

# بکارگیری فن ارزیابی چرخه حیات (LCA) در مدیریت پسماندهای جامد شهری کلانشهر ارومیه

رضا خیری<sup>۱</sup>، رضا عبدی<sup>۱</sup>، محمد علی میسمی<sup>\*۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

\* مسئول مکاتبه E-mail: maysami\_ma@yahoo.com

## چکیده

در چند دهه اخیر افزایش روز افزون جمعیت و به دنبال آن افزایش چند برابری تولید و استفاده از منابع سبب گردیده است پسماندهای جامد شهری تولید شده به صورت چشم‌گیری افزایش یابند. به منظور کنترل آلاینده‌گی زیست‌محیطی و مدیریت این پسماندها، استفاده از روش‌ها و فنون جدید ضروری است. ارزیابی چرخه حیات (LCA) یکی از این فنون جدید است که در پژوهش حاضر برای انتخاب سناریو مناسب به منظور مدیریت پسماندهای جامد شهری کلانشهر ارومیه بکار گرفته شده است. چهار سناریوی دفن بهداشتی، سوزاندن، بازیافت و کمپوست به عنوان راه کار ارائه شده‌اند. داده‌های بدست آمده توسط نرم افزار سیمپرو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. هر سناریو از نظر ده شاخص رده اثر تقلیل منابع غیرآلی، تقلیل لایه ازون، گرمایش جهانی، سمیت برای انسان، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک، اسیدی شدن، اکسیداسیون فتوشیمیایی و پتانسیل اختناق دریاچه‌ای که مهمترین شاخص‌های اثر گذار زیست‌محیطی هستند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل حاکی از آن بودند که سناریو دفن بهداشتی در هشت شاخص رده اثر زیست‌محیطی بیشترین بار آلاینده‌گی را دارد. سناریو سوزاندن نیز در دو شاخص رده اثر بیشترین آلاینده‌گی را نسبت به سناریوهای دیگر داشته و بار آلاینده‌گی بیشتری را نشان داده است. سناریو بازیافت در دو شاخص از سایر سناریوها آلاینده‌گی کمتری داشته و به عنوان بهترین سناریو شناخته شده است. سناریو کمپوست در هفت شاخص میزان آلاینده‌گی زیست‌محیطی کمتری را نسبت به سه سناریو دیگر دارا بوده و همچنین در رده اثر تقلیل لایه ازون کمترین میزان بار زیست‌محیطی را در میان تمامی شاخص‌های اثر بررسی شده داشته است. همچنین شاخص نهایی زیست‌محیطی به منظور مقایسه سناریوهای ارائه شده تجزیه و تحلیل شد و مطابق آن سناریو دفن با ۸۴٪، سوزاندن با ۴۸٪، بازیافت با ۳۱٪ و کمپوست با ۲۸٪ به ترتیب بیشترین و کمترین بار آلاینده‌گی زیست‌محیطی را شامل شده‌اند. به عنوان یک پیشنهاد نهایی، با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، سناریو کمپوست به همراه بازیافت به عنوان روش مناسب جهت مدیریت پسماندهای جامد شهری در کلانشهر ارومیه شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت پسماند، پسماندهای آلی، ارزیابی چرخه حیات، پسماندهای جامد شهری، کمپوست

## How to cite:

Kheyri R, Abdi R, Maysami MA, H. 2023. Evaluation of Utilization of Life Cycle Assessment (LCA) for Municipal Solid Waste Management in Urmia Metropolis. *Journal of Agricultural Mechanization* 8 (3): 45-56.

# Utilization of Life Cycle Assessment (LCA) for Municipal Solid Waste Management in Urmia Metropolis

Reza Kheyri<sup>1</sup>, Reza Abdi<sup>1</sup>, Mohammad Ali Maysami<sup>1\*</sup>

Accepted: June 21, 2023

Received: December 16, 2023

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

\*Corresponding author: E-mail: maysami\_ma@yahoo.com

## Abstract

In the last few decades, increasing in the world population and subsequently, rising in production and utilization of resources have caused Municipal Solid Waste (MSW) production to go up significantly day by day. Therefore, it is necessary to use new methods and techniques in order to evaluate the environmental pollution and manage this waste. Life Cycle Assessment (LCA) is one of the new techniques that has been used in this study to evaluate and compare the scenarios for managing the MSW in Urmia metropolis. Four scenarios of composting, incineration, sanitary landfilling and recycling were presented as solutions. The obtained data has been analyzed by Simapro software. Each scenario was analyzed in terms of ten environmental indicators that include abiotic depletion potential, ozone layer depletion potential, global warming potential, human toxicity potential, fresh water toxicity potential, marine toxicity potential, terrestrial toxicity potential, acidification, photochemical oxidation and eutrophication indicators. The results indicated the sanitary landfilling scenario had the highest pollution in eight environmental indicators. The incineration scenario was the most pollutant scenario for the ozone layer depletion potential and global warming potential indicators. Recycling was shown as the best scenario, which has the lowest effects on global warming potential and human toxicity potential indicators. Composting was recognized with the lowest footprint on seven environmental indicators against the other scenarios. In addition, this scenario has the least environmental pollution about the ozone layer depletion potential among all the indicators. Furthermore, the final environmental indicator was analyzed to compare the presented scenarios and regarding that, sanitary landfilling with 84%, incineration with 48%, recycling with 31% and composting with 28% respectively, had the highest and lowest environmental burden. Overall, according to the results of this research, the composting scenario together with recycling was known as a suitable method for MSW management.

**Keywords:** Waste management, Organic waste, LCA, MSW, Composting

(<sup>1</sup>OECD) پسماند عبارت است از موادی اجتناب‌ناپذیر ناشی از فعالیت‌های انسانی، که در حال حاضر و آینده نزدیک نیازی به آن نیست و پردازش یا دفع آن ضروری است. برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP)<sup>2</sup> پسماند را اینگونه تعریف می‌کند: اشیائی که مالکانشان آنها را نمی‌خواهند و یا نیازی به آنها ندارند و یا از آنها استفاده نمی‌کنند و نیاز به پردازش و دفع دارند (UNEP, 2010). مواد زائد تولید شده به طور کلی در دو دسته عمده با توجه با ویژگی غالب آنها دسته بندی می‌شوند، مایع و جامد، به اشکال مایع این مواد پساب گفته می‌شود که البته اصطلاح مرسوم بیشتر فاضلاب است که این دسته با توجه به منبع تولید آن به چندین دسته مختلف با ویژگی‌های متفاوت تقسیم می‌شود. اما دسته بعدی که آن هم در حجم و اشکال بسیار متنوعی تولید می‌گردد پسماند نام دارد و اصطلاح مرسوم در رابطه با آن پسماند جامد است که آن نیز بسته به منبع و فرایند تولید طیف وسیعی را شامل می‌گردد (Erses Yay, 2015). با توجه به منبع و فرایندهای تولید، پسماندها انواع مختلفی را شامل می‌شوند که از عمده‌ترین آنها پسماندهای جامد شهری هستند. در مطالعه حاضر تمرکز بر روی

## ۱- مقدمه

به دنبال فعالیت‌های انسان در زمینه‌های مختلف همواره موادی تولید می‌شوند که از نظر تولید کننده دیگر قابل مصرف نبوده یا حداقل عدم آگاهی از ماهیت آنها منجر به چنین نگرشی می‌گردد. این در حالی است که تقریباً تمامی مواد آلی و غیر آلی مصرف شده قابلیت برگشت-پذیری به اشکال مشابه شکل اولیه را دارند، هر چند که ممکن است در فرایند برگشت‌پذیری از کیفیت آنها کاسته شود و یا اینکه نتوان آنها را به همان شکل اولیه مصرف نمود. عمده‌ترین ماده تولید شده از فعالیت‌های انسانی یعنی پسماند، یک ماده دور ریختنی و بی ارزش نیست و فقط عدم آگاهی از روش‌ها و فرایندهای موجود برای بازگرداندن آن به چرخه مصرف منجر به رواج روش‌های کاملاً مبتنی بر دفع این ماده شده است. در صورتی که بتوان قبل از اجرای روش‌های مدیریتی به چپستی و نتیجه روش‌ها تا حد زیادی پی برد، در این حالت به احتمال زیاد نگرش‌ها به این مواد بسیار متفاوت‌تر از قبل خواهد بود. براساس تعریف سازمان همکاری اقتصادی و توسعه

<sup>1</sup> Organization for Economic Co-operation Development

<sup>2</sup> United Nations Environment Program

پسماندهای آلی بوده است، این پسماندها به دلیل ماهیت فسادپذیری آنها بخش عمده پسماندهای کشاورزی و شهری را شامل می‌شوند. قابلیت فساد این پسماندها سبب شده است تا مدیریت و کنترل آلاینده‌های آنها چندین برابر نسبت به انواع دیگر مشکل باشد. دفع پسماندهای آلی در محل‌های دفن زباله، مسائل زیست‌محیطی مختلفی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای و شیرابه را ایجاد می‌کند که آگاهی از این موضوع منجر به انحراف آنها از محل دفن زباله به مراکز کمپوست-سازی شده است (Shukor et al., 2018). یکی از منابعی که بخش عمده‌ای از آن را پسماندهای آلی تشکیل می‌دهند و همچنین مدیریت و کنترل اثرات مخرب آن بر محیط زیست و زندگی انسان‌ها تبدیل به یک چالش جدی گردیده است، پسماندهای جامد شهری ( $MSW^1$ ) است. رشد روز افزون جمعیت جوامع شهری و به دنبال آن تغییر سبک زندگی انسان‌ها به سمت صنعتی شدن و بسیاری از عوامل دیگر سبب شده‌اند که میزان تولید پسماندهای شهری در دهه‌های گذشته رشد بسیار چشم‌گیری داشته باشد. با افزایش تولید این مواد، موارد مربوط به اثرات مخرب آنها نیز افزایش می‌یابد که این موضوع در حال حاضر بارزترین نقطه اشتراک بین همه مرتبطین با بحث مدیریت این مواد است (Hassanvand et al., 2008).

تلاش‌ها همواره بر این بوده‌اند تا با بهره‌گیری از روش‌ها و فنون جدید به بهترین شکل ممکن پسماندها را مدیریت کرده و بار آلاینده‌های آنها را به حداقل‌ترین میزان تقلیل دهند. اما در این بین نگرانی اصلی عدم حصول نتیجه مطلوب و حتی امکان رخ دادن نتیجه عکس بوده است. بدین منظور باید از فنونی استفاده شود تا قبل از اقدام به طرح-ریزی و اجرای طرح، از حدود اطمینان آن تا حد زیادی مطمئن شد. برای این کار باید از فنی استفاده شود که با تحلیل و ارزیابی نمونه کوچکی از پسماند مورد نظر و با توجه به ماهیت بخش‌های مختلف آن، سناریوهای مختلفی را ارائه نموده و همچنین میزان اثرگذاری هر یک از آنها را به صورت مقایسه‌ای با یکدیگر نشان دهد. ارزیابی چرخه حیات (LCA) فنی است که به طور گسترده برای تجزیه و تحلیل سیستم مدیریت  $MSW$  استفاده شده است (Iqbal et al., 2020).

بنا به تعریف ایزو، LCA عبارت است از: گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و اثرات زیست‌محیطی بالقوه در یک فرایند تولیدی در طول چرخه زندگی آن محصول (ISO 14044, 2006). با کمی کردن اثرات زیست‌محیطی، ابزار ارزیابی چرخه حیات ( $LCA^2$ ) می‌تواند به نیازهای موجود پاسخ دهد. این ابزار عملکرد زیست‌محیطی سیستم مدیریت پسماند جامد شهری ( $MSWM^3$ ) را ارزیابی کرده و به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب بهترین استراتژی مدیریت با حداقل اثرات بر محیط زیست کمک می‌کند (Khandelwal et al., 2019). ارزیابی چرخه حیات در شهر سوروکاباد<sup>4</sup> در کشور برزیل برای توسعه یک روش یکپارچه مدیریت پسماندهای جامد شهری به کار گرفته شده است.

<sup>1</sup> Municipal solid waste

<sup>2</sup> Life cycle assessment

<sup>3</sup> Municipal solid waste management

<sup>4</sup> Sorocaba

نتایج بدست آمده در جهت مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی بکار گرفته شوند. استفاده از فن مورد نظر در مکان مورد مطالعه با توجه به مشکلات موجود در مسیر مدیریت پسماندهای جامد شهری به منظور ارائه راه‌کارهای از پیش ارزیابی شده لازم و حیاتی بوده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

ارزیابی چرخه حیات متناسب با اهداف از پیش تعیین شده می‌تواند در چندین روش متمایز صورت پذیرد، در مطالعه حاضر هدف از بکارگیری آن ارزیابی چند سناریو ارائه شده و مقایسه آنها با یکدیگر بود. در قدم اول متناسب با شرایط حاکم بر مکان مورد مطالعه چهار سناریو ارائه شد و در قدم بعدی هر سناریو با توجه به داده‌های موجود در نرم افزار مربوطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. این تجزیه و تحلیل‌ها در نهایت منتج به خروجی‌هایی از نرم افزار شد که قابلیت یک فرایند مقایسه‌ای را فراهم ساخت. نکته مهم در رابطه با سناریوهای ارائه شده این است که این سناریوها با توجه به ماهیت ارزیابی چرخه حیات، آلاینده‌ی زیست‌محیطی را از بدو تولید تا زمان از بین رفتن یک نوع پسماند گزارش می‌کنند که این همان اصل گهواره تا گور است.

### انتخاب سناریوها

دفن بهداشتی، سوزاندن، بازیافت و کمپوست سناریوهای ارائه شده در این پژوهش هستند. سناریوهای معرفی شده بایستی متناسب با نیاز جامعه هدف باشند به عنوان مثال ماهیت اصلی پسماندهای آلی سبب شده است تا تبدیل آنها به کمپوست از ارجح‌ترین گزینه‌ها در مسیر کنترل آلاینده‌ی زیست‌محیطی آنها باشد. سناریوهای ارائه شده در فرایند ارزیابی چرخه حیات به مانند راه‌کارهایی هستند که در همه فرایندهای حل مسئله ارائه می‌شوند و پس از تحلیل و مقایسه یک یا چند مورد از آنها، وارد فاز اجرایی می‌گردند که در این مطالعه هم چنین رویکردی مد نظر بوده است تا این سناریوها پس از تجزیه و تحلیل کامل توسط نرم افزار مورد استفاده و همچنین مقایسه با یکدیگر وارد فرایند اجرایی شوند.

### ترکیب پسماندها

قدم بعدی پس از تعریف سناریوهای مناسب، تعیین ترکیب پسماندهای شهری در کلانشهر ارومیه بود، با توجه به اندازه‌گیری‌های سالانه توسط سازمان مدیریت پسماند در این کلانشهر، داده‌های به روز در این رابطه اخذ شدند. جدول ۱ ترکیب پسماندهای جامد شهری در کلانشهر ارومیه را نشان می‌دهد، مطابق این جدول ترکیبات موجود در نه دسته عمده طبقه‌بندی شده‌اند و سهم هر کدام از آنها نسبت به کل ترکیب به صورت درصدی از کل نشان داده شده است (Urmia municipality data center, 2020). همچنان که پیشتر نیز اشاره

تولید MSW را شامل می‌شود (EPA, 2018). چن<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۲۰ به این نتیجه رسیدند که کمپوست یک روش کارآمد و موثر برای تبدیل پسماندهای آلی جامد به کود است که می‌تواند به زمین‌های کشاورزی بازگردانده شود و در عین حال آلودگی‌ها را کاهش دهد. اما از آنجایی که کمپوست کردن پسماندهای آلی جامد به طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته است بایستی اطلاعات مکفی در رابطه با آن به مصرف‌کنندگان ارائه شود (Chen et al., 2020). با افزایش حجم پسماندهای جامد شهری، قابلیت کاربرد سوزاندن این پسماندها توجه زیادی را در چین به خود جلب کرده است. بدین منظور در طی پژوهشی یک مقایسه بین چین و برخی از مناطق توسعه یافته از جمله اتحادیه اروپا، ایالات متحده، ژاپن، کره جنوبی و تایوان برای دستیابی به پاسخی معقول در رابطه با زباله سوزها انجام شده است. نتایج تجزیه و تحلیل نشان داده‌اند که سوزاندن MSW در زباله سوزها یک راه حل قدیمی نیست. با این حال، باید در سیاست‌گذاری‌ها در رابطه با استفاده بالقوه از زباله سوزها تجدید نظر شود (Lu et al., 2017).

یکی از راه‌حل‌های بسیار موثر برای مبارزه و خنثی سازی اثرات نامطلوب پسماندهای تر، تبدیل آنها به کود آلی است، این عمل نه تنها باعث رهایی جوامع بشری از بسیاری از معضلات مذکور شده، بلکه فوایدی را نیز فراهم می‌سازد و علاوه بر کمک به حفظ منابع طبیعی موجود، منجر به کسب سود اقتصادی هم می‌شود. با توجه به اهمیت موضوع، در سال‌های اخیر در بهبود روش‌ها و فناوری‌های تولید کود از پسماندهای آلی، فعالیت‌های علمی و عملی فراوانی به طور گسترده در جریان بوده است، تا بتوان با آثار مخرب پسماندها و ضایعات ناشی از شیوه زندگی امروزی انسان بر روی کره خاکی مقابله نمود (Kanat, 2010). مدیریت پسماندهای آلی (OWM<sup>۲</sup>) در حال حاضر از اصل اقتصاد خطی در اکثر کشورهای خلیج پیروی می‌کند، برای این منظور در فرایندی نوین ارزش‌های مادی و زیست‌محیطی کل زنجیره برای تبدیل ضایعات مواد غذایی آلی (OFW<sup>۳</sup>) به کمپوست در این کشورها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. زیرا از آنجایی که تخمین زده شده است تا میزان تولید OFW تا سال ۲۰۳۰ در شهر مکه به ۱/۶ میلیون تن برسد این مقدار عظیم OFW می‌تواند ۰/۲۳-۰/۴۰ میلیون تن کمپوست در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۳۰ تولید کند و ۰/۰۴۳-۰/۰۷۶ میلیون تن از انتشار CH<sub>4</sub> را کاهش دهد (Rashid and Shahzad, 2021).

در طول این مطالعه تلاش بر این بود تا به کمک ابزار ارزیابی چرخه حیات راه‌کار یا راه‌کارهایی به منظور مدیریت بهینه و جامع پسماندهای جامد شهری پیش از بکارگیری آنها تجزیه و تحلیل گردند و سپس

<sup>1</sup> Tianming Chen

<sup>2</sup> Organic waste management

<sup>3</sup> Organic food waste

شد بخش عمده پسماندهای جامد شهری در ایران را ترکیبات آلی تشکیل می‌دهند از اینرو توجه به تعریف سناریوهای سازگار قبل از شروع مطالعه بر روی آنها حائز اهمیت بوده و حتماً بایستی مورد توجه قرار گیرد. چهار سناریو ارائه شده نیز بر پایه همین ترکیبات موجود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند تا میزان اثر گذاری هر کدام از آنها در کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی پسماندها مشخص گردد. بدین ترتیب سناریویی که بیشترین میزان کنترل آلاینده‌ها را داشته و یا به عبارتی کمترین میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی را شامل شود به عنوان سناریو مورد هدف شناسایی و برای مدیریت پسماندها معرفی می‌گردد.

همانطور که اشاره شد برای پی بردن به میزان آلاینده‌های هر سناریو نیاز به تعریف شاخص‌های زیست‌محیطی است. مهمترین این شاخص‌ها که در اغلب پژوهش‌های مرتبط با فن ارزیابی چرخه حیات به کار گرفته می‌شوند در جدول ۳ ذکر شده‌اند. این شاخص‌ها از سه گروه عمده تاثیر بر سلامتی انسان، تاثیر بر هوا و تاثیر بر منابع آبی و خاکی تشکیل شده‌اند که این سه گروه عمده از مهمترین عوامل در رابطه با حفظ و حفاظت از نسل‌های آینده هستند. برای پی بردن به چرایی و چیستی این شاخص‌ها، هر کدام از آنها به صورت خلاصه تعریف می‌گردند: تقلیل منابع غیر آلی به سوخت‌های فسیلی و بخشی از منابع طبیعی شامل منابع انرژی مانند نفت خام اشاره دارد. مقصود از قابلیت اسیدی شدن، بررسی عوامل مؤثر بر باران اسیدی است. شاخص پتانسیل گرمایش جهانی به منظور بیان سهم گازهای منتشر شده از سامانه‌های تولید که سبب ایجاد مشکلات زیست‌محیطی می‌شود اطلاق می‌گردد. پتانسیل اختناق دریاچه‌ای (اتریفیکاسیون) پوشش دهنده تأثیرات ناشی از مصرف ریز مغذی‌های استفاده شده است، که مهمترین آن‌ها ازت و فسفر هستند. تقلیل لایه اوزون تأثیر مواد انتشار یافته در از بین بردن لایه اوزون را بیان می‌کند. پتانسیل مسمومیت انسان شاخصی است مربوط به انتشار مواد سمی که بر روی سلامتی انسان اثر مخرب دارند. پتانسیل مسمومیت خاک بیان کننده آلاینده‌هایی است که موجب مسمومیت خاک به ویژه خاک‌های حاصل خیز می‌شوند. مسمومیت آب‌های آزاد و سطحی در بر گیرنده موارد آلاینده آب‌های آشامیدنی و دریاها هست و پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی نیز مرتبط با آلودگی‌های هوا است (Khayer alipour et al., 2017).

جدول ۱- ترکیب پسماندهای جامد شهری کلانشهر ارومیه

Table 1. Urmia MSW Components

درصد	نوع پسماند
۷۲/۰۴	مواد آلی
۶/۴۳	کاغذ و مقوا
۷/۷۷	پلاستیک
۲/۵۲	فلزات
۱/۱۴	لاستیک
۲/۸۶	منسوجات
۲/۰۳	شیشه
۱/۱۰	چوب
۴/۱۱	دیگر موارد

همانطور که از داده‌های موجود در جدول ۱ نمایان است، بیش از ۷۰٪ پسماندهای مورد مطالعه را مواد آلی تشکیل می‌دهند، این میزان به اندازه‌ای قابل توجه است که می‌توان نقش سایر مواد را نادیده گرفت. در نظر گرفتن ماهیت اصلی پسماندها در مسیر مدیریت آنها بسیار کمک کننده است، از اینرو نسبت به مطالعه آنها در طول فرایند جمع‌آوری داده‌ها اقدام شد.

### روش جمع‌آوری داده‌ها

از عمده‌ترین مزایای ارزیابی چرخه حیات استفاده از داده‌های موجود مرتبط به هر سناریو در پایگاه‌های داده‌ای است، این بدان معناست که در طول ارزیابی یک ماده خاص با کمک نرم افزارهای مختلف و تخصصی، داده‌های مربوط به آن ماده از پایگاه‌های داده‌ای اخذ می‌گردند و در فرایند ارزیابی وارد می‌شوند (Zaofen et al., 2010). در طول این پژوهش داده‌های مورد نیاز از آمار نامه‌ها، سالنامه‌ها و اسناد موجود در سازمان مدیریت پسماند شهرداری ارومیه و به علاوه پایگاه‌های داده‌ای مرتبط بدست آمدند. دسترسی به پایگاه‌های داده‌ای تا حد نیاز برای انجام این پژوهش رایگان و امکان وارد کردن داده‌ها از این پایگاه‌ها به نرم افزار سیمپرو فراهم بود، اما در صورت انجام مطالعات با مدت زمان پژوهشی بیشتر نیاز به خرید لایسنس ضروری خواهد بود. جدول ۲ نشان دهنده پایگاه‌های داده‌ای است که در طول فرایند

جدول ۲- پایگاه‌های داده‌ای مورد استفاده

Table 2. The used data centers

پایگاه داده	آدرس
Agri-footprint	www.Agri-footprint.com
Ecoinvent	www.ecoinvent.org
BUWAL	www.umweltschweiz.ch
ELCD	www.eplca.jrc.ec.europa.eu
US LCI	www.lcacommons.gov

همانطور که اشاره شد برای پی بردن به میزان آلاینده‌های هر سناریو نیاز به تعریف شاخص‌های زیست‌محیطی است. مهمترین این شاخص‌ها که در اغلب پژوهش‌های مرتبط با فن ارزیابی چرخه حیات به کار گرفته می‌شوند در جدول ۳ ذکر شده‌اند. این شاخص‌ها از سه گروه عمده تاثیر بر سلامتی انسان، تاثیر بر هوا و تاثیر بر منابع آبی و خاکی تشکیل شده‌اند که این سه گروه عمده از مهمترین عوامل در رابطه با حفظ و حفاظت از نسل‌های آینده هستند. برای پی بردن به چرایی و چیستی این شاخص‌ها، هر کدام از آنها به صورت خلاصه تعریف می‌گردند: تقلیل منابع غیر آلی به سوخت‌های فسیلی و بخشی از منابع طبیعی شامل منابع انرژی مانند نفت خام اشاره دارد. مقصود از قابلیت اسیدی شدن، بررسی عوامل مؤثر بر باران اسیدی است. شاخص پتانسیل گرمایش جهانی به منظور بیان سهم گازهای منتشر شده از سامانه‌های تولید که سبب ایجاد مشکلات زیست‌محیطی می‌شود اطلاق می‌گردد. پتانسیل اختناق دریاچه‌ای (اتریفیکاسیون) پوشش دهنده تأثیرات ناشی از مصرف ریز مغذی‌های استفاده شده است، که مهمترین آن‌ها ازت و فسفر هستند. تقلیل لایه اوزون تأثیر مواد انتشار یافته در از بین بردن لایه اوزون را بیان می‌کند. پتانسیل مسمومیت انسان شاخصی است مربوط به انتشار مواد سمی که بر روی سلامتی انسان اثر مخرب دارند. پتانسیل مسمومیت خاک بیان کننده آلاینده‌هایی است که موجب مسمومیت خاک به ویژه خاک‌های حاصل خیز می‌شوند. مسمومیت آب‌های آزاد و سطحی در بر گیرنده موارد آلاینده آب‌های آشامیدنی و دریاها هست و پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی نیز مرتبط با آلودگی‌های هوا است (Khayer alipour et al., 2017).

پسماند و گزینه‌های مورد مقایسه چهار سناریو ارائه شده هستند. داده‌های مورد نیاز از طریق سالنامه‌های آماری سازمان مدیریت پسماند کلانشهر ارومیه و پایگاه‌های داده‌ای گردآوری شده‌اند. مرز سیستم در این پژوهش از مبداء تولید پسماند شروع شده و تا آخرین مرحله پردازش آن ادامه داشته است. نتایج بدست آمده از این مطالعه نیز به صورت گزارش علمی ارائه می‌شوند.

### تجزیه و تحلیل موجودی یا سیاهه نویسی چرخه حیات

#### LCI

در طول مرحله LCI، با توجه به چهارچوب تعریف شده توسط ایزو، تمامی عوامل و منابع دخیل در تولید پسماندهای یاد شده در کلانشهر ارومیه شناسایی و کمی‌سازی شد. در طی این مرحله، با تعریف هر یک از عوامل دخیل در فرایندهای تولید پسماندها و با در نظر گرفتن هر سناریو، داده‌های مرتبط از پایگاه‌های داده‌ای به کتابخانه‌های نرم افزار سیمپرو وارد شده و پردازش انجام شد. با انجام این کار اثرات حاصل از تولید پسماندها بر روی محیط زیست و انسان از پایگاه‌های داده‌ای مورد استفاده گردآوری و وارد نرم افزار یاد شده شدند. ورودی‌ها و خروجی‌ها مرتبط به هر سناریو در شکل ۱ نشان داده شده‌اند، ورودی‌ها به فرایند سیاهه نویسی شامل تمامی اجزاء موجود در ترکیب پسماندهای مورد مطالعه است و این مواد در فرایند تجزیه و تحلیل هر یک از سناریوها دخیل هستند، اما خروجی‌های بدست آمده برای هر سناریو متفاوت بوده و متناسب با عملکرد آن می‌باشند. موارد ۱ تا ۱۲ در جدول سیاهه نشان دهنده ورودی‌ها و موارد ۱۳ تا ۲۷ خروجی‌ها هستند. مقادیر بدست آمده از فرایند تجزیه و تحلیل سیاهه به وضوح ارتباط هر خروجی با هر سناریو را نشان می‌دهند به این صورت که هر سناریویی که مقدار بیشتری را در دامنه صفر تا ده به خود اختصاص دهد در تولید یا انتشار آن خروجی نقش موثری دارد. همه مقادیر موجود در جدول سیاهه نرمال شده و تمامی آنها بر اساس معادل  $CO_2$  گزارش شده‌اند. در این جدول سناریوها به ترتیب دفن (۰)، سوزاندن (۱)، بازیافت (۲) و کمپوست (۳) هستند.

رده پیامدها در سه گروه عمده مصرف منابع، عواقب مرتبط با سلامت انسان و عواقب موثر در مسائل بوم‌شناسی قرار می‌گیرند که در جدول ۳ همراه با نماد و نوع آلاینده‌گی تولید شده ذکر شده‌اند.

### مراحل ارزیابی چرخه حیات

بنا بر گفته ایزو (ISO 14040, 2006) مراحل انجام ارزیابی چرخه حیات شامل چهار مرحله عمده است که در زیر بیان می‌گردند:

مرحله اول تعریف هدف و دامنه کاربرد

مرحله دوم سیاهه نویسی چرخه حیات

مرحله سوم ارزیابی اثرات چرخه حیات

مرحله چهارم تفسیر نتایج.

### جدول ۳- مهمترین شاخص‌های اثر گذار زیست محیطی

Table 3. The most important environmental indicators

واحد	نماد	شاخص‌های اثر گذار زیست محیطی
kg Sb <sub>eq</sub>	AD <sup>1</sup>	تقلیل منابع غیر آلی
kg CO <sub>2</sub> <sub>eq</sub>	GW <sup>2</sup>	پتانسیل گرمایش جهانی
kg CFC-11 <sub>eq</sub>	ODP <sup>3</sup>	تقلیل لایه اوزون
kg 1.4-DB <sub>eq</sub>	HTP <sup>4</sup>	پتانسیل مسمومیت انسان‌ها
kg 1.4-DB <sub>eq</sub>	FEP <sup>5</sup>	مسمومیت آب‌های سطحی
kg 1.4-DB <sub>eq</sub>	MEP <sup>6</sup>	مسمومیت آب‌های آزاد
kg 1.4-DB <sub>eq</sub>	TEP <sup>7</sup>	مسمومیت خاک
kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sub>eq</sub>	POP <sup>8</sup>	اکسیداسیون فتوشیمیایی
kg SO <sub>2</sub> <sub>eq</sub>	AP <sup>9</sup>	اسیدی شدن
kg PO <sub>4</sub> <sup>-1</sup> <sub>eq</sub>	EP <sup>10</sup>	پتانسیل اختناق دریاچه‌ای

### تعریف هدف و دامنه کاربرد

دلیل انجام مطالعه حاضر دستیابی به روشی کاربردی و همچنین از پیش ارزیابی شده در جهت مدیریت پسماندهای جامد و به ویژه پسماندهای آلی در کلانشهر ارومیه بوده است. واحد عملکردی یک تن

<sup>1</sup> Abiotic Depletion

<sup>2</sup> Global Warming

<sup>3</sup> Ozone Layer Depletion

<sup>4</sup> Human Toxicity Potential

<sup>5</sup> Fresh Water Aquatic Ecotoxicity

<sup>6</sup> Marine Aquatic Ecotoxicity

<sup>7</sup> Terrestrial Ecotoxicity

<sup>8</sup> Photochemical Oxidation Potential

<sup>9</sup> Acidification Potential

<sup>10</sup> Eutrophication Potential

	Input and Output flow (per 1000 kg of waste)	Unit	Scenario			
			0	1	2	3
1	Organic materials	kg	8.24 Equ.Co.	6.44 Equ.Co.	0.10 Equ.Co.	0.16 Equ.Co.
2	Cans	kg	00.00 Equ.Co.	0.01 Equ.Co.	1.9 Equ.Co.	6.01 Equ.Co.
3	Paper and cardboard	kg	9.63 Equ.Co.	5.31 Equ.Co.	8.16 Equ.Co.	6.68 Equ.Co.
4	Plastic	kg	6.24 Equ.Co.	6.24 Equ.Co.	3.79 Equ.Co.	1.57 Equ.Co.
5	Metals	kg	1.25 Equ.Co.	1.25 Equ.Co.	8.88 Equ.Co.	0.00 Equ.Co.
6	Rubber	kg	6.06 Equ.Co.	6.06 Equ.Co.	9.83 Equ.Co.	1.33 Equ.Co.
7	Textiles	kg	4.47 Equ.Co.	4.47 Equ.Co.	7.26 Equ.Co.	9.80 Equ.Co.
8	Concrete	kg	0.01 Equ.Co.	0.12 Equ.Co.	6.83 Equ.Co.	6.87 Equ.Co.
9	Steel	kg	0.12 Equ.Co.	1.20 Equ.Co.	9.77 Equ.Co.	5.62 Equ.Co.
10	Glass	kg	0.12 Equ.Co.	1.45 Equ.Co.	8.55 Equ.Co.	1.02 Equ.Co.
11	Wood	kg	2.12 Equ.Co.	4.89 Equ.Co.	3.25 Equ.Co.	2.14 Equ.Co.
12	Other issues	kg	1.03 Equ.Co.	2.11 Equ.Co.	1.76 Equ.Co.	1.14 Equ.Co.
<b>output</b>						
13	Ash	kg	00.00 Equ.Co.	9.12 Equ.Co.	1.60 Equ.Co.	2.11 Equ.Co.
14	CH <sub>4</sub>	kg	9.92 Equ.Co.	00.00 Equ.Co.	6.44 Equ.Co.	6.00 Equ.Co.
15	CO <sub>2</sub>	kg	7.52 Equ.Co.	9.11 Equ.Co.	1.34 Equ.Co.	2.50 Equ.Co.
16	PM <sub>10</sub>	kg	1.14 Equ.Co.	3.56 Equ.Co.	1.72 Equ.Co.	3.20 Equ.Co.
17	Na <sub>2</sub>	kg	8.22 Equ.Co.	00.00 Equ.Co.	1.34 Equ.Co.	2.50 Equ.Co.
18	NO <sub>x</sub>	kg	1.22 Equ.Co.	4.87 Equ.Co.	7.25 Equ.Co.	1.35 Equ.Co.
19	Leachate	lit	6.01 Equ.Co.	00.00 Equ.Co.	0.05 Equ.Co.	0.50 Equ.Co.
20	VOCs	kg	1.46 Equ.Co.	0.20 Equ.Co.	2.20 Equ.Co.	3.00 Equ.Co.
21	NH <sub>3</sub>	kg	7.12 Equ.Co.	1.12 Equ.Co.	1.00 Equ.Co.	1.05 Equ.Co.
22	CO	kg	1.23 Equ.Co.	8.05 Equ.Co.	1.67 Equ.Co.	0.61 Equ.Co.
23	H <sub>2</sub> S	kg	7.23 Equ.Co.	1.11 Equ.Co.	1.10 Equ.Co.	0.05 Equ.Co.
24	Dust	kg	1.55 Equ.Co.	1.23 Equ.Co.	1.44 Equ.Co.	1.00 Equ.Co.
25	Untreated waste	kg	10.00 Equ.Co.	1.00 Equ.Co.	2.00 Equ.Co.	1.50 Equ.Co.
26	Heavy wastes	kg	10.00 Equ.Co.	0.05 Equ.Co.	3.73 Equ.Co.	1.02 Equ.Co.
27	Ashes	kg	9.25 Equ.Co.	0.74 Equ.Co.	0.12 Equ.Co.	0.22 Equ.Co.

شکل ۱- جدول سیاهه شامل ورودی‌ها و خروجی‌ها به هر سناریو و مقادیر اثر هر یک از آنها

Fig 1. LCI table including inputs and outputs related to each scenario and their amounts

### ارزیابی اثرات LCIA

در این بخش از کار تمامی مواد و منابع مصرف شده در تولید پسماندهای جامد و به تبع آن آلاینده‌های منتشر شده از این پسماندها در هر رده اثر در رابطه با هر سناریو در نرم افزار مورد استفاده واکاوی شدند و خروجی‌های بدست آمده به دو صورت کلی و مقایسه‌ای بایکدیگر مقایسه شدند. همچنین برای اعتبار بخشی مضاعف به نتایج بدست آمده تلاش بر آن شد تا در حین انجام این مرحله، تفسیر نتایج نیز به صورت مکرر انجام شود، این عمل از بروز خطاهای انسانی و حتی نرم افزاری در طول فرایند ارزیابی به صورت قابل توجهی پیشگیری نمود و همچنین آنالیزگر از نتایج مراحل قبل تا حدودی مطمئن شد. ارزیابی اثرات چرخه حیات در تعدادی روش متمایز و در کشورهای مختلف توسعه یافته است. در مطالعه حاضر از مدل بهینه شده روش خاص CML 2 baseline 2000 V2.05 استفاده شد. انتخاب این روش با توجه به بخش آلی موجود در پسماندها بوده است، زیرا اساس این روش بیشتر بر مبنای محاسبه چرخه زندگی این نوع از مواد است. در این روش تمرکز به صورت ویژه بر روی فرایندهای زیستی است و داده‌های مورد استفاده نیز اغلب در رابطه با این نوع از فرایندها هستند (Raluy et al., 2006). همانگونه که اشاره شد، برای ارزیابی اثرات از روش پایه CML استفاده شد، ابتدا پنج دسته تاثیر اصلی (گرم شدن کره زمین، تقلیل لایه اوزن، اسیدی شدن، اکسیداسیون فتوشیمیایی

و اوتروفیکاسیون) ارزیابی شدند. سپس این روش اثرات زیست‌محیطی سیستم ارزیابی شده را با استفاده از پنج شاخص نقطه میانی نشان داد و در نهایت تمامی مقادیر ده شاخص نقطه پایانی محاسبه شدند. در شهر ساکاریا در ترکیه، ارزیابی چرخه حیات با روش CLM به همراه سناریوهای دفن، کمپوست، سوزاندن، بازیافت و بازگردانی مواد در جهت معرفی سناریو مناسب برای مدیریت پسماندهای جامد شهری ارائه شده‌اند و سعی بر آن شده است که بهترین سناریو معرفی گردد. نتایج حاصل نشان داده‌اند که سناریو کمپوست از نقطه نظر زیست-محیطی بهترین سناریو بوده است (Banar et al., 2009). در طول مرحله ارزیابی فرض بر این بود که سناریو کمپوست تاثیر بسزایی در کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی پسماندهای جامد شهری داشته باشد و دلیل آن نیز توجه به محتوای مواد آلی موجود در پسماندها بوده است. همچنین چنین فرض شد که سناریو دفن بهداشتی بدون سیستم تولید بیوگاز به عنوان بدترین راه‌کار شناخته شود و سناریوهای سوزاندن و بازیافت نتایج یکسانی را گزارش کنند.

### تفسیر نتایج

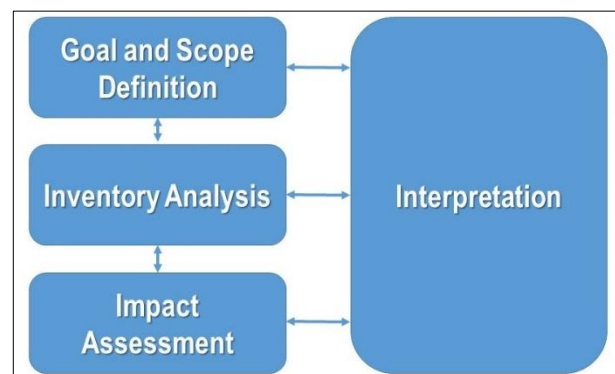
نتایج به دست آمده تجزیه و تحلیل شده و هر چهار سناریو از نظر هر شاخص اثر گذار زیست‌محیطی با یکدیگر مقایسه شدند. تفسیر نتایج در هر مرحله از ارزیابی چرخه حیات انجام شد و داده‌های گزارش شده توسط کاربر سامانه مطالعه و مورد پایش قرار گرفت، در این پژوهش

نمودارهای بدست آمده، سناریو یا سناریوهایی که کمترین میزان آلایندگی زیست‌محیطی را دارا بودند و یا به عبارتی بیشترین تاثیر را در کنترل میزان آلایندگی زیست‌محیطی داشتند مشخص شدند. میزان آلایندگی انتشار یافته در صورت بکارگیری هر سناریو بر اساس معادل کربن دی اکسید در نظر گرفته شده است و برای اجتناب از ذکر تعداد بیشماری از داده‌ها، به صورت درصدی بیان شده‌اند. در مرحله بعد نتایج نرمال‌سازی شدند، نرمال‌سازی درک بهتری از میزان ارتباط با نتایج شاخص سیستم به ما می‌دهد. نرمال‌سازی با توجه با اطلاعات مرجع محاسبه می‌شود که این اطلاعات مرجع می‌تواند مربوط به تعداد افراد یک شهر، کشور و یا قاره باشد. نرمال‌سازی نتیجه شاخص را با تقسیم بر یک مقدار مرجع انتخاب شده تغییر می‌دهد (ISO 14040, 2006). در پایان برای درک بهتر نتایج بدست آمده و افزایش اطمینان از نتایج حاصله، شاخص نهایی زیست‌محیطی تجزیه و تحلیل گردید. این شاخص در شناسایی هرچه بهتر سناریو مناسب از نظر زیست-محیطی، به ما کمک می‌نماید و نتایج را به صورت کامل توسط نمودار نشان داده و به شکل درصدی گزارش می‌کند.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از این پژوهش در شکل ۳ نشان داده شده‌اند، بررسی این شکل نشان می‌دهد که بکارگیری ارزیابی چرخه حیات در مدیریت پسماندهای جامد کلانشهر ارومیه با ارائه چهار سناریو دفن، سوزاندن، بازیافت و کمپوست بدین صورت بوده است: سناریو دفن بهداشتی به جزء در شاخص اثر گرمایش جهانی و تقلیل لایه اوزن بیشترین بار آلایندگی را دارد. بعد از این سناریو، سناریو سوزاندن در هشت شاخص رده اثر، بار آلایندگی بیشتری نسبت به دو سناریو بازیافت و کمپوست به خود اختصاص داده است و فقط در دو رده اثر تقلیل منابع غیر آلی و پتانسیل اختناق دریاچه‌ای نسبت به سناریو بازیافت آلایندگی زیست‌محیطی کمتری را دارد. سناریو بازیافت در هشت رده اثر آلایندگی زیست‌محیطی بیشتری را نسبت به سناریو کمپوست داشته و تنها در دو رده اثر پتانسیل گرمایش جهانی و پتانسیل مسمومیت انسان‌ها کمترین آلایندگی را نسبت به سه سناریو دیگر دارد. اما نتایج در رابطه با سناریو کمپوست کاملاً متفاوت بوده و بدین صورت است که در هشت رده اثر درصد آلایندگی کمتری را نسبت به سایر سناریوها داشته و تنها در دو شاخص رده اثر گرمایش جهانی و پتانسیل مسمومیت انسان‌ها آلایندگی بیشتری نسبت به سناریو بازیافت منتشر می‌کند. نفوذ شیرابه به منابع آب‌های سطحی و زیر زمینی و انتشار گاز متان از مهمترین عوامل آلایندگی شدید سناریو دفن هستند. در رابطه با سناریو سوزاندن، صرفاً تجزیه و تحلیل داده‌ها در رابطه با سوزاندن پسماندها در زباله سوزها بوده و اشاره‌ای به نحوه استفاده از انرژی تولید شده نشده است، این بدان معناست که هدف فقط سوزاندن پسماندها بوده و نه استحصال انرژی از آنها. از اینرو با توجه به انتشار حجم قابل

طرح تفسیر مقایسه‌ای مورد استفاده قرار گرفت و دلیل آن نیز توجه به اصل مقایسه در این پژوهش است زیرا هدف مقایسه چند سناریو ارائه شده و انتخاب بهترین مورد بود. همچنین در طول این فرایند تاثیر هر شاخص بر روی هر سناریو بررسی شد و نتایج در قالب نمودارهایی گزارش گردیدند اما به جهت کثرت نمودارهای بدست آمده سعی شد تا خروجی‌های بدست آمده از نرم افزار در یک نمودار ارائه شوند تا نتایج بدست آمده به روشنی یا یکدیگر قابل قیاس باشند. شکل ۲ مراحل ارزیابی چرخه حیات را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. مرور این شکل یک تجسم کلی از ابتدا تا انتهای یک فرایند ارزیابی چرخه حیات را در ذهن پدید می‌آورد. این شکل که از ابتدایی‌ترین ترسیمات در رابطه با مراحل ارزیابی چرخه حیات است در اغلب کارهای مرتبط با این فرایند برای کمک به مخاطبین در متون گنجانده می‌شود. مطابق با این شکل مرحله تفسیر نتایج می‌تواند در هر قدم از فرایند ارزیابی انجام شود و صرفاً معطوف به مرحله پایانی نیست.



شکل ۲- چهارچوب کلی ارزیابی چرخه حیات

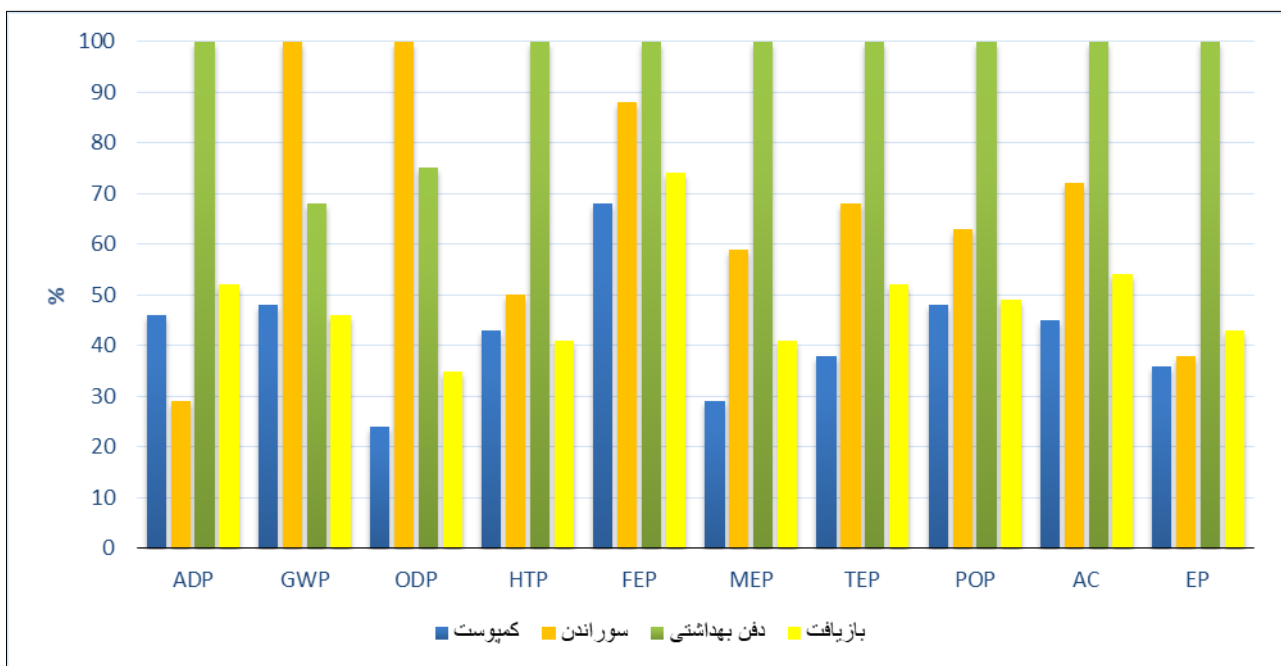
Fig 2. LCA framework

پس از مشخص شدن روش انجام کار و مواد مورد نیاز و همچنین جمع‌آوری داده‌های لازم، ابتدا روش مورد استفاده در نرم افزار سیمپرو انتخاب و پس از آن با توجه به هر دسته از مواد موجود در ترکیب پسماندها و همچنین شاخص‌های اثر، پارامترهای تاثیر گذار از پایگاه‌های داده‌ای وارد فرایند تجزیه و تحلیل گردیدند. روش انجام کار بدین صورت بود که، ابتدا نتایج تجزیه و تحلیل برای هر واحد عملکردی، یعنی ۱ تن مواد زائد جامد از نظر ده شاخص رده اثر که در مرحله طبقه‌بندی مشخص گردیده‌اند برای هر سناریو ارائه نموده، سپس چهار سناریو مورد مطالعه یعنی دفن بهداشتی، سوزاندن، بازیافت و کمپوست از نظر هر یک از ده شاخص اثر مورد مقایسه قرار گرفتند، تمامی این مراحل به کمک نرم افزار سیمپرو نسخه ۹ طی فرایندی خودران انجام پذیرفته و کاربران فقط امکان تغییر شاخص‌ها و ورودی‌ها را داشته و به هیچ وجه دخالت در خروجی نرم افزار میسر نبوده که این بارزترین دلیل برای قابل اعتماد بودن این روش است. در نهایت با مقایسه



در فرایند تخمیر جاری می‌شود، اما با این حال این سناریو بهترین بوده است همچنان که بکارگیری ارزیابی چرخه حیات برای مدیریت پسماندهای شهری در شهر ماکو<sup>۱</sup> چین نشان داده است که سناریو کمپوست به همراه بازیافت ۸۵ درصد نسبت به سایر سناریوها سودمندتر است (Song et al., 2013) با این حال برای بررسی دقیق سناریوها و همچنین مشخص نمودن میزان اختلاف هر کدام از سناریوها در هر رده اثر، نیاز به مراحل اختیاری پیشرفته‌تری است که در ادامه به آنها پرداخته شده است

توجهی از آلاینده‌های گازی شکل به هوا که اصطلاحاً به آنها گازهای آگروز نیز گفته می‌شود سبب افزایش در تعداد شاخص‌های آلاینده در رابطه با آن شده است. مصرف منابع و به ویژه اشکال مختلف سوخت‌ها در فرایند بازیافت پسماندها سبب انتشار آلاینده‌های گازی شکل شده و همچنین مواد حجیم غیر قابل بازیافت تولید شده در این فرایند نیز از دلایل افزایش آلاینده‌های زیست‌محیطی این سناریو هستند. در نتیجه فعالیت‌های میکروبی و پوسیدگی، از پسماندهای آلی گاز انتشار می‌شود، این گازها به مقادیر ناچیز شامل  $CO_2$ ،  $CH_4$ ،  $N_2O$ ، ترکیبات گوگردی و ترکیبات آلی فرار هستند و همچنین مقدار کمی شیرابه نیز



شکل ۳- نتایج کلی حاصل از ارزیابی سناریوها

Fig 3. The Overall results of scenarios assessment

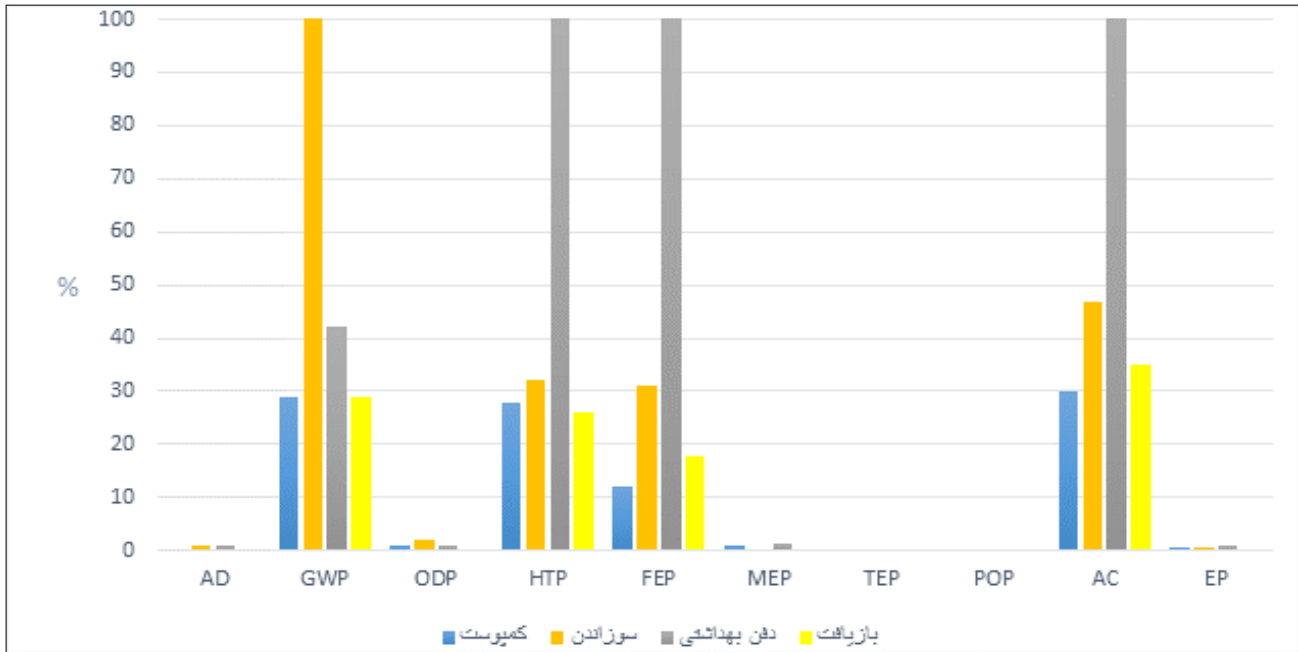
تغییر می‌دهد. به عبارت دیگر در این بخش اهمیت یا بزرگی شاخص‌های محاسبه شده با توجه به اطلاعات مرجع محاسبه می‌شود (Ozler et al., 2005). در این پژوهش نرمال‌سازی با تقسیم داده‌ها بر تعداد جمعیت مکان مورد مطالعه محاسبه شد. هدف از انتخاب مکان مطالعه به عنوان مرجع، افزایش دقت در نتایج بدست بود، زیرا مطالعه مورد نظر صرفاً با تمرکز بر یک جغرافیای خاص بوده و نتایج بدست آمده از آن فقط در جهت استفاده در آن جغرافیا بوده‌اند و جنبه کشوری یا بین‌المللی نداشته‌اند. شکل ۴ نتایج نرمال‌سازی شده را به صورت درصدی نشان می‌دهد، در چهار شاخص رده اثر بیشترین بار آلاینده‌های زیست‌محیطی مشهود است که این شاخص‌ها شامل پتانسیل گرمایش جهانی، سمیت برای انسان، مسمومیت آب‌های سطحی و پتانسیل اسیدی شدن هستند. در شاخص گرمایش جهانی سناریو سوزاندن به عنوان آلاینده‌ترین سناریو شناخته شده و پس از آن نیز سناریو دفن بهداشتی قرار دارد. دو سناریو بازیافت و کمپوست نیز مشترکاً در رتبه

نتایج کلی بدست آمده حاصل از ارزیابی سناریوهای ارائه شده توسط نرم افزار سیمپرو در شکل ۳ نشان داده شدند که سناریوها در هر شاخص رده اثر با یکدیگر مقایسه شده‌اند. داده‌های بدست آمده میزان آلاینده‌های هر شاخص رده اثر زیست‌محیطی را در رابطه با هر سناریو نشان می‌دهند. با مقایسه داده‌های بدست آمده، میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی هر سناریو تا حدود زیادی قابل تشخیص است، اما برای افزایش دقت نتایج و گزارش نتیجه نهایی بهتر بود تا نرمال‌سازی و شاخص نهایی زیست‌محیطی نیز آنالیز شوند، از اینرو نتایج بدست آمده از این دو تجزیه و تحلیل در نمودارهای جداگانه‌ای گزارش شده‌اند که در ادامه به بررسی آنها پرداخته شده است. نرمال‌سازی درک بهتری از میزان ارتباط با نتایج شاخص سیستم می‌دهد. نرمال‌سازی با توجه به اطلاعات مرجع محاسبه می‌شود که این اطلاعات مرجع می‌تواند مربوط به تعداد افراد یک شهر، کشور و یا قاره باشد. نرمال‌سازی نتیجه شاخص را با تقسیم بر یک مقدار مرجع انتخاب شده

<sup>1</sup> Maccoua

شیرابه و همچنین انتشار گازهای آلاینده از محل دفن پسماندها به خاک و آبهای سطحی است.

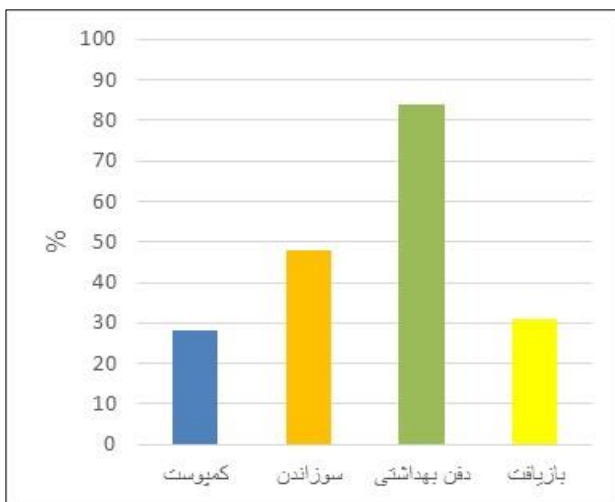
بعدی از نظر بار زیست‌محیطی قرار گرفته‌اند. دلیل چنین نتایجی نیز به جهت انتشار آلاینده‌های گازی شکل از فرایند سوزاندن و نفوذ



شکل ۴- نتایج نرمال‌سازی شده

Fig 4. The normalized results

با ۲۸ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین بار آلاینده‌گی زیست‌محیطی را شامل شده‌اند.



شکل ۵- نتایج شاخص نهایی زیست‌محیطی

Fig 5. The results of final environmental indicator

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که از میان چهار سناریو ارائه شده برای مدیریت پسماندهای جامد شهری در کلانشهر ارومیه، سناریو دفن

آخرین مرحله محاسبه شاخص نهایی زیست‌محیطی است. برای درک بهتر نتایج بدست آمده و افزایش اطمینان از نتایج، شاخص نهایی زیست‌محیطی تجزیه و تحلیل شد. این شاخص در شناسایی هرچه بهتر سناریو مناسب از نظر زیست‌محیطی به ما کمک کرده و نتایج را به صورت کلی و توسط نمودار گزارش می‌کند. با انجام مرحله شاخص نهایی زیست‌محیطی می‌توان به صورت دقیق‌تر به میزان آلاینده‌گی هر کدام از سناریوهای ارائه شده دست پیدا کرد. مقادیر بدست آمده از محاسبه این شاخص ممکن است که با مقادیر نرمال‌سازی شده متفاوت باشند و آن نیز به جهت تفاوت در فرایند انجام این دو مرحله است، زیرا همانگونه که اشاره شد نرمال‌سازی با توجه به جمعیت مکان مورد مطالعه محاسبه شده اما شاخص نهایی بر اساس اختلاف مقادیر بدست آمده در مرحله ارزیابی اثرات است. شکل ۵ شاخص نهایی زیست‌محیطی را نشان می‌دهد، با بررسی آن می‌توان آلاینده‌گی هر یک از سناریوها را مشاهده نمود، طبق این شاخص سناریویی که مقدار بیشتری را شامل شود، بار زیست‌محیطی بیشتری را داشته و بایستی تلاش نمود که نسبت به اصلاح عوامل بروز آن اقدام شود. در رابطه با این پژوهش نیز شاخص نهایی زیست‌محیطی نتایج بدست آمده را تصدیق نموده است، این شاخص به صورت کلی یک نتیجه کامل و مقایسه‌ای از سناریوهای ارائه شده را به صورت درصدی ارائه نموده و مطابق آن سناریو دفن با ۸۴، سوزاندن با ۴۸، بازیافت با ۳۱ و کمیوست

جغرافیایی و فرهنگی و همچنین نیازمندی مبرم به ارائه راهکارهای مدیریتی از پیش ارزیابی شده بود.

### سپاسگزاری

از سازمان مدیریت پسماند شهرداری کلانشهر ارومیه بابت همکاری صمیمانه و ارائه داده‌های مورد نیاز در طول این مطالعه کمال تقدیر و تشکر را داریم.

### منابع

- Arena, U., Mastellone, M. L., & Perugini, F. (2003). The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. *Chemical engineering journal*, 96(1-3), 207-222.
- Biljana Milutinović, Gordana Stefanović, Petar S. Đekić, Ivan Mijailović, Mladen Tomić, (2017). *Environmental assessment of waste management scenarios with energy recovery using life cycle assessment and multi-criteria analysis*. *Energy*, Volume 137, Pages 917-926.
- Banar, M., Cokaygil, Z., & Ozkan, A. (2009). Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. *Waste management*, 29(1), 54-62.
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116-2123.
- Ekvall, T., Assefa, G., Björklund, A., Eriksson, O., & Finnveden, G. (2007). What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. *Waste management*, 27(8), 989-996.
- Gurdal Kanat. (2010) *Municipal solid-waste management in Istanbul*, Waste Management.
- Hassanvand, M S., Nabbizadeh, R., Heydari, M. (2008). *MSW analysis in Iran*. *Journal of health and the environment*. One (1): 18. (In persian)
- ISO 14044. (2006). *the new international standards for life cycle assessment*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 11(2): 80–85.
- ISO 14040. (2006). *Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 11(2): 36.
- ISO 14040. (2006). *the Life Cycle Assessment Principles and Framework, normalization*.
- Iqbal, A., Liu, X., & Chen, G. H. (2020). Municipal solid waste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques. *Science of the Total Environment*, 729, 138622.
- Jia-Wei Lu, Sukun Zhang, Jing Hai, Ming Lei, (2017). *Status and perspectives of municipal solid waste incineration in China: A comparison with developed regions*. *Waste Management*, Volume 69, Pages 170-186.
- Khandelwal, H., Dhar, H., Thalla, A. K., & Kumar, S. (2019). Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. *Journal of cleaner production*, 209, 630-654.
- Khayer alipour, K., Jafari samarbon, H., Soleimani, M. (2017). *Determining the environmental impacts of canola production by life cycle assessment, case study: Ardabil Province*. *Journal of biosystems engineering*. 48(4): 56.
- Lu, J. W., Zhang, S., Hai, J., & Lei, M. (2017). Status and perspectives of municipal solid waste incineration in China: A comparison with developed regions. *Waste Management*, 69, 170-186.

بهداشتی در هشت شاخص رده اثر زیست‌محیطی بیشترین بار آلاینده‌گی را داشت و تنها در دو رده اثر پتانسیل گرمایش جهانی و تقلیل لایه اوزن، بار آلاینده‌گی زیست‌محیطی کمتری را نسبت به سناریو سوزاندن شامل شد که در این دو شاخص نیز به عنوان دومین سناریو آلاینده شناخته شده است. سناریو سوزاندن نیز در دو شاخص پتانسیل گرمایش جهانی و تقلیل لایه اوزن بیشترین آلاینده‌گی را نسبت به سناریوهای دیگر به خود اختصاص داد، همچنین این سناریو در شش شاخص اثر دیگر نیز نسبت به دو سناریو بازیافت و کمپوست بار آلاینده‌گی بیشتری را دارا بود. علاوه بر این، در رده اثر تقلیل منابع غیر آلی نسبت به سه سناریو ارائه شده دیگر، آلاینده‌گی کمتری را داشت و در این رده اثر به عنوان مناسب‌ترین سناریو در کنترل آلاینده‌گی زیست‌محیطی شناخت شد. این سناریو در رده اثر پتانسیل اختناق دریاچه‌ای بار زیست‌محیطی کمتری را نسبت به سناریو بازیافت و دفن بهداشتی داشت و اختلاف بسیار اندکی را در کنترل آلاینده‌گی زیست‌محیطی با سناریو کمپوست نشان داد. سناریو بازیافت در رده اثر تقلیل منابع غیر آلی و پتانسیل اختناق دریاچه‌ای به عنوان دومین سناریو آلاینده شناخته شد، این سناریو در رده اثرهای پتانسیل گرمایش جهانی و سمیت برای انسان، از سایر سناریوها بار آلاینده‌گی کمتری داشت و به عنوان بهترین سناریو معرفی گردید، همچنین این سناریو در شش شاخص رده اثر میزان بار آلاینده‌گی کمتری را نسبت به دو سناریو دفن بهداشتی و سوزاندن نشان داد. در نهایت سناریو کمپوست در سه شاخص اثر تقلیل منابع غیر آلی، پتانسیل گرمایش جهانی و سمیت برای انسان به عنوان سومین سناریو از نظر میزان آلاینده‌گی زیست‌محیطی معرفی شد و در رده اثر پتانسیل گرمایش جهانی و سمیت برای انسان بار آلاینده‌گی بیشتری را نسبت به سناریو بازیافت و در شاخص اثر تقلیل منابع غیر آلی نسبت به سناریو سوزاندن شامل بود. این سناریو در هفت شاخص رده اثر میزان آلاینده‌گی زیست‌محیطی کمتری را نسبت به سه سناریو دیگر نشان داد و همچنین در رده اثر تقلیل لایه اوزن، این سناریو کمترین میزان بار زیست‌محیطی را در میان تمامی شاخص‌های اثر بررسی شده در طول مطالعه دارا بود. به عنوان یک نتیجه نهایی از انجام این پژوهش چنین استنتاج شد که سناریو کمپوست به همراه بازیافت راه حل مناسبی در جهت مدیریت پسماندهای جامد شهری در کلانشهر ارومیه هستند و بکارگیری همزمان آنها منجر به ایجاد یک سامانه یکپارچه مدیریت پسماندهای جامد شهری خواهد شد که اثرات زیست‌محیطی پسماندها را به حداقل میزان تقلیل خواهد داد. در طول مطالعه سعی بر آن شد تا یک فن ارزیابی و مقایسه‌ای در جهت مدیریت پسماندهای جامد شهری بکار گرفته شود. پیشینه استفاده از این فن طولانی بوده و به طرق مختلف تا به امروز بکار گرفته شده است اما در پژوهش حاضر این فن با یک رویکرد مطالعه‌ای-کاربردی مورد استفاده قرار گرفت و آن هم مطالعه آن در رابطه با یک مکان متفاوت از نظر شرایط

- Mulya, K. S., Zhou, J., Phuang, Z. X., Laner, D., & Woon, K. S. (2022). A systematic review of life cycle assessment of solid waste management: methodological trends and prospects. *Science of the Total Environment*, 831, 154903.
- Muhammad Imtiaz Rashid, Khurram Shahzad, (2021). *Food waste recycling for compost production and its economic and environmental assessment as circular economy indicators of solid waste management*, Journal of Cleaner Production, Volume 317.
- Ozler, D., yetis, U., Demirer, G.N. (2005). *Life cycle assessment of MSW management methods: Ankara case study*. Environment international: 405-411.
- Paes, M. X., de Medeiros, G. A., Mancini, S. D., Bortoleto, A. P., de Oliveira, J. A. P., & Kulay, L. A. (2020). Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. *Journal of cleaner production*, 254, 119848.
- Raluy, G., Serra, L., & Uche, J. (2006). Life cycle assessment of MSF, MED and RO desalination technologies. *Energy*, 31(13), 2361-2372.
- Shukor, J. A., Omar, M. F., Kasim, M. M., Jamaludin, M. H., & Naim, M. A. (2018). Assessment of composting technologies for organic waste management J. *Assessment*, 9(8).
- Suna Erses Yay, A. (2015). *Application of life cycle assessment for municipal solid waste management: a case study of Sakarya*. Journal of cleaner production. 284-293.
- Song, Q., Wang, Z., & Li, J. (2013). *Environmental performance of municipal solid waste strategies based on LCA method: a case study of Macau*. Journal of Cleaner Production, 57, 92-100.
- Tianming Chen, Shiwen Zhang, Zengwei Yuan, (2020). *Adoption of solid organic waste composting products: A critical review*. Journal of Cleaner Production, Volume 272.
- Urmia municipality data center. (2020). *the annually data about waste and their content*.
- United Nations Human Settlements Programme. (2010) *Solid Waste Management in the World's Cities*.
- U.S. Environmental Protection Agency, EPA. (2018). *the fact and figures about waste management*.
- Yay, A. S. E. (2015). *Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya*. Journal of Cleaner Production, 94, 284-293.
- Zaofen, c., Zhongquan, L., Ke, J. (2010). *Research on Life Cycle Assessment and Design Methods of Mechanical Products Based on Simapro Software*. International conference on advance technology of design & manufacture.