مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۶۰۷ تا ۶۲۰

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

انتخاب بهترین گزینه‌ها برای مدیریت پسماند شهری با استفاده از ابزار ارزیابی چرخه حیات (مطالعه موردی: شهر نور)

محمد علی ززولی[۲،۱]، زینب کریمی[۱،*]، رضا رفیعی[۳]
۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲- مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۲۰
تاریخ ویرایش: ۹۸/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۹
تاریخ انتشار: ۹۸/۱۲/۲۸

واژگان کلیدی: ارزیابی چرخه زندگی، مدیریت پسماند شهری، پسماند، دفن بهداشتی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
z_karimi9069@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: یکی از چالش‌های عمده در مدیریت شهری در جوامع بشری کنونی مربوط به جمع آوری، بازیافت و دفع مواد زائد جامد و فاضلاب است. مدیریت ضعیف پسماند باعث آلودگی آب، خاک و هوا می‌گردد و تاثیر عمده‌ای بر سلامت عمومی خواهد داشت. در مطالعه حاضر، از رویکرد ارزیابی چرخه حیات به منظور بررسی وضعیت حاضر سامانه مدیریت پسماند شهر نور استفاده گردید.

روش بررسی: این تحقیق با ۵ سناریو شامل: ۱- بازیافت، کمپوست و دفن غیربهداشتی؛ ۲- بازیافت، کمپوست و دفن بهداشتی؛۳ - بازیافت، زباله سوز و دفن بهداشتی؛ ۴- بازیافت، کمپوست و هاضم بی‌هوازی، زباله‌سوز، دفن بهداشتی؛ ۵- بازیافت و دفن غیربهداشتی؛ در نظر گرفته شد. داده‌های مورد نیاز سیاهه نویسی چرخه حیات از طریق بررسی منابع، تهیه فرم گردآوری داده و تکمیل آن توسط پرسنل؛ همچنین بازدید میدانی جمع آوری گردید. سیاهه نویسی چرخه حیات به کمک مدل IWM-۱ صورت پذیرفت.

یافته‌ها: سناریو پنجم که سناریو وضعیت موجود منطقه است در قسمت خروجی‌های سمی و شاخص اکولوژیکی در بین تمامی سناریوها بیشترین بار زیست‌محیطی را وارد می‌کند. میزان مصرف انرژی در سناریو اول و پنجم به‌دلیل دفن غیر بهداشتی بالاتر از سناریوهای دیگر بود. به‌ترتیب بیشترین و کمترین نقش در تولید گاز متان را سناریوی پنجم و چهارم دارند.

نتیجه‌گیری: با توجه به شاخص اکولوژیکی، سناریوی چهارم (بازیافت، کمپوست و هاضم بی‌هوازی، زباله‌سوز و دفن بهداشتی) بهترین سناریو بوده است. سناریوی پنجم با تولید بیشترین بار آلودگی بدترین سناریو بوده است.

Please cite this article as: Zazouli MA, Karimi Z, Rafiee R. Selecting the best options of management of municipal solid waste using life cycle assessment methodology (Case study: Noor city). Iranian Journal of Health and Environment. 2020;12(4):607-20.

مقدمه

توسعه شهرنشینی و جمعیت روبه رشد شهرها، مدیریت پسماندهای جامد شهری را به معضلی مهم در برنامه ریزی شهری تبدیل کرده است. مدیریت مطلوب پسماندهای شهری از منظر زیست محیطی و بهداشتی در سراسر جهان از اهمیت بالایی برخوردار است. مدیریت نامناسب پسماند می‌تواند منجربه آلودگی‌های مختلف از جمله آب، خاک و هوا شود (۱). لذا پسماند جامد شهری در تمام مراحل تولید، جمع‌آوری، بازیافت، تبدیل و دفع نیازمند برنامه‌ریزی دقیق است. بدین منظور روش‌های مختلفی توسعه داده شده‌اند. از این بین می‌توان به روش‌هایی مانند مدل‌های سیستم‌های مهندسی از جمله تجزیه و تحلیل سود-هزینه (Cost-benefit analysis(CBA))، مدل‌های پیش بینی (forecasting models(FM))، مدل‌های شبیه سازی (simulation models (SM))، مدل‌های بهینه سازی (optimization models (OM))، و سیستم مدلسازی یکپارچه (integrated modeling system (IMS))، توسعه سناریو (Scenario development(SD))، تجزیه و تحلیل جریان مواد (material flow (MFA) analysis)، ارزیابی چرخه زندگی و یا سیاهه نویسی چرخه زندگی (LCA یا LCI(Cycle assessment or life cycle inventory))، ارزیابی اثرات زیست محیطی (environmental impact assessment(EIA))، ارزیابی زیست محیطی استراتژیک (strategic (SEA) environmental assessment) و ارزیابی اقتصادی و اجتماعی (socioeconomic assessment(SoEA)) اشاره نمود (۲، ۳). در سه دهه گذشته، از میان این روش‌ها، روش ارزیابی چرخه زندگی در مطالعات محیط زیست توسعه وسیعی یافته است (۴). از اوایل ۱۹۹۰، مدل تفکر چرخه زندگی (Life Cycle Thinking (LCT)) جهت ارزیابی سیستم‌های مدیریت پسماند استفاده شد (۵). گروه متخصص بین المللی ارزیابی چرخه زندگی، شامل برنامه زیست محیطی ملل متحد (United Nations (UNEP) Environment Program) و انجمن شیمی و سم شناسی محیطی (Society for Environmental(SETAC) Toxicology and Chemistry) برای توسعه روش ارزیابی چرخه زندگی که یکی از بخش‌های آن مدیریت پسماند جامد است اقدامات موثری را انجام دادند، و به این نتیجه رسیدند که تجزیه و تحلیل عمیق‌تر در ارتباط با این مسئله مورد نیاز است (۶، ۷). طبق تعریف سازمان بین المللی استاندارد (International Organization (ISO) for Standardization)، LCA، ارزیابی چرخه زندگی، یک روش شناسی برای ارزیابی جنبه‌های زیست محیطی بالقوه در ارتباط با تولید یک محصول (یا ارائه خدمات) با گردآوری اطلاعات از ورودی‌ها و خروجی‌ها از اولین تا آخرین مرحله زندگی، ارزیابی اثرات بالقوه زیست محیطی مرتبط با این ورودی‌ها و خروجی‌ها، و تفسیر نتایج و تاثیر آنها با توجه به اهداف مطالعه است (۸). LCA یک روش استاندارد بین‌المللی است که برای شناسایی و ارزیابی اثرات زیست محیطی مرتبط با گزینه‌های مدیریت پسماند به عنوان یکی از ابزارهای مدیریت موثر شناخته می‌شود (۹). هم اکنون، ارزیابی چرخه زندگی، در غالب استانداردهای بین المللی به شکل یکپارچه، یک روش برای ارزیابی اثرات زیست محیطی است (۱۰).

این روش در مطالعات مختلف با رویکرد مدیریت پسماند مورد استفاده قرار گرفته است. نظیر بررسی الگوهای فعلی و ممکن مدیریت MSW با توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای به روش ارزیابی چرخه زندگی در تیانجین کشور چین (۱۱)؛ مطالعه‌ای مبتنی بر LCA جهت تدوین سیستم مدیریت مواد زائد جامد در شهرهای لندن (انگلستان) و کوماسی (غنا) (۱۲)؛ مطالعه LCA جهت تعیین بهینه زباله جامد شهری (MSW) و تعیین استراتژی مدیریت برای شهر اسکی شهیر توسط Banar (۱۳) و برای شهر رم توسط Francesco Cherubini (۱۴) انجام شد. مطالعه دیگری با هدف ارزیابی زیست محیطی گزینه‌های مختلف در مدیریت پسماند با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی توسط

Manfredi و همکاران انجام شد (۵). بسیاری از مطالعات براساس ارزیابی چرخه زندگی، به اثرات زیست محیطی سوزاندن و به‌ویژه مزایای بازیافت پرداخته‌اند. با این حال، گزینه دفن زباله اغلب در این مطالعات، مورد اقبال قرار می‌گیرد. شاید بی‌توجهی به پیشرفت‌های تکنولوژیکی موجب شده که محل‌های دفن زباله در چند دهه گذشته در بسیاری از نقاط جهان مورد توجه قرار گرفته‌اند.

همچنین در مطالعه‌ای که توسط Skordilis و همکاران (۱۵) انجام شد، از روش LCA جهت بررسی مدیریت پسماند در یک جزیره توریستی استفاده گردید. طبق نتایج این روش، روش بهینه جهت مدیریت پسماند که کمترین بار زیست محیطی را در برداشت، روش کمپوست کردن پسماند بود. همچنین Ozeler و همکاران (۱۶) مطالعه‌ای را با هدف مقایسه سناریوهای مختلف در رابطه با مدیریت پسماند شهری مبتنی بر روش ارزیابی چرخه حیات انجام دادند. در این مطالعه روش بهینه جهت مدیریت پسماند، روش کاهش از مبدا بود. همچنین در شهر تهران نیز مطالعاتی در زمینه مدیریت پسماند شهری با رویکرد روش LCA انجام شده است (۱۷) که به مقایسه دو سناریو پرداخته شده بود. در این مطالعه سناریوی دفن بهداشتی دارای بار زیست محیطی کمتری نسبت به ترکیب روش کمپوست و دفن بهداشتی پسماند بود.

شهر نور یکی از شهرهای هدف گردشگری استان مازندران است. در این شهر روزانه ۱۰۰ ton پسماند تولید می‌شود که با حداقل مدیریت بعد از جمع آوری در یک منطقه جنگلی به صورت روباز دفن می‌شوند. دفن روباز در مناطق حساس جنگلی باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی از جمله آلودگی آب، از دست رفتن منابع طبیعی و همچنین آلودگی خاک شده است. به منظور کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از سامانه مدیریت پسماند، نیاز است که سناریوهای مدیریتی جایگزین برای اجرا در اختیار مدیران قرار گیرد. بنابراین هدف این مطالعه، بررسی وضعیت سامانه موجود مدیریت پسماند شهری در شهر نور از نقطه نظر چرخه زندگی است و ارائه سناریوهای مختلف، با توجه به ترکیب پسماند، برای بهبود سامانه کنونی مدیریت پسماند است.

مواد و روش‌ها

- توصیف منطقه مورد مطالعه

طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ شهرستان نور دارای ۵ منطقه شهری به نام نور، رویان، ایزدشهر، چمستان و بلده است. زباله شهرهای رویان، ایزدشهر، چمستان همراه با شهر نور جمع آوری می‌شود. براساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، شهرستان نور به‌ترتیب دارای ۱۷۴۱۷ و ۲۱۹۳۳ خانوار شهری و روستایی و همین طور دارای ۵۴۲۸۱ و ۶۷۲۵۰ نفر جمعیت شهری و روستایی است. قابل ذکر است که این آمارها مربوط به روزهای معمولی سال است و پیداست با انبوه گردشگرانی که در روزهای تعطیل در شمال کشور به سر می‌برند، افزایش قابل توجهی می‌یابد. براساس آمار شهرداری، به‌طور میانگین روزانه ۱۰۰ ton زباله در این شهرستان تولید می‌گردد که ۹۵درصد از زباله‌ها در روز و ۵ درصد آن در شب جمع آوری می‌گردد و سرانه تولید پسماند ۸۰۰ گرم به ازای هر نفر است. بخش‌های تولید پسماند در شهر نور، شامل مسکونی، اداری، آموزشی، تجاری، صنعتی، خدماتی و بیمارستانی است که سهم پسماند تولیدی در بخش مسکونی ۷۹ درصد، تجاری ۸ درصد، صنعتی ۲ درصد، آموزشی ۲ درصد، باغبانی ۵ درصد و اداری و خدماتی ۴ درصد است. با توجه به اینکه ۷۰ تا ۸۰ درصد پسماند بخش مسکونی شامل مواد فسادپذیر است و طبق آنالیزهای انجام شده، حدود ۷۷ درصد از پسماندهای شهر نور را مواد فساد پذیر تشکیل می‌دهند (دانسیته پسماند، ۲۶۷/۵ kg/m^3) و همچنین با توجه به درصد بالای سهم بخش مسکونی نسبت به سایر بخش‌ها، تمرکز بر این بخش خواهد بود.

- ارزیابی چرخه زندگی

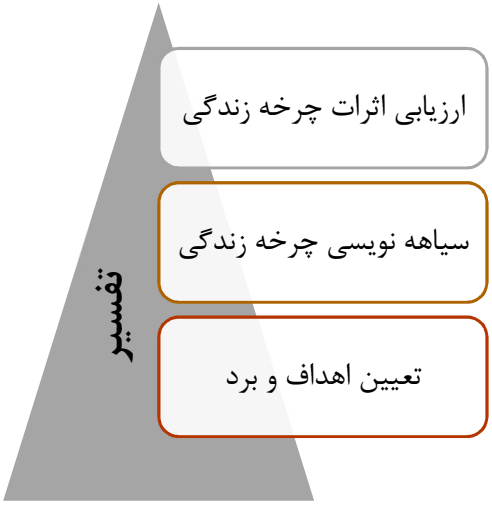
در این مطالعه از روش ارزیابی چرخه زندگی برای ارزیابی

وضعیت موجود و نیز مقایسه سناریوها پیشنهادی مدیریتی استفاده شد. روش LCA به عنوان یک روش سیستماتیک و استاندارد برای برآورد اثرات زیست محیطی مرتبط به یک خدمت و یا تولید یک محصول است. این روش شامل چهار مرحله ۱) تعیین برد و هدف ۲) سیاهه نویسی چرخه زندگی و ۳) ارزیابی اثرات زیست محیطی و ۴) تفسیر نتایج است (۱۸). این بخش‌ها همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است با یکدیگر مرتبط هستند. با این وجود مرحله ارزیابی اثرات زیست محیطی چرخه زندگی یک مرحله اختیاری است. همچنین داده سیاهه نویسی چرخه زندگی در بسیاری از موارد برای مقایسه سناریوها و بررسی وضعیت موجود کافی است (۴).

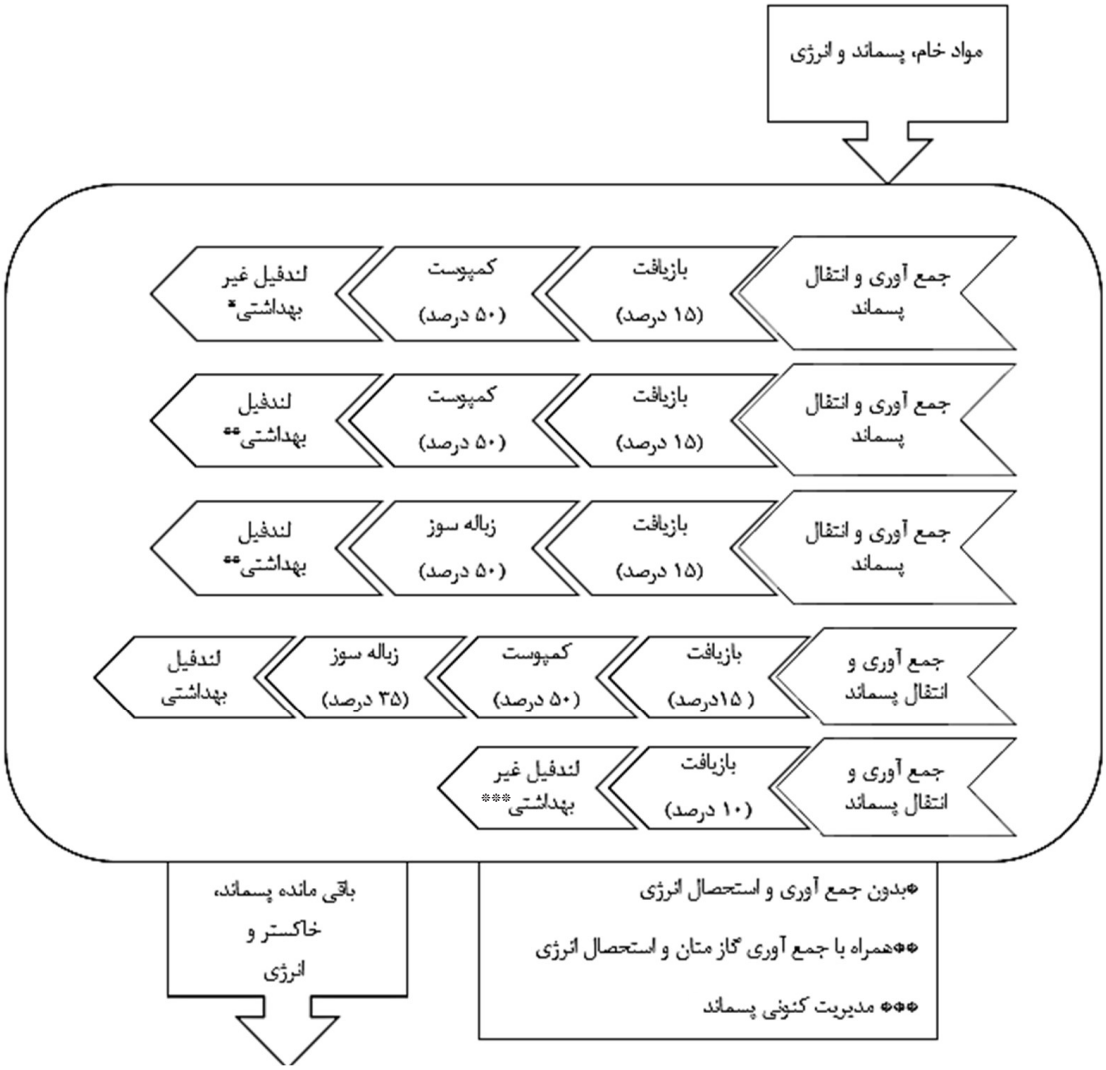
مرزها و واحد کارکردی: تعیین مرزها و واحد کارکردی مهمترین بخش از مرحله تعیین برد و اهداف مطالعه (مرحله اول) روش شناسی چرخه زندگی است. مرزهای ارزیابی چرخه زندگی در این تحقیق از زمانی که پسماند تولید می‌شود (درب منازل) تا زمانی که به یکی از روش‌های مختلف مدیریت شود را در بر می‌گیرد. واحد کارکردی یک تن پسماند مدیریت شده است و داده‌های سیاهه نویسی چرخه زندگی بر این مبنا ارائه شد. سناریوهای مختلفی که در این مطالعه بررسی شد در شکل ۲ نشان داده شده است.

- سیاهه نویسی چرخه زندگی

سیاهه نویسی چرخه زندگی یکی از مهمترین مراحل ارزیابی چرخه زندگی است که در آن کلیه انتشارات ناشی از فرایند یا تولید محصول محاسبه و سیاهه می‌شود. در این مطالعه برای سیاهه نویسی چرخه زندگی از نرم افزار IWM استفاده شد. این نرم افزار تمام مراحل سامانه مدیریت پسماند را در بر می‌گیرد و بعد از دریافت اطلاعات، با مدل‌ها و نیز پایگاه داده‌ها انتشارات و خروجی‌های مختلف را برآورد می‌کند. نرم افزار IWM با هدف تعیین اولویت‌ها جهت برآورد اثرات زیست محیطی و پیامدهای اقتصادی تصمیمات اخذ شده در زمینه مدیریت پسماند توسعه داده شده است. کاربرد این نرم افزار فرایند سیاهه نویسی چرخه زندگی را آسان می‌کند. که می‌تواند به‌طور بالقوه عملکرد زیست محیطی سیستم مدیریت پسماند را بهبود بخشد (۱۶، ۱۷).



شکل ۱- مراحل روش ارزیابی چرخه زندگی



شکل ۲- سناریوهای مختلف در مطالعه

جهت تهیه داده‌های ورودی در خصوص مدیریت پسماند شهری و شناخت کلیه متغیرهای مورد بررسی از فرم گردآوری داده و مراجعه به گزارشات، اسناد و مدارک در دسترس و همچنین مصاحبه با افراد مطلع شامل کارشناسان واحد مدیریت پسماند و محل دفن استفاده شد. این فرم‌ها حاوی اطلاعاتی به شرح تعداد پرسنل، نوع و تعداد ماشین آلات جمع‌آوری و حمل و نقل، مسافت حمل، روش مدیریت فعلی پسماند، مقدار تولید پسماند، آنالیز فیزیکی پسماند، چگالی پسماند بود. در کنار بررسی داده‌های موجود، بازدید میدانی با توجه به اهداف پژوهش صورت گرفت. شناخت کمیت و کیفیت پسماند تولیدی در سیستم‌های مدیریت پسماند خصوصا در مرحله نظارت و کنترل بسیار حائز اهمیت است (۱۹). برای تعیین ترکیب فیزیکی پسماند، به مدت ده روز پسماند در محل لندفیل مورد آنالیز فیزیکی

قـرار گرفـت. بـرای تعییـن چگالـی از بشـکه‌ای بـه حجـم m^3 ۰/۱۹۶ اسـتفاده شـد. بعـد از تعییـن چگالـی اجـزاء پسـماند تفکیـک و بـا اسـتفاده از تـرازوی دیجیتـال توزیـن گردیـد. جهـت افزایـش اطمینـان، آنالیـز پسـماند روزانـه سـه مرتبـه انجـام شـد و میانگیـن گزارش شـد (جـدول ۵).

- ارزیابی اثرات چرخه زندگی

در مرحلـه ارزیابـی چرخـه زندگـی نتایـج به‌دسـت آمـده در مرحلـه سـیاهه نویسـی، را مـورد بررسـی قـرار داده شـد. هـدف اصلـی تبدیـل اطلاعـات زیـاد به‌دسـت آمـده از مرحله سـیاهه نویسـی بـه یـک یـا چنـد طبقـه سـاده‌تر اسـت. بـه ایـن ترتیـب مقایسـه سـناریوها بسـیار آسـان‌تر خواهـد شـد. روش‌هـای بسـیار زیـادی بـرای ارزیابـی اثرات چرخـه زندگی توسـعه داده شـده اسـت. در ایـن مطالعـه از روشـی کـه در مطالعه Rafiee و همکاران (۱۸) ارائه شـده اسـت، اسـتفاده گردیـد. در ایـن روش ابتـدا طبقـات اثـر مشـخص می‌شـوند. در ایـن مطالعـه طبقـات تحت عناویـن میزان مصـرف انرژی، گازهـای گلخانـه‌ای، گازهای اسـیدی، مـه دود فتوشـیمیایی، خروجی‌هـای سـمی در نظـر گرفتـه شـدند. سـپس تمـام آلاینده‌هـای به‌دسـت آمـده بـه طبقـات مـورد مطالعـه اختصـاص داده شـد. در مرحلـه بعـد بـا اسـتفاده از ضرایـب ویژگی‌سـازی و نیـز معادلـه ۱ کـه در جـداول ۱ تـا ۴ آورده شـده اسـت بـه واحـد معـادل هـر طبقـه اثـر تبدیـل شـد. به ایـن ترتیـب هر یـک از طبقات اثـرات مدنظر، مقادیر سـیاهه شـده براسـاس واحـد معـادل محاسـبه گردیدنـد.

$$Ii = \Sigma Cij \times Xj \quad (۱)$$

که در آن:

Ii: شـاخص طبقـه اثـر، Cij: فاکتورهـای ویژگـی سـازی، Xj: مقـدار مـاده j اسـت. در نهایت شـاخص‌های به‌دسـت آمده در هـر یـک از طبقـات، طبـق معادلـه ۲ در وزن نسـبی آن طبقه ضـرب شـد تـا نمایه‌هـا قابـل جمع کـردن و مقایسـه شـدن با یکدیگر باشـند (جـدول ۶).

$$I = \sum^{N}_{i=1} W_i I_n \quad (۲)$$

که در آن:

I: معیـار کمـی مقایسـه دو سـامانه و W_i: وزن نسـبی طبقـات اثـر و I_n شـاخص طبقـه اثر اسـت.

طبقـات اثـر در نظـر گرفتـه شـده عبارتنـد از: مصـرف منابـع انـرژی، گازهـای گلخانـه‌ای، گازهـای اسـیدی، گازهـای فتوشـیمیایی، خروجی‌هـای سـمی کـه واحـد آنهـا بـه ترتیب Gj، $kgCO_2$، $kgSO_2$، kgC_2H_4، kg 1-4DCB اسـت (۲۰). مـواد سـیاهه نویسـی شـده طبقـه اثـر گازهای اسـیدی عبارتنـد از NOx، SOx، HCL، کـه فاکتـور ویژگـی سـازی معادل SO_2 آنها به‌ترتیب ۰/۷، ۱، ۰/۸۸ اسـت. وزن نسـبی هر یـک از طبقـات اثـر مصرف منابـع انـرژی، گازهـای گلخانه‌ای، گازهـای اسـیدی، گازهای فتوشـیمیایی و خروجی‌های سـمی در روش مدلسـازی MET به‌ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۹، ۰/۴، ۰/۲۹ و ۰/۱۳ اسـت (۲۱).

جدول ۱- فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقه اثر گازهای گلخانه‌ای (۲۰، ۲۲)

ماده سیاهه نویسی شده	فاکتور ویژگی‌سازی معادل CO_2
CO_2	۱
CH_4	۲۵
N_2O	۰/۷
CFC11	۴۰۰۰
CO	۲
TCA	۱۱۰

جدول ۲- فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقه اثر گازهای فتوشیمیایی (۷)

ماده سیاهه نویسی شده	فاکتور ویژگی‌سازی معادل اتیلن C_2H_4
VOC	۳/۶
CO	۰/۳
CH_4	۰/۰۰۷
NO_X	۲۴/۸
PM	۰

جدول ۳- فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقه اثر خروجی‌های سمی (۲۳)

ماتریکس	ماده سیاهه نویسی شده	فاکتور ویژگی سازی معادل۱-۴ DCB
هوا	سرب	۴/۷E۲
	جیوه	۶E۳
	کادمیوم	۱/۵E۵
	دی اکسین	۱/۰۵E۲
آب	سرب	۱/۲E۱
	جیوه	۱/۴E۳
	کادمیوم	۱/۳E۱
	دی اکسین	۱/۰۸E۱
	اکسیژن خواهی زیستی	۱/۶E۲

جدول ۴- اجزای تخصیص داده شده در مطالعه حاضر و نحوه تخصیص مقادیر سیاهه شده به هر طبقه

طبقه اثر	اجزای تخصیص داده شده
مصرف منابع انرژی	میزان مصرف انرژی برحسب Gj
گازهای گلخانه‌ای	CO_2, NOx, CH_4
مه دود فتوشیمیایی	NOx, PM, VOCs
خروجی‌های سمی	Pb, Hg, Cd, Dioxins, Pb_{water}, Hg_{water}, Cd_{water}, BOD_{water}, $Dixins_{water}$

جدول ۵- اجزاء تشکیل دهنده مواد زائد جامد شهرستان نور (برحسب درصد)

ترکیب	حداقل	میانگین	حداکثر
مواد غذایی	۳۲/۰۴۴	۳۵/۵۱	۴۵/۶۶
کاغذ	۱/۴۱	۳/۵۲	۵/۵۰
مقوا	۲/۸۴	۴/۲۴	۵/۱۱
پلاستیک	۱۰/۱۷	۱۱/۸۶	۱۵/۵۲
منسوجات	۱/۸۷	۵/۷۲	۸/۴۷
لاستیک	۰	۰/۱۲	۰/۵۳
چرم	۲/۱۱	۲/۸۹	۴/۶۴
مواد باغبانی	۲۲/۱۴	۲۸/۹۳	۳۷/۳۹
چوب	۰	۰/۲۲	۰/۸۳
شیشه	۱/۳۶	۳/۰۵	۴/۶
قوطی حلبی	۰/۴۲	۲/۰۱	۳/۵۵
آلومینیوم	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۹۴
سایر فلزات	۰/۱۷	۰/۳۸	۱/۳۰
خاکروبه، خاکستر و غیره	۰/۹۲	۱/۱۹	۱/۳۶

یافته‌ها

- کمیت و کیفیت پسماند

تعیین ترکیب اجزاء تشکیل دهنده مواد زائد جامد شهرستان نور انجام و نتایج به شرح جدول ۵ است.

- سناریوهای مورد بررسی

کل پسماند وارد شده به سناریوها یکسان است که به‌عنوان واحد کار کردی در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن موارد فوق و با استفاده از سایر داده‌ها و اطلاعات مدل IWM-1 راه اندازی شد. پنج سناریو مورد بررسی در مدل IWM-1 اجرا شد. جدول ۶ مقدار آلاینده‌های وارد شده به هوا و مقدار آلاینده‌های وارد شده به آب را برای سناریوهای پنج گانه نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، سناریوی پنجم، شرایط فعلی شهر نور در مدیریت پسماند است. همان‌طور که در جدول ۷ نشان داده شده است، بیشترین بار زیست محیطی مربوط به سناریوی پنجم (وضعیت فعلی مدیریت پسماند شهر نور) است و کمترین آن در سناریوی چهارم مشاهده می‌گردد. بیشترین و کمترین میزان مصرف انرژی به ترتیب مربوط به سناریوهای اول و چهارم است. سناریوی سوم دارای بیشترین اثر گازهای گلخانه‌ای و سناریوی اول دارای کمترین مقدار آن است. در رابطه با گازهای اسیدی سناریوی چهارم دارای بیشترین و سناریوی پنجم دارای کمترین مقدار است. سناریوی پنجم و چهارم به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین میزان خروجی گازهای سمی و اثر گرمایش جهانی (انتشار گاز متان) هستند.

بحث

- تحلیل آنالیز فیزیکی پسماند

آنالیز فیزیکی پسماند شهر نور حاکی از آن است که بخش

جدول ۶- مقادیر نرمال سیاهه چرخه زندگی پسماند شهری نور بر حسب پسماند مدیریت شده در سناریوهای پنج گانه

نوع تنش	مقادیر نرمال سیاهه در سناریوهای پنج گانه					
	واحد	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
انرژی مصرف شده	گیگا ژول/تن پسماند	۳/۹۸E+۰۳	-۶/۷۴E+۰۲	-۲/۰۴E+۰۴	-۲/۶۹E+۰۴	۲/۱۴E+۰۳
CO_2	تن/تن پسماند	۲/۳۹E+۰۳	۱/۰۷E+۰۴	۲/۲۶E+۰۴	۱/۲۳E+۰۴	۱/۰۱E+۰۴
CH_4	تن/تن پسماند	۱/۲۲E+۰۴	۱/۲۲E+۰۴	۲/۳۰E+۰۴	۸/۰۰E+۰۳	۲/۹۰E+۰۴
NO_X	تن/تن پسماند	۴/۹۰E-۰۱	۹/۸۰E-۰۱	۶/۵۸E+۰۰	۸/۴۷E+۰۰	۳/۵۰E-۰۱
SO_X	تن/تن پسماند	۲/۰۰E-۰۱	۰/۰۰E+۰۰	۱/۸۰E+۰۰	۲/۹۰E+۰۰	۱/۰۰E-۰۱
HCL	تن/تن پسماند	۰/۰۰E+۰۰	۰/۰۰E+۰۰	۹/۶۸E-۰۱	۱/۴۱E+۰۰	۸/۸۰E-۰۲
N_2O	تن/تن پسماند	۱/۷۴E+۰۱	۳/۴۷E+۰۱	۲/۳۳E+۰۲	۳/۰۰E+۰۲	۱/۲۴E+۰۱
VOC_S	تن/تن پسماند	۷/۲۰E+۰۰	۴/۳۲E+۰۰	۷/۲۰E+۰۰	۶/۱۲E+۰۰	۱/۳۳E+۰۱
Pb	کیلوگرم/تن پسماند	۰/۰۰E+۰۰	۰/۰۰E+۰۰	۲/۶۳E+۰۳	۴/۰۰E+۰۳	۰/۰۰E+۰۰
Hg	کیلوگرم/تن پسماند	۰/۰۰E+۰۰	۰/۰۰E+۰۰	۱/۲۷E+۰۴	۱/۹۵E+۰۴	۰/۰۰E+۰۰
Cd	کیلوگرم/تن پسماند	۰۰E+۰/۰۰	۰۰E+۰/۰۰	۸/۲۵E+۰۴	۱/۲۶E+۰۵	۱/۵۰E+۰۳
Dioxins (TEQ)	گرم/تن پسماند	۰۰E+۰/۰۰	۰۰E+۰/۰۰	۶/۳۰E-۰۲	۹/۴۵E-۰۲	۱/۰۵E-۰۲
Pb_{water}	کیلوگرم/تن پسماند	۵/۴۷E+۰۱	۵/۲۰E+۰۱	۶/۴۳E+۰۱	۳/۴۶E+۰۱	۸/۵۰E+۰۱
Hg_{water}	کیلوگرم/تن پسماند	۸/۶۸E+۰۱	۸/۶۸E+۰۱	۱/۱۱E+۰۲	۵/۴۶E+۰۱	۱/۳۹E+۰۲
Cd_{water}	کیلوگرم/تن پسماند	۱/۴۵E+۰۲	۱/۴۴E+۰۲	۱/۸۹E+۰۲	۹/۸۰E+۰۱	۲/۳۱E+۰۲
BOD	کیلوگرم/تن پسماند	۱/۳۴E+۰۷	۱/۳۴E+۰۷	۱/۶۹E+۰۷	۷/۷۵E+۰۶	۲/۱۴E+۰۷
$Dioxins_{water}$ (TEQ)	گرم/تن پسماند	۹/۰۷E-۰۳	۹/۰۷E-۰۳	۱/۱۸E-۰۲	۶/۱۶E-۰۳	۱/۴۵E-۰۲

جدول ۷- وزن نسبی و مقادیر نرمال طبقات شاخص اکولوژیکی سناریوهای مختلف

طبقه اثر	سناریوی اول		سناریوی دوم		سناریوی سوم		سناریوی چهارم		سناریوی پنجم	
	مقادیر نرمال	ضرب در وزن	مقادیر نرمال	ضرب در وزن	مقادیر نرمال	ضرب در وزن	مقادیر نرمال	ضرب در وزن	مقادیر نرمال	ضرب در وزن
مصرف منابع انرژی	۳/۹۸E+۰۳	۳/۵۰E+۰۳	-۶/۷۴E+۰۲	-۵/۹۳E+۰۲	-E۰۴/۲+۰۴	-E۸۰/۱+۰۴	-E۶۹/۲+۰۴	-۲/۳۶E+۰۴	۲/۱۴E+۰۳	۱/۸۹E+۰۳
گازهای گلخانه‌ای	۱/۴۶E+۰۴	۱/۳۰E+۰۴	۲/۲۹E+۰۴	E۰۴/۲+۰۴	E۵۶/۴+۰۴	۴/۰۶E+۰۴	۲/۰۳E+۰۴	۱/۸۰E+۰۴	۳/۹۱E+۰۴	۳/۴۸E+۰۴
گازهای اسیدی	۶/۹۰E-۰۱	۲/۷۶E-۰۱	۹/۸۰E-۰۱	E۹۲/۳-۰۱	E۳۵/۹+۰۰	۳/۷۴E+۰۰	۱/۲۸E+۰۱	۵/۱۱E+۰۰	۵/۳۸E-۰۱	۲/۱۵E-۰۱
گازهای فتوشیمیایی	۲/۴۶E+۰۱	۷/۱۲E+۰۰	E۱۳/۱+۰۱	۳/۹۰E+۰۱	E۴۰/۲+۰۲	۶/۹۷E+۰۱	۳/۰۶E+۰۲	۸/۸۸E+۰۱	۲/۵۷E+۰۱	۷/۴۶E+۰۰
خروجی‌های سمی	۱/۳۶E+۰۸	۱/۷۴E+۰۸	E۷۴/۱+۰۷	۱/۳۶E+۰۷	E۶۹/۱+۰۶	E۲۰/۲+۰۹	۷/۸۶E+۰۶	۱/۰۲E+۰۶	۲/۱۴E+۱۰	۲/۷۸E+۱۰
شاخص اکولوژیکی	۱/۷۶E+۰۸		۱/۷۴E+۰۷		۲/۲۳E+۰۹		۱/۰۳E+۰۶		۲/۸۲E+۱۰	

اعظم آن از مواد آلی فسادپذیر است لذا استفاده از پسماند به‌عنوان کود کمپوست را بیشتر مورد توجه قرار می‌دهد. به همین دلیل یکی از گزینه‌های سناریوهای مطالعه کمپوست است. میزان مواد فسادپذیر در پسماند شهر نور در مقایسه با سایر مطالعات نظیر شهرهای تبریز و شیراز بیشتر است (۳، ۲۴). از طرف دیگر، به دلیل محتوای بالای مواد آلی در پسماند گزینه هاضم‌های بی‌هوازی نیز به گزینه‌ها اضافه شد.

- تحلیل سناریوها

سناریو پنجم که سناریو وضعیت موجود منطقه است در قسمت خروجی‌های سمی و شاخص اکولوژیکی در بین تمامی سناریوها بیشترین بار زیست محیطی را ایجاد می‌کند. اعداد منفی در بخش مصرف انرژی به دلیل در نظر گرفتن سامانه‌های جبرانی، نشانگر تولید و فروش انرژی در این سناریوها است. میزان مصرف انرژی در سناریو اول و پنجم به‌دلیل دفن غیر بهداشتی بالاتر از سناریوهای دیگر بود با این حال در سناریو اول اضافه کردن سامانه کمپوست به‌دلیل مصرف بالای انرژی، بر میزان مصرف انرژی افزوده است اما بر سایر پارامترها مانند گازهای گلخانه‌ای و غیره اثر مثبتی داشته است. مقایسه مصرف انرژی در سناریو سوم و سناریو چهارم نشان می‌دهد که انرژی خالص تولید شده در سناریو چهارم بهتر از سناریو سوم است. این موضوع می‌تواند اولا به این دلیل باشد که زباله سوز کمکی به تولید انرژی نکرده است چرا که در سناریو سوم میزان زباله سوز کردن پسماند (۵۰ درصد) از سناریو چهارم (۳۵ درصد) بیشتر است اما تولید انرژی آن کمتر است، به این دلیل که پسماندهای آلی مهمترین بخش پسماند شهری در نور هستند و سوختن این زباله‌ها به دلیل ارزش حرارتی خالص کم (Low Heat Value (LHV)) جهت سوختن، به سوخت کمکی مانند گازوییل احتیاج دارند و بنابراین زباله سوزی این نوع پسماند انرژی تولید نمی‌کند و حتی احتیاج به سوخت کمکی نیز دارد. به نظر می‌رسد مهمترین سهم در تولید انرژی در سناریو چهارم بر عهده هاضم‌های بی‌هوازی است. گاز دی اکسید کربن و گاز متان از جمله گازهای اصلی مشارکت کننده در بحث گرمایش جهانی است، یکی از منابع اصلی این دو گاز به خصوص گاز متان، محل‌های دفن بهداشتی و غیر بهداشتی پسماند است. در این مطالعه پتانسیل مشارکت در تولید گاز متان تمام سناریوها با هم مقایسه می‌شوند. همانطور که مشاهده می‌گردد سناریوی پنجم و چهارم به ترتیب بیشترین و کمترین نقش در تولید گاز متان را دارند. علت اصلی بالا بودن تولید گاز متان در سناریو پنجم دفن غیر بهداشتی پسماند است. گاز متان، یکی از مهمترین گازهای سهیم در اثر گرمایش جهانی است. در سناریو سوم، انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای به دلیل احتراق زواید پلاستیکی است که با بازیافت پسماند غیر قابل تجزیه می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به حداقل رساند. در نتایج مطالعه Ganbarzadeh و همکاران در سال ۲۰۰۹ با استفاده از اثرات چرخه عمر سناریوهای دفع پسماند در جزیره سیری نشان داد که در صورت استحصال انرژی گاز مرکز دفن، می‌توان شاهد کاهش چشمگیری در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بود و تولید گازهای گلخانه‌ای در سناریو دفن غیر بهداشتی و بدون استحصال انرژی بیشتر از سناریو زباله سوز است (۲۵).

با وجود این که سناریوهای پیشنهادی برای بهبود سامانه مدیریت نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی و گازهای گلخانه‌ای دارند، این سناریوها در رابطه با گازهای اسیدی و گازهای فتوشیمیایی نه تنها باعث بهبود نگردیدند، بلکه باعث تنزل نیز شده اند. با توجه به اینکه بیشتر افت در سناریو چهارم و سناریو سوم مشاهده می‌گردد، به نظر می‌رسد که خروجی‌های زباله سوز و هاضم باید نقش بسیار مهمی در این طبقات داشته باشند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد در صورت استفاده از زباله سوزها، حتما تصفیه کننده گازهای خروجی نیز ارائه گردد. مهمترین منشا گازهای فتوشیمیایی سوخت‌های فسیلی است. در سناریو چهارم دو سامانه پیچیده هاضم و زباله سوز وجود دارد که برای نگهداری آن به میزان بالایی از انرژی فسیلی نیاز است که می‌تواند این تفاوت را توجیه کند. در مقابل Nasrollahi و همکاران در مطالعه خود فرایند زباله سوز را موثرترین عامل در افزیش بارهای زیست محیطی در طبقه سمیت عنوان نموده‌اند (۲۶). در مطالعه‌ای دیگر که در اصفهان توسط Kermani و همکاران انجام گردیده است، سوزاندن را عامل انتشار کادمیوم، سرب، مس، جیوه و دی اکسین معرفی کرده‌اند (۲۷).

در طبقه اثر خروجی‌های سمی به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن یا بار زیست محیطی را سناریوی پنجم و چهارم دارند. در سناریو پنجم به دلیل دفن غیر بهداشتی و عدم استحصال انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و غیره از لحاظ خروجی سمی بدترین سناریو بود و سناریو چهارم به دلیل دفن بهداشتی و گزینه کمپوست مناسب‌ترین سناریو است.

در نتیجه از نظر بار زیست محیطی به‌ترتیب بیشترین و کمترین بار آلودگی مربوط به سناریوی پنجم و چهارم است. در خصوص استفاده از کمپوست نیز برای مدیریت پسماند، نتایج متفاوتی به‌دلیل ویژگی‌های پسماند تولیدی و شرایط اجتماعی – اقتصادی مطرح می‌گردد (۳). به‌عنوان مثال Rafiee و همکاران (۱۸) استفاده از کمپوست را به‌دلیل دارا بودن اثرات زیست محیطی کمتر به عنوان سناریوی مناسب مدیریت پسماند شهر معرفی نموده‌اند.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن شاخص اکولوژیکی، سناریوی چهارم شامل بازیافت، کمپوست و هاضم بی‌هوازی، زباله‌سوز و دفن بهداشتی نسبت به سایر سناریوها وضعیت مناسب‌تری دارد و سناریو پنجم شامل بازیافت و دفن غیر بهداشتی که معرف وضعیت کنونی منطقه است، بیشترین بار آلودگی را تولید می‌کند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق IR.MAZUMS.REC.1398.662 است.

تشکر و قدردانی

این مقاله که حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "تعیین اثر محیط زیستی روش‌های مختلف در مدیریت پسماند جامد شهری" در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط با کد ۳۰۲۱ است با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران اجرا شده است؛ و همچنین نویسندگان از همکاری شهرداری شهرستان نور بخصوص آقایان انشایی و محمودی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Movahed ZP, Kabiri M, Ranjbar S, Joda F. Multi-objective optimization of life cycle assessment of integrated waste management based on genetic algorithms: A case study of Tehran. Journal of Cleaner Production. 2020;247:119153.
2. Pires A, Martinho G, Chang N-B. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. Journal of Environmental Management. 2011;92(4):1033-50.
3. Norouzian Baghani A, Farzadkia M, Azari A, Zazouli MA, Vaziri Y, Delikhoon M, et al. Economic aspects of dry solid waste recycling in Shiraz, Iran. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2016;25(133):330-34 (in Persian).
4. Guinée JB, Heijungs R, Huppes G, Zamagni A, Masoni P, Buonamici R, et al. Life cycle assessment: Past, present, and future. Environmental Science & Technology. 2011;45(1):90-96.
5. Manfredi S, Tonini D, Christensen TH. Environmental assessment of different management options for individual waste fractions by means of life-cycle assessment modelling. Resources, Conservation and Recycling. 2011;55(11):995-1004.
6. Winkler J, Bilitewski B. Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. Waste Management. 2007;27(8):1021-31.
7. Salem AA, Soliman AA, El-Haty IA. Determination of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone, and ammonia in ambient air using the passive sampling method associated with ion chromatographic and

potentiometric analyses. Air Quality, Atmosphere & Health. 2009;2(3):133-45.
8. Asif M, Muneer T, Kelley R. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. Building and Environment. 2007;42(3):1391-94.
9. Rigamonti L, Niero M, Haupt M, Grosso M, Judl J. Recycling processes and quality of secondary materials: Food for thought for waste-management-oriented life cycle assessment studies. Waste Management. 2018;76:261-65.
10. Ogino A, Orito H, Shimada K, Hirooka H. Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow–calf system by the life cycle assessment method. Animal Science Journal. 2007;78(4):424-32.
11. Zhao W, der Voet Ev, Zhang Y, Huppes G. Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. Science of the Total Environment. 2009;407(5):1517-26.
12. Asase M, Yanful EK, Mensah M, Stanford J, Amponsah S. Comparison of municipal solid waste management systems in Canada and Ghana: a case study of the cities of London, Ontario, and Kumasi, Ghana. Waste Management. 2009;29(10):2779-86.
13. Banar M, Cokaygil Z, Ozkan A. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. Waste Management. 2009;29(1):54-62.
14. Cherubini F, Bargigli S, Ulgiati S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. Energy. 2009;34(12):2116-23.
15. Skordilis A. Modelling of integrated solid waste management systems in an island. Resources, Conservation and Recycling. 2004;41(3):243-54.
16. Ozeler D, Yetis U, Demirer GN. Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. Environment International. 2006;32(3):405-11.
17. Abduli MA, Naghib A, Yonesi M, Akbari A. Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill. Environmental Monitoring and Assessment. 2011;178(1-4):487-98.
18. R. Rafiee, Mahiny ARS, Khorasani N. Environmental life cycle assessment of municipal solid waste management system (Case study: Mashad City). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 2009;16(2):208-20.
19. Hasani M, Moradi H, Jamalinejhad M, Shoorabi R. Environmental life cycle assessment of waste management system in Isfahan. The First Conference of Urban Servises and Environment; 2013; Mashhad, Iran (in Persian).
20. Houghton JT, Meiro Filho LG, Callander BA, Harris N, Kattenburg A, Maskell K. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. New York: Cambridge University Press; 1996.
21. Shahnazary M, Jalili Ghazizadeh M, Shahbazi A. Investigation of different alternatives on municipal solid waste disposal by using life cycle assessment (LCA) approach (case study: Ramsar). Journal of Civil and Environmental Engineering (University of Tabriz). 2017;47(2):29-38.
22. Solomon S, Qin D, Manning M, Averyt K. Climate change 2007. New York: Cambridge University Press; 2007.
23. Huijbregts MAJ, Schöpp W, Verkuijlen E, Heijungs R, Reijnders L. Spatially explicit characterization of acidifying and eutrophying air pollution in life-cycle assessment. Journal of Industrial Ecology. 2000;4(3):75-92.
24. Zazouli MA, Belarak D, Mahdavi Y, Barafrashtehpour M. A quantitative and qualitative investigation of Tabriz solid waste. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2013;22(2):86-90 (in Persian).
25. Ganbarzadeh Lak M, Sabour MR. Evaluation of the life cycles of urban waste solid waste disposal scenarios greenhouse gases and energy consumption - case study: Siri Island. Journal of Environmental Studies. 2010;36(55):67-78.
26. Nasrollahi-Sarvaghaji S, Alimardani R, Sharifi M, Taghizadeh Yazdi M. Comparison of the Environmental Impacts of Different Municipal Solid Waste Treatments using Life Cycle Assessment (LCA) (Case Study: Tehran). Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(2):273-88 (in Persian).
27. Kermani M, Nouri J, Omrani GA, Arjmandi R. Comparison of solid waste management scenarios based on life cycle analysis and multi-criteria de-

cision making (Case study: Isfahan city). Iranian Journal of Science and Technology (Sciences). 2014;38(3):257-64.

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

Original Article

Selecting the best options of management of municipal solid waste using life cycle assessment methodology (Case study: Noor city)

MA Zazouli[1,2], Z Karimi[1,*], R Rafiee[3]

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

2- Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

3- Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 11 November 2019

Revised: 03 February 2020

Accepted: 08 February 2020

Published: 18 March 2020

Keywords: Life cycle assessment, Urban waste management, Waste, Sanitary landfilling

***Corresponding Author:**
z_karimi9069@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: one of the major challenges in urban management in human societies is related to the collection, recycling and disposal of solid waste and sewage. Poor waste management causes pollution of water, soil and air. It will have a major impact on public health. The aim of present study was to investigate the current status and select the best options of management of municipal solid waste in Noor city (Mazandaran, Iran) using life cycle assessment (LCA) methodology.

Materials and Methods: This research considered with five scenarios: 1) Recycling, composting and unsanitary landfilling; 2) Recycling, composting and sanitary landfilling; 3) Recycling, incineration and sanitary landfilling; 4) Recycling, composting and anaerobic digestion, incineration, sanitary landfilling; 5) Recycling and unsanitary landfilling. The required data for life cycle assessment inventory were collected through reviewing resources, preparing of questionnaires, completing the questionnaire by staff, and field inspections.The life cycle inventory was approved by the IWM model.

Results: The scenario 5, which is the current situation in the region, had the highest environmental impact in terms of toxic emissions and ecological indicators among all the scenarios. Energy consumption in the scenarios 1 and 5 was higher than the unsanitary landfilling in comparison to the other scenarios. Accordingly, the scenarios 5 and 4 had the most and the least impact on methane gas production.

Conclusion: According to the ecological index, the fourth scenario including recycling, composting and anaerobic digestion, and sanitary landfilling was the best scenario. Fifth scenario with the highest pollution load was the worst scenario evaluated.

Please cite this article as: Zazouli MA, Karimi Z, Rafiee R. Selecting the best options of management of municipal solid waste using life cycle assessment methodology (Case study: Noor city). Iranian Journal of Health and Environment. 2020;12(4):607-20.