فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۰

۸۵-۹۸

مقایسه اثرهای محیط‌زیستی در چرخه حیات سناریوهای دفع مواد زاید جامد شهری (مطالعه موردی: شهرستان بابل)

غلامرضا نبی بیدهندی[۱]*، مریم ربیعی ابیانه [۲] و امید حسن زاده مقیمی[۲]

[۱] گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۲] گروه مهندسی محیط‌زیست، پردیس بین المللی کیش، دانشگاه تهران، کیش، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۲

نبی بیدهندی، غ.ر.، م. ربیعی ابیانه و ا. حسن زاده مقیمی. ۱۴۰۰. مقایسه اثرهای محیط‌زیستی در چرخه حیات سناریوهای دفع مواد زاید جامد شهری (مطالعه موردی: شهرستان بابل). فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۳): ۸۵-۹۸.

سابقه و هدف: امروزه تولید انواع مواد زاید جامد شهری و بروز انواع ناسازگاری‌های محیط‌زیستی مربوط به آن‌ها، مدیریت پسماندهای شهری را با مشکل‌های زیادی در زمینه دفع آن‌ها مواجه ساخته است. دفع پسماندها شامل آلاینده‌های مختلف که هر روز بر میزان و تنوع آن‌ها افزوده می‌شود، افزون بر نیاز به مدیریت واحد و اصولی، می‌بایست به روشی انجام شود که کمترین خسارت‌ها را بر محیط‌زیست وارد سازد. ارزیابی چرخه حیات یک ابزار ارزشمند به منظور برنامه‌ریزی مدیریت جامع پسماند از منظر محیط‌زیستی است که جنبه‌ها و پیامدهای نهفته محیط‌زیستی را از مرحله جمع‌آوری تا دفن پسماند در بر می‌گیرد. بنابراین کاربرد این روش، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش و حل مشکلات مدیریت پسماند ایفا کند. هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی چرخه حیات سناریوهای مختلف سامانه پردازش و دفن مواد زاید جامد در شهرستان بابل، به منظور انتخاب سازگارترین گزینه با محیط‌زیست می‌باشد.

مواد و روش‌ها: ابتدا ویژگی‌های کمی و کیفی مواد زاید جامد تولیدی و روش دفع کنونی آن‌ها در شهرستان بابل، مورد بررسی قرار گرفت. سپس، از نتایج حاصل برای ارزیابی چرخه حیات شش سناریوی مختلف مدیریت پسماند شامل ترکیب چهار روش دفع به‌صورت کمپوست، بازیافت، زباله‌سوزی بهمراه استحصال انرژی و دفن، استفاده شد. سیاهه‌نویسی چرخه حیات با کمک مدل IWM-2 صورت گرفت. در نهایت، نتایج به‌دست آمده از سیاهه‌نویسی به دو طبقه اثر شامل مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای اختصاص یافت.

نتایج و بحث: یافته‌ها نشان داد روزانه حدود ۲۵۰ تن مواد زاید جامد شهری از سطح شهرستان بابل جمع‌آوری می‌شود. زایدات تولیدی توسط ماشین‌های حمل پسماند به ایستگاه انتقال برده شده و از آنجا با تریلرهای مخصوص به مرکز دفن پسماند شهرداری بابل، منتقل می‌شوند. درصد بالایی از ترکیب مواد زاید جامد شهری بابل را پسماندهای غذایی تشکیل می‌دهند (۶۵.۳ درصد). نتایج حاصل از ارزیابی اثرهای محیط‌زیستی مشخص کرد که با افزایش سهم کمپوست و بازیافت در سناریوی چهارم به میزان ۶۰ و ۲۰ درصد، در مقایسه با سناریوی پایه شامل ۴۶ درصد کمپوست و ۱۰ درصد بازیافت، از مقدار پسماندهای ورودی به محل دفن کاسته شده و بنابراین میزان انرژی مصرفی جهت دفن پسماندها نیز کاهش می‌یابد. اگرچه پردازش دوباره مواد بازیافتی انرژی بیشتری مصرف می‌کند، اما افزایش مقدار نسبت

* Corresponding Author: *Email Address*. ghhendi@ut.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.33920

جانشینی مواد خام سبب جبران بیشتر انرژی شده و انرژی مصرفی خالص را کاهش می‌دهد. همچنین در این سناریو، با توجه به افزایش مقدار مواد جهت بازیافت و باز استفاده و همچنین جلوگیری از انتشارات ناشی از تولید مواد اولیه، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2، CH_4 و NOx) نیز به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج حاصل، مؤثرترین روش در کاهش بار محیط‌زیستی، تهیه کمپوست از بخش آلی زایدات می‌باشد. به‌طوریکه با اجرای سناریوی چهارم (کمپوست ۶۰ درصد + بازیافت ۲۰ درصد + دفن ۲۰ درصد) انتشار گازهای گلخانه‌ای و انرژی مصرفی به ترتیب به میزان ۵۴ و ۱۹ درصد، نسبت به سناریوی پایه، کاهش پیدا خواهد کرد. با توجه به اینکه درصد بالایی از ترکیب مواد زاید جامد شهری بابل را پسماندهای فسادپذیر تشکیل می‌دهند، افزایش نرخ کمپوست می‌تواند گزینه مناسبی به منظور مدیریت بهینه زایدات در این شهرستان باشد و نقش مهمی در کاهش بار آلایندگی گازهای گلخانه‌ای و نیز مصرف انرژی، ایفا کند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت مواد زاید جامد، ارزیابی چرخه حیات، مدل IWM-2، گازهای گلخانه‌ای، بابل

مقدمه

تولید مواد زاید جامد در سرتاسر جهان به‌طور مداوم رو به افزایش است. رشد سریع شهرنشینی، افزایش سطح درآمد و رفاه جامعه، رشد سریع اقتصادی و اجتماعی و نیز تغییر الگوهای مصرف نه تنها موجب افزایش کمیت و میزان تولید پسماند، بلکه منجر به تغییر کیفیت پسماندهای تولیدی نیز شده است (Fiorentino *et al*., 2015; Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2017). این تغییرات تولید آلاینده‌های نوظهور و ایجاد خطرات بهداشتی و محیط‌زیستی فراوانی را به‌دنبال داشته است (Stamou and Antizar-Ladislao, 2016). شدت بحران به قدری زیاد است که اکنون در مدیریت صحیح پسماندهای جامد شهری با هدف حفاظت از سلامت انسان و جلوگیری از اثرهای محیط‌زیستی آن، اجماع جهانی وجود دارد (Nasrollahi-Sarvaghaji *et al*., 2016). در هر صورت تولید پسماندها امری غیر قابل اجتناب بوده و مدیریت بهینه آن یکی از نیازهای اصلی هر جامعه محسوب می‌شود (Pujara *et al*., 2019). در سیستم مدیریت مواد زاید جامد شهری، براساس میزان تولید و ترکیب پسماندها، گزینه‌های مختلفی برای مدیریت زایدات وجود دارد که این گزینه‌ها افزون بر هزینه‌های اقتصادی، بار محیط‌زیستی گوناگونی نیز به‌دنبال دارند (Di Maria and Micale, 2014). انتخاب گزینه مناسب در بین استراتژی‌های مختلف پردازش و دفع مواد زاید جامد شهری، نیاز به ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری دارد (Zarea *et al*., 2019). ارزیابی چرخه حیات یک ابزار ارزشمند برای کمک به تصمیم‌گیری شهرداران و تصمیم‌گیران مدیریت پسماند شهری به منظور برنامه‌ریزی مدیریت جامع پسماند از منظر محیط‌زیستی می‌باشد که در دهه اخیر معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است (Kulczycka *et al*., 2015; Ripa *et al*., 2017). ارزیابی چرخه حیات[1]، جنبه‌ها و پیامدهای نهفته محیط‌زیستی را از مرحله جمع‌آوری تا دفن پسماند در بر می‌گیرد (Ning *et al*., 2013). در مطالعه ارزیابی چرخه حیات چهار مرحله وجود دارد (Hong *et al*., 2017). مرحله اول، تعریف هدف و دامنه که به موضوع و استفاده مورد نظر در مطالعه بستگی دارد. مرحله دوم، تجزیه و تحلیل سیاهه که جمع‌آوری داده‌های لازم برای مطابقت با هدف‌های تعریف شده مطالعه را در بر می‌گیرد (Manfredi *et al*., 2011). مرحله سوم، ارزیابی پیامد که هدف از آن فراهم کردن اطلاعات اضافی برای کمک به ارزیابی نتایج سیاهه چرخه حیات یک سیستم برای درک بهتر اهمیت محیط‌زیستی آن است. مرحله آخر، تفسیر است که در آن نتایج یک سیاهه چرخه حیات یا ارزیابی پیامد چرخه حیات یا هر دو باهم، به‌عنوان پایه‌ای برای نتیجه‌گیری‌ها، پیشنهادات و تصمیم‌گیری‌ها مطابق با تعریف هدف و دامنه، خلاصه شده و مورد بحث قرار می‌گیرند (Rajcoomar and Ramjeawon, 2017).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در مورد ارزیابی چرخه

حیات به منظور مقایسه روش‌های گوناگون مدیریت مواد زاید جامد شهری در ایران و جهان صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه پژوهشگران در مطالعه‌ای سناریوهای دفع پسماندهای جامد شهری منطقه نفتی بهرگان را از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای و با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات، مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق گویای برتری سناریوی دفع شامل بازیافت، کمپوست بی‌هوازی و دفن زایدات بهمراه استحصال گازهای لندفیل بوده است (Kashefi Alasl *et al*., 2013). در تحقیق دیگر روش‌های مختلف مدیریت پسماند شهر سیرجان با رویکرد ارزیابی چرخه حیات مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد سناریوی شامل بازیافت (۱۹.۲ درصد)، زباله‌سوزی (۶۹.۸ درصد) و دفن (۱۱ درصد) کمترین اثرهای محیط‌زیستی را در طبقات اثر اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تخریب لایه اوزون و تولید ازن فتوشیمیایی در میان دیگر سناریوها دارا است (Vahidi and Rastikerdar, 2018). ارزیابی سناریوهای مختلف سامانه پردازش و دفن پسماندهای شهری در کرج به منظور انتخاب سازگارترین گزینه با محیط‌زیست، مشخص کرد که افزایش نرخ کمپوست می‌تواند نقش مهمی در کاهش بار آلایندگی از لحاظ آلودگی آب و هوا و نیز مصرف انرژی ناشی از سامانه مدیریت پسماند داشته باشد (Naghibzadeh *et al*., 2014). بررسی روش‌های مختلف مدیریت مواد زاید جامد در المپیک پارک لندن با رویکرد ارزیابی چرخه حیات نشان داده که سناریوهای تصفیه حرارتی پیشرفته و زباله‌سوزی همراه با بازیافت انرژی کمترین پتانسیل گرمایش جهانی را نسبت به دیگر سناریوها و در مقایسه با دفن مستقیم، دارا هستند (Parkes *et al*., 2015). در حالیکه در ایالت سائوپائولو در برزیل سناریوی کمپوست خانگی زایدات آلی منجر به حصول این نتیجه شده است (Oliveira *et al*., 2016). همچنین در شهر هانگژوی چین سناریوهای تفکیک در مبدأ و استفاده از روش‌های تصفیه بیولوژیکی زایدات غذایی، در کاهش گرمایش جهانی نقش ایفا کرده‌اند (Chi *et al*., 2015).

شهرستان بابل پرجمعیت‌ترین شهرستان استان مازندران و دومین شهرستان پرجمعیت شمال ایران است. این شهرستان دارای هفت شهر به نام‌های بابل (مرکز شهرستان)، امیرکلا، زرگرشهر، گتاب، خوش‌رودپی، گلوگاه و مرزی‌کلا می‌باشد. براساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن صورت گرفته در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهرستان بابل ۵۳۱۹۳۰ نفر گزارش شده است (Statistic Center of Iran, 2016). شهرستان بابل افزون بر جاذبه‌های طبیعی بسیار، دارای تاریخی غنی می‌باشد که این دو ویژگی در کنار هم، این شهرستان را به یکی از پر طرفدارترین شهرهای شمالی کشور برای گردشگران، تبدیل کرده است. حضور بیش از حد گردشگران در بابل، در کنار جمعیت زیاد این شهرستان، تولید روز افزون مواد زاید جامد شهری را به‌دنبال داشته است. تولید انواع مختلف پسماندها و بروز ناسازگاری‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی مرتبط با آن‌ها، مدیریت پسماند را با مشکل‌های زیادی در زمینه جمع‌آوری، حمل و نقل، پردازش و دفع زایدات مواجه می‌سازد (Wang *et al*., 2015; Guereca *et al*., 2015). از آنجاییکه بابل نیز، همچون سایر شهرهای شمالی کشور با مشکل مدیریت پسماندهای شهری رو به رو است، ارزیابی اثرهای محیط‌زیستی در چرخه حیات دفع زایدات، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش و حل مشکل‌های مدیریت پسماند این شهرستان داشته باشد (Suna-Erses-Yay, 2015). بنابراین هدف از انجام این مطالعه، بررسی اثرهای محیط‌زیستی در چرخه حیات سناریوهای گوناگون دفع مواد زاید جامد شهری در شهرستان بابل، از منظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های کمی و کیفی مواد زاید جامد تولیدی در شهرستان بابل

براساس اطلاعات گرفته شده از سازمان مدیریت پسماند شهرداری بابل، روزانه حدود ۲۵۰ تن مواد زاید جامد شهری

از سطح این شهرستان جمع‌آوری می‌شود که ۱۸۵ تن آن مربوط به شهر بابل، ۳۵ تن مربوط به شهرداری‌های شش‌گانه شهرستان و ۳۰ تن مربوط به روستاهای اطراف است. سرانه تولید پسماند برای هر شهروند بابلی ۶۷۰ گرم، برای هر شهروند ساکن امیرکلا ۶۶۰ گرم و برای اهالی سایر شهرها و روستاهای شهرستان، ۴۹۰ گرم می‌باشد (Babol Municipality, 2017). ترکیب زایدات تولیدی در شهرستان بابل در جدول ۱ نشان داده شده است. بنابر جدول ۱، زایدات غذایی با ۶۵.۳ درصد، رتبه نخست اجزای تشکیل دهنده مواد زاید جامد شهری بابل را به خود اختصاص داده‌اند. بعد از آن، کاغذ و مقوا، پلاستیک و فلزهای غیرآهنی به ترتیب با ۸.۷، ۷.۳ و ۲.۳ درصد در جایگاه دوم تا چهارم قرار می‌گیرند. همچنین در محدوده شهر بابل روزانه در حدود ۱۵۰۰ کیلوگرم پسماند بیمارستانی تولید می‌شود که بخشی از آن در زباله‌سوزهای موجود در بیمارستان‌ها، امحاء و قسمتی نیز به‌صورت مخلوط با پسماندهای عادی به محل دفن حمل می‌شود.

جدول ۱- ترکیب مواد زاید جامد تولیدی در شهرستان بابل (Babol Municipality, 2017)

Table 1. Municipal solid waste composition in Babol (Babol Municipality, 2017)

سهم (درصد وزنی) Share (%)	ترکیب زایدات Solid waste components	سهم (درصد وزنی) Share (%)	ترکیب زایدات Solid waste components
1.2	شیشه Glass	65.3	زایدات غذایی Food waste
1.8	فلزهای آهنی Ferrous metals	8.7	کاغذ و مقوا Paper & cardboard
2.3	فلزهای غیرآهنی Non-ferrous metals	1.1	پت PET
1.2	چوب Wood	0.5	لاستیک Tire
9.5	متفرقه Others	7.3	پلاستیک Plastic
100	مجموع Total	1.1	منسوجات Textile

ارزیابی چرخه حیات سامانه مدیریت پسماند شهری

ارزیابی چرخه حیات برای سناریوهای پیش‌بینی شده در این مطالعه، با استفاده از مدل IWM-2 صورت گرفت. مدل IWM-2 یکی از مدل‌های ارزیابی چرخه حیات است که با کمک آن می‌توان سناریوهای مختلف مدیریت پسماند را تعریف و آثار محیط‌زیستی هر سناریو را با هم مقایسه و ارزیابی کرد (Evangelisti *et al*., 2015; Akhavan Limoodehi *et al*., 2017). این مدل از دو زیر مدل محیط‌زیستی و اقتصادی تشکیل شده که در این مطالعه تنها زیر مدل محیط‌زیستی آن مورد استفاده قرار گرفته است. در زیر مدل محیط‌زیستی چرخه حیات، جریان پسماند از نقطه تولید تا دفع نهایی دنبال می‌شود (Allegrini *et al*., 2015). هر مرحله از چرخه حیات مدیریت پسماند در یک کادر گفتگو ارائه می‌شود. پاسخ به پرسش‌های ارائه شده وضعیت سامانه مدیریت مورد بررسی را مشخص می‌سازد. نتایج نهایی بیان شده توسط مدل، نشان دهنده سیاهه‌نویسی چرخه حیات سامانه مورد بررسی است (Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2017).

سناریوهای دفع مواد زاید جامد تولیدی در شهرستان بابل

اطلاعات استعلامی از سازمان مدیریت پسماند شهرداری بابل به‌عنوان داده‌های خام ورودی نرم افزار IWM-2 به منظور مقایسه شش سناریوی مختلف مدیریت پسماند، شامل ترکیب چهار روش دفع به‌صورت کمپوست، بازیافت، زباله‌سوزی بهمراه استحصال انرژی و دفن، به منظور بررسی

میزان انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۲). سناریوهای مورد بررسی بر اساس شرایط موجود سیستم مدیریت مواد زاید جامد شهری بابل، امکانات قابل دسترسی و فناوری موجود و با هدف تعیین اولویت در تصمیم‌گیری‌ها به منظور ارتقای این سیستم، تعریف و تعیین شدند. سناریوی ۱ نشان دهنده سیستم فعلی مدیریت مواد زاید جامد در شهرستان بابل است. سناریوهای ۲ تا ۴ به منظور بررسی میزان تأثیر عملیات کمپوست و بازیافت در سیستم مدیریت پسماند شهری و سناریوهای ۵ و ۶ به منظور بررسی تأثیر زباله‌سوزی با رویکرد بازیابی انرژی از پسماند، در نظر گرفته شدند.

جدول ۲- سناریوهای دفع مواد زاید جامد تولیدی در شهرستان بابل
Table 2. Description of scenarios used in LCA of MSW for Babol

سناریو Scenario	کمپوست (درصد) Composting (%)	بازیافت (درصد) Recycling (%)	زباله‌سوزی بهمراه استحصال انرژی (درصد) Waste to energy (%)	دفن (درصد) Landfilling (%)
1	46	10	-	44
2	60	10	-	30
3	46	15	-	39
4	60	20	-	20
5	46	-	10	44
6	60	-	20	20

نتایج و بحث

مفروضات لازم جهت اجرای نرم افزار IWM-2 در این پژوهش، از طریق مصاحبه با کارشناسان بخش مدیریت پسماند شهرداری بابل به‌دست آمد. داده‌های مورد نیاز شامل آنالیز کمی و کیفی پسماند تولیدی، مرحله‌های جمع‌آوری و حمل و نقل و دفع نهایی در هر مرحله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نهایت با استفاده از داده‌های موجود منطقه مورد مطالعه و نیز داده‌های استاندارد در مدل IWM-2، ارزیابی چرخه حیات برای هر یک از شش سناریوی یاد شده در جدول ۲ صورت گرفت و اثرهای محیط‌زیستی هر سناریو در دو طبقه اثر انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ارزیابی شد.

بررسی وضعیت فعلی مدیریت مواد زاید جامد شهرستان بابل

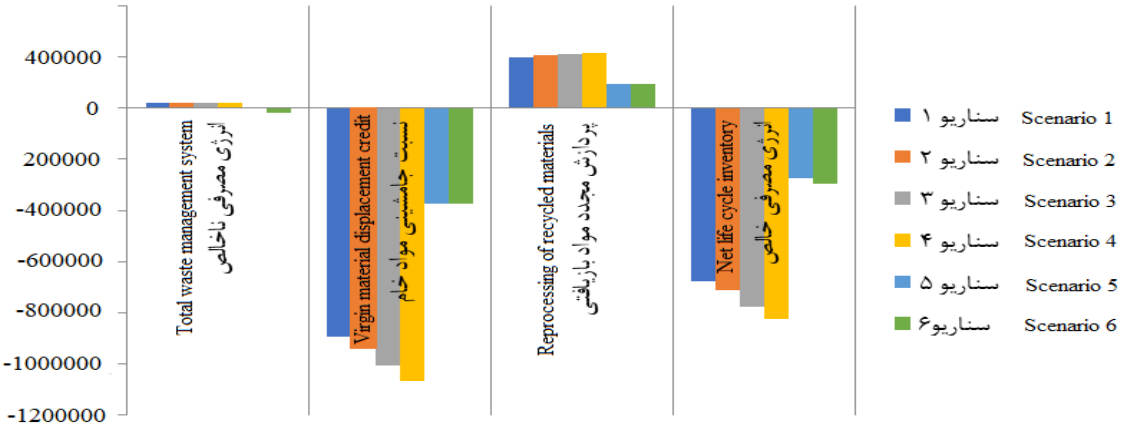
در حال حاضر زایدات تولید شده در بابل توسط ماشین‌های حمل پسماند به تنها ایستگاه انتقال موجود در سطح شهرستان برده شده و از آنجا با تریلرهای مخصوص به مرکز دفن پسماند شهرداری بابل، منتقل و دفن می‌گردند. مرکز دفن شهرستان بابل به مساحت ۲۸ هکتار و ۹۵۰ متر مربع در ۳۳ کیلومتری جنوب غربی بابل در روستایی به نام انجیل‌سی و در دل منطقه‌ای بکر و جنگلی واقع شده است. ارتفاع این مرکز دفن از سطح دریای آزاد در بالاترین نقطه ۴۴۰ متر و در پایین‌ترین نقطه، ۳۵۰ متر است. جنس خاک منطقه از نوع رسی و شیب محل دفن در حدود ۳۰ درصد است. در حال حاضر دفن مواد زاید به روش گودالی و از طریق حفر ترانشه صورت می‌پذیرد. در سال‌های اخیر عملکرد مرکز دفن انجیل‌سی به طرز قابل توجهی بهبود یافته است. به‌طوریکه واحدهای پردازش و کارخانه کمپوست به آن اضافه شده‌اند و تلاش‌های زیادی در جهت منحرف کردن بخش آلی زایدات از تلنبار و دفن در زمین، بویژه بوسیله انجام کمپوست صورت گرفته است.

مفروضات مورد استفاده در مدل‌سازی سناریوهای دفع و پردازش مواد زاید جامد شهرستان بابل

واحد مورد مطالعه برای مقایسه اثرهای محیطزیستی در چرخه حیات سناریوهای دفع مواد زاید جامد شهری بابل به منظور شبیه‌سازی شرایط واقعی شامل کل پسماند تولیدی در سطح شهرستان به میزان ۹۱۲۵۰ تن در سال، می‌باشد. مطابق وضعیت کنونی مدیریت پسماند در بابل، زایدات پس از جمع‌آوری به‌صورت مخلوط، به ایستگاه انتقال برده شده و از آنجا به سمت محل دفن حمل می‌شوند. بنابراین موارد بیان شده در هنگام اجرای نرم افزار IWM-2 لحاظ شدند. لازم به بیان است که ماشین‌های حمل پسماند به منظور انجام روند جمع‌آوری، حمل و انتقال پسماند از مبادی تولید تا ایستگاه انتقال، فاصله‌ای در حدود ۶۴۰ کیلومتر را طی می‌کنند. فاصله ایستگاه انتقال تا مرکز دفن بابل ۳۳ کیلومتر می‌باشد. در حال حاضر، محل دفن و کارخانه کمپوست در یک محل مستقر می‌باشند. از این رو، تسهیلات بازیابی مواد و زباله‌سوزی نیز با فرض استقرار در همان محل در نظر گرفته شدند. با توجه به اینکه درصد بالایی از ترکیب مواد زاید جامد شهری بابل را پسماندهای غذایی تشکیل می‌دهند (جدول ۱)، تنها این بخش از زایدات برای تبدیل به کمپوست مد نظر قرار گرفته و روش ویندرو[۲] به منظور کمپوست زایدات غذایی انتخاب شد. کاغذ، شیشه، فلزهای آهنی، فلزهای غیرآهنی و پلاستیک برای فرآیند بازیافت در نظر گرفته شده و در تسهیلات بازیابی مواد، باقی مانده زایدات به میزان ۲۶.۴۴ درصد (براساس شرایط فعلی) برای دفن در زمین انتخاب شدند. دفن پسماندها در زمین بدون لاینر و بدون سیستم جمع‌آوری شیرابه و گاز صورت می‌گیرد. همچنین بازیابی انرژی از پسماندها شامل کاغذ و مقوا، شیشه، فلزهای آهنی، فلزهای غیرآهنی، پلاستیک و منسوجات، به‌منظور تولید الکتریسیته صورت گرفت.

مقایسه انرژی مصرفی در سناریوهای دفع و پردازش مواد زاید جامد شهرستان بابل

مجموع انرژی مصرفی برای هریک از سناریوهای دفع پسماند در شهرستان بابل در شکل ۱ نشان داده شده است. انرژی مصرفی ناخالص ارائه شده توسط مدل IWM-2، نشان دهنده مجموع انرژی مصرفی از عملیات جمع‌آوری، انتقال، پردازش و دفن مواد زاید است. نسبت جانشینی مواد خام، به انرژی مصرفی کاهش یافته و ذخیره شده توسط پردازش و بازیافت زایدات در قبال استفاده از مواد خام اشاره دارد. این پارامتر بهمراه پردازش دوباره مواد بازیافتی، از مقدار انرژی مصرفی ناخالص کم می‌شوند تا آمار انرژی مصرفی خالص حاصل شود. برخی اعداد به‌صورت منفی نمایان شده است که نشان دهنده کاهش خالص در مقدار انرژی مصرفی می‌باشد.



شکل ۱- انرژی مصرفی در سناریوهای دفع مواد زاید جامد شهرستان بابل

Fig. 1- Energy consumption through municipal solid waste disposal scenarios in Babol

در تمامی سناریوهای دفع مواد زاید جامد شهری بابل، پسماندها به‌صورت مخلوط جمع‌آوری شده و پس از حمل به ایستگاه انتقال به سمت محل دفع و پردازش انجیل‌سی برده می‌شوند. بنابراین بخشی از انرژی مصرفی در جریان اجرای سناریوهای دفع پسماند، حاصل از انرژی مصرفی جهت جمع‌آوری و حمل مواد زاید جامد به سمت محل دفن می‌باشد. با افزایش سهم روش کمپوست در دفع پسماندها، مقداری از انرژی مصرفی به تسهیلات موجود در این بخش اختصاص می‌یابد. از طرفی، تولید کمپوست و سایر محصول-های فرعی، انرژی مصرفی را جبران می‌کند. بنابراین با افزایش درصد روش دفع کمپوست از ۴۶ درصد در سناریوی اول، به ۶۰ درصد در سناریوی دوم، اگرچه پردازش دوباره مواد بازیافتی انرژی بیشتری مصرف می‌کند، اما افزایش مقدار نسبت جانشینی مواد خام سبب جبران بیشتر انرژی شده و انرژی مصرفی خالص را به ۷۱۱۱۶۱- گیگاژول افزایش می‌دهد.

با افزایش میزان بازیافت زایدات، از مقدار پسماندهای ورودی به محل دفن کاسته شده و بنابراین میزان انرژی مصرفی جهت دفن پسماندها نیز کاهش می‌یابد. انرژی مصرفی در بخش بازیافت مرتبط است با مصرف انرژی در بخش جمع‌آوری و حمل زایدات به تسهیلات بازیابی مواد. در هنگام اجرای روش دفع بازیافت، مقداری انرژی در بخش پردازش دوباره زایدات مصرف شده و از طرفی، جبران انرژی از طریق تولید مواد جدید به‌دلیل بازیافت و جایگزینی این مواد با مواد خام مصرفی در چرخه حیات صورت می‌گیرد. در سناریوی سوم و چهارم، به ترتیب شاهد افزایش سهم بازیافت به میزان ۱۵ و ۲۰ درصد هستیم. از آنجاییکه پردازش بیشتری روی مواد زاید صورت می‌گیرد، محصول‌های فرعی و انرژی مازاد بیشتری تولید می‌شود. بنابراین انرژی مصرفی در این سناریوها به میزان بیشتری جبران شده و کاهش خالص در مقدار انرژی مصرفی، افزایش می‌یابد.

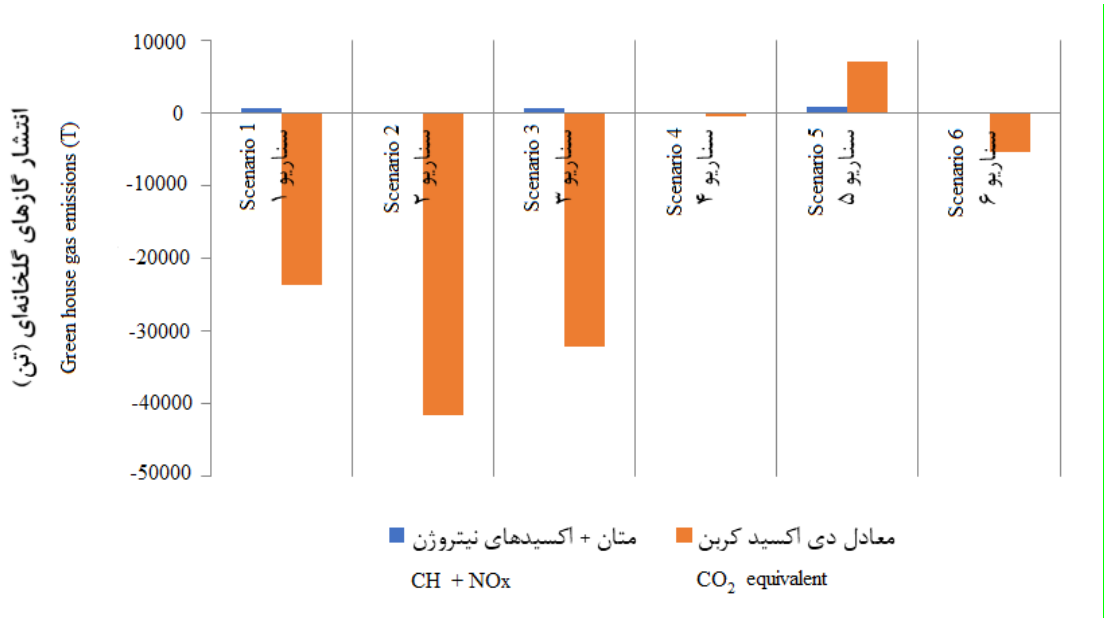
گنجاندن زباله‌سوزی با استحصال انرژی به برنامه مدیریتی دفع پسماندها، نیازمند تسهیلاتی است که موجب مصرف انرژی می‌شود. بنابراین مقداری از انرژی مصرفی به این بخش اختصاص می‌یابد. از طرفی به‌دلیل تولید انرژی، بر میزان انرژی جبرانی افزوده می‌شود که این امر موجب کاهش انرژی خالص مصرفی و منفی شدن آن می‌گردد. در سناریوی پنجم و ششم، میزان انرژی مصرفی در تسهیلات زباله‌سوزی، همراه با انرژی مصرفی در جایگاه دفن و تولید کمپوست، مقدار کل انرژی ناخالص مصرفی را تشکیل می‌دهند. جبران انرژی در این سناریوها از طریق تولید انرژی و تولید کمپوست صورت می‌گیرد. اما نسبت جانشینی مواد خام در این سناریوها به مقداری نیست که انرژی مصرفی را تا حد سناریوهای دیگر جبران کند.

در مطالعه مشابه صورت گرفته، Rahmani *et al*. (2019) در ارزیابی محیط‌زیستی چرخه حیات سامانه مدیریت پسماند شهری بر پایه مدل LCAIWM1 به مقایسه اثرهای محیط‌زیستی سناریوهای دفع پسماند شهرستان رشت پرداختند. بنابر یافته‌ها، با دفع بخشی از پسماند در کارخانه کود آلی با روش کمپوست و دفن بخشی از آن در لندفیل بهداشتی و افزایش نرخ بازیافت، می‌توان شاهد کاهش چشمگیری در میزان انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی بود. با توجه به ارزیابی محیط‌زیستی و مقایسه نتایج به‌دست آمده از سیاهه‌نویسی چرخه حیات، سناریوی اول شامل کمپوست ۵۰ درصد، بازیافت ۱۵ درصد و بقیه دفن در لندفیل بهداشتی، به‌عنوان برترین گزینه مدیریت به لحاظ کاهش مصرف انرژی در مطالعه بیان شده، معرفی شد. همچنین، Naderi *et al*. (2017) سناریوهای چرخه حیات در استراتژی‌های مدیریت پسماند شهر ماهدشت را با کاربرد نرم‌افزار IWM مورد بررسی قرار دادند. از نقطه نظر محیط‌زیستی، نتایج این مطالعه نشان داد که کمپوست کردن به‌عنوان یکی از گزینه‌های مدیریتی و نیز عملیات بازیافت، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ناشی از سامانه مدیریت پسماند دارند. بدین ترتیب، سناریوی شامل کمپوست ۲۰ درصد، بازیافت ۴ درصد و انتقال پسماند به محل دفن ۷۶ درصد، با مصرف انرژی به میزان ۷۲۷ گیگاژول

به‌عنوان بهترین گزینه مدیریت مواد زاید جامد ارائه شد. از سوی دیگر Koroneos and Nanaki (2012) در مقایسه سناریوهای دفع پسماندهای شهر Thessaloniki یونان عنوان داشتند که سناریوهای تولید بیوگاز از طریق هضم بی‌هوازی و تبدیل آن به برق و انرژی گرمایی، انرژی کمتری نسبت به سناریوی دفن زایدات در لندفیل بیوراکتور مصرف می‌کند. همچنین بررسی چهار روش مختلف مدیریت پسماند در چین با رویکرد ارزیابی چرخه حیات مشخص کرد که زباله‌سوزی همراه با تولید انرژی به منظور تولید برق، کمترین انرژی مصرفی را به میزان -5.73×10^{3} مگاژول در میان دیگر سناریوها دارا است (Hong *et al.*, 2010). اختلاف در نتایج به‌دست آمده می‌تواند ناشی از تنوع در کمیت و کیفیت زایدات تولیدی ناشی از وضعیت اقتصادی و عادت‌های اجتماعی شهروندان در منطقه‌های گوناگون باشد.

مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای دفع و پردازش مواد جاید جامد شهرستان بابل

دفن پسماندها در زمین، انتشار گازهای دفن را به‌دنبال دارد که حاوی حدود ۵۰ درصد CH_4 و ۵۰ درصد CO_2 است. این گازها همچنین از عملیات بازیافت به‌طورعمده توسط پروسه جمع‌آوری و حمل و نقل و توسط مصرف انرژی در تسهیلات بازیابی مواد، تولید می‌شوند (Liu *et al.*, 2017). عملیات احتراق و کمپوست مواد زاید نیز می‌توانند سبب تولید CO_2 شوند (Wang *et al.*, 2015). هر دوی این گازها از گازهای گلخانه‌ای مهم بحساب می‌آیند و به‌عنوان سنجه تغییرات آب و هوایی شناخته می‌شوند. با این حال CH_4 به‌دلیل داشتن پتانسیل گرمایش جهانی ۲۴.۵ بار بزرگتر از CO_2، یک گاز گلخانه‌ای قوی‌تر محسوب می‌شود (Vergara *et el.*, 2011). همچنین انتشار NOx از طریق فرآیندهای مدیریت مواد زاید و جامد، در درجه اول در نتیجه حمل و نقل و مصرف انرژی و سپس در نتیجه احتراق و دفن پسماندها در زمین، رخ می‌دهد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در شش سناریوی مختلف دفع پسماندهای شهرستان بابل در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- گازهای گلخانه‌ای منتشره در سناریوهای دفع مواد زاید جامد شهرستان بابل

Fig. 2- Greenhouse gas emissions from different municipal solid waste management scenarios in Babol

براساس شکل ۲، بیشترین میزان انتشار NOx و CH_4 مربوط به سناریوی پنجم با روش دفع به‌صورت ۴۶ درصد کمپوست، ۱۰ درصد زباله‌سوزی و ۴۴ درصد دفن در زمین، می‌باشد. در سناریوهای دیگر متناسب با میزان

کاهش پسماندی که به سمت محل دفن می‌رود، میزان انتشار این گازها نیز کاهش می‌یابد. به‌طوریکه سناریوهای اول، سوم، ششم و دوم در مرتبه‌ی دوم تا پنجم انتشار گازهای NOx و CH_4 قرار گرفته و در نهایت بیشترین کاهش در سناریوی چهارم شامل ترکیبی از روش‌های کمپوست (۶۰ درصد)، بازیافت (۲۰ درصد) و دفن در زمین (۲۰ درصد) یافت می‌شود. این سناریو همچنین کمترین میزان انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 را دارا است. بنابر شکل ۲، افزایش سهم کمپوست، بازیافت و زباله‌سوزی در پردازش و دفع پسماندهای بابل، کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را بهمراه دارد. بطوریکه میزان تولید این گازها شامل CO_2، CH_4 و NOx، در مقایسه هر کدام از دو سناریوهای اول و دوم، سوم و چهارم و پنجم و ششم، در نتیجه اعمال تغییر به‌صورت افزایش میزان سهم روش‌های دفع بیان شده، به طرز چشمگیری کاهش پیدا کرده است.

در این راستا، Nasrollahi-Sarvaghaji *et al*. (2016) به مقایسه اثرهای محیط‌زیستی سناریوهای مختلف پردازش و دفع پسماند جامد شهرستان تهران به کمک روش ارزیابی چرخه حیات، پرداختند. نتایج حاصل نشان داد در یک سامانه یکپارچه مدیریت پسماند شهری هرچقدر نرخ تفکیک و بازیافت افزایش یابد، با توجه به افزایش مقدار مواد جهت بازیافت و باز استفاده و همچنین جلوگیری از انتشارات ناشی از تولید مواد اولیه، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین، در مقایسه سناریوهای مختلف انواع گزینه‌های دفع مواد زاید جامد در شهر رامسر و انتخاب سناریوی برتر با رویکرد ارزیابی چرخه حیات، سناریوی شامل ۸۰ درصد کمپوست، ۱۰ درصد بازیافت و ۱۰ درصد دفن بهداشتی با انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۹۱ Kg CO_2 به‌عنوان گزینه برتر دفع پسماند شهری انتخاب گردید (Shahnazary *et al*., 2017). نتایج مطالعه حاضر در مورد وضعیت کنونی سامانه مدیریت پسماند شهرستان بابل مصداق دارد و بنابراین ممکن است با نتایج به‌دست آمده از مطالعات مشابه در مکان‌های دیگر به‌دلیل ویژگی‌های متفاوت پسماند، فناوری و فاکتورهای زمانی و مکانی متفاوت باشد. به‌عنوان نمونه، Cremiato *et al*. (2018) در پژوهشی، چهار سناریوی مدیریت پسماند در شهر Caserta ایتالیا را با استفاده از ارزیابی چرخه حیات مورد مقایسه قرار دادند. براساس یافته‌ها، سناریوی شامل تفکیک زایدات توسط شهروندان به میزان ۶۰ درصد و هضم بی‌هوازی و تولید بیوگاز از زایدات آلی تفکیک شده و بازیافت حداکثری موادی همچون PET، HDPE، شیشه و فلزات، به‌عنوان بهترین گزینه در مقابل روش فعلی دفع مواد زاید جامد در Caserta معرفی شد. چراکه در صورت اجرای این سناریوی دفع، پتانسیل گرمایش جهانی به میزان ۱۶۶ درصد نسبت به سناریوی پایه کاهش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری

کلیه فعالیت‌های مرتبط با مدیریت مواد زاید جامد شهری، افزون بر بار اقتصادی، در صورت رعایت نکردن اصول فنی می‌توانند منجر به بروز خطرهای جدی محیط‌زیستی گردند. برنامه‌ریزی در زمینه مدیریت پسماند یکی از مهمترین مراحل در رابطه با نیاز به تسهیلات مدیریت پسماند و عبارت از فرآیندی است که در آن نیازهای جامعه از لحاظ مدیریت پسماند مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته و گزینه‌های قابل اجرا برای ارائه به تصمیم گیرندگان، تهیه شده و توسعه می‌یابند. یکی از فنون توسعه یافته برای این منظور، ارزیابی چرخه حیات است. این مطالعه با هدف مقایسه سناریوهای مختلف مدیریت پسماند شهرستان بابل، با رویکرد ارزیابی چرخه حیات و به جهت انتخاب کارآمدترین روش به لحاظ سازگاری با محیط‌زیست، انجام گرفت. براساس یافته‌ها، سناریوی چهارم با روش دفع کمپوست (۶۰ درصد)، بازیافت (۲۰ درصد) و دفن در زمین (۲۰ درصد) در هر دو طبقات اثر

مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارای کمترین میزان آسیب به محیطزیست می‌باشد. با توجه به اینکه پسماندهای غذایی بخش قابل توجهی از ترکیب پسماند تولیدی در شهرستان بابل را به خود اختصاص می‌دهند (۳/۶۵ درصد)، اجرای سناریوی دفع بیان شده می‌تواند گزینه مناسبی به منظور مدیریت بهینه مواد زاید جامد در این شهرستان باشد. لازم به بیان است که نتایج مطالعه حاضر در مورد وضعیت سامانه مدیریت مواد زاید جامد شهرستان بابل مصداق دارد و در برنامه‌ریزی مدیریت پسماند شهری، باید با توجه به کیفیت زایدات هر شهر، شیوه مدیریتی خاص آن منطقه اعمال گردد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Life Cycle Assessment (LCA)
[2] Windrow

منابع

Akhavan Limoodehi, F., Tayefeh, S.M., Heydari, R. and Abdoli, M.A., 2017. Life cycle assessment of municipal solid waste management in Tehran. Environmental Energy and Economic Research. 1, 207-218.

Allegrini, E., Vadenbo, C., Boldrin, A. and Astrup, T.F., 2015. Life cycle assessment of resource recovery from municipal solid waste incineration bottom ash. Environmental Management. 151, 132-143.

Babol Municipality, 2017. Integrated Waste Management Plans of Babol. Waste Management, Deputy of Urban Services, Babol Municipality, Babol, Iran. (In Persian)

Chi, Y., Dong, J., Tang, Y., Huang, Q. and Ni, M., 2015. Life cycle assessment of municipal solid waste source-separated collection and integrated waste management systems in Hangzhou, China. Material Cycles and Waste Management. 17, 695-706.

Cremiato, R., Mastellone, M.L., Tagliaferri, C., Zaccariello, L. and Lettieri, P., 2018. Environmental impact of municipal solid waste management using life cycle assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. Renewable Energy. 124, 180-188.

Di Maria, F. and Micale, C., 2014. A holistic life cycle analysis of waste management scenarios at increasing source segregation intensity: The case of an Italian urban area. Waste Management. 34, 2382-2392.

Evangelisti, S., Tagliaferri, C., Clift, R., Lettieri, P., Tayalor, R. and Chapman, C., 2015. Life cycle assessment of conventional and two-stage advanced energyfrom- waste technologies for municipal solid waste treatment. Cleaner Production. 100, 212-223.

Fiorentino, G., Ripa, M., Protano, G., Hornsby, C. and Ulgiati, S., 2015. Life cycle assessment of mixed municipal solid waste: Multi-input versus multi-output perspective. Waste Management. 46, 599-611.

Guereca, L.P, Torres, N. and Juarez-Lopez, C.R., 2015. The co-processing of municipal waste in a cement kiln in Mexico. A life-cycle assessment approach. Cleaner Production. 107, 741-748.

Hong, J., Chen, Y., Wang, M., Ye, L., Qi, C., Yuan, H., Zheng, T. and Li, X., 2017. Intensification of municipal solid waste disposal in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 69, 168-176.

Hong, J., Li, X. and Zhaojie, C., 2010. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. Waste Management. 30, 2362-2369.

Kashefi Alasl, M., Marandi, R. and Afrasiabi, A.R., 2013. Comparison of municipal solid waste disposal scenarios in Bahregan Oil district in terms of greenhouse gas emission. Journal of Marine Science and Technology Research. 8, 17-32. (In Persian with English abstract).

Koroneos, C.J. and Nanaki, E.A., 2012. Integrated solid waste management and energy production - a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki. Cleaner Production. 27, 141-150.

Kulczycka, J., Lelek. L., Lewandowska, A. and Zarebska, J., 2015. Life cycle assessment of municipal solid waste management - Comparison of results using different lca models. Polish Journal of Environmental Studies. 24, 125-140.

Liu, Y., Ni, Z., Kong, X. and Liu, J., 2017. Greenhouse gas emissions from municipal solid waste with a high organic fraction under different management scenarios. Cleaner Production. 147, 451-457.

Manfredi, S., Tonini, D. and Christensen, T.H., 2011. Environmental assessment of different management options for individual waste fractions by means of life-cycle assessment modelling. Resources, Conservation and Recycling. 55, 995-1004.

Nabavi-Pelesaraei, A., Bayat, R., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Afrasyabi, H. and Chau, K.W., 2017. Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management - A case study in Tehran Metropolis of Iran. Cleaner Production. 148, 427-440.

Naderi, M., Moarab, Y. and Amiri, M., 2017. Life Cycle Assessment (LCA) of municipal waste management strategies in Mahdasht city. Journal of Geographic Space. 17. 95-110. (In Persian with English abstract).

Naghibzadeh, S.S., Khorasani,N., Yousefi, J., Mousavi, B.S. and Badehian, A., 2014. Life cycle assessment of municipal waste management system (Case Study: Karaj, Iran). Journal of Applied Sciences and Environmental Managemen. 18, 559-565.

Nasrollahi-Sarvaghaji, S., Alimardani, R., Sharifi, M. and Taghizadeh Yazdi, M., 2016. 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. 9, 273-288. (In Persian with English abstract).

Ning, S.K, Chang, N.B. and Hung, M.C., 2013. Comparative streamlined life cycle assessment for two types of municipal solid waste incinerator. Cleaner Production. 53, 56-66.

Oliveira, L.S.B.L., Oliveira, D.S.B.L., Bezerra, B.S., Pereira, B.S. and Battistelle, R.A.G., 2016. Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. Cleaner Production. 155, 229-237.

Parkes, O., Lettieri, P. and Bogle, I.D., 2015. Life cycle assessment of integrated waste management systems for alternative legacy scenarios of the London Olympic Park. Waste Management. 40, 157166.

Pujara, Y., Pathak, P., Sharma, A. and Govani, J., 2019. Review on Indian municipal solid waste management practices for reduction of environmental impacts to achieve sustainable development goals. Journal of Environmental Management. 248, 109238.

Rahmani, K., Dadashkhah, Z., Alighadri, M.,

Mokhtari, A. and Nazari, H., 2019. Environmental assessment of life cycle of waste management system based on LCAIWM1 modeling (Case Study: Rasht City). Journal of Environmental Health Engineering. 6, 443-456. (In Persian with English abstract).

Rajcoomar, A. and Ramjeawon, T., 2017. Life cycle assessment of municipal solid waste management scenarios on the small island of Mauritius. Waste Management and Research. 35, 313-324.

Ripa, M., Fiorentino, G., Giani, H., Clausen, A. and Ulgiati, S., 2017. Refuse recovered biomass fuel from municipal solid waste, A life cycle assessment. Applied Energy, 186, 211-225.

Shahnazary, M., Jalili Ghazizadeh, M. and Shahbazi A., 2017. 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. 47, 29-38. (In Persian with English abstract).

Stamou, I. and Antizar-Ladislao, B., 2016. A life cycle assessment of the use of compost from contaminated biodegradable municipal solid waste with silver and titanium dioxide nanoparticles. Cleaner Production. 135: 884-891.

Statistic Center of Iran, 2018. Selected Findings of the 2016 National Population and Housing Census. Vice Presidency, Plan and Budget Organization, Statistical Centre of Iran, Tehran, Iran. (In Persian)

Suna-Erses-Yay, A., 2015. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. Cleaner Production. 94, 284-293.

Vahidi, H. and Rastikerdar, A., 2018. Evaluation of the life cycle of household waste management scenarios in moderate iranian cities; case study Sirjan city. Environmental Energy and Economic Research. 2, 111-121.

Vergara, S.E., Damgaard, A. and Horvath, A., 2011. Boundaries matter: Greenhouse gas emission reductions from alternative waste treatment strategies for California's municipal solid waste. Resources, Conservation and Recycling. 57, 87-97.

Wang, H., Wang, L. and Shahbazi, A., 2015. Life cycle assessment of fast pyrolysis of municipal solid waste in north Carolina of USA. Cleaner Production. 87, 511-519.

Zarea, M.A., Moazed, H., Ahmadmoazzam, M., Malekghasemi, S. and Jaafarzadeh, N., 2019. Life cycle assessment for municipal solid waste management: a case study from Ahvaz, Iran. Environmental Monitoring and Assessment. 191, 131.

Environmental Sciences Vol.19 / No.3 / Autumn 2021

85-98

Comparative life cycle assessment of alternative scenarios for municipal solid waste management (case study: Babol, Iran)

Gholamreza Nabi Bidhendi [1*], Maryam Rabiee Abyaneh [2] and Omid Hassanzadeh Moghimi [2]

[1] Department of Environmental Engineering, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Department of Environmental Engineering, Kish International Campus, University of Tehran, Kish, Iran

Received: 2020.04.21 Accepted: 2020.08.12

Nabi Bidhendi, Gh.R., Rabiee Abyaneh, M. and Hassanzadeh Moghimi, O., 2021. Comparative life cycle assessment of alternative scenarios for municipal solid waste management (case study: Babol, Iran) Environmental Sciences. 19(3):85-98.

Introduction: Sustainable management of increasing amounts of municipal solid waste (MSW) has become a major environmental concern because improper MSW management leads to substantial negative environmental impacts and health and safety problems. The life cycle assessment (LCA) method has been recognized as an indispensable tool to support systematic and accurate decisions taken on waste management systems. LCA can make a comparison between different scenarios of waste management systems performance from top to bottom to assess the environmental impacts and consumption of resources. This paper aims to determine the environmental aspects of a less impactful MSW management scenario in Babol, Iran through LCA methodology.

Material and methods: In order to achieve this goal, first, the composition study was conducted in Babol. The results were then utilized as a reliable data source to compare the environmental impacts of MSW management scenarios with a life cycle perspective. System boundaries included collection and transportation of MSW and its treatment and disposal by composting, recycling, incineration with energy recovery, and landfilling methods. Data on the process was evaluated with the IWM-2 model by the means of energy consumption and global warming.

Results and discussion: Babol was estimated to generate 91000 tonnes of waste per year. On average, the generation of waste per capita in Babol was about 606 gr/person/day. After being collected throughout the city,

[*] Corresponding Author: *Email Address*. ghhendi@ut.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.33920

the MSW was discharged at stations to transfer to the heavy vehicles and get transported to Anjil-Si complex waste process and disposal. The main component of the waste stream in Babol was food waste (65.3%). The comparative analysis of the six scenarios underscores the fact that the lower potential environmental loads were related to the 4th scenario in all the impact categories. In particular, the lowest energy use was obtained in scenario 4. In this scenario, composting (60%) and recycling (20%) were included in the waste management plan and resulted in a reduction in the amount of waste disposal as well as energy consumption in landfilling. As excess energy was produced in scenario 4 from the composting and recycling stages (by replacing the produced material with raw material consumed in the life cycle, and also by composting and producing other by-products), less amount of energy was consumed in this scenario. In the case of the global warming impact category, the least burden was originating from scenario 4 due to the reduction of greenhouse gas emissions by energy generation as a result of composting and recycling.

Conclusion: According to the results, the 4th scenario (60% composting, 20% recycling, and 20% landfilling) was confirmed as the best waste final disposal alternative. In particular, CO_2 emissions decreased by 54% and the energy consumption decreased by 19%, when the alternative scenario, including the recalled features, was compared to the base-case one. The majority of the MSW of Babol consisted of food waste. With a detailed investigation of organic waste, it is possible to benefit from the composting process as an ideal disposal method.

Keywords: Babol, Greenhouse gases emission, IWM-2 model, Life cycle assessment, Solid waste management.