

ارزیابی محیط زیستی چرخه حیات سامانه مدیریت پسماند شهری (مطالعه موردی: شهر مشهد)

رضا رفیعی^۱، * عبدالرسول سلمان ماهینی^۲ و نعمت‌اله خراسانی^۳

^۱ مربی گروه محیط زیست، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار،

^۲ دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ استاد گروه محیط زیست، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۱۳

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 زاید جامد، با توجه به میزان تولید و ترکیب پسماند، گزینه‌های مختلفی برای مدیریت آن وجود دارد که علاوه بر هزینه‌های اقتصادی، بار محیط زیستی مختلفی در بر دارند. انتخاب گزینه‌های مناسب‌تر نیاز به ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری دارد. ارزیابی چرخه حیات یکی از این ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری می‌باشد که در دهه اخیر معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعه حاضر، از این رویکرد به منظور بررسی وضعیت حاضر سامانه مدیریت پسماند شهر مشهد استفاده گردید. به این منظور، ۳ سناریو شامل (۱) انتقال مستقیم پسماند، (۲) کمپوست کردن و (۳) انتقال غیرمستقیم از راه ایستگاه‌های انتقال در نظر گرفته شد. داده‌های مورد نیاز سیاه‌نویسی چرخه حیات با بررسی منابع و طرح‌های پژوهشی پایان‌یافته، تهیه پرسش‌نامه و تکمیل آن به وسیله پرسنل و نیز کار صحرایی جمع‌آوری شد. سیاه‌نویسی چرخه حیات به کمک مدل IWM-1 صورت پذیرفت. سپس، نتایج به دست آمده از سیاه‌نویسی به ۵ طبقه اثر شامل مصرف انرژی، گازهای گلخانه‌ای، گازهای اسیدی، مه دود فتوشیمیایی و خروجی‌های سمی تخصیص داده شد. مقادیر سیاه شده در فاکتورهای ویژگی‌سازی ضرب گردید و در نهایت نمایه بوم‌شناختی برای هر یک از سناریوها به دست آمد. از نقطه نظر محیط زیستی، نتایج این مطالعه نشان داد که کمپوست کردن به عنوان یکی از گزینه‌های مدیریتی و نیز کاربرد ایستگاه‌های انتقال پسماند در مواردی که محل دفن و سایر تاسیسات سامانه مانند کارخانه بازیافت و کمپوست در فواصل دور از نقاط ثقل تولید قرار می‌گیرند، نقش مهمی در کاهش بار آلاینده‌ها و نیز مصرف انرژی ناشی از سامانه مدیریت پسماند دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، پشتیبان تصمیم‌گیری، مدیریت پسماند شهری، شهر مشهد

مقدمه

بیشتر نقاط جهان، پسماند شهری به‌طور عمده در گودال‌های روباز دفع می‌شد (هیکمن، ۲۰۰۰)، اما امروزه مدیریت پسماند شهری شامل فن‌آوری‌های پیشرفته است که سلامت اجتماع و محیط زیست را بیشتر تامین می‌کند

در قرن بیستم، فن‌آوری‌های مدیریت پسماند توسعه قابل توجهی داشته است. تا قبل از سال ۱۹۵۰ میلادی در

فرآیند یا خدمات، در تمام طول حیات آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. رویکرد حاکم بر انجام مطالعه چرخه حیات، گهواره تا گور می‌باشد (SETAC، ۱۹۹۸)، به این مفهوم که مراحل مختلف انجام یک فرآیند (مانند سامانه مدیریت شهری) یا تولید یک محصول (مانند تلویزیون)، از استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی مورد بررسی قرار می‌گیرد (پاول، ۲۰۰۰). ارزیابی چرخه حیات روش جدیدی است که در اوایل دهه ۹۰ میلادی جنبه عمومی پیدا کرد. اولین بار ارزیابی چرخه حیات به وسیله مجمع سم‌شناسی محیط زیست و شیمی (SETAC^{۱۰}) ارائه شد. بعد از SETAC، سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO^{۱۱}) ارزیابی چرخه حیات را مستندسازی و به صورت دستورالعمل‌هایی ارائه کرد. در سال ۱۹۹۷ که اولین بار دستورالعمل‌های ارزیابی چرخه حیات ارائه شد، ۴ استاندارد ویژه کاربرد ارزیابی چرخه حیات طراحی گردید. مثلاً استانداردهای سری ۱۴۰۴۰ شامل موارد چهارگانه زیر است: (۱) ISO 14040: اصول و چارچوب، (۲) ISO 14041: تعریف اهداف و برد^{۱۲} و تحلیل سیاهه^{۱۳}، (۳) ISO 14042: ارزیابی اثرات چرخه حیات و (۴) ISO 14043: تفسیر. در حال حاضر، استاندارد ISO 14044 به طور پیش‌نویس ارائه شده است و جایگزین سه استاندارد ISO 14041 و ISO 14042 و ISO 14043 شده است، اما تفاوت کلی با سه ISO قبلی ندارد. طبق استاندارد ISO، به‌طور کلی ارزیابی چرخه حیات شامل ۴ گام است که در شکل ۲ نشان داده شده است (ISO 14040، ۱۹۹۷).

در بخش تعریف هدف و برد^{۱۴} دلیل انجام مطالعه، گزینه‌هایی که با یکدیگر مقایسه خواهند شد و نحوه استفاده از نتایج مشخص می‌شود. نحوه استفاده از ارزیابی چرخه حیات، نوع انجام مطالعه و نوع داده‌های مورد نیاز را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در این مرحله، مرزهای

(دiaz و وارث، ۲۰۰۵). مدیریت جامع مواد زاید جامد (IWM) راهکار اصلی در برخورد با پسماند شهری است. در مدیریت جامع پسماند، علاوه بر دفن بهداشتی و زباله‌سوزها روش‌های دیگری مانند کمپوست و بازیافت هم استفاده می‌شود (عبدلی، ۲۰۰۶). شکل ۱ نشان‌دهنده سامانه مدیریت جامع مواد زاید جامد شهری (MSW^{۱۵}) است (دiaz، ۲۰۰۴).

هدف از مدیریت جامع پسماند، بهینه کردن سامانه مدیریت پسماند است. انتخاب اجزای سامانه مدیریت جامع و تعیین درصد سهم هر یک از اجزاء در سامانه مدیریت مواد زاید جامد به عوامل مختلف وابسته است (عبدلی، ۲۰۰۶). تعیین اجزاء و درصد هر یک از بخش‌های نظام مدیریت جامع نیازمند سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS^{۱۶}) است که به‌طور کمی و براساس آثار محیط زیستی و اقتصادی هر یک از اجزاء، مدیران و تصمیم‌گیران را در انتخاب اجزاء و سامان‌دهی نظام مدیریت یاری دهد. مدیریت پسماند، به‌عنوان یکی از مسایل کلیدی محیط زیستی مطرح است و به همین سبب تقاضای روزافزونی برای تجزیه و تحلیل و مقایسه کارایی و اثرات محیط زیستی و فنی سیاست‌های مختلف مدیریت پسماند وجود دارد. چنین کاری را می‌توان با ابزارهای ارزیابی محیط زیستی^{۱۷} انجام داد. ابزارهای مختلفی به‌منظور ارزیابی سامانه مدیریت پسماند وجود دارد که می‌توان به ممیزی محیط زیست^{۱۸}، ارزیابی اثرات محیط زیستی^{۱۹}، ارزیابی احتمال خطر^{۲۰}، تحلیل جریان مواد و منابع^{۲۱} و ارزیابی چرخه حیات (LCA^{۲۲}) اشاره کرد (لودویگ و همکاران، ۲۰۰۳).

ارزیابی چرخه حیات، رهیافتی است که به کمک آن جنبه‌های محیط زیستی در ارتباط با یک محصول یا

10- Society of Environmental Toxicology and Chemistry
11- International Standard Organization
12- Goal and Scope
13- Inventory Analysis
14- Goal and Scope Definition

1- Integrated Waste Management
2- Municipal Solid Waste
3- Decision Support System
4- Environmental Assessment Tools
5- Environmental Audit
6- Environmental Impact Assessment
7- Risk Assessment
8- Substance/Material Flow Analysis
9- Life Cycle Assessment

سامانه و روشی که داده‌ها باید گردآوری شوند کاملاً مشخص و قوانین و فرضیات مستندسازی و جمع‌آوری می‌شوند. این مرحله شالوده ارزیابی چرخه حیات است. برد در یک مطالعه ارزیابی چرخه حیات، بیان‌کننده پیراسنجه‌هایی است که در چارچوب آنها مطالعه انجام خواهد شد. برد مطالعه باید با اهداف تعیین شده هم‌خوانی و سازگاری داشته باشد. به کمک اطلاعات این بخش، نحوه مطالعه سامانه مورد بررسی تعیین می‌شود تا بتوان نتایج مطالعه را با سامانه‌های دیگر مقایسه کرد. بدون ارایه هدف و برد، مطالعه ارزیابی چرخه حیات، اطلاعات معتبری به‌دست نخواهد داد.

سیاهه‌نویسی چرخه حیات^۱ شامل جمع‌آوری داده‌ها و روش‌های محاسبه جهت کمی کردن ورودی‌ها (منابع) و خروجی‌ها (آلاینده‌ها) در سامانه است (ISO 14042). این مرحله، تمام فرآیندهای جاری در رهیافت از گهواره تا گور را شامل خواهد شد و در طی آن کلیه ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه ارایه می‌گردند. جمع‌آوری داده‌ها در این مرحله به هدف مطالعه، بودجه و زمان بستگی دارد که همگی در گام قبل تعیین می‌شوند. ارزیابی اثرات چرخه حیات^۲، مرحله‌ای از ارزیابی چرخه حیات است که با هدف درک و ارزیابی بزرگی^۳ و اهمیت اثرات محیط زیستی بالقوه یک محصول یا خدمات انجام می‌شود. در این مرحله، اطلاعات و داده‌های متنوع و زیادی که در مرحله سیاهه‌نویسی 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. اولین بار، ارزیابی چرخه حیات در سال ۱۹۶۹ در مورد قوطی‌های نوشیدنی انجام شد. مهم‌ترین هدف این مطالعه، تعیین انواع قوطی‌های نوشیدنی بود که کمترین اثر را بر منابع طبیعی و محیط زیست داشتند (هانت و همکاران، ۱۹۹۲). اوزلر و همکاران (۲۰۰۵) برای مقایسه روش‌های مختلف مدیریت پسماند در آنکارا

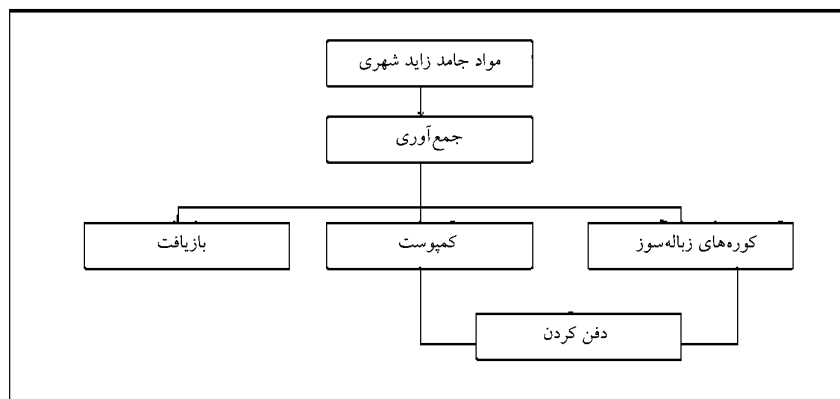
رویکرد ارزیابی چرخه حیات را به‌کار بردند. در این مطالعه ۵ سناریوی مختلف مدیریت پسماند موردنظر قرار گرفت، سپس بار زیست‌محیطی هر سناریو، سیاهه‌نویسی و ارایه شد. در این مطالعه ارزیابی اثرات چرخه حیات انجام نشد و با مقایسه نتایج به‌دست آمده از سیاهه‌نویسی چرخه حیات گزینه مناسب مدیریتی انتخاب و در اختیار تصمیم‌گیران قرار گرفت. در این پژوهش کاهش از مبدا کمترین اثرات زیست‌محیطی را داشت و به‌عنوان بهترین روش مدیریت پسماند شهری معرفی شد. بویا و پاول (۲۰۰۵) به‌منظور مشخص کردن نقش ایستگاه‌های انتقال در بخش جمع‌آوری و انتقال پسماند شهر در کاهش بار زیست‌محیطی بخش حمل‌ونقل، رویکرد ارزیابی چرخه حیات را به‌کار بردند. در این پژوهش دو سناریو جهت حمل‌ونقل در نظر گرفته شد. سناریوی اول حمل بدون ایستگاه انتقال و سناریوی دوم حمل به کمک ایستگاه انتقال بود. مقایسه نتایج ارزیابی چرخه حیات نشان داد که به‌کارگیری ایستگاه انتقال ۱۶/۸ درصد در کاهش بار زیست‌محیطی نقش دارد. اسکوردیلیس (۲۰۰۴) نظام جامع مدیریت پسماند جامد در یک جزیره توریستی را ارایه کرد. در این مطالعه معیارهای مختلف مالی، فنی و اجتماعی و زیست‌محیطی در انتخاب نوع مدیریت پسماند موردنظر قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل معیارهای زیست‌محیطی در انواع مختلف مدیریت از رویکرد ارزیابی چرخه حیات استفاده کرد و نتایج این مطالعه نشان داد که مؤثرترین روش در کاهش بار زیست‌محیطی و در عین حال کاهش هزینه‌ها، تهیه کمپوست از بخش آلی آن می‌باشد.

فینودن و اکوال (۱۹۹۸) دو شیوه مدیریتی بازیافت یا سوزاندن کاغذهای جعبه‌های بسته‌بندی را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه از ارزیابی چرخه حیات به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری، در نظام مدیریت پسماند استفاده شد. دو سناریو مورد نظر از نقطه‌نظر محیط زیستی مورد توجه قرار گرفت و بار محیط زیستی مراحل مختلف چرخه آن سیاهه‌نویسی شد. نتایج نشان داد که چنان‌چه

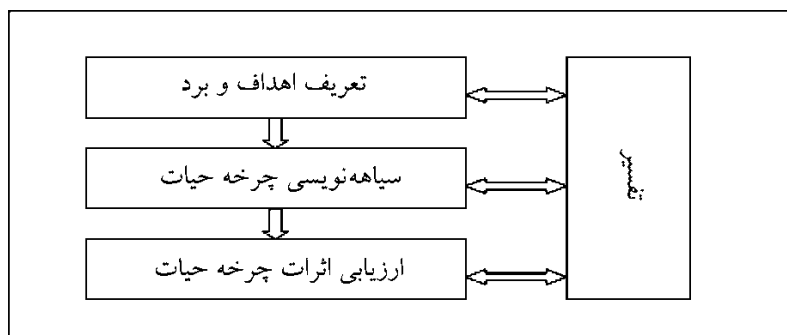
1- Life Cycle Inventory
2- Life Cycle Impact Assessment
3- Magnitude

سوخت جایگزین در مورد کوره‌های زباله‌سوز کاغذ، سوخت‌های فسیلی باشد، سوزاندن کاغذ و تولید انرژی از آن موجب کاهش بار CO₂ می‌شود. چنان‌چه سوخت جایگزین بیوگاز حاصل شده از محل دفن باشد سوزاندن کاغذ بستگی به تصمیم‌گیری‌های طولانی‌مدت اتخاذ شده در سامانه مدیریت پسماند در ارتباط با بازیافت یا کاهش از مبدا دارد. چایا و گیوالا (۲۰۰۶) در مطالعه دو گزینه تولید انرژی از پسماند در تایلد از نقطه نظر محیط زیستی رویکرد ارزیابی چرخه حیات را مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه تولید انرژی در کوره‌های زباله‌سوز و نیز هضم هوازی مورد نظر قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که آثار بالقوه کوره‌های زباله‌سوز در مقابل تولید انرژی الکتریکی یکسان بیشتر از هضم هوازی است. شورای محیط زیست و صنعت پلاستیک (EPIC¹) در کانادا به

کمک دانشگاه واترلو به منظور کمک به تصمیم‌گیران، مدل IWM-1 را ارائه کرد (هایت، ۲۰۰۴). این مدل بر پایه ارزیابی چرخه حیات مدیریت پسماند شهری طرح ریزی و ارائه شده و در اختیار کاربران قرار گرفت. دیاز و واریث (۲۰۰۵) به منظور ارائه مدل کامل‌تر در ارزیابی چرخه حیات مدیریت پسماند جامد شهری مدل WASTED را ارائه نمودند. این مدل با هدف در اختیار گذاردن مدل رایانه‌ای ارزیابی چرخه حیات پسماند شهری ارائه شد. بررسی اولیه نشان داد که تا کنون ارزیابی چرخه حیات به روش مدل IWM-1 در ایران انجام نشده است و بنابراین، در این بررسی به منظور نشان دادن قابلیت‌ها و نیز کمبودهای اطلاعاتی از مدل بالا برای شهر مشهد استفاده شد.



شکل ۱- اجزای سامانه جامع مدیریت پسماند شهری (دیاز، ۲۰۰۴).



شکل ۲-۴- گام در انجام ارزیابی چرخه حیات و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر. ارتباط دوطرفه تفسیر با ۳ گام اول به این مفهوم است که تفسیر در هر مرحله می‌تواند انجام شود و روند را تصحیح کند (ISO 14040, ۱۹۹۷).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی است. خدمات شهرداری شهر مشهد در ۱۱ منطقه و منطقه ثامن که شامل اطراف حرم مطهر است، صورت می‌پذیرد. میزان زباله تولید شده در شهر براساس آمار به‌طور متوسط روزانه ۱۶۳۰ تن است. جمعیت مشهد طبق آمار سال ۱۳۵۵ معادل ۶۶۷/۷۷۰ نفر بوده و در سال ۷۵ این رقم بالغ بر ۱/۸۸۷/۴۰۵ نفر گردیده است و جمعیت حال حاضر شهر نیز حدود ۲/۴ میلیون نفر می‌باشد. تعداد زوار نیز از ۶/۷۸۰/۰۰۰ نفر در سال ۱۳۵۵ به ۱۵/۵۷۶/۰۰۰ نفر در سال ۱۳۸۰ رسیده است (رفیعی، ۲۰۰۷a). برای مدیریت و جمع‌آوری پسماند، شهر مشهد به ۱۲ بخش تقسیم شده است. میزان تولید پسماند در شهر مشهد در فصول مختلف بسیار متفاوت می‌باشد و در فصل تابستان به دلیل حضور زوار به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. پسماند شهر مشهد به‌طور تقریبی از ۷۶ درصد مواد آلی فسادپذیر، ۵ درصد کاغذ و مقوا، ۷ درصد پلاستیک، ۳ درصد فلز، ۲ درصد خاک و نخاله، ۲ درصد شیشه، ۳ درصد پارچه و ۴ درصد از سایر مواد تشکیل شده است (پاپلی، ۲۰۰۴). بیشتر پسماند شهر در مرکز دفن نزدیک به شهر دفن و بخش کمی از آن به کارخانه کمپوست منتقل می‌شود. به تازگی در مکانی دورتر یک پهنه دفن پسماند مشخص شده است تا از آن در آینده نزدیک بهره‌برداری شود.

تعیین اهداف و برد: هدف انجام این مطالعه ارزیابی چرخه حیات سامانه مدیریت کنونی پسماند در شهر مشهد از نقطه نظر محیط زیستی و تعیین اولویت‌ها در تصمیم‌گیری‌ها به‌منظور بهبود مدیریت پسماند است. مرزهای مجموعه مورد مطالعه از جمع‌آوری زباله از درب منازل شروع می‌شود و با دفن زباله در محل دفن یا تبدیل به کمپوست در کارخانه کود آلی پایان می‌پذیرد. واحد کارکردی مورد نظر میان آلاینده تولید شده و انرژی مصرف شده به‌ازای هر تن پسماند مدیریت‌یافته و چارچوب زمانی مورد مطالعه سال ۱۳۸۳ است. بازیافت

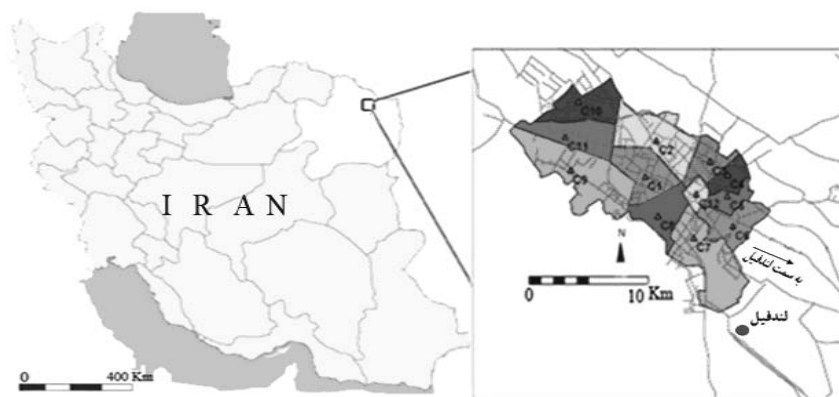
کاغذ در شهر مشهد به‌صورت طرح‌های تفکیک از مبدا انجام می‌پذیرد. بنابراین، کاغذ بازیافت شده جدای از پسماند شهری و از برد این مطالعه خارج است. براساس وضعیت کنونی در مدیریت پسماند، ۳ سناریو در فرآیند دفع پسماند توسعه داده شد. سپس سناریوها براساس بار محیط زیستی خود با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. جنبه‌های مورد ارزیابی در برآورد بار محیط زیستی شامل آلودگی آب، آلودگی هوا، انرژی مصرفی و پسماند به‌جا مانده است. آلودگی و مصرف انرژی در سناریوی دوم یعنی تولید کمپوست براساس میزان متان تولید شده و انرژی مصرفی ماشین‌آلات و سوخت‌های مورد استفاده در فرایند تولید کمپوست مورد نظر قرار گرفتند. در مورد دفن در محل دفن نیز میزان مصرف سوخت ماشین‌های مورد استفاده و نیز آلودگی‌های ناشی از آن برآورد و محاسبه شد و در ارزیابی نهایی مورد استفاده قرار گرفت. محدوده مورد مطالعه و سناریوهای در نظر گرفته شده در این مطالعه در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است. سناریوهای مورد بررسی در این مطالعه شامل (۱) جمع‌آوری و انتقال غیرمستقیم به محل دفن (۲) تبدیل به کود آلی و (۳) جمع‌آوری و انتقال مستقیم به محل دفن است. به‌دلیل کمی زمان پژوهش از عامل آلودگی خاک که در ضمن در درازمدت اثر خود را برجای می‌گذارد خودداری شده است. استفاده از مدل IWM-1 این امکان را فراهم آورد که بتوان ۳ سناریوی یاد شده را با هم مقایسه نمود. البته امکان مقایسه با سایر سناریوهای احتمالی رهایی از پسماند وجود دارد که در این مطالعه تنها به سه مورد گفته شده بسنده شده است تا مثالی از چگونگی انجام کار نشان داده شود.

سیاهه‌نویسی چرخه حیات: سیاهه‌نویسی چرخه حیات در ۳ سناریوی ارائه شده به کمک مدل IWM-1 ارائه شده توسط وایت و همکاران در سال ۱۹۹۵ در محیط Excel و ارتباط گرافیکی با کاربر (GUI) در ویژوال بیسیک، صورت پذیرفت. هدف این مدل کمک به

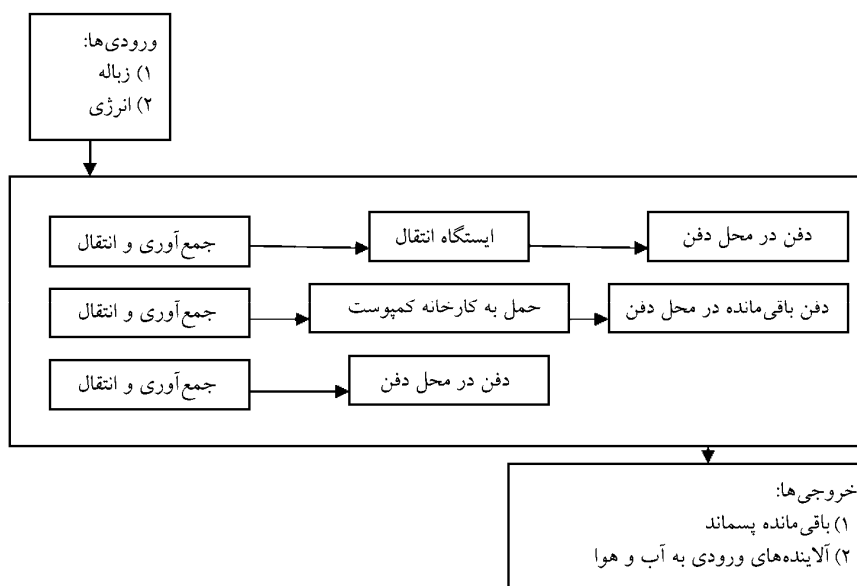
شهرداران و تصمیم‌گیران مدیریت پسماند شهری است. این مدل از دو زیر مدل اقتصادی و محیط زیستی تشکیل شده است (استیپکا، ۲۰۰۱). در این مطالعه، تنها زیر مدل محیط زیستی مورد استفاده قرار گرفت. در زیر مدل محیط زیستی چرخه حیات، جریان پسماند شهری از نقطه تولید تا دفع نهایی دنبال می‌شود. هر مرحله از چرخه حیات مدیریت پسماند در یک کادر گفتگو^۱ ارائه می‌شود. پاسخ به پرسش‌های ارائه شده وضعیت سامانه مدیریت مورد بررسی را مشخص می‌کند. نتایج نهایی ارائه شده توسط مدل، سیاهه چرخه حیات سامانه مورد بررسی است که شامل کل انرژی مصرفی یا تولیدشده، مواد بازیافت شده یا کمپوست تولیدشده و آلاینده‌های ورودی به آب و هوا است. داده‌های مورد نیاز برای سیاهه‌نویسی چرخه حیات از گزارش‌های سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد و طرح‌ها و مطالعات انجام شده و نیز کار صحرایی و تهیه پرسش‌نامه و تکمیل آن به کمک مسئولان سازمان بازیافت شهرداری مشهد و نیز مصاحبه حضوری با پرسنل خدمات شهری به‌دست آمد (سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد، ۲۰۰۶؛ پاپلی، ۲۰۰۴؛ رفیعی، ۲۰۰۷b). محاسبه فواصل مناطق با استفاده از اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد (خراسانی و رفیعی، ۲۰۰۷). علاوه بر آن، با استفاده از داده‌های تعریف شده و

استاندارد موجود در مدل IWM-1 میزان مواد آلاینده ناشی از هر کدام از سناریوها و نیز انرژی مصرفی در آنها به‌دست آمد. این داده‌ها به‌طور کلی برآوردی عمومی از وضعیت مصرف انرژی و تولید آلاینده‌ها به‌دست می‌دهند و برای ارزیابی تخصصی‌تر این موارد لازم است در شرایط محلی دوباره به اندازه‌گیری آنها پرداخت. البته داده‌های تعریف شده مدل نیز پرت نیستند و براساس آنها می‌توان تخمینی از شرایط کلی به‌دست آورد. باید توجه داشت که در این پژوهش، مصرف سوخت و سایر منابع انرژی با کار صحرایی به‌دست آمده است.

ارزیابی اثرات چرخه حیات: در ارزیابی اثرات چرخه حیات، نتایج به‌دست آمده از سیاهه‌نویسی چرخه حیات به واحدهای فیزیکی تبدیل می‌شوند تا از آنها روش‌های مدیریتی به‌دست آیند. تاکنون برای انجام ارزیابی اثرات چرخه حیات روش‌شناسی یکسان و استاندارد که مقبولیت جهانی داشته باشد ارائه نشده است (هافستر و همکاران، ۲۰۰۰). از آنجا که در حال حاضر اطلاعات لازم زمانی و مکانی به‌منظور انجام ارزیابی اثرات چرخه حیات وجود ندارد (هرتویچ و همکاران، ۲۰۰۰)، روش‌های عملی ارزیابی طولانی‌مدت اثرات نیز ارائه نشده است (سپالا، ۲۰۰۳). ارزیابی اثرات چرخه حیات طبق روش ISO 14043، طی چند گام انجام می‌شود که می‌توان آنها را مطابق شکل ۵ نشان داد (فینودن و اکوال، ۱۹۹۸).



شکل ۳- محدوده مورد مطالعه و موقعیت محل‌های دفن و ایستگاه انتقال (مراکز نقل با حرف C مشخص شده است).

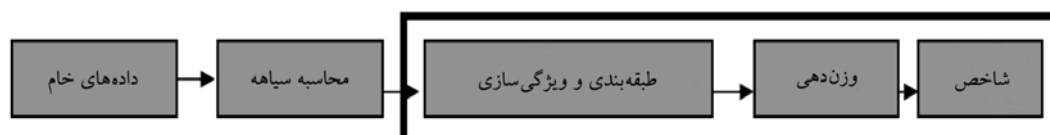


شکل ۴- سناریوهای مورد مقایسه در مدل.

که در آن I_i : شاخص طبقه اثر، C_{ij} : فاکتور ویژگی‌سازی و X_j : مقدار ماده j است. به این ترتیب، در پایان ویژگی‌سازی برای هر طبقه اثر نمایه‌ای محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده مجموع اثر بار محیط زیستی ایجاد شده در طبقه یاد شده خواهد بود. در این پژوهش از فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقات که توسط مرکز علوم محیط زیست دانشگاه لیدن هلند برای تمام جهان تهیه شده استفاده شد. فاکتورهای ویژگی‌سازی مواد مختلف در هر یک از طبقات اثر مطابق جدول‌های ۲ و ۳ و ۴ و ۵ است. در این جدول‌ها M_i مقدار ماده سیاهه تولید شده است.

در مرحله طبقه‌بندی، تنش‌های سیاهه شده در مرحله سیاهه‌نویسی چرخه حیات به یک یا چند طبقه تخصیص داده می‌شود. در جدول ۱ طبقات در نظر گرفته شده و واحد معادل^۱ در هر طبقه مطالعه حاضر ارایه شده است. هدف ویژگی‌سازی در ارزیابی اثرات چرخه حیات، تخمین تأثیر بالقوه تنش‌های مختلف در اثر و جمع‌بندی مقادیر مختلف در یک عدد، در هر یک از طبقات است. براساس استاندارد ISO 14043، ویژگی‌سازی باید براساس تحلیل علمی و فرآیندهای آشکار محیط زیست استوار باشد. در ارزیابی چرخه حیات فرمول اساسی ویژگی‌سازی و محاسبه شاخص‌های طبقه اثر به صورت رابطه زیر است.

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



شکل ۵- مراحل انجام ارزیابی اثرات چرخه حیات.

جدول ۱- طبقات اثر در نظر گرفته شده در مطالعه حاضر و واحد معادل هر طبقه.

واحد معادل	طبقه اثر
Gj	مصرف منابع انرژی
KgCO ₂	گازهای گلخانه‌ای
KgSO ₂	گازهای اسیدی
KgC ₂ H ₄	گازهای فتوشیمیایی
Kg 1-4DCB	خروجی‌های سمی

جدول ۲- فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقه اثر گازهای گلخانه‌ای (هویجبرگت و همکاران، ۲۰۰۰).

ماده سیاهه‌نویسی شده	فاکتور ویژگی‌سازی معادل CO ₂
CO ₂	۱
CH ₄	۲۱
N ₂ O	۳۲۰
CFC11	۴۰۰۰
CO	۲
TCA	۱۱۰

$$I_{GGP} = \sum GGP_i * M_i$$

جدول ۳- فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقه اثر گازهای اسیدی (هوشیلد و ونزل، ۱۹۹۸).

ماده سیاهه‌نویسی شده	فاکتور ویژگی‌سازی معادل SO ₂
NO _x	۱/۰۷
SO _x	۱
HCL	۰/۸۸

$$I_{GGP} = \sum GGP_i * M_i$$

جدول ۴- فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقه اثر مه دود فتوشیمیایی (بوستید و همکاران، ۲۰۰۰).

ماده سیاهه‌نویسی شده	فاکتور ویژگی‌سازی معادل اتیلن C ₂ H ₄
VOC	۰/۶
CO	۰/۳
CH ₄	۰/۰۰۷
NO _x	۰/۰۲۸
PM	۰/۰۷

$$I_{SPP} = \sum SPP_i * M_i$$

جدول ۵- فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقه اثر خروجی‌های سمی (هویجبرگت و همکاران، ۲۰۰۰).

ماده سیاهه‌نویسی شده	فاکتور ویژگی‌سازی معادل 1-4DCB	
سرب	$4/7 E 2$	هوا
جیوه	$6E3$	
کادمیوم	$1/5 E 5$	
دی اکسین	$1/0.5 E 2$	
سرب	$1/2 E 1$	آب
جیوه	$1/4 E 3$	
کادمیوم	$2/3 E 1$	
دی اکسین	$1/0.8 E 1$	
اکسیژن خواهی زیستی	$1/6 E 2$	

$$I_{TEP} = \sum TEP_i * M_i$$

نتایج

مدل IWM برای هر یک از سناریوهای موردنظر اجرا شد. نتایج به‌دست آمده در جدول ۷ نشان داده شده است. اعداد این جدول مقادیر نرمال شده بر حسب میزان پسماند مدیریت شده در هر یک از سناریوهاست. به‌منظور مقایسه کمی هر یک از سناریوها، مقادیر سیاهه شده به طبقات اثر در نظر گرفته شده تخصیص داده شد. طبقات موردنظر و تخصیص هر یک از طبقات مطابق جدول ۸ است. سپس، در هر یک از طبقات اثر، مقادیر سیاهه شده براساس پسماند مدیریت شده در هر یک از سناریوها نرمال شد (جدول ۷). جدول ۸ نحوه تخصیص مقادیر سیاهه شده به هر طبقه را نشان می‌دهد. در مرحله بعد، این مقادیر در فاکتورهای ویژگی‌سازی ضرب شدند تا در هر یک از طبقات اثرات مدنظر، مقادیر سیاهه شده براساس واحد معادل (مطابق جدول ۱) محاسبه شود. در نتیجه، بار محیط زیستی هر یک از طبقات براساس واحد معادل محاسبه شد. شاخص‌های به‌دست آمده در هر یک از طبقات در وزن نسبی آن طبقه ضرب شد تا نمایه‌ها قابل جمع کردن با یکدیگر باشند. وزن نسبی مورد استفاده در این مطالعه مطابق جدول ۶ است. نتایج به‌دست آمده در این مرحله مطابق رابطه ۲ با یکدیگر جمع شدند و برای هر یک از سناریوها یک نمایه بوم‌شناختی به‌دست آمد (جدول‌های ۹، ۱۰ و ۱۱). نمایه بوم‌شناختی به‌عنوان معیاری کمی برای مقایسه بار محیط زیستی هر یک از سناریوها در نظر گرفته می‌شود. هر سناریو که امتیاز پایین‌تری کسب کرده باشد بار محیط زیستی کمتری در بردارد.

هدف از نرمال‌سازی، راحت‌تر کردن فهم بزرگی^۱ هر طبقه اثر سامانه تولید مورد مطالعه است (ISO, ۲۰۰۰). در این مطالعه، میزان زیاده مدیریت شده در هر یک از سناریوها به‌عنوان مقدار نرمال‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور ترکیب داده‌هایی که نشان‌دهنده طبقات مختلف اثرات محیط زیستی است، باید اهمیت نسبی این طبقات را شناسایی کنیم. به‌عنوان مثال، طبقه اثر گازهای گلخانه‌ای باید با طبقه گازهای اسیدی مقایسه شود و براساس مدل‌سازی علمی وزن نسبی هر یک از طبقات مشخص شود (هویجبرگت و همکاران، ۲۰۰۰). در این پژوهش، وزن‌های نسبی محاسبه شده براساس روش مدل‌سازی MET^۲ که در جدول ۶ ارزیابی شده، انجام گردیده است (بوستید و همکاران، ۲۰۰۰).

به‌منظور محاسبه مقدار کل اثر ناشی از یک سامانه می‌توان از رابطه (۲) استفاده کرد. شاخص به‌دست آمده، معیار کمی برای مقایسه دو سامانه است. هرچه شاخص I کوچک‌تر باشد، بار محیط زیستی سامانه کمتر خواهد بود (لیندایجر، ۱۹۹۶).

$$I_i = \sum_{i=1}^n w_i I_n \quad (2)$$

که در آن I معیار کمی مقایسه دو سامانه و w_i وزن نسبی طبقات اثر (جدول ۶) و I_n شاخص طبقه اثر است.

- 1- Magnitude
- 2- Material Energy Toxic

جدول ۶- وزن‌های نسبی طبقات اثر مورد مطالعه در روش مدل‌سازی MET (بوستید و همکاران، ۲۰۰۰).

وزن	طبقه اثر
۰/۸۸	مصرف منابع انرژی
۰/۸۹	گازهای گلخانه‌ای
۰/۴۰	گازهای اسیدی
۰/۲۹	مه دود فتوشیمیایی
۰/۱۳	خروجی‌های سمی

جدول ۷- مقادیر نرمال سیاهه چرخه حیات پسماند شهری مشهود بر حسب پسماند مدیریت شده در هر یک از سناریوها.

سناریوی ۱ انتقال با ایستگاه	سناریوی ۲ کمپوست	سناریوی ۳ انتقال مستقیم	واحد	مقادیر نرمال سیاهه
۰/۰۳	۰/۲۵	۱/۱۲		تن / (GJ) انرژی مصرف شده
۰/۹۵	۰/۲۰	۴/۳۷		-CO ₂
۱/۲۴E-۵	۴/۸E-۵	۰/۰۰۰۳		-NO _x
۲/۸۸E-۶	۱/۱۱E-۵	۸/۲۴E-۵		So _x
۴/۰۹E-۶	۴/۵E-۸	۱/۸۳E-۵	(تن پسماند / تن)	HCl
۱/۲۴E-۵	۴/۸E-۵	۰/۰۰۰۳		NO _x
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱		PM
۰/۰۰۰۱	۳/۴۷E-۵	۰/۰۰۰۷		VOC _s
۳/۸۵E-۷	۴/۲۲E-۷	۴/۰۴E-۶		Pb
۱/۹۲E-۸	۴/۹۲E-۸	۴/۰۲E-۷	(تن پسماند / کیلو)	Hg
۷/۴۸E-۵	۱/۴۶E-۷	۰/۰۰۰۳		Cd
۰/۹۹	۳/۱۴E-۶	۴/۴۵		BOD
۱/۹۲E-۸	۴/۱۲E-۱۰	۴/۴۳E-۸	(تن پسماند / گرم)	Dioxins (TEQ)
۹/۹E-۹	ناچیز	۴/۶۶E-۸		Dioxins (TEQ)

جدول ۸- اجزای تخصیص داده شده در مطالعه حاضر و نحوه تخصیص مقادیر سیاهه شده به هر طبقه.

اجزای تخصیص داده شده	طبقه اثر
میزان مصرف انرژی برحسب گیگاژول	مصرف منابع انرژی
CO ₂ , NO _x , CH ₄	گازهای گلخانه‌ای
NO _x , PM, VOCs	مه دود فتوشیمیایی
Pb, Hg, CD, Dioxins, Pb _{water} , Hg _{water} , Cd _{water} , BOD _{water} , Dixins _{water}	خروجی‌های سمی

جدول ۹- شاخص اکولوژیکی سناریو ۱.

ضرب در وزن	شاخص نرمال	طبقه اثر
۰/۰۳۴	۰/۰۳۸	مصرف منابع انرژی
۰/۶۳۲	۰/۷۱۰	گازهای گلخانه‌ای
۷/۹۰E-۷	۱/۹۷E-۵	گازهای اسیدی
۱/۶۰E-۵	۵/۵۴E-۵	مه دود فتوشیمیایی
۱/۴۰	۱۰/۷۹	خروجی‌های سمی

$$I_i = \sum_{i=1}^n w_i I_n = ۲/۰۷$$

جدول ۱۰- شاخص اکولوژیکی سناریو ۲.

طبقه اثر	شاخص نرمال	ضرب در وزن
مصرف منابع انرژی	۰/۲۵	۰/۲۲
گازهای گلخانه‌ای	۰/۰۲۷	۰/۰۲۴
گازهای اسیدی	۶/۲۴E-۵	۲/۴۹E-۵
مه دود فتوشیمیایی	۱/۵۹E-۵	۴/۵۳E-۶
خروجی‌های سمی	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۸

$$I_i = \sum_{i=1}^n w_i I_n = ۰/۲۵$$

جدول ۱۱- شاخص اکولوژیکی سناریو ۳.

طبقه اثر	شاخص نرمال	ضرب در وزن
مصرف منابع انرژی	۱/۱۲	۰/۹۸
گازهای گلخانه‌ای	۴/۳۷	۳/۸۹
گازهای اسیدی	۰/۰۰۰۴	۱/۸۸E-۵
مه دود فتوشیمیایی	۰/۰۰۰۲	۸/۳۰E-۵
خروجی‌های سمی	۵/۶۲	۶/۵۸

$$I_i = \sum_{i=1}^n w_i I_n = ۱۱/۴۶$$

بحث و نتیجه گیری

بررسی داده‌های جدول ۷ نشان می‌دهد که مدیریت پسماند به شکل کمپوست بار محیط زیستی کمتری در بر دارد. در بین تمام سناریوها، انتقال مستقیم پسماند به محل دفن بیشترین میزان مصرف انرژی به‌ازای هر تن پسماند مدیریت شده را در بر دارد و کمترین مصرف انرژی مربوط به انتقال به کمک ایستگاه انتقال است. با توجه به وضعیت حاضر مدیریت پسماند در شهر مشهد، مهم‌ترین دلیل بالا بودن مصرف انرژی در سناریوی ۲ و ۳ را باید در بخش جمع‌آوری و انتقال جستجو کرد. بوویا و پاول (۲۰۰۵) نشان دادند که استقرار ایستگاه‌های انتقال در سامانه مدیریت پسماند در مواردی که فاصله محل دفن یا سایر تاسیسات از مراکز ثقل تولید زیاد است از نقطه نظر محیط زیستی امکان‌پذیر می‌باشد. امروزه مخالفت‌های عمومی منجر می‌شود که در عمل مکان‌یابی محل‌های مناسب دفن در نزدیک شهر و مراکز ثقل تولید امکان‌پذیر نباشد و مراکز دفن معمولاً در فاصله بیش از ۱۶ کیلومتر

قرار می‌گیرند (عبدلی، ۲۰۰۰). در این مطالعه نیز با توجه به وضعیت حاضر مدیریت پسماند مشهد، مقایسه منابع انرژی مصرف شده و سایر آلاینده‌ها در سناریوهای ۱ و ۳، نشان‌دهنده کاهش قابل توجه مصرف انرژی و بار محیط زیستی در سناریوی انتقال به کمک ایستگاه انتقال نسبت به انتقال مستقیم است. با توجه به این که فاصله محل دفن در سناریوی ۱ بسیار بیشتر از فاصله آن در سناریوی ۳ است، ملاحظه می‌شود که استقرار ایستگاه انتقال نقش مهمی در کاهش مصرف منابع انرژی و آلاینده‌های خروجی داشته است. بنابراین، مطلوب است با توجه با فاکتورهای محیط زیستی و به‌ویژه فاکتورهای اجتماعی- به سبب تأثیر منفی چنین تاسیساتی بر محیط اطراف- ایستگاه انتقال پسماند مکان‌یابی و احداث شود. مواد آلی بخش قابل‌توجهی از پسماند تولیدشده در سطح شهر را به خود اختصاص می‌دهند که قابل تبدیل به کود آلی می‌باشند. پسماند آلی حاوی ۱۵-۱۷ درصد کربن آلی قابل تجزیه به کربن است (IPCC, ۱۹۹۶).

تبدیل پسماند به کمپوست از چند جنبه مورد حمایت می‌باشد (دیزا، ۲۰۰۴). اول آن که پسماند به موادی تبدیل می‌شود که می‌توان از آنها به منظور اصلاح خاک استفاده کرد، بدون این که نگرانی‌های محیط زیستی طولانی مدت ایجاد کند. دوم این که چنانچه فرآیند کمپوست به طور مناسبی انجام شود گاز متان تولید نخواهد شد. گاز متان که در فرآیند تجزیه بی‌هوازی مواد آلی به وجود می‌آید (مانند مرکز دفن) ۲۱ برابر CO_2 پتانسیل اثر گلخانه‌ای دارد (IPCC، ۱۹۹۶). از طرف دیگر، فرآیند کمپوست منجر به کاهش حجم ورودی پسماند به محل دفن می‌شود (هیت، ۲۰۰۴). کاهش حجم پسماند به محل دفن نیز کاهش عملیات دفن و نیز تقاضای زمین مورد نیاز برای آن را در بر دارد. در این مطالعه، زمین مورد نیاز هر یک از سناریوها مورد قضاوت قرار نگرفت. مطالعه زمین مورد نیاز در هر یک از سناریوها تصویر کامل‌تری از تنش‌های محیط زیستی ارائه خواهد کرد.

مطالعه حاضر، ارزیابی چرخه حیات سامانه کنونی مدیریت پسماند شهر مشهد از نقطه نظر محیط زیستی است و عوامل اقتصادی و اجتماعی مورد نظر قرار نگرفته‌اند. بنابراین، نتایج به دست آمده فقط از نقطه نظر محیط زیستی قابل ارایه به تصمیم‌گیران است. به منظور تصمیم‌گیری همه‌جانبه باید فاکتورهای اقتصادی و اجتماعی نیز در ارزیابی و تصمیم‌گیری با عوامل محیط زیستی تلفیق شوند. نتایج این پژوهش نشان داد که ارزیابی چرخه حیات می‌تواند تصویر کاملی از سامانه مدیریت پسماند شهری را از نقطه نظر محیط زیستی ارایه کند و به عنوان ابزار ارزشمندی در اختیار تصمیم‌گیران قرار گیرد.

نتایج مطالعه حاضر در خصوص وضعیت کنونی سامانه مدیریت پسماند شهر مشهد مصداق دارد و بنابراین ممکن است با نتایج به دست آمده از مطالعات مشابه در مکان‌های دیگر به دلیل ویژگی‌های متفاوت پسماند، فن‌آوری و فاکتورهای زمانی و مکانی متفاوت باشد.

منابع

1. Abdoli, M.A. 2000. Municipal solid waste management. Volume 2. Center for urban planning studies. Ministry of Interior. Iran, 276p. (In Persian)
2. Abdoli. M.A. 2006. Municipal solid waste recovery (Reduction-Reuse-Recycle). University of Tehran Press, 364p. (In Persian)
3. Boustead, I., Chaffee, C., Dove, W.T., and Yaros, R.B. 2000. Eco-Indices: What can they tell us? Boustead Consulting, 53p.
4. Bovea, M.D., and Powell, J.C. 2005. Alternative scenario to meet the demands of sustainable waste management. Environmental Management, 79: 115-132.
5. Chaya, W., and Gheewalla, H.S. 2006. Life cycle assessment of MSW to energy schemes in Thailand. J. Cleaner Production, 15: 15. 1463-1468.
6. Diaz, R., and Warith, M. 2005. Life-cycle assessment of municipal solid wastes: development of the wasted model. Waste Management, 26: 8. 886-901.
7. Diaz, R. 2004. Life cycle assessment of municipal solid wastes: development of wasted software. Master's thesis. Ryerson University, 123p.
8. Finnveden, G., and Ekvall, T. 1998. Life cycle assessment as a decision support tool - The case of recycling versus incineration of paper. Resource Conservation and Recycling, 24: 3-4. 235-256.
9. Haight, M. 2004. Technical report: Integrated solid waste management model. School of Planning. University of Waterloo. Canada, 38p.
10. Hauschild, M., and Wenzel, H. 1998. Environmental assessment of products. Volume 2: Scientific Background. Chapman & Hall, London, 560p.
11. Hertwich, E.G., Hammitt, J.K., and Pease, W.S. 2000. A theoretical foundation for life-cycle assessment. J. Ind. Eco. 4: 1. 13-28.
12. Hickman, H.L. 2000. A brief history of solid waste management in US, 1950 to 2000, Part 4: building a national movement, MSW management March and April 2000. Available at: forester.net/msw-0003-history.html. <http://www.mswmanagement.com/july-august-2000/history-solid-waste.aspx>.

13. Hofstetter, P., Braunschweig, A., Mettier, T., Müller-Wenk, R., and Tietje, O. 2000. The mixing triangle: correlation and graphical decision support for LCA-based comparisons. *J. Ind. Eco.* 3: 4. 97-115.
14. Huijbregts, M.A., Schopp, W., Verkuijlen, E., Heijungs, R., and Reijnders, L. 2000. Spatially explicit characterization of acidifying and eutrofying air pollution in life cycle assessment. *J. Ind. Eco.* 4: 3. 125-142.
15. Hunt, R.G., Sellers, J.D., and Franklin, W. 1992. Resource and environmental profile analysis: A life cycle environmental assessment for products and producers. *Environmental Impact Assessment Review*, 12: 45. 245-269.
16. International Standard Organization, ISO 14040. 1997. Environmental management-life cycle assessment, principles and framework, 256p. Available at: <http://www.iso.org/Catalogue/detail?CSnumber=37456>.
17. International Standard Organization, ISO 14042. 2000. Environmental management-life cycle assessment, life cycle interpretation, 159p. Available at: <http://www.iso.org/Catalogue/detail?CSnumber=37456>.
18. International Standard Organization, ISO 14043. 2000. Environmental management-life cycle assessment, life cycle impact assessment, 163p. Available at: <http://www.iso.org/Catalogue/detail?CSnumber=37456>.
19. International Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Guidelines for national greenhouse gas inventories workbook, 136p.
20. Khorasani, N., and Rafiee, R. 2007. Comparison between two methods of direct and indirect transfer of solid wastes in Mashad municipal solid waste system (Abstract). Proceedings Urban Planning & Management Conference, Mashad, Iran, 932p. (In Persian)
21. Lindeijer, E. 1996. Normalisation and valuation, P 75-93. In: Udo de Haes, H.A. (ed.), Towards a methodology for life cycle assessment, Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)-Europe, Brussels.
22. Ludwig, C., Hellweg, S., and Stuki, S. 2003. *Municipal Solid Waste Management*. Springer, 267p.
23. Municipal Solid Waste Management Organization of Mashad. 2006. High Commission report on solid waste management and composition in different districts (Personal Communication).
24. Municipal Solid Waste Management Organization of Mashad. 2006. Separation of solid waste at the production centers, Internal Bulletin.
25. Ozeler, D., Yetis, U., and Demirer, G.N. 2005. Life cycle assessment of MSW management methods: Ankara case study. *Environment International*, Pp: 405-411.
26. Papoli, M.H. 2004. An investigation on collecting, transferring and management of Mashad urban wastes. Final research report. Mashad Municipality. Iran, 76p. (In Persian)
27. Powell, J. 2000. The Potential for Using Life Cycle Inventory Analysis in Local Authority Waste Management Decision Making. *J. Environ. Plann. and Manage.* 43: 351-367.
28. Rafiee, R. 2007a. Site selection for waste transfer station with regard to urban growth trend (Mashad Case Study). M.Sc. Thesis, University of Tehran, 105p. (In Persian)
29. Rafiee, R. 2007b. Environmental life cycle assessment of municipal solid waste management system (Mashad City). M.Sc. Seminar. University of Tehran, 62p. (In Persian)
30. Seppala, J. 2003. Life cycle impact assessment based on decision analysis. Ph.D. thesis, Helsinki University of Technology, 71p.
31. The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 1998. LCA News, In: Vigon, B. (Ed.), V. 18 (6). www.setac.org.
32. Skordilis, A. 2004. Modeling of integrated solid waste management systems in an island. *Resources, Conservation and Recycling*, 41: 243-254.
33. Stypka, T. 2001. Adopting the integrated waste management model (IWM-1) into the decision processes, Institute of Heat Engineering and Air Protection, Cracow University of Technology. *Warszawska Cracow, Poland*, 24: 31-155. Available at: <http://www.lwr.kth.se/forskningsprojekt/Polishproject/rep13/Stypka200521.pdf>.
34. White P.R., Franke M., and Hindle, P. 1995. *Integrated solid waste management: A life cycle inventory*. Chapman & Hall, 275p.

Environmental Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management System (Case study: Mashad City)

R. Rafiee¹, * A.R. Salman Mahiny² and N. Khorasani³

¹Instructor, Dept. of Environmental Sciences, Chabahar Maritime University, ²Associate Prof., Dept. of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³Professor, Dept. of Environmental Sciences, University of Tehran

Abstract

Solid Waste is one of the unavoidable products of every society that necessitates the establishment of municipal solid waste management (MSWM) system. Because of variability in quantity and composition of municipal solid wastes, the management methods are varied in terms of costs and environmental effects. Choice of the appropriate methods is largely facilitated through a decision support tool (DST). Life Cycle Assessment (LCA) with cradle to grave approach is one such tool that has been introduced in the last decade. In this study, we used this method to study the municipal solid waste management system of Mashad city. We developed three scenarios consisting of direct transport, composting and establishment of transfer stations. Inventory data for life cycle assessment were gathered from relevant literature, completed projects and through questionnaires and field works. The life cycle inventory (LCI) was accomplished using IWM-1 model and the results of the model were allocated to five categories consisting of energy consumption, greenhouse gases, acid gases, photochemical gases and toxic emissions. In every category, the ecological index as a quantitative measure to compare scenarios was calculated. From an environmental view, the results of this study showed that the composting alternative for managing wastes in Mashad city has lower environmental loads. Also, in the case that landfills and processing facilities are far apart, establishment of transfer stations may have important role in decreasing the energy consumption and environmental emissions.

Keywords: Life cycle assessment; Decision support tool; Municipal solid waste management; Mashad city