

بهینه‌سازی دفع پسماندهای جامد شهری در اقلیم معتدل و مرطوب بر اساس مدل IWM-2 (مطالعه موردی: استان مازندران، شهرستان نوشهر)

مهدیه سیف الهی^۱

رکسانا موگوئی*

moogouei_roxana@yahoo.com

مژگان زعیم دار^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: کلیه فعالیت‌های مرتبط با مدیریت مواد زائد جامد شهری، علاوه بر بار اقتصادی، در صورت عدم رعایت اصول فنی می‌توانند منجر به بروز مخاطرات جدی محیط‌زیستی گردند. این مطالعه باهدف مقایسه سناریوهای گوناگون مدیریت پسماند شهرستان نوشهر، با رویکرد ارزیابی چرخه حیات و به جهت انتخاب کارآمدترین روش به لحاظ سازگاری با محیط‌زیست، انجام گرفت. **روش بررسی:** پس از بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی مواد زائد جامد تولیدی و روش دفع کنونی آن‌ها در نوشهر، نتایج حاصل برای ارزیابی چرخه حیات هفت سناریوی مختلف مدیریت پسماند، شامل ترکیب چهار روش دفع کمپوست، بازیافت، زباله‌سوزی به همراه استحصال انرژی و دفن بهداشتی، استفاده شد. سیاهه نویسی چرخه حیات با کمک مدل IWM-2 صورت گرفت.

یافته‌ها: سیستم فعلی مدیریت پسماندهای شهری در نوشهر (سناریوی اول) با شاخص اکولوژیکی ۱۴۹۸۷/۴۹ بیشترین بار آلاینده‌گی را به محیط‌زیست وارد می‌کند. گنجاندن روش‌های دفع کمپوست بخش آلی زائدات و بازیافت از مواد قابل تجزیه، با افزایش مقدار مواد جهت بازیافت و باز استفاده و همچنین جلوگیری از انتشارات ناشی از تولید مواد اولیه، میزان انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. بطوریکه سناریوی پنجم (۶۱ درصد کمپوست، ۳۱ درصد بازیافت و ۸ درصد دفن بهداشتی) با شاخص اکولوژیکی ۲۵۵۵/۵۵ کمترین آلودگی را تولید می‌کند.

۱- دانشجوی دکتری رشته مدیریت محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- دانشیار گروه مدیریت محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. * (مسوول مکاتبات)
۳- استادیار گروه مدیریت محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به اینکه درصد بالایی از ترکیب مواد زائد جامد شهری نوشهر را پسماندهای فسادپذیر تشکیل می دهند، اعمال همزمان روش دفع کمپوست و بازیافت می تواند گزینه مناسبی به منظور مدیریت بهینه زائدات در این شهرستان باشد و نقش مهمی در کاهش بار آلودگی محیط زیست ایفا کند.

واژه های کلیدی: مدیریت پسماند، ارزیابی چرخه حیات، مدل IWM-2، نوشهر.

Optimization of urban solid waste disposal in moderate and humid climate based on IWM-2 model

(Case study: Mazandaran province, Nowshahr city)

Mahdieh Seifolahi ¹

Roxana Moogouei ^{2*}

moogouei_roxana@yahoo.com

Mojgan Zaeimdar ³

Admission Date: October 13, 2024

Date Received: September 3, 2023

Abstract

Background and Objective: All activities related to urban solid waste management, in addition to the economic burden, can lead to serious environmental hazards if technical principles are not followed. This study was conducted with the aim of comparing different scenarios of waste management in Nowshahr city, with the approach of life cycle assessment and in order to choose the most efficient method in terms of compatibility with the environment.

Material and Methodology: After examining the quantitative and qualitative characteristics of production solid waste and their current disposal method in Nowshahr, the results were used to evaluate the life cycle of seven different scenarios of waste management, including the combination of four disposal methods, compost, recycling, waste incineration along with energy extraction and sanitary burial. became. Life cycle inventory was done with the help of IWM-2 model.

Findings: The current municipal waste management system in Nowshahr (first scenario) with an ecological index of 14987/49 brings the most pollution to the environment. Incorporating the methods of composting the organic part of waste and recycling from degradable materials, by increasing the amount of materials for recycling and reuse, as well as preventing emissions from the production of raw materials, significantly reduces the amount of environmental pollutants. So that the fifth scenario (61% compost, 31% recycling and 8% sanitary burial) with an ecological index of 2555.55 produces the least pollution.

Discussion and Conclusion: Considering that a high percentage of Nowshahr's municipal solid waste is made up of perishable waste, the simultaneous application of composting and recycling methods can be a good option for optimal waste management in this city and play an important role in reducing environmental pollution.

Keywords: waste management, life cycle assessment, IWM-2 model, Nowshahr.

1- PhD Student, Department of Environmental Management, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Department of Environmental Management, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Assistant Professor, Department of Environmental Management, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

گسترش شهرنشینی و تمرکز جمعیت در شهرهای بزرگ موجب تولید و انباشته شدن حجم عظیمی از پسماندها با ترکیبات فیزیکی مختلف در معابر و محل‌های دفن پسماند شهری شده است، به نحویکه طراحان و برنامه‌ریزان شهری در اکثر کشورها با مشکلات و بحران‌های جدی محیط‌زیستی روبه‌رو شده‌اند (۱). از همین رو، به‌کارگیری یک برنامه‌ریزی و روش اصولی جهت بهینه‌سازی سیستم مدیریت پسماندهای شهری با در نظر گرفتن آثار محیط‌زیستی، ضروری به نظر می‌رسد (۲). ازجمله روش‌هایی که اخیراً در زمینه انتخاب روش دفع پسماند شهری کاربرد زیادی پیدا کرده است، روش ارزیابی چرخه حیات است (۳). کاربرد این روش جهت ارزیابی سیستم مدیریت پسماند شهری، به‌خصوص در زمینه فرآیند تصمیم‌گیری، طراحی استراتژی‌ها و بررسی روش‌های مختلف دفع رو به افزایش است (۴). این روش توانایی شناسایی کامل اثرات محیط‌زیستی سیستم مدیریت پسماند از مرحله جمع‌آوری تا دفن و همچنین نمایش انتشار آلاینده‌ها در هر فرآیند با توجه به شیوه دفع پسماند را دارا است (۵). در سال‌های اخیر مطالعات گوناگونی در خصوص ارزیابی چرخه حیات و روش‌های گوناگون مدیریت پسماند شهری در ایران و جهان صورت گرفته است. به‌عنوان مثال نقیب زده و همکاران در پژوهشی چرخه حیات سیستم مدیریت پسماندهای شهری در کرج را به‌منظور مشخص کردن بهترین استراتژی دفع پسماندها مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌ها نشان داد که از نقطه‌نظر محیط‌زیستی، روش‌های دفع بازیافت و کمپوست از بهترین گزینه‌ها برای دفع پسماندهای شهری هستند و نقش مؤثری در کاهش بار آلاینده‌ها دارند (۶). همچنین بررسی روش‌های مختلف مدیریت پسماند در ماکو با رویکرد ارزیابی چرخه حیات نشان داد که سناریوی شامل ۸۰ درصد کمپوست و ۲۰ درصد دفن کمترین اثرات سوء محیط‌زیستی را در طبقات اثر مه دو فتوشیمیایی، گازهای گلخانه‌ای، گازهای اسیدی و انتشارات سمی نسبت به دیگر سناریوها و در مقایسه با دفن غیربهداشتی دارا است (۷). از سوی دیگر هونگ و همکاران رویکرد ارزیابی چرخه حیات را به‌منظور برآورد اثرات محیط‌زیستی سناریوهای مدیریت پسماند شهری در چین از منظر انتشار گازهای گلخانه‌ای بکار

بردند. مطابق یافته‌ها، نگارندگان بازیابی و تبدیل گاز متان محل دفن به انرژی الکتریکی را به‌عنوان عامل تأثیرگذار در کاهش اثرات گرمایش جهانی برشمردند (۸). در تحقیق دیگر اوگوندیه و جیمو به مقایسه اثرات محیط‌زیستی سناریوهای دفع پسماندهای شهری در شهر مینا، نیجریه با کاربرد روش ارزیابی چرخه حیات پرداختند. نتایج نشان داد که سناریوی اول شامل ۱۷/۰۵ درصد بازیافت، ۵۰/۰۴ درصد کمپوست و ۳۲/۹۱ درصد دفن بهداشتی در طبقات اثر سمیت محیط، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون و پتانسیل گرمایش جهانی کمترین زیان را به محیط‌زیست می‌رساند (۹).

شهرهای مستقر در مناطق معتدل و مرطوب با داشتن جلگه‌های سرسبز، کوهستان‌های پربرف، بیشه‌زارها و جنگل‌های هیرکانی در کنار سواحل زیبای دریای خزر، یکی از پرتعدادترین مناطق ایران برای گردشگری به شمار می‌روند. حضور بیش‌ازحد گردشگران، در کنار جمعیت زیاد این مناطق، تولید روزافزون مواد زائد جامد شهری را به دنبال داشته است (۱۰). در مناطق معتدل و مرطوب، زمین برای دفن پسماندها به‌سختی یافت می‌شود و اصولاً زمین لم‌یزرع وجود ندارد. از طرف دیگر، سطح آب‌های زیرزمینی بالا است و شهرها تقریباً به هم چسبیده‌اند. به همین دلیل شهرهای مستقر در اقلیم معتدل و مرطوب از نظر دفن بهداشتی از محدودیت‌های زیادی برخوردارند و در این مناطق امکان دفن درجه‌یک وجود ندارد. این در حالی است که حجم زیادی از پسماندهای تولیدی در شهرهای مستقر در سواحل جنوبی دریای خزر به‌صورت غیراصولی و غیربهداشتی دفن می‌شوند (۱۱). از آنجایی‌که شهرستان نوشهر نیز، همچون سایر شهرهای شمالی کشور با مشکل مدیریت پسماندهای شهری روبه‌رو است (۱۲)، ارزیابی چرخه حیات شیوه دفع پسماندهای تولیدی، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش و حل مشکلات مدیریت پسماند این شهرستان داشته باشد. لذا پژوهش حاضر باهدف مقایسه اثرات محیط‌زیستی سناریوهای گوناگون دفع پسماندهای شهری در شهرستان نوشهر و معرفی گزینه برتر با رویکرد ارزیابی چرخه حیات صورت گرفت.

روش بررسی

• ویژگی‌های کمی و کیفی پسماندهای تولیدی در

شهرستان نوشهر

بر اساس اطلاعات اخذشده از استانداری مازندران، روزانه حدود ۱۰۸ تن پسماند شهری از سطح شهرستان نوشهر جمع‌آوری می‌شود که ۹۰ تن آن مربوط به شهر نوشهر، ۱۲ تن مربوط به

شهر پول و ۶ تن مربوط به شهر کجور است (۱۳). ترکیب پسماندهای تولیدی در شهرستان نوشهر در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق جدول ۱، پسماندهای غذایی با ۶۱/۵ درصد رتبه نخست اجزای تشکیل‌دهنده پسماندهای تولیدی در نوشهر را به خود اختصاص داده‌اند. بعدازآن، پلاستیک و PET، کاغذ و مقوا، فلزات آهنی و غیر آهنی به ترتیب با ۱۵/۶، ۸/۲ و ۷/۱ درصد در جایگاه دوم تا چهارم قرار می‌گیرند.

جدول ۱- ترکیب پسماندهای تولیدی در شهرستان نوشهر (۱۳).

Table 1. Composition of waste produced in Noshahr city

ترکیب	مقدار (تن در سال)	ترکیب	مقدار (تن در سال)
زائدات غذایی	۶۶/۴۲	شیشه	۰/۸۶۴
کاغذ و مقوا	۸/۸۵۶	فلزات آهنی	۳/۲۴
پلاستیک	۱۰/۱۵۲	فلزات غیر آهنی	۴/۴۲۸
PET	۶/۶۹۶	چوب	۰/۹۷۲
منسوجات	۱/۰۸	متفرقه	۵/۲۹۲
مجموع	۱۰۸		

• ارزیابی چرخه حیات در سیستم مدیریت

پسماند شهرستان نوشهر

مرزهای ارزیابی چرخه حیات در مطالعه حاضر، جمع‌آوری پسماندها، حمل به ایستگاه انتقال و محل دفن و درنهایت دفع را در برمی‌گیرد. واحد عملکردی، مقدار پسماند تولیدشده سالیانه برابر با ۱۰۸ تن است. هفت سناریوی مختلف مدیریت پسماند شامل ترکیب چهار روش دفع به‌صورت کمپوست، بازیافت، زباله‌سوزی به همراه استحصال انرژی و دفن، به‌منظور بررسی اثرات محیط‌زیستی مورد مقایسه قرار خواهند گرفت. سناریوهای مذکور در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. سناریوهای موردبررسی بر اساس شرایط موجود سیستم مدیریت پسماند شهری نوشهر، امکانات قابل دسترسی و فناوری موجود و باهدف تعیین اولویت در تصمیم‌گیری‌ها به‌منظور ارتقای این سیستم، تعریف و تعیین شدند.

پسماندهای تولیدشده در سطح شهرستان نوشهر، پس از جمع‌آوری به مرکز دفن پسماند این شهرستان منتقل و دفن می‌گردند. در حال حاضر دفع پسماندها در نوشهر تنها به روش‌های تلنبار یا دپو و دفن عادی صورت می‌پذیرد. همچنین لازم به ذکر است که نوشهر دارای یک نیروگاه زباله‌سوز است که در آذرماه ۱۳۹۹ به‌صورت رسمی مورد بهره‌برداری قرار گرفت. این نیروگاه زباله‌سوز دارای ۲۰۰ تن ظرفیت سوزاندن پسماند در روز و تولید سه مگاوات برق است. باوجود افتتاح رسمی پروژه، در حال حاضر این نیروگاه با ۱۰ درصد ظرفیت، مشغول فعالیت بوده و فرآیند کالیبراسیون و به ظرفیت رسانی آن، به‌صورت تدریجی در حال انجام است. در هدف‌گذاری اولیه مقرر شده که این نیروگاه، پسماندهای تلنبار و دپو شده ۳۰ ساله را بسوزاند (۱۳).

جدول ۲- سناریوهای دفع پسماندهای شهری در شهرستان نوشهر

Table 2. Scenarios of Urban Waste Disposal in Nowshahr City

سناریو	روش دفع (درصد)			دفن
	کمپوست	بازیافت	زباله‌سوزی با استحصال انرژی	
۱	-	-	-	۱۰۰
۲	۶۱	-	-	۳۹
۳	۳۰	-	-	۷۰
۴	۱۵	-	-	۸۵
۵	۶۱	۳۱	-	۸
۶	۶۱	-	۵	۳۴
۷	۶۱	-	۱۰	۲۹

سناریوی ۱ نشان‌دهنده سیستم فعلی مدیریت پسماند در شهرستان نوشهر است. در این روش پسماندها به صورت مخلوط جمع‌آوری و مستقیماً به سمت محل دفن حمل می‌شوند. بازیابی گاز و انرژی در محل دفن صورت نگرفته و پسماندها در زمین بدون آستر و بدون سیستم جمع‌آوری شیرابه دفن می‌شوند. سناریوهای ۲ تا ۵ به منظور بررسی میزان تأثیر عملیات کمپوست و بازیافت در سیستم مدیریت پسماند شهری و سناریوهای ۶ و ۷ به منظور بررسی تأثیر زباله‌سوزی با رویکرد بازیابی انرژی از پسماند، در نظر گرفته شدند. با توجه به اینکه درصد بالایی از ترکیب مواد زائد جامد شهری شهرستان نوشهر را زائدات غذایی تشکیل می‌دهند (جدول ۱)، تنها این بخش از زائدات برای تبدیل به کمپوست مدنظر قرار گرفته و روش ویندرو (روش رایج در تهیه کمپوست در ایران) به منظور کمپوست زائدات غذایی انتخاب می‌شود. کاغذ، شیشه، فلزات آهنی، فلزات غیر آهنی و پلاستیک برای فرایند بازیافت در نظر گرفته شده و در تسهیلات بازیابی مواد، باقی‌مانده زائدات برای دفن در زمین انتخاب می‌شوند. همچنین بازیابی انرژی از زائدات شامل کاغذ و مقوا، شیشه، فلزات آهنی، فلزات غیر آهنی، پلاستیک و منسوجات، به منظور تولید الکتریسیته صورت می‌گیرد.

ارزیابی چرخه حیات برای سناریوهای پیش‌بینی شده در این مطالعه، با استفاده از مدل IWM-2 صورت می‌گیرد. این نرم‌افزار

یکی از مدل‌های ارزیابی چرخه حیات است که با کمک آن می‌توان سناریوهای مختلف مدیریت پسماند را تعریف و آثار محیط‌زیستی هر سناریو را باهم مقایسه و ارزیابی کرد (۱۶). در این مدل، جریان پسماند از نقطه تولید تا دفع نهایی دنبال می‌شود. لازم به ذکر است که داده‌های موردنیاز برای ارزیابی چرخه حیات در پژوهش حاضر (شامل ترکیب کمی و کیفی پسماند، شیوه دفع، جمع‌آوری و حمل‌ونقل و اطلاعات مرتبط با محل دفن که پیش‌تر ذکر شدند) از طریق بررسی گزارش‌های مدیریت پسماند استانداری مازندران، مصاحبه حضوری با کارکنان خدمات شهری و همچنین بازدید حضوری از محل دفن پسماندهای شهری نوشهر و گردآوری اطلاعات لازم به شیوه مطالعه میدانی، به دست آمدند.

در این پژوهش برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی هریک از سناریوها، از طبقه‌بندی و وزن دهی به روش Material Energy Toxic (MET) استفاده می‌شود. در این روش، طبقه آثار شاخص محیط‌زیستی عبارت‌اند از آثار گرمایش جهانی (CO₂-CH₄)، پدیده اسیدی شدن (Nox, HCL)، اکسیداسیون فتوشیمیایی (Pm, Nox, Vox) و خروجی‌های سمی (Pb, Hg, Cd) (۵). واحد معادل هر طبقه اثر در جدول ۳ آورده شده است. ویژگی سازی و محاسبه شاخص‌های طبقات اثر با کاربرد رابطه (۱) انجام می‌شود.

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

$$I = \sum_{i=1}^N W_i I_n \quad (2)$$

در رابطه (۲)، معیار I معیار کمی مقایسه سناریوها و W_i وزن نسبی طبقات اثر و I_n شاخص طبقه اثر است. وزن نسبی هر یک از طبقات اثر مصرف منابع انرژی، گازهای گلخانه‌ای، گازهای اسیدی، گازهای فتوشیمیایی و خروجی‌های سمی در روش مدل‌سازی MET به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۹، ۰/۴، ۰/۲۹ و ۰/۱۳ است (۱۹).

در رابطه (۱)، I_i شاخص طبقه اثر، C_{ij} فاکتور ویژگی‌سازی و X_j مقدار ماده j است (۱۸).

پس از محاسبه مجموع اثر بار محیط‌زیستی هر طبقه، اهمیت نسبی هر یک از طبقات نیز تعیین می‌شود تا شاخص‌های به‌دست‌آمده در هر یک از طبقات در وزن نسبی آن طبقه ضرب شود و نمایه‌ها قابل جمع کردن باهم باشند (۱۵). به‌منظور محاسبه مقدار اثر ناشی از یک سناریو رابطه (۲) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۳- فاکتورهای ویژگی‌سازی طبقات اثر در مرحله فهرست‌نویسی ارزیابی چرخه حیات (۱۹).

Table 3. Characteristics factors of effect classes in the indexing stage of life cycle evaluation

فاکتور ویژگی‌سازی معادل	پارامترهای فهرست شده	طبقه اثر
۱	CO ₂	گازهای گلخانه‌ای معادل CO ₂
۲۵	CH ₄	
۱	Sox	گازهای اسیدی معادل SO ₂
۰/۷	NOx	
۰/۸۸	HCL	
۳/۶	VOC	مه دود فتوشیمیایی معادل C ₂ H ₄
۲۴/۸	NO _x	
۰	PM	
۴/۷*۱۰ ^۲	Pb _{air}	خروجی‌های سمی معادل 1-4DCB
۶*۱۰ ^۲	Hg _{air}	
۱/۵*۱۰ ^۵	Cd _{air}	
۱/۰۵*۱۰ ^۲	Dioxins _{air}	
۱/۲*۱۰	Pb _{water}	
۱/۴*۱۰ ^۲	Hg _{water}	
۱/۳*۱۰	Cd _{water}	
۱/۶*۱۰ ^۲	BOD _{water}	
۱/۰۸*۱۰	Dioxins _{water}	

یافته‌ها

و مواد آلی منتشره به هوا و آب، مورد ارزیابی واقع شد. نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. برخی انتشارات به‌صورت منفی بیان شده که نشان‌دهنده کاهش خالص در مقدار آن ماده منتشره است.

مدل IWM-2 برای هر یک از هفت سناریو اجرا و اثرات محیط‌زیستی هر سناریو در چهار طبقه اثر شامل گازهای گلخانه‌ای، گازهای اسیدی، پیش‌سازهای مه دود، فلزات سنگین

جدول ۴- آلاینده‌های منتشره در چرخه حیات سناریوهای مدیریت پسماند شهرستان نوشهر

Table 4. Emissions in the Life Cycle of Waste Management Scenarios in Nowshahr

نوع تنش	واحد	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ۶	سناریو ۷
CH ₄	تن	۶/۹۲	۳/۳۷	۵/۳۱	۶/۲۵	۲/۳۳	۳/۲۶	۳/۱۴
CO ₂	تن	۱۲۶۳/۴۲	۱۰۹۲/۵۲	۱۱۳۲/۸۵	۱۱۵۲/۳۷	۹۸۱/۲۸	۱۰۹۲/۷۸	۱۰۹۳/۰۳
NO _x	تن	۱/۲۷	۲/۵۳	۲/۵۳	۲/۵۳	۲/۳۷	۲/۷۲	۲/۹۵
Sox	تن	۰/۳۲	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۳۸	۰/۷۴	۰/۸۳
HCL	تن	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۷	-۲/۹۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۲
N ₂ O	تن	۲/۳۷	۲/۵۳	۲/۵۳	۲/۵۳	۱/۲۷	۲/۵۶	۲/۵۹
PM	تن	۰/۳۹	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵۳
VOCs	تن	۰/۹۴	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۰/۵۶	۱/۱۳	۱/۱۵
Pb _{air}	کیلوگرم	۰/۰۰۶۴	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۶	۰/۰۲
Hg _{air}	کیلوگرم	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳۳
Cd _{air}	کیلوگرم	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳۷
Dioxinds _{air}	گرم	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳
Pb _{water}	کیلوگرم	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۵۹	۰/۰۳۴	۰/۰۵۳	۰/۰۵۱
Hg _{water}	کیلوگرم	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
Cd _{water}	کیلوگرم	۰/۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳
BOD	کیلوگرم	۶۵۶/۷	۹۴/۵۱	۱۴۰/۱	۱۶۲/۱۵	۷۵/۲۱	۸۵/۳۲	۷۶/۱۳
Dioxinds _{water}	گرم	۰/۰۰۰۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰

از این مقادیر باید در فاکتور ویژگی سازی مربوط به خود ضرب شوند (جدول ۳) سپس مقادیر نرمال بدست آمده باهم جمع می شوند و مقدار نرمال برای دسته ی گازهای گلخانه ای به دست می آید.

$$I_i = \sum C_{ij} \times X_j$$

مقدار نرمال دسته ی گازهای گلخانه ای

$$I = \sum 25 \times 6.92 + 1 \times 1263.42$$

$$= 1436.42$$

در نهایت مقدار نرمال بدست آمده در دسته گازهای گلخانه ای (۱۴۳۶،۴۲) در وزن خود ضرب شده و مقدار نهایی (۱۲۸۷،۴۱) برای دسته ی گازهای گلخانه ای بدست می آید.

پس از تعیین مقدار آلاینده‌های تولیدشده در مراحل گوناگون مدیریت پسماند شهری نوشهر و دسته‌بندی تنش‌های سیاهه شده سناریوها با توجه به طبقات اثر، این مقادیر در فاکتورهای ویژگی سازی ضرب شدند تا واحد معادل محاسبه شود. سپس شاخص‌های به‌دست‌آمده در وزن نسبی آن طبقه ضرب شده تا مقدار کل اثر (شاخص اکولوژیکی) ناشی از هر سناریوی مدیریت پسماند نوشهر به دست بیاید. نتایج حاصل در جدول ۵ قابل مشاهده است. برای درک بهتر موضوع در جدول ۵، به طور مثال نحوه محاسبات شاخص اکولوژیکی در سناریوی اول شرح داده شده است: در سناریوی اول میزان انتشار گازهای گلخانه ای (CO₂, CH₄) به ترتیب 6/92, 1263/42 است. ابتدا هر کدام

$$0/88 \times 1436.42 = 1278.41$$

مقدار نهایی دسته ی گازهای گلخانه ای

این روند برای سه دسته ی دیگر (گازهای اسیدی، گازهای فتوشیمیایی و خروجی های سمی) در سناریوی یک تکرار می شود. در پایان مقادیر نهایی بدست آمده برای چهار دسته آلاینده سناریو بدست می آید.

$$I = \sum_{i=1}^N W_i I_n$$

(گازهای فتوشیمیایی) ۱۸/۰۶ + (گازهای اسیدی) ۰/۴۸ + (گازهای گلخانه ای) ۱۲۷۸،۴۱ = شاخص اکولوژیکی سناریوی یک
 ۱۴۹۸۷/۴۹ = (خروجی های سمی) ۱۳۶۹۰/۵۴

جدول ۵- ویژگی سازی شاخص های طبقات اثر و محاسبه مقدار کل اثر ناشی از سناریوهای مدیریت پسماند شهرستان نوشهر

Table 5. Characterization of effect classes and calculation of total amount of effect caused by waste management scenarios in Noshahr city

شاخص اکولوژیکی	خروجی های سمی	گازهای فتوشیمیایی	گازهای اسیدی	گازهای گلخانه ای	سناریو	
۱۴۹۸۷/۴۹	۱۰۵۳۱۱/۸	۶۲/۲۷	۱/۲	۱۴۳۶/۴۲	مقادیر نرمال	سناریو ۱
	۱۳۶۹۰/۵۴	۱۸/۰۶	۰/۴۸	۱۲۷۸/۴۱	ضربدر وزن	
۳۰۹۴/۰۶۷	۱۵۵۸۷/۸۴	۶۶/۷۷۱	۲/۴۱	۱۱۷۶/۷۷	مقادیر نرمال	سناریو ۲
	۲۰۲۶/۴۲	۱۹/۳۶۳	۰/۹۶۴	۱۰۴۷/۳۲	ضربدر وزن	
۴۱۲۱/۵۶	۲۲۸۸۳/۴۷	۶۶/۷۷۵	۲/۴۰۹	۱۲۶۵/۶	مقادیر نرمال	سناریو ۳
	۲۹۷۴/۸۵	۱۹/۳۶۴	۰/۹۶۳۹	۱۱۲۶/۳۸	ضربدر وزن	
۴۶۱۸/۷۵	۲۶۴۱۳/۶۱	۶۶/۷۷۷	۲/۴۰۹	۱۳۰۸/۶۲	مقادیر نرمال	سناریو ۴
	۳۴۳۳/۷۶	۱۹/۳۶۵	۰/۹۶۳۷	۱۱۶۴/۶۷	ضربدر وزن	
۲۵۵۵/۵۵	۱۲۴۶۸/۳۹	۳۳/۴۴	-۰/۵۴	۱۰۳۹/۵۳	مقادیر نرمال	سناریو ۵
	۱۶۲۰/۸۹	۹/۶۹	-۰/۲۱	۹۲۵/۱۸	ضربدر وزن	
۲۹۰۹/۶۲	۱۴۱۸۲/۱۵	۶۷/۲۷	۳،۳۲	۱۱۷۴/۲۸	مقادیر نرمال	سناریو ۶
	۱۸۴۳/۶۸	۱۹/۵۱	۱/۳۳	۱۰۴۵/۱۰	ضربدر وزن	
۲۷۲۵/۱۳	۱۲۷۷۶/۴۵	۶۷/۵۱	۴/۹	۱۱۷۱/۵۳	مقادیر نرمال	سناریو ۷
	۱۶۶۰/۹۳	۱۹/۵۸	۱/۹۶	۱۰۴۲/۶۶	ضربدر وزن	

بحث و نتیجه گیری

سناریوهای چهارم، سوم، هفتم، ششم و دوم در مرتبه دوم تا ششم انتشار گازهای گلخانه ای قرار گرفته و در نهایت کمترین میزان انتشار این گازها در سناریوی پنجم شامل ترکیبی از روش های کمپوست (۶۱ درصد)، بازیافت (۳۲ درصد) و دفن (۷ درصد) یافت می شود. بیشترین میزان انتشار گازهای اسیدی به ترتیب در سناریوهای هفتم و ششم اتفاق افتاده است که علت

مطابق یافته های حاصل در جدول ۴، بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه ای مربوط به سناریوی اول با روش دفع پسماند به صورت تماماً دفن در زمین است. سناریوی مذکور، نشان دهنده شرایط فعلی مدیریت پسماند در نوشهر است. در سناریوهای دیگر متناسب با میزان کاهش پسماندی که به سمت محل دفن می رود، میزان انتشار این گازها نیز کاهش می یابد؛ بطوریکه

اصلی آن می‌تواند خروجی‌های زباله‌سوز باشد. در مقابل، کمترین میزان انتشار گازهای اسیدی مربوط به سناریوی پنجم است که دلیل آن عدم انتشار آلاینده‌ها در نتیجه تولید مواد جدید به دلیل بازیافت و جایگزینی آن‌ها با مواد خام مصرفی است. سناریوهای هفتم و ششم به دلیل خروجی‌های زباله‌سوز که پیش‌تر به آن اشاره گردید، بیشترین میزان انتشار آلاینده‌های تشکیل‌دهنده مه دود فتوشیمیایی را دارا هستند. از طرف دیگر، در سناریوی پنجم میزان انتشار گازهای فتوشیمیایی به کمترین میزان خود می‌رسد. این امر بیان گر آن است که استقرار تسهیلات کمپوست و بازیابی زائدات می‌تواند نقش بسزایی در کاهش میزان انتشار این آلاینده‌ها به محیط داشته باشد. سناریوی اول به دلیل دفن تمامی پسماندها به صورت غیربهداشتی، بیشترین میزان انتشار خروجی‌های سمی به هوا و آب و سناریوی پنجم به دلیل استفاده از روش‌های دفع و پردازش جایگزین، کمترین آلاینده‌گی در این طبقه اثر را به خود اختصاص داده‌اند. در مطالعه مشابه صورت گرفته، وحیدی و رستیکردار (۲۰۱۸) سناریوهای مدیریت مواد زائد جامد شهری در سیرجان-ایران، را با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات و با کاربرد مدل IWM-2 مورد مقایسه قرار دادند. مطابق یافته‌ها، افزایش نرخ کمپوست و بازیافت در روش دفع پسماندهای شهری موجب کاهش چشمگیری در میزان انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی می‌شود. بطوریکه بر اساس مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی چرخه حیات، سناریوی دوم شامل ۶۸/۴ درصد کمپوست، ۱۹/۲ درصد بازیافت و ۱۲/۴ دفن، به‌عنوان بهترین گزینه از نظر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، معرفی شد (۲۰). در تحقیق دیگر سانا ارسس یای کاربرد ارزیابی چرخه حیات را برای دست یافتن به بهترین سناریوی مدیریت مواد زائد جامد در منطقه ساکاریا، ترکیه به لحاظ کمترین آثار محیط‌زیستی، بکار برد. نتایج این مطالعه مشخص کرد که سناریوی چهارم حاوی روش زباله‌سوزی و دفن بیشترین بار آلودگی را در طبقه اثر گازهای اسیدی در میان دیگر سناریوهای پیشنهادی دفع مواد زائد جامد شهری دارا است. در مقابل سناریوی سوم شامل ترکیبی از روش‌های دفع بازیافت، کمپوست و دفن عملکرد بهتری در طبقه اثر اسیدی شدن از خود نشان داد (۲۱). از سوی دیگر، مطالعه‌ای که توسط راجکومار و رامجوون

باهدف ارزیابی چرخه حیات سناریوهای مدیریت مواد زائد جامد شهری در جزیره موریس واقع در جنوب غربی اقیانوس هند از نقطه‌نظر محیط‌زیستی صورت گرفت، مشخص کرد که کمترین میزان انتشار پیش سازهای مه دود فتوشیمیایی مربوط به سناریوی دوم شامل زباله‌سوزی همراه با بازیابی انرژی است. لازم به ذکر است که در این مطالعه بهترین فناوری برای زباله‌سوزی همراه با بازیابی انرژی مدنظر قرار گرفته است (۲۲). همچنین در تحقیقی زارع و همکاران به ارزیابی وضعیت موجود مدیریت پسماند در اهواز- ایران، و اثرات آن بر محیط‌زیست پرداختند (۱۷). با توجه به ارزیابی محیط‌زیستی و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی چرخه حیات سناریوهای گوناگون دفع پسماندهای شهری در مطالعه حاضر، سناریوی اول (وضعیت فعلی مدیریت پسماند شهرستان نوشهر) با شاخص اکولوژیکی ۱۴۹۸۷/۴۹، در بین تمامی سناریوها بیشترین آلودگی محیط‌زیستی را در طبقات اثر گازهای گلخانه‌ای، گازهای اسیدی، مه دود فتوشیمیایی، فلزات سنگین و مواد آلی منتشره به هوا و آب تولید می‌کند. این در حالی است که سناریوی پنجم به‌صورت روش دفع ۶۱ درصد کمپوست، ۳۱ درصد بازیافت و هشت درصد دفن بهداشتی با شاخص اکولوژیکی ۲۵۵۵/۵۵ نقش مهمی در کاهش بار آلودگی محیط‌زیست ایفا کرده و از همین رو به‌عنوان برترین گزینه مدیریت پسماند شهرستان نوشهر انتخاب و معرفی می‌گردد.

References

1. Jozi SA, Fazeli N, Moradi majd N. Environmental Management Plan for Hospital Waste in Bandarabbas City Using SWOT Method and QSPM Matrix. Environmental Researches. 2016; 6(12), 3-17. (In Persian)
2. Pujara Y, Pathak P, Sharma A Govani J. Review on Indian Municipal Solid Waste Management practices for reduction of environmental impacts to achieve sustainable development goals, Journal of Environmental Management. 2019; 248, 109238.

- Environmental Research. 2015; 9(4): 1305-1314.
10. Abduli MA, Mehrdadi N, Rezazadeh M. Coastal Solid Waste Management in Mazandaran Province. Journal of Environmental Studies (JES).2015; 40(4): 861-873. (In Persian)
11. Ghanbari F, Abedinzadeh N, Aliani H. Identifying Environmental Impacts of Solid Waste Landfill Using of Site Selection Criteria (Case Study; Solid Waste Landfill of Rasht). Environmental Researches.2016; 6(12): 63-70. (In Persian)
12. Yazdani M, Monavari SM, Omrani GA, Shariat M, Hosseini SM. Assessment of municipal solid waste landfill sites using GIS (Case study: west of Mazandaran province). RS and GIS for Natural Resources.2015; 6(1): 31-46. (In Persian)
13. Mazandaran Governorate. Mazandaran Province Waste Management Master Plan (2020), Waste Specialized Committee, Mazandaran Provincial Affairs Office and Provincial Councils, Mazandaran, Iran. 2020. (In Persian)
14. Nasrollahi-Sarvagahaji S, Alimardani R, Sharifi M, Taghizadeh Yazdi M. Comparison of the Environmental Impacts of Different Municipal Solid Waste Treatments using Life Cycle Assessment (LCA) (Case Study: Tehran). Iranian Journal of Health and Environment. 2016; 9 (2):273-288. (In Persian)
15. Aminshrei F, Tahery H. Life Cycle Assessment OF Urban Waste IN Najaf Abad City Using the IWM-1 software. Journal of Environmental Science Studies (JESS).2019; 4(2): 1381-1388. (In Persian)
16. Mustafa N, Moarab Y, Amiri M. Life Cycle Assessment (LCA) of municipal
3. Hong J, Chen, Y, Wang M, Ye L, Qi C, Yuan H, Zheng T, Li X. 2017. Intensification of municipal solid waste disposal in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 69; 168-176.
4. Evangelisti S, Tagliaferri, C, Clift R, Lettieri P, Tayalor R, Chapman C. 2015. Life cycle assessment of conventional and two-stage advanced energy from-waste technologies for municipal solid waste treatment. Cleaner Production. 100; 212-223.
5. Zazouli M, Karimi Z, Rafiee R. Selecting the best options of management of municipal solid waste using life cycle assessment methodology (Case study: Noor city). Ijhe. 2020; 12 (4):607-620. (In Persian)
6. Naghibzadeh SS, Khorasani N, Yousefi J, Mousavi S, Badehian Z. Life Cycle Assessment of Municipal Waste Management System (Case Study: Kaevan, Iran). Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 2014; 18(4): 559-565. (In Persian)
7. Heidari L, Ghazizade M. Municipal Solid Waste Management Using Life Cycle Assessment Approach: Case Study of Maku City, Iran, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. 2017; 11(6): 1256-1261. (In Persian)
8. Hong J, Li X, Zhaojie C. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China, Waste Management.2010; 30(11): 2362-2369.
9. Ogundipe FO, Jimoh OD. Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management in Minna, Niger State, Nigeria. International Journal of

- Disposal by Using Life Cycle Assessment (LCA) Approach (Case Study: Ramsar). Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017; 47(2): 29-38. (In Persian)
20. 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;2(2): 111-121. (In Persian)
21. Suna-Erses-Yay A. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. Cleaner Production. 2015; 94: 284-293.
22. Rajcoomar A, Ramjeawon T. Life cycle assessment of municipal solid waste management scenarios on the small island of Mauritius. Waste Management and Research. 2017; 5(3): 313-324.
- waste management strategies in Mahdasht city. Geographical Space. 2017; 17(58):95-110.
17. Zarea, MA, Moazed H, Ahmadmoazzam M, Malekghasemi S, Jaafarzadeh N. Life cycle assessment for municipal solid waste management: a case study from Ahvaz, Iran. Environmental Monitoring and Assessment. 2019; 191: 131. (In Persian)
18. Rahmani K, Dadashkhah Z, Alighadri M, Mokhtari A, Nazari H. Environmental Assessment of Life Cycle of Waste Management System Based on LCAIWM1 Modeling (Case Study: Rasht City). Journal of Environmental Health Engineering. 2019; 6(4), 443-456. (In Persian)
19. Shahnazary M, Jalili Ghazizadeh M, Shahbazi A. Investigation of Different Alternatives on Municipal Solid Waste