهری در روز

مقدار کمپوست	واحد	گروه‌های تاثیر
-۰/۰۶	kg Sb eq.	تقلیل منابع آلی
۸۹۲۰۹/۶۴	MJ	تقلیل منابع غیر آلی (سوخت فسیلی)
۴۲۸۰/۹۵	kg CO <sub>2</sub> eq. <sup>a</sup>	پتانسیل گرمایش جهانی
۰/۰۰۱	kg CFC-11 eq.	نقصان لایه ازن
۱۰۲۰/۳۸	kg 1.4-DCB eq. <sup>b</sup>	سمیت انسان
-۳۰۹/۴۲	kg 1.4-DCB eq. <sup>b</sup>	سمیت آب‌های سطحی
۷۴۹۱۹۷/۵۵	kg 1.4-DCB eq. <sup>b</sup>	سمیت آب‌های آزاد
-۸۳/۸۴	kg 1.4-DCB eq. <sup>b</sup>	سمیت خاک
۰/۴۶	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	اکسیداسیون فتوشیمیایی
۲۵/۱۴	kg SO <sub>2</sub> eq.	پتانسیل اسیدی شدن
۳/۶	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq.	اختناق دریاچه‌ای

a. Considering 100 years

b. DCB= dichlorobenzene



شکل ۳- سهم هر یک از منابع در شاخص‌های زیست محیطی

این بخش اثر، آلاینده‌های مستقیم و حمل و نقل دارند و سومین سهم متعلق به برق است.

زیرسامانه پردازش و دفع پسماند از قبیل محل دفع زباله، پسماندسوزی، کمپوست همراه محل دفن زباله و کمپوست همراه پسماندسوزی در کشور چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که بخش اثر پتانسیل گرمایش جهانی به شدت از میزان پسماند ورودی به زیرسامانه محل دفن زباله و بازیافت الکتریسیته از پسماندهای تولیدی تاثیر می‌پذیرد.

#### نقصان لایه ازن

نقصان لایه ازن باعث رسیدن بخش بزرگتری از اشعه فرا بنفش به سطح زمین می‌شوند که اثرات بالقوه مضر بر سلامت انسان، سلامت حیوانات، زیست بوم‌های زمینی و آبی، چرخه‌های بیوشیمیایی و مواد می‌گذارد. مقدار این بخش اثر با توجه به جدول (۲)، برابر  $1.0 \times 10^{-1} \text{ kg CFC-11 eq.}$  می‌باشد. مهم‌ترین عامل تاثیر گذار بر این بخش اثر هم به ترتیب حمل و نقل، دیزل و مصرف برق می‌باشد. Bovea and Powell, 2005، به منظور مشخص کردن نقش ایستگاه‌های انتقال در بخش جمع آوری و انتقال پسماند شهر در کاهش بار زیست محیطی بخش حمل و نقل، رویکرد ارزیابی چرخه زندگی را به کار بردند. در این پژوهش دو سناریو جهت حمل و نقل در نظر گرفته شد. سناریوی اول حمل بدون ایستگاه انتقال و سناریوی دوم حمل به کمک ایستگاه انتقال بود. مقایسه نتایج ارزیابی زندگی نشان داد که  $16/8\%$  درصد در کاهش بار، به کارگیری ۳ ایستگاه انتقال زیست محیطی نقش دارد.

#### تقلیل منابع آلی و غیر آلی فسیلی

این بخش‌های اثر به ترتیب میزان مصرف منابع آلی (منابع معدنی) و غیر آلی فسیلی را در طول چرخه زندگی محصول نشان می‌دهند. منابع غیر آلی به بخشی از منابع طبیعی (شامل منابع

#### شاخص‌های مربوط به سمیت

با توجه به جدول (۲) بخش اثر سمیت آب‌های آزاد که تاثیر مواد سمی موجود در طبیعت بر کیفیت آب‌های آزاد را نشان می‌دهد، در مدیریت زباله با استفاده از کمپوست سازی، بیشتر از بقیه بخش‌های اثر تحت تاثیر قرار گرفته است و مقدار آن برابر  $1.4\text{-DCB eq. } 7/5 \times 10^5$  بدست آمد. بخش اثر سمیت انسان که تاثیر مواد سمی موجود در طبیعت بر سلامتی انسان‌ها را بیان می‌کند، دومین بخش تأثیرپذیر در بین شاخص‌های مربوط به سمیت است و مقدار آن برابر  $1/02 \times 10^3 \text{ kg 1.4-DCB eq.}$  می‌باشد. مقادیر سمیت آب‌های سطحی که تاثیر مواد سمی موجود در طبیعت بر کیفیت آب‌های سطحی و سمیت خاک، که تاثیر مواد سمی حاصل از تولید و فرآوری محصول بر خاک را بیان می‌کنند، به ترتیب برابر  $309/42$  - و  $83/84 \text{ kg 1.4-DCB eq.}$  می‌باشند و مقدارشان منفی شده است. این نتایج نشانگر تخفیف اثر انتشارات گازهای گلخانه‌ای بر محیط زیست با تولید کود کمپوست است. با توجه به شکل (۳) تاثیرگذارترین نهاده در شاخص‌های سمیت، حمل و نقل و ماشین‌آلات می‌باشند. طبق بررسی‌های انجام شده استفاده از ماشین‌ها فرسوده حمل و نقل می‌تواند باعث آلودگی زیست محیطی در این شاخص باشند که به کارگیری ماشین‌های حمل و نقل مناسب می‌تواند کمک شایانی به کاهش بارهای زیست محیطی کند.

#### پتانسیل گرمایش جهانی

با توجه به جدول (۲)، مقدار این اثر برابر  $4/28 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$  در نرم افزار سیمپرو با اثر ۱۰۰ ساله محاسبه شده است که یکی از مهمترین بخش اثر تأثیرپذیر در بین بخش‌های مختلف است. پتانسیل گرمایش جهانی، سهم گازهای گلخانه‌ای منتشر شده از سامانه‌های تولیدی که سبب ایجاد آلودگی زیست محیطی می‌شوند را بیان می‌کند. با توجه به شکل (۳) بیشترین سهم را در

پس از انجام مرحله طبقه‌بندی نمی‌توان به اهمیت مقادیر به‌دست آمده پی برد، لذا در این مرحله سهم اثرات زیست محیطی سامانه تولید محصول مورد مطالعه در کل اثرات زیست محیطی یک منطقه تعیین می‌شود (Nasrollahi-Sarvagahaji, 2016). به‌عبارت‌دیگر، در مرحله نرمال‌سازی نتایج مرحله قبل در گستره یک منطقه تقسیم می‌شود. نتایج به‌دست آمده در مرحله قبل، یعنی شاخص طبقه‌بندی هر اثر بر یک ضریب نرمال‌سازی تقسیم می‌شود تا هم به اهمیت داده‌ای مرحله قبل پی برده و هم داده‌ها بدون واحد شده و برای مرحله وزن‌دهی آماده گردند (Mousazadeh et al., 2011). نتایج نرمال‌سازی در جدول (۳) و شکل (۴)، با استفاده از نرم افزار سیمپرو روش CML-IA baseline V3.04 / World 2000 به ازای ۴۰۰ تن MSW در روز ارائه شده است.

نتایج پس از نرمال‌سازی نشان داد که تأثیر پذیرترین شاخص، سمیت آب‌های آزاد با مقدار  $3/9 \times 10^{-9}$  می‌باشد که عمده‌ترین عامل افزایش این بخش اثر می‌تواند ناشی از انتشار قابل توجه هیدروژن فلورید (انتشار به هوا)، برلیم، نیکل، باریم، کبالت، وانادیم، سلنیم، مس و روی (انتشار به آب) باشد (Nasrollahi-Sarvagahaji et al., 2016). همچنین تأثیرگذارترین عامل در این شاخص حمل و نقل می‌باشد.

جدول ۳- نتایج نرمال شده شاخص‌های زیست‌محیطی به ازای ۴۰۰ تن

مواد زائد جامد شهری در روز

سامانه کمپوست	گروه‌های تأثیر
$-3 \times 10^{-10}$	تقلیل منابع غیر آلی
$2/3 \times 10^{-10}$	تقلیل منابع غیر آلی (سوخت فسیلی)
$1 \times 10^{-10}$	پتانسیل گرمایش جهانی
$3 \times 10^{-12}$	نقصان لایه ازن
$4 \times 10^{-10}$	سمیت انسان
$-1/3 \times 10^{-10}$	سمیت آب‌های سطحی
$3/9 \times 10^{-9}$	سمیت آب‌های آزاد
$-7/7 \times 10^{-11}$	سمیت خاک
$1/2 \times 10^{-11}$	اکسیداسیون فتوشیمیایی
$1/1 \times 10^{-10}$	پتانسیل اسیدی شدن
$2/3 \times 10^{-11}$	اختناق دریاچه‌ای

وزن‌دهی

این مرحله نیز در ارزیابی چرخه زندگی اختیاری می‌باشد. در این بخش به هر اثر زیست محیطی بر اساس کارایی که برای آسیب زدن به محیط‌زیست دارند یک وزن داده می‌شود و هر گروه تأثیر که دارای کارایی آسیب بیشتری باشد مقدار بیشتری به آن اختصاص می‌یابد (Mirhaji et al., 2014).

نتایج وزن‌دهی در جدول (۴) و شکل (۵)، به‌دست آمده از

انرژی مانند نفت خام، انرژی باد و غیره) اطلاق می‌گردد که موجودات و منابع زنده مانند درختان و جنگل‌ها را در بر نمی‌گیرد. با توجه به جدول (۲)، مقادیر این بخش‌های اثر به ترتیب برابر  $8/9 \times 10^4$  MJ و  $-0/06$  kg Sb eq. (۳)، در بخش اثر تقلیل منابع غیر آلی، بیشترین سهم را در اثرگذاری در این بخش، حمل‌ونقل و ماشین‌آلات دارند و کمپوست تولیدی اثر منفی بر منابع غیرآلی دارد، بدین معنی که تولید کمپوست باعث تخفیف اثر انتشارات گازهای گلخانه‌ای بر محیط زیست می‌باشد و همچنین در بخش اثر تقلیل منابع غیر آلی فسیلی، اثرگذارترین ورودی‌ها به صورت نزولی، متعلق به حمل‌ونقل، آلاینده‌های مستقیم، دیزل و برق می‌باشد.

پتانسیل اسیدی شدن

اسیدی شدن اثرات گسترده‌ای در خاک، آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی، ارگانسیم‌ها و مواد دارد. اسیدیته سامانه‌های آب و خاک می‌تواند باران اسیدی را ایجاد کند. باران اسیدی وابسته به انتشار دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) و اکسید نیتروژن ( $NO_x$ ) در جو است و باعث نابودی جنگل‌ها و اسیدی شدن خاک می‌گردد و به ساختمان خاک آسیب جدی می‌رساند. اثر این رده در کیلوگرم  $SO_2$  معادل بیان می‌شود (Nasrollahi-Sarvagahaji, 2016). با توجه به جدول (۲)، مقدار این بخش اثر برابر  $kg SO_2$  ۲۵/۱۴ eq. می‌باشد و بیشترین سهم را برای این اثر، آلاینده‌های مستقیم دارد.

اختناق دریاچه‌ای

این بخش اثر، واکنش زیست بوم به افزایش مواد طبیعی یا مصنوعی مانند نیترات و فسفر که به واسطه کودهای شیمیایی و یا پساب فاضلاب‌ها به محیط اضافه می‌شود را بیان می‌کند. با توجه به جدول (۲)، مقدار این بخش اثر برابر  $3/6$  kg  $PO_4^{3-}$  eq. می‌باشد. مهم‌ترین منابع تأثیرگذار در اختناق دریاچه‌ای با توجه به شکل (۳)، آلاینده‌های مستقیم و حمل‌ونقل هستند.

اکسیداسیون فتوشیمیایی

اکسیداسیون فتوشیمیایی دومین عامل مهم در آلودگی هوا است و شکل‌گیری واکنش ترکیبات شیمیایی مانند ازن توسط نور خورشید روی آلودگی‌های اولیه هوا را بیان می‌کند. با توجه به جدول (۲)، مقدار این بخش اثر برابر  $0/46$  kg  $C_2H_4$  eq. می‌باشد. مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در این بخش اثر، به ترتیب حمل‌ونقل و مصرف برق می‌باشد.

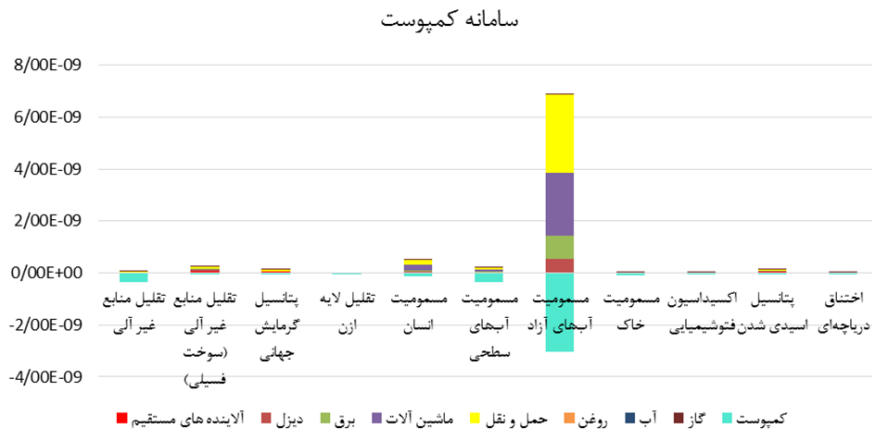
نرمال‌سازی نتایج ارزیابی چرخه زندگی

این مرحله در ارزیابی چرخه زندگی اختیاری می‌باشد، از آنجا که



داد، بیشترین وزن را شاخص سمیت آب‌های آزاد با مقدار npt ۱/۲۸ به خود اختصاص داده است.

نرم افزار سیماپرو روش CML-IA baseline V3.04 / World ۲۰۰۰ به ازای ۴۰۰ تن MSW در روز ارائه شده است. نتایج نشان

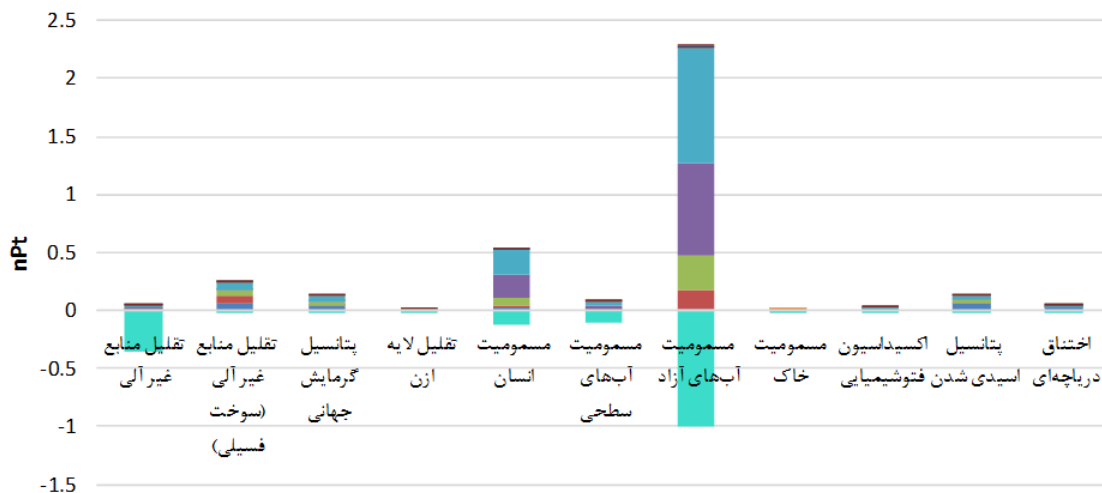


شکل ۴- سهم هر یک از منابع در بخش‌های اثر پس از نرمال‌سازی

جدول ۴- نتایج ارزیابی چرخه زندگی وزن‌دهی شده به ازای ۴۰۰ تن مواد زائد جامد شهری در روز

گروه‌های تأثیر	واحد	سامانه کمپوست
تقلیل منابع غیر آلی	nPt*	-۰/۳۰
تقلیل منابع غیر آلی (سوخت فسیلی)	nPt	۰/۲۳
پتانسیل گرمایش جهانی	nPt	۰/۱۰
تقلیل لایه ازن	nPt	$۲/۹۹ \times ۱۰^{-۲}$
سمیت انسان	nPt	۰/۴۰
سمیت آب‌های سطحی	nPt	-۰/۰۴
سمیت آب‌های آزاد	nPt	۱/۲۸
سمیت خاک	nPt	-۰/۰۳
اکسیداسیون فتوشیمیایی	nPt	۰/۰۱
پتانسیل اسیدی شدن	nPt	۰/۱۱
اختناق دریاچه‌ای	nPt	۰/۰۲

\* واحد میزان آسیب زیست محیطی



شکل ۵- سهم هر یک از منابع در بخش‌های اثر پس از وزن‌دهی

یافته به محیط زیست، مصرف دیزل و برق بودند. در نهایت، نتایج پس از نرمال سازی نشان داد که تولید کمپوست از زباله بیشترین اثر را به ترتیب در سمیت آب های آزاد و سمیت انسان دارد که مقادیر آنها به ترتیب برابر  $۳/۹ \times ۱۰^{-۹}$  و  $۴ \times ۱۰^{-۱۰}$  محاسبه شد. بر طبق این پژوهش، تولید کمپوست در رشت، باعث کاهش آلاینده های ایجاد شده نسبت به دفن زباله در محل دفن زباله می شود و با تولید کمپوست، ضررهای ایجاد شده در محیط زیست در اثر انتشارات وارد شده به آن، تا حدود زیادی جبران می شود. از آنجایی که این تحقیق جنبه های زیست محیطی را بررسی می کند و هزینه های به کارگیری فناوری های مختلف را برآورد نمی کند، توصیه می شود در مطالعه های جامع و جداگانه با موافقت سازمان مدیریت پسماند، بهترین فناوری از دید تلفیق زیست محیطی و اقتصادی معرفی گردد.

## 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.
- Allegrini, E., Vadenbo, C., Boldrin, A., Astrup, T.F. (2015). Life cycle assessment of resource recovery from municipal solid waste incineration bottom ash. *J. Environ. Manag.* 151, 132-143.
- Ayer, N., Martin, S., Dwyer, R. L., Gace, L., & Laurin, L. (2016). Environmental performance of copper-alloy Net-pens: Life cycle assessment of Atlantic salmon grow-out in copper-alloy and nylon net-pens. *Aquaculture*, 453, 93-103.
- Behrooznia, L., Sharifi, M., Alimardani, R., & Mousavi-Avval, S.H. (2018a). Sustainability analysis of landfilling and composting-landfilling for municipal solid waste management in the north of Iran. *Journal of cleaner production*. 203, 1028-1038.
- Behrooznia, L., Sharifi, M., Mousavi-Avval, S.H. (2018b). Survey of Air Emissions from municipal Solid Waste Landfilling in Saravan, Rasht. *7th International Conference in Emerging Trends in Energy Conservation, Tehran*, February 25-26, 2018.
- Bovea, M.D., & Powell, J.C. (2005). Alternative scenario to meet the demands of sustainable waste management. *Environmental Management*, 79, 115-132.7.
- Bueno, G., Latasa, I., Lozano, P. (2016). Comparative LCA of two approaches with different emphasis on energy or material recovery for a municipal solid waste management system in Gipuzkoa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 449-59
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., and Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges, *Bioresour. Technol.*, 248, 57–67.
- Fodor, Z., Klemeš, J.J. (2012). Waste as alternative fuel – minimising emissions and effluents by advanced design. *Process Saf Environ Prot.* 90(3), 263–84.
- Gentil, E.C., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnveden, G., Eriksson, O., Thorneloe, S., Kaplan, P.O., Barlaz, M., Muller, O., Matsui, E., Ii, R., Christensen, T.H. (2010). Models for waste life cycle assessment: review of technical assumptions. *Waste Manage*, 30, 2636– 48.
- Guinée. J. B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. A. J., Lindeijer, E., Roorda, A. A. H., Weidema, B. P. (2001). Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, 704 p.
- Hong, J., Li, X., Zhaojie, C. (2010). Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. *Waste Management*, 30(11):2362-69.
- ISO. (2006). ISO 14040 - Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.
- 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. (In Farsi)
- Khoshevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks.

بر طبق این پژوهش، نتایج ارزیابی زیست محیطی بدست آمده از کارخانه کمپوست شهر رشت نشان داد که مدیریت پسماند جامد شهری با استفاده از روش کمپوست سازی می تواند از آلاینده های که با دفع پسماند به روش دفن ایجاد می شود، تا حدودی زیادی جلوگیری کند. (Cerda et al. (2017). مطالعه ای، استفاده از روش کمپوست سازی برای مدیریت پسماند غذایی را روش مناسب در بهبود زیست خاک بیان کردند.

## نتیجه گیری

در این مطالعه که با هدف ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید کمپوست از پسماند جامد شهری با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی در شهر رشت انجام پذیرفت، نتایج نشان داد تاثیر گذارترین عامل در اکثر دسته های اثر، حمل و نقل، آلاینده های مستقیم انتشار

- Energy*, 52, 333-338.
- Liamsanguan, C., Gheewala, S. (2007). Environmental assessment of energy production from municipal solid waste incineration. *Int J Life Cycle Assess.* 12, 529– 536.
- Mirhaji, H., Khojastepour, M., Hossein-Abbaspourfard, M. (2014). Evaluation of environmental Impacts of wheat production in Marvdasht-Iran. Publishing at Journal of Natural Environment, *Iranian Journal of Natural Resources*, 66 (2), 223-232. (In Farsi)
- Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., Sharifi, A. (2011). Life-cycle assessment of a Solar Assist Plug-in Hybrid electric Tractor (SAPHT) in comparison with a conventional tractor. *Energy Conversion and Management*, 52(3), 1700-10.
- 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.
- Nasrollahi-Sarvaghaji, S., Alimardani, R., Sharifi, M., Taghizadeh Yazdi, M. (2016). Comparison of the Environmental Impacts of Different Municipal Solid Waste Treatments using Life Cycle Assessment (LCA) (Case Study: Tehran). *Ijhe*, 9(2) :273-288.
- Noor, Z.Z., Yusuf, RO., Abba, A.H., Abu-Hassan, M.A., Mohd-Din, M.F. (2013). An overview for energy recovery from municipal solid wastes (MSW) in Malaysia scenario. *Renew Sustain Energy Rev.* 20, 378–84
- Salehiyoun, A. R., Di Maria, F., Sharifi, M., Norouzi, O., Zilouei, H., & Aghbashlo, M. (2020). Anaerobic co-digestion of sewage sludge and slaughterhouse waste in existing wastewater digesters. *Renewable Energy*, 145, 2503-2509.
- Salehiyoun, A. R., Sharifi, M., Di Maria, F., Zilouei, H., & Aghbashlo, M. (2019). Effect of substituting organic fraction of municipal solid waste with fruit and vegetable wastes on anaerobic digestion. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(6), 1321-1331.
- Skordilis, A. (2004). Modeling of integrated solid waste management systems in an island. *Resources, Conservation and Recycling*, 41, 243-254, 6.
- Statistics of waste management organization of Rasht, Rasht Waste Management Organization, Rasht, Iran. (2017). Website: <http://www.rasht-bazyaft.ir>
- 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).