

محاسبه شاخص اکولوژیکی سناریوهای مدیریت پسماند سیرجان با رویکرد ارزیابی چرخه حیات

علیرضا راستی کردار*؛ دانشگاه صنعتی سیرجان

پذیرش ۹۶/۰۲/۰۳

تاریخ: دریافت ۹۵/۱۰/۱۷

چکیده

پسماند از تولیدات غیرقابل اجتناب هر جامعه و مدیریت پسماند یکی از نیازهای اصلی آن جامعه است. از این رو استقرار سامانه مدیریت پسماند ضروری است. در سیستم مدیریت مواد زائد جامد، با توجه به میزان تولید و ترکیب پسماند گزینه‌های مختلفی برای مدیریت آن وجود دارد. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات این گزینه‌ها نقش به‌سزایی در کاهش و حل مشکلات مدیریت خدمات شهری به‌عهده دارد. هدف از این پژوهش مقایسه سناریوهای مختلف مدیریت پسماند در شهرستان سیرجان و انتخاب سناریو برتر با رویکرد ارزیابی چرخه حیات است. بدین‌منظور ۴ سناریو در نظر گرفته شد و فهرست‌نویسی چرخه حیات در هر سناریو به‌کمک مدل یک‌پارچه پسماند (IWM-2) انجام شد. نتایج به‌دست آمده از فهرست‌نویسی به ۵ طبقه اثرشامل مصرف انرژی، گازهای گلخانه‌ای، گازهای اسیدی، مه دود فتوشیمیایی، خروجی‌های سمی تخصیص داده شد. مقادیر فهرست شده در فاکتورهای ویژگی سازی ضرب شد و شاخص اکولوژیکی برای هر یک از سناریوها به‌دست آمد. با مقایسه سناریوها از نظر زیست‌محیطی، سناریوی دوم (۶۸/۴ درصد کمپوست، ۱۹/۲ درصد بازیافت، ۱۲/۴ درصد لندفیل) به‌عنوان گزینه برتر دفع پسماند شهری شهرستان سیرجان انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت پسماند، ارزیابی چرخه حیات، شاخص اکولوژیکی، سیرجان

مقدمه

تداوم زندگی انسان در گرو مصرف مداوم و تولید و کشف مواد جدید است. در این میان، هر جا مصرفی در کار است، پسماندها و مواد زائد برجای می‌مانند. بشر از دیرباز با مسئله مواد زائد و چگونگی دور کردن آن از محیط‌زیست خود رو به‌رو بوده است. افزایش جمعیت کره زمین، مهاجرت به شهرهای بزرگ، تمرکز جمعیت در شهرها، بهتر شدن سطح زندگی، افزایش مصرف شهروندان و تولید فرآورده‌های مصرفی، تولید انبوه زباله‌ها را به دنبال دارد [۱].

از شروع سبک یک جانشینی انسان‌ها، نیاز به مدیریت مواد زائد تولیدی احساس شده است [۲]. در گذشته نه‌چندان دور، صنعت باعث افزایش چشم‌گیر استفاده از مواد اولیه برای تولید محصولات و در نتیجه افزایش مواد زائد شد، که این امر نیاز به درک بهتر مفهوم پسماند را ایجاب کرده است. تغییرات زیاد در تولید مواد زائد در دنیای مدرن امروزی به جامعه انسانی و محیط‌زیست وابسته است [۳]. بی‌توجهی به امر جمع‌آوری و دفع مواد زائد در جامعه امروزی به‌علت کمیت و کیفیت گوناگون مواد، توسعه بی‌رویه شهرها، محدودیت‌های وضع شده برای خدمات عمومی در شهرهای بزرگ و فقدان تکنولوژی مناسب باعث ایجاد مشکلات ویژه‌ای شده است که رفع آنها از طریق هماهنگی علم و تجربه در چهارچوب مدیریت صحیح امکان‌پذیر است. مسلماً تشویق مردم به تولید زباله کم‌تر از طریق پرهیز از اسراف و تبذیر و جداسازی اجزای قابل بازیافت زباله در مراکز تولید موجب می‌شود که برای مدیریت صحیح زباله آینده بهتری پیش‌بینی شود [۴]. پسماندهای مختلف، حاصل اجتناب‌ناپذیر استفاده گسترده از مواد شیمیایی و محصولات و فرآورده‌های صنعتی و کشاورزی در زندگی روزمره‌اند. تجربیات جهانی نشان داده است که چنانچه بر پسماندها مدیریت مناسب صورت نگرفته و این مواد با شیوه‌های علمی و فنی به مواد با مخاطرات کمتر تبدیل نشوند و یا به‌طور اصولی و به‌روش مناسب دفع نشوند، منشأ مخاطرات بسیار زیاد و تهدیدات فراوانی می‌شوند. با توجه به اثرات منفی متعدد ناشی از زباله‌های شهری تولید شده، نیاز به اعمال مدیریت صحیح و انتخاب راهکارهای مناسب برای به حداقل رساندن این اثرات و بهبود محیط‌زیست به‌شدت احساس می‌شود. در این راستا به‌کارگیری

روش‌های علمی محیط‌زیستی می‌تواند اطمینان کافی از رعایت سیاست‌ها و اهداف تعیین‌شده در برنامه‌ها، طرح‌ها و فعالیت‌های طرح‌ها را برای تأمین ضوابط، معیارها و قوانین محیط‌زیستی فراهم آورد. ابزارهای متعددی برای پیش‌بینی و کاهش اثرات طرح‌ها و گزینه‌های مدیریت پسماند وجود دارد که یکی از آن‌ها ارزیابی چرخه حیات است [۵]. روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) امروزه به‌عنوان روش استاندارد بین‌المللی که قادر است ورودی‌ها و انتشارات خروجی از یک سیستم مدیریت پسماند را متناسب با چرخه عمر محصولات یا فرایندها مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد، در کانون توجه متخصصان زیست‌محیطی قرار گرفته است [۶]. کاربرد این روش برای ارزیابی سیستم مدیریت پسماند شهری، به‌ویژه در زمینه فرآیند تصمیم‌گیری، طراحی استراتژی‌ها و بررسی روش‌های مختلف دفع رو به افزایش است.

پژوهش‌های مختلفی در زمینه مدیریت پسماند شهری با رویکرد LCA^۱ انجام شده است.

بوانو و همکاران (۲۰۱۵) به مقایسه دو سناریوی بازیابی انرژی از پسماندهای مخلوط باقی‌مانده در یک کارخانه زباله‌سوزی و بازیافت مواد جمع‌آوری‌شده با رویکرد ارزیابی چرخه حیات در استان Gipuzkoa در شمال اسپانیا پرداختند. نتایج نشان داد بازیافت مواد نتایج بهتری را در طبقات زیست‌محیطی که به‌شدت با مصرف انرژی فسیلی مرتبط هستند فراهم می‌کند [۷].

بنگ جنسن و همکاران (۲۰۱۶) به مقایسه سیستم‌های مدیریت پسماندهای آلی در منطقه مرزی دانمارک-آلمان با استفاده از ارزیابی چرخه حیات و مدل EASETECK پرداختند. در این پژوهش تصفیه زباله‌های آلی از خانوارها در هر طرف مرز بسیار متفاوت است. دانمارک تنها از زباله‌سوز برای تصفیه زباله‌ها استفاده می‌کند در حالی‌که روش‌های مدیریت پسماند در آلمان شامل ترکیب بیوماس و کمپوست، تصفیه مکانیکی و بیولوژیکی و سوزاندن است. نتایج نشان داد دو منطقه مختلف در دانمارک در ۱۰ مورد از ۱۴ طبقه اثر بهتر عمل می‌کنند [۸].

1. Life Cycle Assessment

فیلیپو و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مرتبط با دو گزینه مدیریت مختلف (لندفیل و بازیافت) برای خاکستر تولید شده از طریق تصفیه حرارتی (زباله‌سوز، Gasification) با ارزیابی چرخه حیات و مدل EASETECK پرداختند. نتایج LCA نشان داد که برای هر دو نوع خاکستر، لندفیل بیش‌ترین تأثیرات زیست‌محیطی در ارتباط با طبقات بدون سم دارد. برای طبقات مربوط به سمیت، خاکستر Gasification نسبت به خاکستر زباله‌سوز آلاینده‌های کم‌تری منتشر می‌کرد [۹].

ریپا و همکاران (۲۰۱۷) پس از مواجهه با بحران تولید و دفع زباله‌ها به بررسی استراتژی‌های مدیریتی پسماند در کلان شهر ناپل با رویکرد ارزیابی چرخه حیات پرداختند. نتایج LCA نشان داد که بارهای اصلی ناشی از تصفیه پسماندهای جامد شهری (به‌عنوان مثال تصفیه بیولوژیکی مکانیکی، لندفیل، تبدیل زباله به انرژی) است. هم‌چنین این پژوهش تأیید می‌کند که LCA اگر با دقت انجام شود، پتانسیل بهبود استراتژی‌های مدیریتی جدید و اجازه شناسایی بحران‌ها را دارد [۱۰].

هم‌چنین پژوهش‌های دیگری با همین رویکرد در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است. به‌کارگیری چنین تحقیقاتی فرصتی را فراهم می‌کند تا مدیران و تصمیم‌سازان امور شهری ضمن آگاهی از وضعیت کنونی مدیریت پسماند، با استفاده از بهترین الگوی پردازش و دفع (کم‌ترین نشر آلاینده‌های زیستی) طرح‌ریزی‌های لازم را برای رسیدن به محیط‌زیست پایدار انجام دهند.

هدف از تحقیق حاضر، به‌دست آوردن شاخص اکولوژیکی و مقایسه سناریوهای مختلف انواع گزینه‌های دفع پسماند شهری در شهر سیرجان از لحاظ زیست محیطی است.

منطقه بررسی شده

شهرستان سیرجان یکی از یازده شهرستان‌های استان کرمان است که با وسعت حدود ۱۷۴۸۱ کیلومتر مربع معادل ۷/۱۶ درصد از مساحت کل استان را به خود اختصاص داده است و از نظر وسعت دومین شهر بزرگ استان کرمان محسوب می‌شود. این شهرستان از نظر جغرافیایی بین ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۰۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. شهرستان مذکور در غرب

استان واقع شده و از شمال به شهرستان‌های رفسنجان و شهربابک، از شمال شرق به شهرستان بردسیر، از شرق به شهرستان بافت، از جنوب به استان هرمزگان و از غرب به استان فارس محدود می‌شود. شهرستان سیرجان دارای آب و هوای کویری سرد و خشک در زمستان و گرم و خشک در تابستان و معتدل در بهار همراه با بارش است. نوع آب و هوای آن از نوع بیابانی، رطوبت متوسط آن ۳۶ درصد، متوسط بارندگی سالانه ۱۴۲ میلی‌متر و دارای ارتفاع ۱۷۴۳ متر از سطح دریا است. تعداد چاه‌های عمیق برای دسترسی به آب‌های زیرزمینی در این شهرستان، ۹۲۶ حلقه است که از ۷۸۴ حلقه آن بهره‌برداری می‌شود. حداقل عمق آن ۵۰ متر و حداکثر ۲۵۵ متر و عمق متوسط بین ۱۰۷ تا ۱۱۶ متر است. حداقل دبی این چاه‌ها ۴ لیتر در ثانیه و حداکثر دبی بین ۵۷ تا ۷۹ لیتر در ثانیه و دبی متوسط آنها ۲۷ لیتر در ثانیه است. تعداد قنوات این شهرستان، ۸۶ رشته بوده است که حداکثر دبی آنها ۱۳۰ لیتر، دبی متوسط آنها ۲۰ لیتر در ثانیه و میزان تخلیه قنوات ۵۴ میلیون مترمکعب است هم‌چنین تعداد چشمه‌های دائمی و غیردائمی این شهرستان بیش از ۱۰۰ دهانه است [۱۱].

شهرستان سیرجان یکی از مراکز عمده کشاورزی استان کرمان محسوب می‌شود که نقش زیادی در تولیدات کشاورزی مخصوصاً تولید پسته بر عهده دارد اما به دلیل نبود آب‌های سطحی مناسب در سطح شهرستان در حال حاضر امر کشاورزی متکی بر منابع آب‌های زیرزمینی است. منطقه سیرجان به دلیل وضعیت خاص زمین‌شناسی که بیش‌تر از مواد آتشفشانی و سنگ‌های آذرین است معادن غنی و عظیمی از جمله معادن آهن گل‌گهر را در خود جای داده است. در سال‌های اخیر صنعت شهرستان سیرجان به پیشرفت‌هایی نائل آمده، از جمله بهره‌برداری از مجتمع صنعتی (گل‌گهر) و پارک صنعتی که مشتمل بر کارخانه‌های تولید گچ، پلاستیک‌سازی، سرامیک‌سازی و صنعت پیچ و مهره است. شهرک صنعتی شماره یک سیرجان واقع در کیلومتر دو جاده توانیر شهر سیرجان در مساحتی برابر با ۱۱۴ هکتار بنا شده که وسعت زمین صنعتی آن ۷۹/۸ هکتار است صنایع مستقر در این شهرک شامل کانی غیرفلزی، شیمیایی، سلولزی، فلزی، غذایی، برق و الکترونیک است [۱۲].

بر اساس پرسشنامه‌های تکمیل شده به وسیله شهرداری سیرجان، جمعیت شهر سیرجان ۲۶۷۶۹۷ نفر اعلام شده که از این تعداد ۱۳۷۳۰۴ نفر مرد و ۱۳۰۳۹۳ نفر زن هستند. تعداد کل خانوارهای سیرجان نیز ۷۳۵۶۰ خانوار اعلام شده است [۱۲].



شکل ۱. موقعیت شهرستان سیرجان روی نقشه

ترکیب زباله

کیفیت فیزیکی زباله‌های شهر سیرجان در جدول ۱ نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌کنید مواد فسادپذیر با ۶۸/۴ درصد، بیش‌ترین مقدار از پسماندهای شهری سیرجان را تشکیل می‌دهند. مقدار زباله تولیدی در سیرجان به‌طور متوسط ۱۵۰/۵۱۱ تن در روز و سرانه زباله ۶۸۵ گرم بر نفر است. لازم به ذکر است که:

مدیریت اجرایی پسماندهای بیمارستانی به عهده تولید کننده آنها است [۱۳] از این‌رو، در این پژوهش فقط پسماندهای شبه‌خانگی بیمارستانی که به‌وسیله شهرداری جمع‌آوری شده تفکیک شده است.

پسماندهای ساختمانی، لاستیک‌ها و سایر موادی که در دسته‌بندی‌های در نظر گرفته شده در جدول ۱ نیست در گروه متفرقه قرار گرفته‌اند.

به‌طور پیش فرض ۹۰ درصد فلزات را فلزات آهنی و ۱۰ درصد آن را فلزات غیرآهنی تشکیل می‌دهند [۱۴].

جدول ۱. ترکیب زباله شهرستان سیرجان [۱۲]

نوع زباله	جرم زباله (Kg/day)	درصد وزنی زباله
فلزات	۳۶۵۶	۲/۴
شیشه	۳۰۵۶	۲
متفرقه	۱۳۵۴۵	۹
پارچه و منسوجات	۲۰۴۰	۱/۴
پلاستیک و PET	۱۲۷۰۸	۸/۴
کاغذ و کارتن	۱۲۶۱۶	۸/۴
مواد فسادپذیر	۱۰۲۸۹۰	۶۸/۴
کل	۱۵۰۵۱۱	۱۰۰

در سیرجان، جمع‌آوری زباله به صورت یک روز در میان برای چهار منطقه شهر است. معمولاً جمع‌آوری به این صورت است که زباله‌ها خانه به خانه از درب منازل برداشته می‌شوند و با ماشین‌آلات مربوط به ایستگاه انتقال برده می‌شوند در ایستگاه‌های انتقال، برای انتقال پسماند از وسایل جمع‌آوری کوچک به تجهیزات حمل و نقل بزرگ‌تر اقدام می‌شود. در آنجا هر یک از خودروهای جمع‌آوری زباله‌ها نسبت به تخلیه بار خود به درون سمی‌تریلی‌های موجود اقدام می‌کند سمی‌تریلی‌ها نیز پس از پر شدن، نسبت به انتقال پسماندها از ایستگاه انتقال به مراکز پردازش و دفع اقدام می‌کنند [۱۵].

روش‌شناسی انجام کار

برای انجام ارزیابی چرخه حیات پسماندهای شهری، چهار سناریو بر اساس داده‌های موجود در منطقه و تفکیک فیزیکی در نظر گرفته شد. میزان آلاینده ناشی از هریک از سناریوها و انرژی مصرفی در آنها با نرم‌افزار IWM-2 محاسبه شد. نتایج به دست آمده از IWM-2 به ۵ طبقه اثر شامل مصرف انرژی، گازهای گلخانه‌ای، گازهای اسیدی، مه دود فتوشیمیایی، خروجی‌های سمی تخصیص داده شد. مقادیر فهرست شده در فاکتورهای ویژگی سازی ضرب شد و شاخص اکولوژیکی برای هر یک از سناریوها به دست آمد و در نهایت سناریو منتخب از لحاظ زیست‌محیطی انتخاب شد. در ادامه این مراحل به طور کامل توضیح داده شده است.

ارزیابی چرخه حیات

مراحل انجام ارزیابی چرخه حیات در این تحقیق بدین شرح است:

۱. **تعیین اهداف و دامنه:** هدف ما در این پژوهش، مقایسه محیط‌زیستی سناریوهایی است که در برگیرنده روش‌های مختلف دفع است. مرزهای مجموعه بررسی شده از جمع‌آوری پسماندهای جامد شهری از ایستگاه انتقال شروع می‌شود و با دفع نهایی زباله پایان می‌پذیرد. چهار سناریو در این پژوهش از نظر محیط‌زیستی ارزیابی شده است. تفاوت این سناریوها بیش‌تر در بخش دفع نهایی بوده است و فرض شده است که تمامی این گزینه‌ها در یک محل مستقر می‌شوند بنابراین می‌توان با تقریب خوبی از آثار ناشی از بخش ذخیره‌سازی موقت و جمع‌آوری و حمل تا محل دفع نهایی، به دلیل تشابه در سناریوها در انجام مقایسه‌ها چشم‌پوشی کرد. واحد عملکردی در نظر گرفته شده به‌ازای پسماند تولید شده بر حسب تن و محدوده زمانی پژوهش سال ۱۳۹۶ است.

مفروضات در نظر گرفته شده برای سناریوها طبق طرح جامع مدیریت پسماند شهرستان سیرجان و پیش فرض‌های نرم‌افزار IWM-2 که منطبق بر آیین‌نامه USEPA^۱ است، انتخاب شده است. فرض بر این است که ۵۰ درصد از گازهای لندفیل و شیرابه جمع‌آوری می‌شوند و بازیابی انرژی از این گازها ۵۰ درصد، بازده تولید الکتریسیته از گازها ۳۰ درصد، بازده تصفیه شیرابه ۵۰ درصد و بازدهی جمع‌آوری و فرآیندهای تصفیه شیرابه ۲۵ درصد در نظر گرفته شده است. روش استفاده شده در تولید کمپوست ویندرو است و افت جرم در این فرآیند ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است. تکنولوژی زباله سوزی مورد نظر برای استفاده در شهرستان سیرجان، روش توده‌سوزی است و بازدهی بازیابی انرژی از زباله سوز ۳۰ درصد فرض شده است.

۲. **جمع‌آوری داده‌ها و مرحله فهرست‌نویسی:** داده‌های موردنیاز برای فهرست‌نویسی چرخه حیات از گزارش‌های شهرداری سیرجان و طرح‌ها و پژوهش‌های انجام شده و نیز مصاحبه حضوری با کارکنان خدمات شهری شهرداری سیرجان به‌دست آمد. این داده‌ها شامل جمعیت و تعداد خانوارهای موجود در شهرستان سیرجان، مقدار پسماند

1. United States Environmental Protection Agency

تولید شده در سال، ترکیب پسماند تولیدی، مقدار انرژی الکتریکی و سوخت دیزل مصرف شده در ایستگاه انتقال، اطلاعات مربوط به نحوه جمع آوری پسماندها، تعداد و حجم ماشین آلات انتقال پسماند و میزان سوخت دیزل مصرفی آنها است. در تهیه فهرست نویسی سناریوها از نرم افزار IWM-2 با استفاده از داده های ذکر شده بهره گرفته شده است. ابزارهای مختلفی برای فهرست نویسی چرخه حیات توسعه یافته است که یکی از این ابزارها نرم افزار IWM-2 است. نرم افزار IWM-2 یکی از مدل های ارزیابی چرخه حیات است که با کمک آن می توان سناریوهای مختلف را تعریف و سپس آثار زیست محیطی هر سناریو را با هم مقایسه و ارزیابی کرد. این مدل در سال ۱۹۹۶ به وسیله شورای محیط زیست و صنعت پلاستیک و دانشگاه واترلو کانادا، بر پایه ارزیابی چرخه حیات مدیریت پسماند شهری طرح ریزی و ارائه شده و شامل پنجره های مختلفی برای ورود داده ها است که پاسخ به پرسش های ارائه شده وضعیت سامانه مدیریت بررسی شده را مشخص می کند. با استفاده از داده های تعریف شده استاندارد در مدل IWM-2، می توان میزان آلاینده ناشی از هر کدام از سناریوها و نیز انرژی مصرفی در آنها را به دست آورد. مؤلفه های ارزیابی شده در برآورد بار محیط زیستی شامل آلودگی آب، آلودگی هوا، انرژی مصرفی و پسماند به جا مانده است [۱۶]. در این مرحله داده های حاصل از تفکیک فیزیکی و مقدار تولیدی پسماند، هم چنین مراحل تفکیک در مبدأ و جمع آوری و حمل و نقل و دفع نهایی در هر مرحله، جمع آوری و تجزیه و تحلیل شد و سناریونویسی انجام شد در نهایت میزان آلاینده ناشی از هر کدام از سناریوها و انرژی مصرفی در آنها تعیین شد. سناریوهای تعریف شده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. تعریف سناریوهای ارزیابی چرخه حیات پسماندهای شهری سیرجان

سناریو	کمپوست (%)	بازیافت (%)	زباله سوز (%)	لندفیل (%)	باقی مانده های کمپوست (%)	باقی مانده های بازیافت (%)	باقی مانده های زباله سوز (%)
۱	۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰
۲	۶۸/۴	۱۹/۲	۰	۱۲/۴	۱۴	۳۰	۰
۳	۱۷/۱	۱۵	۵۵/۹	۱۲	۱۴	۳۰	۱۴
۴	۰	۱۹/۲	۶۹/۸	۱۱	۰	۳۰	۱۴

۳. ارزیابی اثرات چرخه حیات: ارزیابی اثرات چرخه حیات مرحله‌ای از ارزیابی چرخه حیات است که با هدف درک و ارزیابی بزرگی و اهمیت اثرات محیط‌زیستی بالقوه یک محصول یا خدمات انجام می‌شود. در این مرحله اطلاعات و داده‌های متنوع و زیادی که در مرحله فهرست‌نویسی به‌دست آمده‌اند، به شاخص‌ها و طبقات کم‌تری تنزل می‌یابند تا تفسیر این اطلاعات آسان‌تر شود و نتایج روشن‌تری در اختیار تصمیم‌گیران و مدیران قرار گیرد [۱۷].

در مرحله ارزیابی اثرات چرخه حیات مقادیر به‌دست آمده شده در مرحله فهرست‌نویسی چرخه حیات به یک یا چند طبقه تخصیص داده می‌شوند. در جدول ۳ طبقات در نظر گرفته شده و واحد معادل در هر طبقه ارائه شده است. سپس لازم است که برای تعیین مجموع اثر بار زیست‌محیطی هر طبقه، پارامترهای تخصیص داده شده در هر طبقه با استفاده از فرمول ویژگی‌سازی محاسبه شوند و شاخص هر طبقه بدست آید. در ارزیابی چرخه حیات فرمول اساسی ویژگی‌سازی و محاسبه شاخص‌های طبقه اثر به‌صورت معادله (۱) است:

$$I_i = \sum C_{ij} * X_j \quad (1)$$

که در آن I_i شاخص طبقه اثر و C_{ij} فاکتور ویژگی‌سازی و X_j مقدار ماده j است. به این ترتیب مجموع بار زیست‌محیطی هر طبقه بر اساس واحد معادل محاسبه می‌شود. فاکتورهای ویژگی‌سازی هر طبقه در جدول ۴ ارائه شده است.

در پایان پس از محاسبه مجموع اثر بار زیست‌محیطی هر طبقه، باید اهمیت نسبی هریک از طبقات را نیز تعیین کنیم تا شاخص‌های به‌دست آمده در هریک از طبقات در وزن نسبی آن طبقه ضرب شود و نمایه‌ها قابل جمع کردن با یک‌دیگر باشند. وزن‌های نسبی هر طبقه در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۳. پارامترهای تخصیص داده شده و واحد معادل هر طبقه اثر

واحد معادل	پارامترهای اختصاص داده شده	طبقات اثر
Gj	میزان مصرف انرژی برحسب گیگاژول	مصرف منابع انرژی
Kg CO ₂	CO ₂ -N ₂ O-CH ₄	گازهای گلخانه‌ای
Kg SO ₂	NO _x -SO _x -HCL	گازهای اسیدی
Kg C ₂ H ₄	PM-NO _x -CO-CH ₄	مه دود فتوشیمیایی
Kg 1-4DCB	Pb Air, Hg Air, Cd Air, Pb Water, Hg Water, Cd Water, BOD	خروجی‌های سمی

جدول ۴. فاکتورهای ویژگی سازی طبقات اثر [۱۸]

فاکتور ویژگی سازی معادل	پارامترهای فهرست شده	طبقه اثر
۱	کربن دی اکسید	گازهای گلخانه‌ای معادل CO ₂
۲۱	متان	
۳۲۰	دی نیتروژن مونواکسید	
۱	اکسیدهای گوگرد	گازهای اسیدی معادل SO ₂
۱/۰۷	اکسیدهای نیتروژن	
۰/۸۸	هیدروکلریک اسید	
۰/۳	کربن مونواکسید	مه دود فتوشیمیایی معادل C ₂ H ₄
۰/۰۰۷	متان	
۰/۰۲۸	اکسیدهای نیتروژن	
۰/۰۷	ذرات معلق	
۴۷۰	سرب در هوا	خروجی‌های سمی معادل CO ₂
۶۰۰	جیوه در هوا	
۱۵۰۰۰	کادمیوم در هوا	
۱۲	سرب در آب	
۱۴۰۰	جیوه در آب	
۲۳	کادمیوم در آب	
۱۰۶	نیاز بیولوژیکی به اکسیژن	

بدین‌این منظور برای محاسبه مقدار اثر ناشی از یک سناریو از معادله (۲) استفاده می‌شود:

$$I = \sum N_i = \sum W_i I_n \quad (2)$$

شاخص به‌دست آمده معیار کمی برای مقایسه دو سناریو است. هرچه شاخص I کوچک‌تر باشد بار زیست‌محیطی سناریو کم‌تر است. که در آن I معیار کمی مقایسه دو سناریو و W_i وزن نسبی طبقات اثر و I_n شاخص طبقه اثر است. به این ترتیب برای هر یک از سناریوها یک نمایه بوم‌شناختی به‌عنوان معیار کمی برای مقایسه بار زیست‌محیطی هر یک از سناریوها در نظر گرفته می‌شود. هر سناریو که امتیاز پایین‌تری کسب کرده باشد بار زیست‌محیطی کم‌تری در بر دارد.

جدول ۵. وزن‌های نسبی طبقات اثر [۱۹]

وزن	طبقه اثر
۰/۸۸	مصرف منابع انرژی
۰/۸۹	گازهای گلخانه‌ای
۰/۴	گازهای اسیدی
۰/۲۹	مه دود فتوشیمیایی
۰/۱۳	خروجی‌های سمی

۴. تفسیر نتایج: در این مرحله نتایج مراحل صورت‌برداری و ارزیابی اثر ارزیابی می‌شود تا مراحل یا نقاطی که در مسیر تولید و مصرف محصول بیش‌ترین و کم‌ترین اثر سوء برای محیط‌زیست را داشته‌اند، مشخص شود و در نهایت نتیجه‌گیری و ارائه راهکارها بررسی می‌شوند [۱۷].

نتایج و بحث

برای انجام ارزیابی چرخه حیات زباله‌های شهری، سناریونویسی بر اساس داده‌های موجود در منطقه و داده‌های استاندارد با استفاده از مدل IWM-2 انجام شد. میزان آلاینده ناشی از هریک از سناریوها و انرژی مصرفی در آن‌ها محاسبه شد. خروجی‌های نرم‌افزار IWM-2 در جدول‌های ۶، ۷ و ۸ آورده شده است. در نهایت با روش ذکر شده شاخص اکولوژیکی هر سناریو به‌دست آمد و نتایج حاصل از سناریوها با هم مقایسه و سناریو منتخب از لحاظ زیست‌محیطی انتخاب شد. نتایج به‌دست آمده در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۶. انرژی مصرف شده در سناریوهای مختلف به ازای واحد عملکردی (تناژ پسماند تولیدی در سال)

مشخصات	واحد	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
انرژی الکتریکی مصرف شده	کیلووات ساعت	۱۵۳۸۱۵	۱۶۱۴۷۴۹	۲۴۰۰۰۲۳	۲۵۶۶۵۱۳
انرژی الکتریکی تولید شده	کیلووات ساعت	-۴۰۳۰۵۷۱	-۱۳۳۴۱۵۳	-۱۰۱۸۷۵۶۵	-۱۱۳۰۷۸۴۲
انرژی الکتریکی بازاریابی شده در مرحله بازیافت	کیلووات ساعت	۰	-۲۷۲۱۴۰۸۷	-۲۵۲۵۸۱۲۵	-۲۷۲۱۴۰۸۷
سوخت دیزل	لیتر	۵۲۵۱۷	۱۵۰۰۹	۱۰۲۲۷	۱۰۰۵۲
گاز طبیعی	مترمکعب	۰	۲۱۰۹	۷۶۶۴	۹۶۴۱
کل	گیگاژول	-۳۶۳۱۱	-۲۶۹۷۴۲	-۳۳۱۱۱۳	-۳۶۰۲۵۷

جدول ۷. انتشار آلاینده‌ها به هوا در سناریوهای مختلف به ازای واحد عملکردی (تناژ پسماند تولیدی در سال)

آلاینده‌ها	واحد	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
ذرات معلق (PM10)	گرم	-۱۸۹۲۰۶۳	-۲۶۷۵۰۶۸	-۷۵۶۱۴۸۸	-۷۲۹۱۰۵۳
کربن مونواکسید (CO)	گرم	۴۹۹۸۴۸۴	-۱۳۹۰۰۷۲۲	-۱۵۱۱۰۴۷۵	-۱۵۲۲۷۸۰۶
دی اکسید کربن (CO ₂)	گرم	۱۳۷۹۰۱۳۲۱۸۵	۵۲۲۸۹۹۵۱	۱۱۱۸۲۹۰۴۵۷۷	۱۳۰۶۱۵۱۵۳۱۴
متان (CH ₄)	گرم	۲۱۰۵۸۳۶۲۲۳	۶۹۲۰۴۸۹۶۴	۴۲۶۴۶۸۷۲	۳۴۳۷۱۴۳۵۷
اکسیدهای نیتروژن (NO _x)	گرم	-۱۸۰۴۰۰	-۲۱۱۴۰۱۵۳	-۲۹۲۷۸۶۹۴	-۲۹۷۶۵۲۵۲
دی نیتروژن مونواکسید	گرم	-۱۶۰۴۴	۸۱۶۰۶	۷۲۴۲۱	۸۵۸۰۵
اکسیدهای گوگرد (SO _x)	گرم	-۸۳۸۰۴۰۱	-۱۰۱۷۹۴۴۷	-۲۵۴۹۹۰۵۷	-۳۰۵۷۸۰۲۷
هیدروکلریک اسید (HCl)	گرم	۱۱۸۶۷۶	۱۷۲۶۲۱	-۵۱۰۱۷۰	-۵۷۸۹۵۶
هیدروژن سولفید (H ₂ S)	گرم	۱۰۷۵۷۳۲	۳۵۶۸۵۸	۲۱۸۰۳۰	۱۷۹۵۹۲
هیدروفلوئوریک اسید (HF)	گرم	۴۰۹۲۰	۲۶۱۴۹	۱۱۰۹۷	۹۵۶۷
آمونیاک (NH ₃)	گرم	-۴۶۸۹	۲۳۵۳۴۴	۱۱۶۴۳۶	۲۳۴۵۲۵
آرسنیک (As)	گرم	۰	۰	۱	۱
کادمیوم (Cd)	گرم	-۵	-۸۰	-۱۱۹	-۱۱۶
کروم (Cr)	گرم	۴	۳۸	۱۰۰	۱۱۹
مس (Cu)	گرم	۰	۱۹۶	۲۲۷	۲۳۸
سرب (Pb)	گرم	-۳۲۸	۳۵۳۶	۳۰۸۱	۳۱۰۲
منگنز (Mn)	گرم	-۱۵۳	۱۱	-۱۰	-۱۶
جیوه (Hg)	گرم	-۴۷	۷	۷۲۰	۹۴۴
نیکل (Ni)	گرم	-۲۲۱۶	-۱۳۱۰	-۵۸۵۵	-۶۱۶۵
روی (Zn)	گرم	-۱۰۸	۸۱	-۶۲۴	-۵۳۳
کل هیدروکربن	گرم	۱۱۰۶۱۷۸۵	۳۶۶۱۵۴۵	۲۲۷۵۰۴۱	۱۸۳۸۷۱۷
هیدروکربن کلرینه شده	گرم	۲۴۱۶۴۰	۷۹۹۸۵	۴۹۶۹۷	۴۰۱۶۶

جدول ۸. انتشار آلاینده‌ها به آب در سناریوهای مختلف به‌ازای واحد عملکردی (تناژ پسماند تولیدی در سال)

آلاینده‌ها	واحد	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
نیاز بیولوژیکی به اکسیژن	گرم	۱۵۳۰۵۱۴۸	۹۱۹۳۷۳۲	۶۶۰۷۲۵۲	۶۳۳۴۲۵۱
نیاز شیمیایی به اکسیژن	گرم	۱۵۲۹۷۷۹۰	-۱۰۶۹۶۶۴۴۵	-۵۰۴۵۲۶۷۳	-۱۱۱۶۲۶۱۲۲
آمونیم (NH_4)	گرم	۱۱۶۸۳۲	۵۱۷۳۳۵	۱۵۶۹۹۹	۶۲۳۳۲
آرسنیک (As)	گرم	-۱۳۱۸	-۲۵۴۹	-۲۸۷۶	-۲۸۰۸
باریم (Ba)	گرم	-۷۰۳۶۵	-۱۰۱۷۲۹	-۱۲۳۸۵۶	-۱۱۴۰۰۹
کادمیوم (Cd)	گرم	۴۱	۱۲	-۳	۲
کروم (Cr)	گرم	-۶۶۲۲	-۱۳۰۶۱	-۱۴۷۱۷	-۱۴۳۷۲
مس (Cu)	گرم	-۳۱۲۳	-۳۳۷۸	-۴۱۹۸	-۴۰۴۰
سرب (Pb)	گرم	-۳۸۵۹	-۶۱۹۹	-۷۳۰۷	-۶۹۶۷
جیوه (Hg)	گرم	۲	۷	۷	۷
نیکل (Ni)	گرم	-۲۴۶۵	-۵۸۲۲	-۶۷۸۶	-۶۶۶۲
نترات (NO_3)	گرم	-۲۰۶۰۸	۲۰۸۶۵۰۴	۱۰۳۰۶۵۵	۲۰۸۲۹۰۸
فسفات (PO_4^{3-})	گرم	-۴۱۳۷۰	-۲۱۹۵۱	-۵۸۸۴۸	-۲۹۱۷۰
سولفات (SO_4^{2-})	گرم	-۷۸۸۷۰۸۷	۱۵۳۷۵۶۶۸	۳۹۸۰۷۵۵	۱۳۹۸۷۰۵۸
سولفید (SO_3^{2-})	گرم	-۲۰۸	۹۴	-۲۹	۵۸
روی (Zn)	گرم	-۲۸۵۵	-۱۰۵۶۰	-۱۲۶۰۸	-۱۲۳۷۲
ذرات معلق (SS)	گرم	-۳۹۷۱۷۶	۷۱۶۴۷۵۶	۳۲۵۸۶۳۸	۷۰۵۵۵۷۷
کل کربن آلی (TOC)	گرم	-۱۰۹۲۷۰	۷۳۴۱۶۲۹	۳۶۲۰۷۴۰	۷۳۱۹۵۵۴
AOX	گرم	۱۲۳۳۹	-۱۱۷۸۶۹۰	-۵۷۱۸۲۶	-۱۱۸۰۳۹۰
هیدروکربن کلرینه شده	گرم	۶۳۵۹	۲۵۱۷	۲۲۰۶	۲۱۱۹
فنول	گرم	۱۴۶۲	-۱۰۷۶	-۱۸۱۳	-۱۴۳۷
کلراید	گرم	-۶۰۸۹۵۵۶	۳۹۷۱۱۰۹۰	۱۸۴۲۴۸۹۴	۳۸۰۸۹۸۵۲
سیانید	گرم	-۴۶	-۳۳۷۱۸۱۳	-۱۶۸۳۹۲۳	-۳۳۷۱۸۲۱
فلوراید	گرم	۲۴۱۰	۷۲۱	۶۴۹	۶۱۶
آهن	گرم	-۳۵۲۸۴۰	۱۱۰۰۳۲	-۸۰۴۲۰	-۶۳۱۸۹
آلومینیوم	گرم	-۷۰۲۹۷۲	-۱۲۰۹۲۹۲	-۱۳۷۱۰۱۱	-۱۳۳۱۹۶۱

جدول ۹. مقایسه و تحلیل نتایج سناریوهای مختلف

سناریو	مصرف منابع انرژی	گازهای گلخانه ای	گازهای اسیدی	مه دود فتوشیمیایی	خروجی های سمی	شاخص اکولوژیکی
	GJ	Kg CO ₂	Kg SO ₂	Kg C ₂ H ₄	Kg 1-4DCB	
۱	-۰/۶۶۰۹	۱۰۵۵/۹۰۱۷	۱/۷۴۵	۰/۲۹۳۱	۲۳/۲۳۰۱	۹۹۴/۰۱۳۸
۲	-۶/۷۴۲۸	۱۹۷/۰۷۴۲	۲/۰۲۴۷	-۰/۰۴۶۸	۱۹/۲۹۰۳	۱۷۲/۷۶۶۳
۳	-۷/۷۳۲۶	۳۱۲/۴۱۴۱	-۱/۲۵۴۱	-۰/۰۹۴۳	۲۲/۲۹۵۸	۲۷۳/۶۱۳۳
۴	-۸/۵۶۱۰	۲۲۲/۴۹۱۸	-۱/۴۳۲	۳/۵۴۴۴	۹/۹۹۸۶	۱۹۲/۲۳۹۶

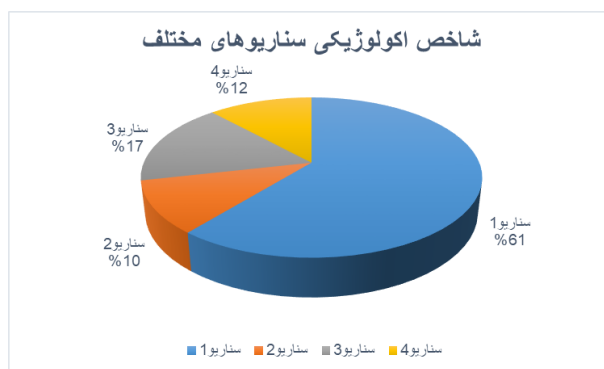
با مقایسه اعداد سناریوها در طبقه اثر مصرف منابع انرژی می توان دریافت، کمترین مصرف انرژی مربوط به سناریو چهارم است زیرا در این سناریو ۶۹/۸ درصد از زباله ها به زباله سوز فرستاده می شوند و مقدار انرژی تولیدی در آنها از انرژی مصرف شده بیش تر است. به همین دلیل از علامت منفی استفاده شده است. علامت منفی نشان دهنده قابلیت زیاد فرآیند بازیافت و همچنین بازیابی انرژی در کاهش آلاینده های زیست محیطی است. سناریوی چهارم با فراهم آوردن امکان بازیافت مواد و تولید انرژی (الکتریسته) نقش به سزایی در کاهش بارهای زیست محیطی ایفا می کند. در این طبقه اثر، سناریوی اول که همان دفن بهداشتی تمام زباله ها است بیش ترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است.

در طبقه اثر گازهای گلخانه ای، سناریوی اول با اختلاف بسیار نسبت به سایر سناریوها بیش ترین مقدار را به خود اختصاص داده است و سناریوی دوم که در آن مواد آلی با ۶۸/۴ درصد کمپوست می شوند کم ترین مقدار را داشته است. اگر فرآیند کمپوست به طور مناسبی انجام شود گاز متان تولید نمی شود. گاز متان که در فرآیند تجزیه بی هوازی مواد آلی به وجود می آید (مانند دفن بهداشتی) ۲۱ برابر CO₂ پتانسیل اثر گلخانه ای دارد [۲۰].

در طبقه گازهای اسیدی، سناریوی دوم بیش ترین مقدار و سناریوی چهارم کم ترین مقدار را به خود اختصاص داده اند. بیش ترین مقدار مه دود فتوشیمیایی مربوط به سناریوی چهارم است جایی که حجم بیش تری از زباله ها به زباله سوز وارد می شوند و باعث انتشار آلاینده هایی نظیر ذرات معلق، اکسیدهای نیتروژن، متان، مونو اکسید کربن در هوا می شوند.

بیشترین خروجی‌های سمی به‌ترتیب به سناریوی اول، سوم، دوم و چهارم مربوط می‌شود. چنان‌که در جدول ۹ مشخص است سناریوی اول که در آن همهٔ زباله‌ها به لندفیل وارد می‌شوند سهم چشم‌گیری در انتشار مواد سمی به محیط دارد.

با مقایسهٔ ۵ طبقه اثر تخصیص داده شده و به‌دست آوردن شاخص اکولوژیکی آنها از روش ذکر شده متوجه می‌شویم که بیش‌ترین آثار زیست‌محیطی مربوط به سناریوی اول است و اولویت آخر ما برای تصمیم‌گیری در زمینهٔ مدیریت پسماند شهرستان سیرجان است. کم‌ترین آثار زیست‌محیطی به سناریوی دوم مربوط می‌شود جایی که کمپوست در آن نقش اساسی در مدیریت پسماند ایفا می‌کند. اولویت اول ما در این پژوهش، سناریوی دوم و سناریوهای بعدی به‌ترتیب سناریوی چهارم، سناریوی سوم و سناریوی اول هستند چنان‌که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. مقایسهٔ شاخص اکولوژیکی سناریوهای مختلف

نتیجه‌گیری

هدف از مدیریت یکپارچه مواد زائد، مدیریت پسماند به‌صورتی است که اهداف توسعه پایدار را دنبال کند. برای ارزیابی توسعهٔ پایدار، به ابزارهایی که می‌توانند بارهای زیست‌محیطی هر سیستم را پیش‌بینی کند نیاز است. از این‌رو، در این پژوهش از رویکرد ارزیابی چرخه حیات به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینهٔ مناسب دفع پسماند شهری سیرجان استفاده شد. بدین‌منظور ۴ سناریو در نظر گرفته شده و از نرم‌افزار IWM-2 برای محاسبهٔ بار

زیست محیطی سناریوهای مختلف استفاده شده است. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان می‌دهد سهم بالای درصد مواد فسادپذیر در ترکیب پسماند تولیدی در شهر سیرجان باعث شده است که نقش استفاده از روش کمپوست کاملاً چشم‌گیر باشد. به گونه‌ای که سناریوی دوم که در آن تمام مواد آلی به کمپوست تبدیل می‌شوند به عنوان گزینه برتر از لحاظ زیست محیطی معرفی شود. تبدیل پسماند به کمپوست از چند جنبه مورد حمایت است: اول آن که می‌توان از آنها به منظور اصلاح خاک استفاده کرد، بدون این که نگرانی‌های محیط‌زیستی طولانی مدت ایجاد کند. دوم این که چنانچه فرآیند کمپوست به طور مناسبی انجام شود گاز متان تولید نخواهد شد. از طرف دیگر، فرآیند کمپوست منجر به کاهش حجم ورودی به محل دفن می‌شود.

نتایج نشان داد در یک سامانه یکپارچه مدیریت پسماند شهری هر چقدر نرخ تفکیک و بازیافت افزایش یابد، با توجه به افزایش مقدار مواد برای بازیافت و باز استفاده و همچنین جلوگیری از انتشارات ناشی از تولید مواد اولیه، میزان نشر آلاینده‌های زیست محیطی نیز به طور چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند. همچنین طبق نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از زیرسامانه‌های مولد انرژی مانند زباله‌سوزها در کنار زیرسامانه‌های سنتی مانند لندفیل آثار زیست محیطی کمتری نسبت به استفاده تنها از زیرسامانه لندفیل دارد. در این پژوهش کمترین آثار زیست محیطی به ترتیب مربوط به سناریوی دوم، چهارم، سوم و اول است. پژوهش حاضر ارزیابی چرخه حیات سامانه مدیریت پسماند شهر سیرجان از نقطه نظر زیست محیطی است و به عوامل اقتصادی و اجتماعی توجه نشده است. نتایج این پژوهش در خصوص وضعیت کنونی سامانه مدیریت پسماند سیرجان مصداق دارد بنابراین ممکن است با نتایج پژوهش‌های دیگر به علت ویژگی‌های متفاوت پسماند، فناوری، عامل‌های زمانی و مکانی، انتخاب روش‌های ارزیابی اثرات مختلف، متفاوت باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که ارزیابی چرخه حیات می‌تواند تصویر کاملی از سامانه مدیریت پسماند شهری را از نقطه نظر زیست محیطی ارائه کند و به عنوان ابزار ارزشمندی در اختیار تصمیم گیران قرار گیرد.

منابع

۱. عبدلی م، "بازیافت مواد زائد جامد شهری (چاپ دوم)"، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۸۵). 414.
2. Hardy-Smith T., Edwards P. C., "The Garbage Crisis in prehistory: artefact discard patterns at the Early Natufian site of Wadi Hammeh 27 and the origins of household refuse disposal strategies", *Journal of Anthropological Archaeology*, 23(3) (2004) 253-289.
3. Davidson D. J., Frickel S., "Understanding Environmental Governance: A Critical Review", *Organization & Environment*, 17(4) (2004) 471-492.
4. Key Neghad M., Ebrahimi A., "Environmental Engineering", (First ed). Sahand University Publication (1999).
5. Panahandeh M., Abedinzadeh N., Ravanbakhsh M., "Environmental impact assessment of compost plant in Yazd", *Journal of Environmental Science and Technology* (2013) 12(3), 87-99.
6. Cherubini F., Bargigli S., Ulgiati S., "Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration", *Energy*, 34 (12) (2009) 2116-2123.
7. Bueno G., Latasa I., Lozano P., "Comparative LCA of two approaches with different emphasis on energy or material recovery for a municipal solid waste management system in Gipuzkoa", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51 (2015) 449-459.
8. Jensen M. B., Møller J., Scheutz C., "Comparison of the organic waste management systems in the Danish-German border region using life cycle assessment (LCA)", *Waste Management*, 49 (2016) 491-504.
9. Di Gianfilippo M., Costa G., Pantini S., Allegrini E., Lombardi F., Astrup T. F., "LCA of management strategies for RDF incineration and

- gasification bottom ash based on experimental leaching data", Waste Management, 47 (2016) 285-298.
10. Ripa M., Fiorentino G., Vacca V., Ulgiati S., "The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA)", The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). Journal of Cleaner Production, 142 (2017) 445-460.
۱۱. "طرح جامع مدیریت پسماند شهرستان سیرجان"، گزارش نهایی (ویرایش سوم) (۱۳۹۵). ۵۷۶.
۱۲. "طرح توجیهی پردازش و بازیافت زباله سیرجان"، سازمان شهرداری سیرجان (۱۳۹۶). ۶۸.
۱۳. "طرح جامع مدیریت پسماند کشور"، (۱۳۸۷) ۱۰۷.
14. "U. S. Environmental Protection Agency", Solid waste disposal facility criteria technical manual (Final report). SW Publication, Washington, D. C (2006) 349.
15. Vahidi H., Rastikerdar A., "Evaluation of the Life Cycle of Household Waste Management Scenarios in Moderate Iranian Cities, Case Study: Sirjan City", Environmental Energy and Economic Research (2018) 1-11.
16. Haight M., "Technical report: Integrated solid waste management model. University of Waterloo. Canada (2004) 101.
17. Nasrollahi-Sarvagahaji S., Alimardani R., Sharifi M., "Taghizadeh Yazdi, M. 2016. Comparison of the environmental impacts of different municipal solid waste treatments using life cycle assessment (LCA)(Case Study: Tehran)", Iranian Journal of Health and Environment, 9 (2) (2004) 273-288.

18. Huijbregts M. A., Schopp W., Verkuijen E., Heijungs R., Reijnders L., "Spatially explicit characterization of acidifying and eutrifying air pollution in life cycle assessment", J. Ind. Eco. 4: 3 (2000) 125-142.
19. Boustead I., Chaffee C., Dove W. T., Yaros R. B., "Eco-Indices: What can they tell us. Boustead Consulting (2000) 53.
20. "International Panel on Climate Change (IPCC)", Guidelines for national greenhouse gas inventories workbook (1996).
<https://www.ipcc.ch/meetings/session25/doc4a4b/vol1.pdf>.