فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۱(۲): زمستان ۱۴۰۲: ۸۹-۷۵
Journal of Environmental management and law, Vol.1, Issue 2, 75-89

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

Investigating the environmental performance of two traditional burial systems and establishing a construction waste recycling system using the life cycle assessment approach (case study: Isfahan)

Ali Ferdowsi[1,2], Hossein Nematollahi[1,2], Farshad Mostajeran[1], Gholamreza Saketi[1]

[1] *Isfahan Municipality Waste Management Organization, Isfahan, 81661-96116, I.R, Iran.*
[2] *School of Environment, College of Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, P.O. Box 14155-6135, Tehran, Iran.*

**Corresponding Author: hnematollahi@ut.ac.ir*

Original Paper

Received: 2023.08.06
Accepted: 2024.01.22

Keywords:
life cycle assessment,
construction waste,
waste management,
recycling,
Isfahan.

Abstract

All over the world, the improper management of construction waste is recognized as the construction industry, including the excessive production of construction waste, disorder in the burial and discharge of this waste, and negative environmental and economic effects such as soil pollution and Water, greenhouse gas emissions, and excess consumption of natural resources. The purpose of this project is to investigate the environmental performance of two traditional burial systems and the establishment of a construction waste recycling system using the life cycle assessment approach in the Zainel Pass area of Isfahan. Using the life cycle assessment method and SimaPro software, the environmental effects were determined for two construction waste management scenarios (burial and recycling). The results of the evaluation show that the impact of burying construction waste in Zainel Pass on human health, damage to the ecosystem, climate change, and resources is 86.1%, 4.3%, 8.1%, and 4.2% respectively. 114.1%, 1.3%, 7.3%, and 5.5%, respectively.

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

بررسی عملکرد محیط زیستی دو سیستم دفن سنتی و استقرار سیستم بازیافت پسماند ساختمانی با استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه حیات (مطالعه موردی: اصفهان)

علی فردوسی[۱،۲]، حسین نعمت الهی[۱،۲]، فرشاد مستاجران[۱*]، غلامرضا ساکتی[۱]

۱- سازمان مدیریت پسماند شهرداری اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* پست *الکترونیکی* نویسنده مسئول: hnematollahi@ut.ac.ir

نوع مقاله:
علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:
ارسال: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲

کلمات کلیدی:
ارزیابی چرخه حیات، پسماند ساختمانی، مدیریت پسماند، بازیافت، اصفهان.

چکیده

در سراسر جهان، مدیریت نامناسب پسماند ساختمانی به عنوان یکی از مشکلات اساسی در صنعت ساخت و ساز شناخته می‌شود از جمله این مشکلات تولید بیش از حد زباله‌های ساختمانی، نابسامانی در دفن و تخلیه این پسماندها و تأثیرات محیط زیستی و اقتصادی منفی مانند آلودگی خاک و آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای، و مصرف اضافی منابع طبیعی است. هدف این پروژه، بررسی عملکرد محیط زیستی دو سیستم دفن سنتی و استقرار سیستم بازیافت پسماند ساختمانی با استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه حیات در منطقه گردنه زینل اصفهان است. با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات و نرم‌افزار SimaPro، اثرات محیط زیستی برای دو سناریو مدیریت نخاله‌های ساختمانی (دفن و بازیافت) تعیین شد. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که اثرگذاری دفن نخاله‌های ساختمانی در گردنه زینل بر سلامت انسان، آسیب به اکوسیستم، تغییرات آب و هوا و منابع به ترتیب ۸۶/۱٪، ۴/۳٪، ۸/۱٪ و ۴/۲٪ است. اما با بازیافت نخاله‌ها، به دلیل کاهش استخراج از منابع طبیعی، این تأثیرات به ترتیب ۱۱۴/۱٪، ۱/۳٪، ۷/۳٪ و ۵/۵٪ می‌رسد.

مقدمه

در سراسر جهان، مدیریت نامناسب پسماند ساختمانی به‌عنوان یکی از مشکلات اساسی در صنعت ساخت و ساز شناخته می‌شود. این مشکلات از جمله تولید بیش از حد زباله‌های ساختمانی، نابسامانی در دفن و تخلیه این پسماندها، و تأثیرات محیط زیستی و اقتصادی منفی از جمله آلودگی خاک و آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف اضافی منابع طبیعی را به همراه دارد. از سوی دیگر، مزایای مدیریت صحیح پسماند ساختمانی شامل کاهش آلودگی‌های محیط زیستی، صرفه‌جویی در منابع، و افزایش بهره‌وری در صنعت ساخت و ساز است (Hajbabaei et al., 2022; Padash et al., 2021).

با وجود اینکه سیستم‌های مختلف مدیریت پسماند ساختمانی وجود دارند، اما همچنان مشکلات برای حل این معضلات باقی می‌ماند. از جمله این مشکلات می‌توان به هزینه‌های بالا برای دفن و بازیافت، کمبود تسهیلات بازیافت و عدم ارتقا آگاهی و فرهنگ مردم درباره مدیریت پسماند اشاره کرد (Mostafa Hatami et al., 2022).

عدم بازیافت پسماندهای ساختمانی به تأثیرات محیط زیستی منفی گسترده‌ای منجر می‌شود. این پسماندها، که اغلب شامل موادی همچون بتن، فلزات، چوب و پلاستیک هستند، در صورت دفن در محل‌های مخصوص تخلیه، منجر به آلودگی خاک و آب می‌شوند. آلودگی خاک ناشی از فرآیند تجزیه و تخلیه غیرمنظم این پسماندها، باعث از بین رفتن کیفیت خاک و کاهش باروری آن می‌شود. همچنین، بازیافت نشده این پسماندها را به یک منبع آلودگی هوا تبدیل می‌کند؛ زیرا در فرآیندهای تجزیه و تحلیل آن‌ها، گازها و ذرات آلاینده به جو آزاد شده و باعث افزایش آلودگی هوا و ایجاد مشکلات سلامتی عمومی می‌شوند (Golzary et al., 2023).

علاوه بر این، عدم بازیافت پسماندهای ساختمانی به تخریب بیشتر منابع طبیعی منجر می‌شود. از آنجا که مواد اولیه مورد نیاز صنعت ساختمان، مانند شن و ماسه، از منابع طبیعی بهره‌برداری می‌شوند، عدم استفاده از پسماندهای قابل بازیافت به معنای افزایش نیاز به استخراج بیشتر این منابع و در نتیجه تخریب بیشتر محیط زیست است. در نتیجه، بازیافت پسماندهای ساختمانی نه‌تنها به بهبود وضعیت محیط زیستی کمک می‌کند، بلکه به حفظ منابع طبیعی و کاهش تخریب محیط زیست نیز کمک می‌نماید (Simon et al., 2013; Hossain et al., 2017).

در این میان، بازیافت پسماندهای ساختمانی به عنوان یک راهکار مؤثر برای مقابله با این معضلات مطرح شده است. این رویکرد، فرصتی فراهم می‌کند تا مواد قابل بازیافت، مانند بتن، فلزات، و چوب، به مواد اولیه برای صنعت ساخت و ساز تبدیل شوند، که علاوه بر کاهش نیاز به منابع طبیعی، به تأثیرات مثبت محیط زیستی نیز منجر می‌شود (Hossain et al., 2016).

بازیافت پسماندهای ساختمانی از نظر اقتصادی بسیار مؤثر است. این فرآیند باعث کاهش هزینه‌های مرتبط با دفن و مدیریت پسماندها می‌شود. به جای هدر رفتن منابع قابل بازیافت مانند فلزات، بتن، و چوب، بازیافت این مواد باعث تأمین منابع اولیه برای صنایع مختلف می‌شود. این بازیافت منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید و توزیع محصولات جدید می‌گردد و همچنین ایجاد شغل‌های جدید در بخش بازیافت را ترویج می‌کند (Di Maria et al., 2018).

همچنین از نظر محیط زیستی، بازیافت پسماندهای ساختمانی به حفظ منابع طبیعی و کاهش آلودگی محیط زیستی کمک می‌کند. این فرآیند باعث کاهش نیاز به استخراج منابع طبیعی می‌شود و در نتیجه تخریب کمتری به محیط زیست وارد می‌کند. علاوه بر این، بازیافت پسماندها باعث کاهش میزان زباله‌های تخلیه شده به محل‌های دفن نیز می‌شود که این به تأخیر در پر کردن مکان‌های دفن و کاهش هزینه‌های مرتبط با مدیریت این مکان‌ها کمک می‌کند (Jain et al., 2020).

در ابعاد اجتماعی، بازیافت پسماندهای ساختمانی بهبود شرایط زندگی جوامع محلی را نیز فراهم می‌کند. ایجاد کارگاه‌ها و واحدهای بازیافت محلی اشتغال‌زایی را افزایش می‌دهد و به توسعه اقتصادی منطقه کمک می‌کند. همچنین، بازیافت پسماندها باعث افزایش

آگاهی و فرهنگ‌سازی درباره مدیریت پسماند در جامعه می‌شود که این بهبود در نگرش افراد نه‌تنها به حفظ محیط زیست بلکه به بهره‌وری بیشتر از منابع نیز منجر می‌شود (Zakerhosseini et al., 2023).

علیرغم مزیت‌های اشاره شده، ارزیابی اثرات محیط زیستی هر سناریو و گزینه پیشنهادی در مدیریت پسماند ساختمانی بسیار حیاتی است. با توجه به تأثیرات گسترده‌ای که این فرآیندها بر محیط زیست دارند، انجام ارزیابی دقیق و جامعی از این اثرات ضروری است. استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه حیات به عنوان یک ابزار مؤثر برای ارزیابی اثرات محیط زیستی سناریوها، تأمین می‌کند که تمامی فرآیندها و فعالیت‌های مرتبط با مدیریت پسماند، از مرحله تولید تا دفع، به دقت مورد بررسی قرار گیرد (Hossain et al., 2017).

این رویکرد به ما امکان می‌دهد تا اثرات محیط زیستی مختلفی از جمله مصرف منابع طبیعی، آلودگی هوا و آب، تولید گازهای گلخانه‌ای، و تأثیرات بر زندگی و حیات حیات وحش را به صورت جامع ارزیابی کنیم. با این اطلاعات، می‌توانیم اثرات هر گزینه را با دقت مقایسه کرده و بهترین راهبردها را برای کاهش تأثیرات منفی و افزایش تأثیرات مثبت انتخاب کنیم. در نتیجه، ارزیابی چرخه حیات به عنوان یک ابزار تحلیلی کارآمد، ما را در اتخاذ تصمیمات مؤثر و پایدار در زمینه مدیریت پسماند ساختمانی کمک می‌کند (Ram et al., 2020).

در پژوهشی انجام شده توسط Ortiz و همکاران در سال ۲۰۱۰ در کاتالونیا، اسپانیا، ارزیابی سه سناریو مختلف برای مدیریت زباله‌های ساختمانی با استفاده از روش LCA انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که روش بازیافت، به عنوان سازگارترین روش با محیط زیست، اثرات مثبتی را در مقایسه با دفن زباله دارد.

با پیشرفت تحقیقات، در مطالعه‌ای انجام شده توسط Hossain و همکاران در سال ۲۰۱۶، چهار سناریوی مختلف برای تولید سنگدانه از زباله‌های ساختمانی با استفاده از روش IMPACT 2002 + مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تولید سنگدانه از زباله‌های بازیافتی می‌تواند اثرات محیط زیستی را به شدت کاهش دهد و به جایگزین مناسبی برای تولید سنگدانه از منابع طبیعی تبدیل شود.

در یک مطالعه دیگر انجام شده توسط Di Maria و همکاران در سال ۲۰۱۸، چهار سناریوی مختلف برای مدیریت زباله‌های ساختمانی ارزیابی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بازیافت پس از تخریب انتخابی می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه‌های اقتصادی و اثرات محیط زیستی را کاهش دهد.

در مطالعه جدیدی توسط Suarez و همکاران در سال ۲۰۲۰، ارزیابی اقتصادی و محیط زیستی چهار سناریوی مختلف مدیریت زباله‌های ساختمانی در کلمبیا انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بازیافت مواد به شدت می‌تواند به بهبود وضعیت محیط زیست و کاهش هزینه‌های اقتصادی مرتبط با مدیریت زباله‌ها کمک کند.

هدف این مقاله، بررسی عملکرد محیط زیستی استقرار یک سیستم بازیافت در مدیریت پسماند ساختمانی در اصفهان با استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه حیات است. این ارزیابی به‌منظور تشخیص مزایا و معایب این سیستم در مقایسه با سیستم دفن فعلی صورت می‌گیرد و هدف نهایی آن ارائه راهکارهایی برای بهبود مدیریت پسماند ساختمانی با استفاده از سیاست‌ها و فناوری‌های مناسب و در نتیجه بهبود شرایط محیط زیستی و اقتصادی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه اصفهان با ویژگی‌های زمین‌شناسی، آب و هوایی و جغرافیایی خاص خود، یکی از مناطق مهم ایران به حساب می‌آید. با جمعیت بیش از دو میلیون و مساحتی در حدود ۱۶۷۲ کیلومتر مربع، اصفهان یکی از بزرگ‌ترین شهرستان‌های ایران است. گردنه زینل در جنوب شرقی اصفهان در ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر اصفهان، به مختصات ۳۲ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۸ دقیقه

شرقی واقع شده است. بیشترین مساحت توپوگرافی اصفهان به صورت بیابان است. این منطقه دارای تنوع زیستی و محیطی بسیاری است که باعث شده است که از لحاظ گردشگری، فرهنگی، و اقتصادی دارای اهمیت باشد. همچنین، رودخانه‌های مهمی همچون زاینده‌رود و پدیده‌های طبیعی جالبی مانند کوه کلاه قاضی و کوه صفه از جاذبه‌های طبیعی این منطقه به شمار می‌روند.

وضعیت آب و هوایی اصفهان نیز تأثیر به سزایی بر فعالیت‌های اقتصادی و زندگی شهروندان دارد. این شهر به‌طور کلی دارای آب و هوای معتدل تا سرد، با میانگین درجه حرارت بین ۴۳ درجه سانتی‌گراد در تابستان و حداقل ۱۹- درجه در زمستان است. اما وجود پدیده وارونگی هوا که بیش از ۲۶۰ روز در سال رخ می‌دهد و هوای ساکن و آلوده را به شهروندان ارائه می‌دهد، از جمله چالش‌های مهم آب و هوایی این منطقه است که نیازمند راهکارهای مدیریتی مناسب است. موقعیت گردنه زینل در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱- گردنه زینل

Fig.1- The Zaynel area

روش کار

در این مقاله، از رویکردLCA، +IMPACT2002 و نرم‌افزار تجاری SimaPro به عنوان ابزار تجزیه و تحلیل اثرات محیط زیستی(jafary et al., 2023)، برای ارزیابی دو سیستم مدیریت پسماند ساختمانی استفاده شده است. رویکرد ارزیابی چرخه حیات (LCA) یکی از ابزارهای مدیریت محیط زیست است. این رویکرد برای ارزیابی سیستم‌های صنعتی است که امکان تخمین اثرات محیط زیستی تجمعی حاصل از تمام مرحله‌های چرخه حیات محصول را فراهم می‌نماید (jafary et al., 2023). LCA امکان تلفیق، مقایسه و ارزیابی اثرات پایداری را از طریق شاخص‌های محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی فراهم می‌کند و معمولاً برای انتخاب مناسب‌ترین سناریو بین دفن زباله و بازیافت استفاده می‌شود (Adeleke et al., 2022). این رویکرد برای ارزیابی جنبه‌های محیط زیستی و اثرات بالقوه همراه با محصول، فرایند یا خدمات است. این فرایند قادر است به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب محصول یا فرایند با کمترین اثرات محیط زیستی کمک نماید و از انتقال مشکلات محیط زیستی از مرحله‌ای به مرحله دیگر جلوگیری می‌کند (jafary et al., 2023). SimaPro جدیدترین نسل از نرم‌افزارهای LCA است که به صورت گسترده در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل گستره نامحدودی از داده‌های با کیفیت، فراوان و شفافی از اکثر مواد مورد استفاده معمول و فرایندهای آن‌هاست. این نرم‌افزار روش‌های حرفه‌ای را جهت جمع‌آوری، ارزیابی و پایش کارایی محیط زیستی محصولات، فرایندها و خدمات ایجاد می‌نماید. همچنین قادر است که اثرات محیط زیستی محصولات و خدمات را در کل مرحله‌های چرخه زندگی آن‌ها از استخراج مواد خام تا تولید، توزیع، استفاده و دفع، اندازه‌گیری و شناسایی نماید (Bakhshayesh et al., 2021). روش

+IMPACT2002 به دلیل این که علاوه بر در نظر گرفتن طبقات اثر محیط زیستی، اثرات بهداشتی و سلامت انسان را نیز محاسبه می‌کند، انتخاب گردید (Ramezani-Mooziraji et al., 2023).

در ابتدا با توجه به مطالعات اولیه و جمع‌آوری داده‌های لازم، فرایند بازیافت پسماند ساختمانی شناسایی شده است. سپس، با استفاده از نرم‌افزار SimaPro، فرآیند بازیافت از مراحل مختلف از جمله جمع‌آوری، جداسازی، پردازش، و بازیافت مواد، به دقت مدل‌سازی و ارزیابی شده است. در این مدل، اثرات محیط زیستی مختلف مانند مصرف انرژی، آلودگی هوا و آب، تولید پسماند و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند.

در مقابل، برای ارزیابی سیستم دفن فعلی پسماند ساختمانی، اطلاعات مربوط به فرآیند دفن این پسماندها از جمله میزان پسماند تولیدی، روش‌های دفن، و اثرات محیط زیستی مرتبط با آن‌ها، با استفاده از داده‌های موجود و منابع قابل اعتماد، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در انتها، با استفاده از داده‌های به دست آمده از ارزیابی چرخه حیات دو سیستم، یعنی سیستم دفن فعلی بدون پردازش و نیز استقرار یک سیستم بازیافت، یک تحلیل مقایسه‌ای انجام شده است. این تحلیل به منظور مقایسه مزایا و معایب هر سیستم از لحاظ اثرات محیط زیستی صورت گرفته است و مقایسه سناریوها به منظور انتخاب سناریوی ارجح و بهبود مدیریت پسماند ساختمانی در منطقه انجام شده است.

نتایج

در این مطالعه، از نرم‌افزار SimaPro برای جمع‌آوری داده‌های موجود استفاده شده است. این نرم‌افزار قادر به جمع‌آوری داده‌های جامع از تمام ورودی‌ها و خروجی‌های مرتبط با یک محصول یا سیستم است و به کمک یک پایگاه داده گسترده از داده‌های چرخه حیات از منابع مختلف فراهم شده است. داده‌های مصرف انرژی، استفاده از مواد، ترکیب زباله و فواصل حمل و نقل از جمله داده‌های جمع‌آوری شده هستند.

در این مطالعه، از پایگاه داده Ecoinvent نسخه ۳/۵ برای آماده‌سازی داده‌های موجود استفاده شده است، و در مواردی که داده‌های سیاهه به طور منطقه‌ای در دسترس نبوده است، از داده‌های "world" یا "Global" این پایگاه استفاده شده است.

تحلیل موجودی در دو سناریوی دفن و بازیافت نخاله‌های ساختمانی، مراحل حمل و انتقال، فرآیندهای انجام شده بر روی نخاله‌ها و سرنوشت نهایی آن‌ها در نرم‌افزار مدل‌سازی شده است. همچنین، برای سناریوی دفن، مساحت اشغال شده توسط نخاله‌های ساختمانی و فاصله حمل از ورودی سایت تا محل دفن در نظر گرفته شده است.

در سناریو بازیافت، مراحل تفکیک نخاله‌ها به صورت دستی و با استفاده از وسایل مکانیکی انجام شده و فرآیند بازیافت به صورت مکانیزه انجام می‌گیرد. سپس، فرآیندهای مربوط به خردایش و تولید سنگ دانه با استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات جداگانه انجام می‌شود. در نهایت، با شستشوی ماسه‌ها و تصفیه آب، محصول نهایی آماده فروش می‌شود.

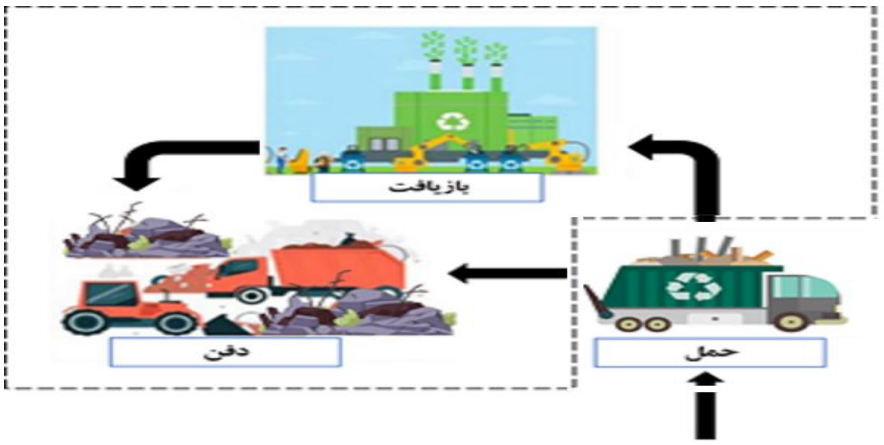
در تمامی مراحل فرآیند، انرژی مصرفی ماشین‌آلات و آلاینده‌های ناشی از ساخت سوله و سیستم تصفیه آب مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، میزان برق مصرفی و میزان انتشار آلاینده‌ها در هوا در نظر گرفته شده است. خلاصه داده‌های مورد استفاده و فرضیات به صورت جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در این مطالعه

Table 1- Data used in this study

داده	توضیحات
مصرف برق	یک مگاوات برای سناریوهای دفن و بازیافت نخاله‌های ساختمانی در نظر گرفته شده است.
استفاده از بولدوزر و سیستم آب‌پاش	برای تراکم نخاله‌های ساختمانی از بولدوزر و برای کنترل ذرات ریز گردوغبار از سیستم آب‌پاش استفاده شده است.
میزان مصرف آب	برای تمام فرآیندهای مربوط به دفن و بازیافت نخاله‌های ساختمانی، مصرف آب ۱۰ مترمکعب در روز و از آب چاه تأمین می‌شود.
فاصله حمل زباله‌ها	فاصله حمل زباله‌ها از ورودی سایت تا محل دفن در سناریو دفن برابر با ۳۰۰ متر در نظر گرفته شده است.
مساحت اشغال شده	در سناریو دفن، مساحت اشغال شده توسط نخاله‌های ساختمانی حدود ۱۴۳ هکتار است و ۵ هکتار زمین اشغال می‌شود.
فرآیند بازیافت	تفکیک نخاله‌ها ابتدا به صورت دستی و سپس توسط ماشین‌آلات انجام می‌شود و فرآیند بازیافت به صورت مکانیزه انجام می‌شود.
میزان آلایندگی ریجکت	حدود ۳۰ درصد وزن کل نخاله‌های ساختمانی به صورت ریجکت خواهد شد و میزان آلایندگی در اثر این ریجکت در نظر گرفته شده است.
ذرات معلق در هوا	درصد ذرات معلق در هوا به اندازه ۰/۰۲ درصد با اندازه کمتر از ۱۰ میکرون در نظر گرفته شده است.
پساب ماسه‌شویی	پساب حاصل از شستشوی ماسه در سیستم تصفیه آب و آب زلال به مدار برگشته و مواد ته‌نشین شده به دپو باطله منتقل می‌شود.
فاصله حمل	مسافت حمل تا محل دفن نیز برابر ۳۰۰ متر در نظر گرفته شده است.

مرز سیستم به صورت شکل ۲ مشخص شده است.



شکل ۲- مرز سیستم

Fig. 2- System boundary

همان‌طور که در شکل مشخص است، دو سناریوی بازیافت و دفن برای این مطالعه تعریف شده است. در سناریوی بازیافت، ۱۸۰۰ تن پسماند وارد سایت بازیافت شده و پس از فراوری و پردازش، شن و خاک و ماسه از آن استحصال می‌گردد و ۳۰ درصد از آن هم به عنوان ریجکت مانند سناریوی دفن وارد سایت دفن می‌شود. در سناریوی دفن، کل ۱۸۰۰ تن پسماند وارد سایت دفن شده و با ماشین آلات دفن می‌شود.

در سناریو بازیافت نخاله‌های ساختمانی، در مرحله اول (تفکیک نخاله‌ها) ابتدا بار ورودی به ظرفیت ۱۸۰۰ تن در روز توسط نیروی انسانی پذیرش می‌شود. در بخشی دیگر بلوک‌های بزرگ توسط نیروی انسانی و یا وسایل مکانیکی خرد شده و به قطعات کوچکتر تبدیل می‌شوند تا از لحاظ ابعاد مطابق طراحی در نظر گرفته شده با ورودی فیدر باشند. همچین ضایعات بزرگ تر نیز جهت بالا بردن راندمان تفکیک در این مرحله جداسازی می‌گردد. سپس ترکیب آماده‌سازی شده با بکارگیری لودر در دسترس فیدر ورودی قرار گرفته و به خط پردازش وارد می‌شود. بار ورودی پس از پذیرش و دسته‌بندی با ترکیب مشخص و توسط دو دستگاه فیدر در دو خط مجزا به ظرفیت هر کدام ۹۰۰ تن در روز وارد فرایند تولید می‌گردد. این فیدرها همزمان عملیات جداسازی را نیز انجام داده و به صورت مکانیکی ضایعات را به بخش پردازش هدایت می‌کند. در بخش پردازش در دو کابین مجزا، به صورت دستی و اتوماتیک توسط پرسنل آموزش دیده و با به کارگیری تجهیزاتی نظیر آهنربای تمام اتوماتیک و ثابت، فرآیند جداسازی ضایعات فلزی، پلاستیک، چوب و... به طور کامل انجام می‌گیرد. در ابتدا بار از بخش جداسازی آهن آلات عبور کرده و ضایعات فلزی از آن جدا شده و در ادامه سایر مواد مانند ضایعات خشک (نظیر آجر، چوب، لاستیک و یا پلاستیک) و ضایعات متفرقه دیگری که در تخریب‌ها وجود دارند (مانند لوله‌های برق، گونی و ...) جداسازی می‌گردند. ضایعات جمع‌آوری شده توسط شوتینگ در بخش‌های جداگانه جمع‌آوری می‌شود.

در مرحله دوم (خردایش اولیه)، بار پردازش شده پس از یک مرحله خردایش اولیه وارد سرندهای طراحی شده جهت جداسازی خاک می‌شود که محصول اولیه آن به صورت ماسه خاکی جهت فروش در محل تعیین شده دپو خواهد شد و الباقی به صورت سنگدانه‌های با سایز بزرگتر توسط نوارهای نقاله به محوطه سیلوی مورد نظر منتقل شده و از آنجا وارد فرایند تولید سنگدانه خواهد شد. در مرحله سوم (خردایش ثانویه و تولید سنگدانه) بار سنگدانه‌های حاصل از مرحله قبل ابتدا توسط سنگ‌شکن‌های ثانویه پس از چند مرحله خردایش به قطعات کوچکتر تبدیل شده و توسط نوارهای نقاله پس از عبور از سرندهای تعبیه شده در این بخش به سنگ‌شکن‌های نهایی جهت انجام مرحله آخر خردایش و تولید ماسه منتقل می‌گردد. در تمام مسیر انتقال سنگدانه‌ها، مجدداً توسط آهنرباهای ثابت و همچنین بازدید چشمی نیروی انسانی عملیات جداسازی ضایعات باقی مانده انجام شده و کنترل نهایی صورت می‌گیرد. محصول نهایی یا به صورت ماسه شکسته دپو می‌گردد و یا به مرحله بعدی انتقال می‌یابد.

در مرحله آخر (شستشو) با عبور از دستگاه‌های ماسه‌شو جهت جداسازی خاک، گچ و دیگر ذرات ریز باقی مانده به صورت ماسه شسته آماده‌سازی خواهد شد. در بخش نهایی آب اضافی ماسه‌ها توسط سیستم خشک‌کن گرفته شده و محصول نهایی جهت فروش به محل دپو منتقل می‌گردد.

میزان انتشار آلاینده‌ها در هوا در سناریوی دفن به صورت جدول زیر ۲ است.

جدول ۲- میزان انتشار آلاینده‌ها در هوا در سناریوی دفن

Table 2- The amount of emissions of pollutants in the air in the burial scenario

ردیف	آلاینده در هوا	مقدار	واحد	ردیف	آلاینده در هوا	مقدار	واحد
۱	PAH	۰/۰۰۷۷	kg	۱۸	Heptane	۰/۰۲۶۷	kg
۲	Acetakledehyde	۰/۴۰۵۰	kg	۱۹	Lead	۰/۰۰۵۱	kg
۳	Acrolein	۰/۱۵۷	kg	۲۰	Mercury	۵/۲۴ E -۴	kg
۴	Ammonia	۱/۳۹۹	kg	۲۱	Methne	۰/۲۱۸۷	kg

۵	Arsenic	۹/۸۸ E-۰۶	kg	۲۲	m-Xylene	۰/۰۸۷۲۱	kg
۶	Benzaldehyde	۰/۱۲۱۸	kg	۲۳	Nickel	۸/۶۹ E -۴	kg
۷	Benzene	۰/۰۰۶۲	kg	۲۴	Nitrogen oxides	۱۴۰/۹۴	kg
۸	Butane	۰/۰۱۳۲	kg	۲۵	NMVO	۷/۲۰۹	kg
۹	Cadmium	۸/۵۹E-۰۴	kg	۲۶	o-Xylene	۰/۰۳۵۴	kg
۱۰	Carbon dioxide	۳۰۹/۶۹	kg	۲۷	Pentane	۰/۰۰۵۳	kg
۱۱	Carbon monoxide	۲۹۷	kg	۲۸	Propane	/۰۰۸۹۱	kg
۱۲	Chromium	۸/۵۹E-۰۳	kg	۲۹	Selenium	۹/۸۸E-۰۶	kg
۱۳	Chromium VI	۵/۹۴E-۰۶	kg	۳۰	styrene	۰/۰۴۹۷	kg
۱۴	Copper	۲/۱۰E-۰۳	kg	۳۱	Sulfur dioxide	۱/۵۲۸۲	kg
۱۵	Dinitrogen monoxide	۱۶/۵۷۸	kg	۳۲	Toluene	۸/۸۸E-۰۴	kg
۱۶	Ethane	۰/۰۰۲۶۷	kg	۳۳	Zinc	۰/۱۷۲	kg
۱۷	Formaldehyde	۰/۷۴۵۲	kg	۳۴	Particulates,<2/5	۱/۳۲۳	kg

انرژی مصرفی ماشین‌آلات و آلاینده‌های ناشی از ساخت سوله و سیستم تصفیه آب در آیتم‌های موجود در SimaPro محاسبه گردیده است. میزان برق مورد استفاده در این سناریو طبق گزارش کارفرما برابر یک مگاوات در نظر گرفته شده است.

پس از تکمیل تجزیه و تحلیل موجودی، SimaPro یک روش ارزیابی تأثیر را با استفاده از روش‌های تعیین شده ارزیابی تأثیر مانند Recipe، CML، Impact 2002+ و ... انجام می‌دهد. این روش‌ها به تعیین کمیت تأثیرات بالقوه محیط زیستی در دسته‌های مختلف تأثیر از جمله تغییرات آب و هوا، فرسایش، کاهش منابع، انتشار گازهای گلخانه‌ای و اسیدی شدن کمک می‌کند.

جهت بررسی اثرات محیط زیستی توسط نرم‌افزار در هر یک از آیتم‌های بررسی شده عناصر و موادی که سبب ایجاد آلاینده‌ها در آب، هوا و خاک شده، بررسی می‌شود. به عنوان مثال در سناریوی دفن موادی که سبب ایجاد اثرات محیط زیستی بر مواد معدنی تنفسی شده در جدول ۳ نمایش داده شده است. با توجه به جدول، بیشترین تاثیر بر مواد معدنی تنفسی برای ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرومتر و دی‌اکسید نیتروژن و سپس ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر نشان داده شده است.

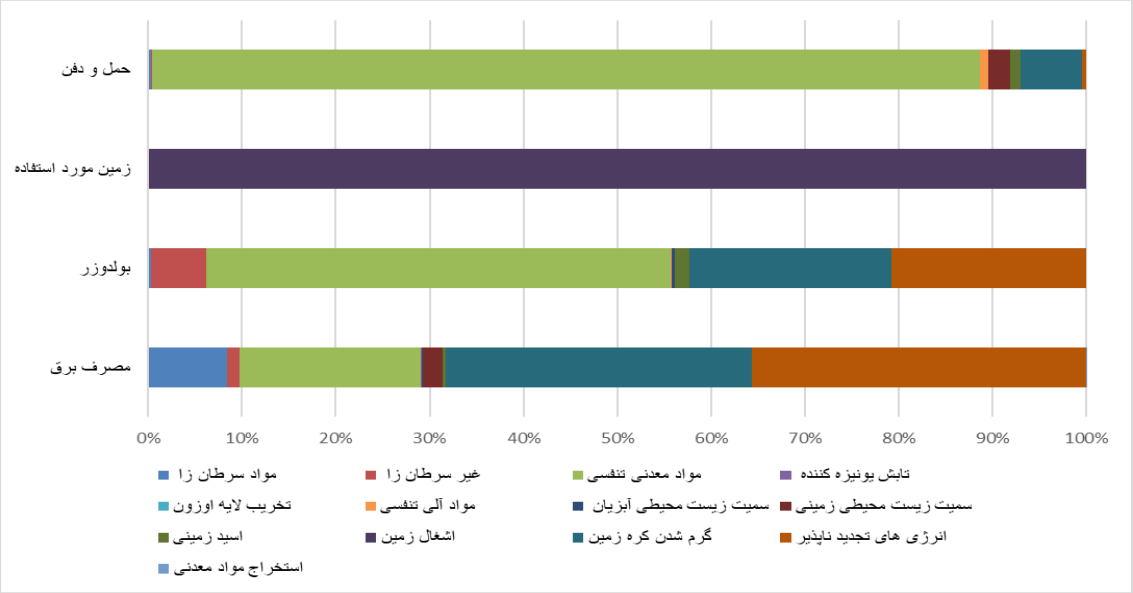
جدول ۳- تأثیرات مواد بر آیتم مواد معدنی تنفسی در سناریوی دفن

Table 3- The effects of substances on the respiratory mineral items in the burial scenario

ردیف	مواد	قسمت	واحد	مجموع	آلاینده‌های دفن	دفن نخاله‌ها
۱	Particulates,<10 um	Air	kPt	۳/۴۳۲	۳/۴۳۲	۰
۲	Nitrogen oxides	Air	kPt	۲/۵۰۴	۲/۱۶۱	۰/۳۴۳
۳	Particulates,<2.5	Air	kPt	۰/۱۵۷	۰/۱۵۷	۷/۰۷E-۰۵
۴	Carbon monoxide	Air	kPt	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۲/۹۰E-۰۸
۵	Sulfur dioxide	Air	kPt	۰/۰۲۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶
۶	Ammonia	Air	kPt	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰
۷	Sulfur monoxide	Air	kPt	۰/۰۰۹	۰	۰/۰۰۹
۸	Nitrogen dioxide	Air	kPt	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰
۹	Nitrogen monoxide	Air	kPt	۱/۸۵E-۱۱	۱/۲۴E-۱۱	۶/۱۳E-۱۲
۱۰	Sulfur trioxide	Air	kPt	۹/۰۱E-۱۳	۰/۰۰E+۰۰	۹/۰۱E-۱۳

دفن نخاله‌های ساختمانی

نتایج نشان می‌دهد استفاده از زمین برای دفن زباله بر اشغال زمین به میزان (۱۰۰٪) تأثیر داشته است. با توجه به بی‌اثر بودن نخاله‌های ساختمانی و ارتفاع زیاد این نخاله‌ها به انتشار شیرابه در فرآیند دفن خاک و سنگ ارتباطی ندارد و در اوتروفیکاسیون و اسیدی شدن آب بی‌اثر بوده است. وجود ریزگردهای حاصل از آلاینده‌های نخاله‌های ساختمانی در این سناریو بیشترین تأثیر بر مواد معدنی تنفسی میزان (۹۴٪) را دارا است. به دلیل استفاده از ماشین‌آلات (بولدوزر و کامیون) و سوخت مصرف شده در آن‌ها در این سناریو تأثیرات منفی محیط زیستی بر گرمایش جهانی برای بولدوزر برابر ۲۱/۵ درصد و برای انرژی تجدید ناپذیر برابر ۲۱ درصد مشاهده می‌شود. بیشترین تاثیر مصرف برق در این سناریو بر انرژی غیرقابل‌تجدید و گرمایش جهانی برابر ۳۶ و ۳۲/۵ درصد است. استفاده از بولدوزر و کامیون نیز به دلیل دود حاصل از سوخت و پخش ذرات ریز در هوا در اثر تخلیه بار سبب ایجاد تأثیر منفی بر مواد معدنی تنفسی (بولدوزر میزان ۴۹/۵٪) گردیده است. در ادامه این خروجی‌ها برای سناریوی بازیافت نیز ارائه شده و سپس دو سناریو با یکدیگر مقایسه می‌شود. شکل ۳ سهم فرآیندهای سناریوی دفن بر اثرات محیط زیستی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- سهم فرآیندهای سناریو دفن بر اثرات محیط زیستی

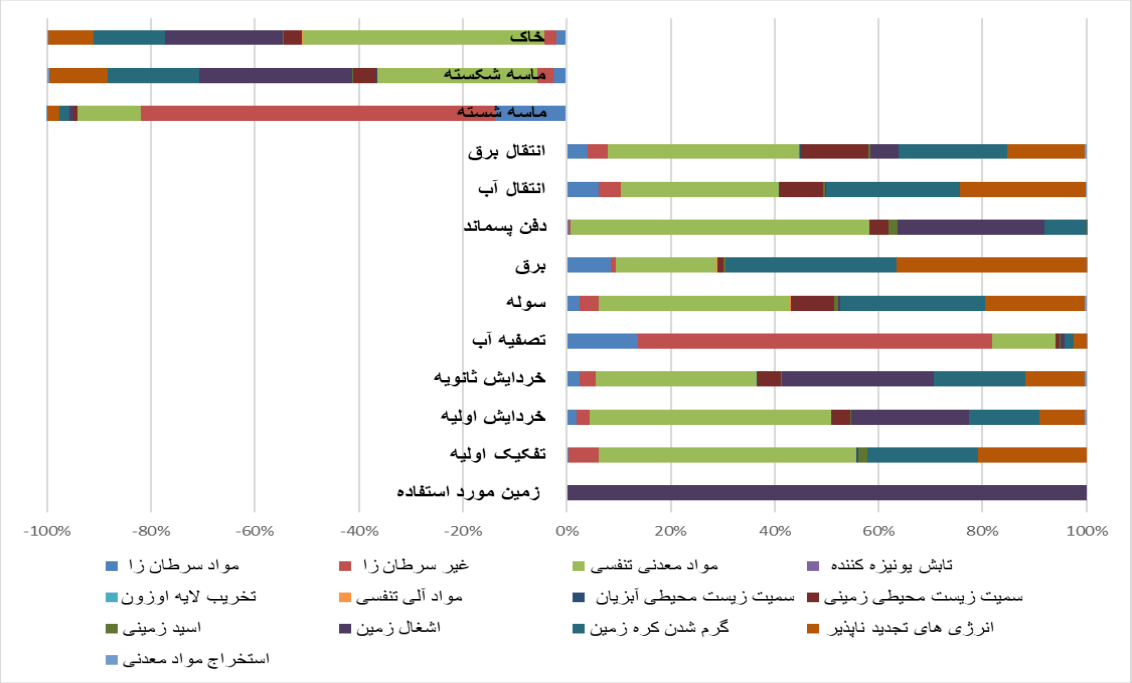
Fig. 3- The contribution of burial scenario processes on environmental effects

بازیافت نخاله‌های ساختمانی

در شکل ۴ مراحل مختلف کارخانه بازیافت مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا مقدار زمینی که جهت ساخت و دپو کارخانه بازیافت در نظر گرفته شده است تأثیر منفی محیط زیستی بر اشغال زمین (۱۰۰٪) را دارا است. در مراحل تفکیک اولیه نخاله‌های ساختمانی، جداسازی اولیه، جداسازی ثانویه، ساخت سوله و دفن پسماندهای حاصل از تصفیه آب، ساخت مسیر انتقال آب و ساخت تجهیزات برق به دلیل انتشار ریزگردها و ذرات ریز در هوا و استفاده از سنگ‌شکن و سرند در مراحل جداسازی، بیش‌ترین تأثیر منفی محیط زیستی بر مواد معدنی تنفسی به ترتیب برای هر یک از مراحل ذکر شده میزان ۴۹/۵، ۴۶/۵، ۳۱، ۳۷، ۵۱/۶، ۳۰/۵ و۳۶/۷ درصد است. در مرحله تصفیه آب بیشترین تأثیر منفی محیط زیستی بر بیماری‌های غیر سرطانی به میزان (۶۸٪) و سپس بر بیماری‌های سرطانی به میزان (۱۳/۸٪) است. با توجه به این موضوع که برق از دسته انرژی‌های غیرقابل‌تجدید است. استفاده از برق در این کارخانه سبب ایجاد اثر منفی محیط زیستی بر انرژی‌های غیرقابل‌تجدید به میزان (۳۶/۶ ٪) و بر گرمایش جهانی به میزان (۳۳٪) گردید. در این

سناریو، ساخت سوله به دلیل استفاده از ماشین‌آلات باعث تأثیر منفی بر گرمایش جهانی به میزان (۲۸ ٪) و انرژی تجدید ناپذیر به میزان (۱۹ ٪) شده است.

در شکل ۳ تأثیرات محیط زیستی مثبت در مقابل اثرات منفی نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان پی برد خروجی‌های کارخانه بازیافت نخاله‌های ساختمانی سبب ایجاد تأثیر مثبت بر محیط زیست خواهند شد. این موضوع به دلیل استفاده مجدد از نخاله‌های ساختمانی و عدم نیاز به استخراج از منابع و تولید سنگدانه‌های معدنی است. این امر در تولید ماسه شکسته و خاک سبب تأثیر مثبت محیط زیستی بر مواد معدنی تنفسی (به ترتیب ۳۱ و ۴۶ درصد) شده است. و همچنین استفاده مجدد از آب تصفیه شده در کارخانه جهت شستشو و تولید ماسه شسته باعث ایجاد کاهش بیماری‌های غیر سرطانی به میزان (۶۸٪) گردید.



شکل ۴- سهم سناریو بازیافت بر اثرات محیط زیستی

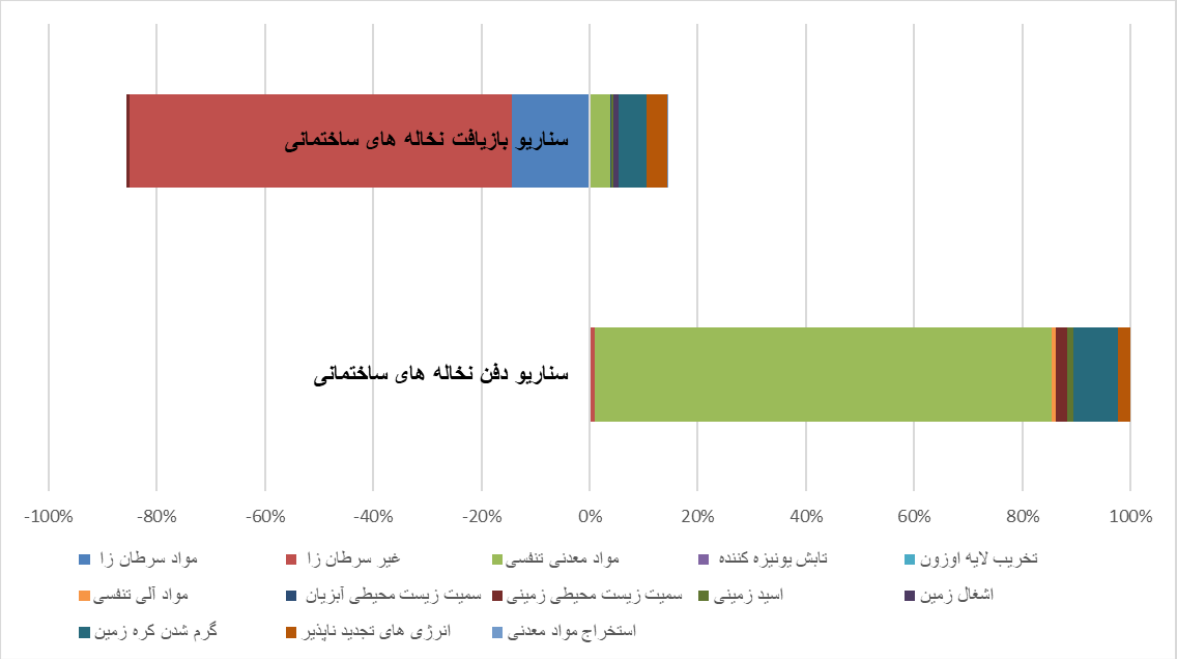
Fig. 4- The contribution of the recycling scenario to the environmental impacts

مقایسه دو سناریو

شکل ۵، درصد تاثیر دو سناریو در هر دسته‌بندی را برای هر دو سناریو نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سناریوی بازیافت، مقادیر برخی از دسته‌بندی‌ها به صورت منفی بوده که نشان از مثبت بودن اثرات بازیافت برای محیط زیست است. در شکل ۵ تأثیر محیط زیستی هر یک از دسته‌های موثر آورده شده است. با توجه به شکل می‌توان مشاهده کرد در سناریوی دفن نخاله‌های ساختمانی رها شدن این نخاله‌ها در محیط زیست و عدم وجود ساختار لندفیل سبب ایجاد ذرات معلق در هوا شده لذا دارای بیشترین تأثیر منفی در دسته مواد معدنی تنفسی میزان ۵۷/۷٪ است. همچنین با توجه به اشغال زمین توسط این نخاله‌ها، تأثیر منفی اشغال زمین بر محیط زیست در رده دوم اثرات منفی قرار داشته و برابر با ۲۶/۲٪ است. با توجه به استفاده از ماشین‌آلات در این سناریو، اثرات گرم شدن کره زمین به میزان ۸/۸٪ باعث آسیب به محیط زیست گردیده است.

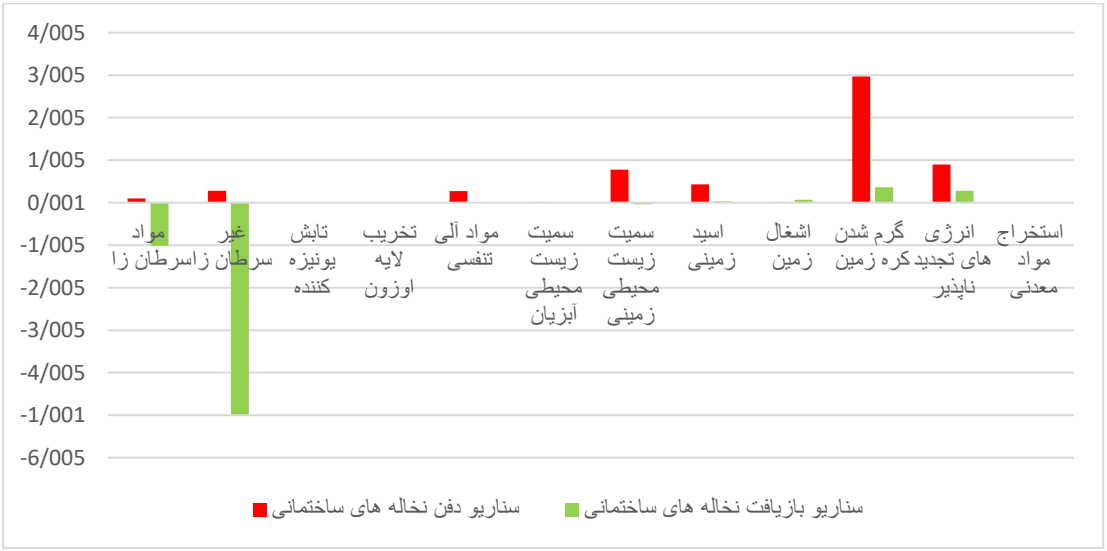
با توجه به شکل ۶ می‌توان مشاهده کرد سناریوی بازیافت نخاله‌های ساختمانی سبب ایجاد تأثیر مثبت بر محیط زیست شده است و این تأثیر مثبت در نمودارها با علامت منفی نمایش داده شده است. بیشترین تأثیر مثبت مربوط به بیماری‌های غیر سرطانی به میزان

(۷۶/۴٪) و به دلیل تصفیه آب مورد استفاده در کارخانه و استفاده مجدد از آن است. کمترین تأثیر مثبت مربوط به تخریب لایه اوزون است. این موضوع می‌تواند به دلیل استفاده از ماشین‌آلات و همچنین ساخت سوله و تجهیزات تصفیه‌خانه مربوط باشد.



شکل ۵ – درصد تاثیر دو سناریو در هر دسته‌بندی

Fig. 5 - Percentage of impact of two scenarios in each category



شکل ۶ – مقایسه اثرات محیط زیستی دو سناریوی دفن و بازیافت نخاله‌های ساختمانی (بدون مواد معدنی تنفسی)

Fig. 6 - Comparison of environmental impacts of two scenarios of burying and recycling of construction wastes (without respiratory minerals)

بحث و نتیجه‌گیری

نیاز به ساختمان‌ها و زیرساخت‌های بیشتر به موازات رشد جمعیت و گسترش طبیعی شهرها و پروژه‌های شهری نقش مهمی در افزایش صنعت ساخت و ساز داشته است (Jafary Nasab et al., 2020) که باعث افزایش مصرف بالای مصالح ساختمانی، استفاده از آب و مدیریت نامناسب پسماندهای حاصل از ساخت و ساز شده است (Mesa et al., 2021). به همین جهت تصمیم‌گیری‌های مدیریت پسماند پایدار و برنامه‌ریزی در مورد عملکرد سیستم‌های مدیریت پسماند از منظر محیط زیستی، نیازمند اطلاعات مناسب برای انتخاب کم‌ضررترین گزینه‌های دفع پسماند است (Adeleke et al., 2022).

در این مطالعه، فرآیندهای مدیریت برای نخاله‌های ساختمانی در منطقه گردنه زینل در شهر اصفهان با استفاده از رویکرد LCA و روش IMPACT2002+ مورد ارزیابی قرار گرفت. اثرات محیط زیستی برای استراتژی‌های مدیریت ۱۸۰۰ تن نخاله ساختمانی در روز، از جمله بازیافت و دفن بدون پردازش نخاله‌های ساختمانی، با استفاده از شاخص‌های مختلف بررسی شد.

با توجه به نتایج اصلی به‌دست‌آمده در این مطالعه می‌توان بیان کرد که: ۱) نتایج تحلیل محیط زیستی نشان می‌دهد که سناریوی بازیافت آسیب‌های بسیار کمتری نسبت به سناریوی دفن بر سلامت انسان و محیط زیست دارد. ۲) بیشترین تفاوت بین دو سناریو در بحث اثرگذاری بر سلامت انسان می‌باشد به گونه‌ای که میزان آسیب به سلامت انسان در سناریوی دفن حدود ۱۱۴/۱ درصد بیشتر از سناریوی بازیافت خواهد بود. ۳) سنگدانه‌های بازیافتی می‌توانند نقش کلیدی در ترکیب عرضه مصالح برای صنعت ساخت و ساز داشته باشند. بازیافت کردن با کاهش نیاز به مواد بکر به حفاظت از منابع طبیعی زمین کمک می‌کند. این مسئله در تفاوت اثر دو سناریو بر آیتم حفظ منابع طبیعی با اختلافی حدود ۵۲/۵ درصد دیده می‌شود.

Rafiee و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی با عنوان ارزیابی محیط زیستی چرخه حیات سامانه مدیریت پسماند شهری (مطالعه موردی: شهر مشهد) به این نتیجه رسیدند که کمپوست کردن به عنوان یکی از گزینه‌های مدیریتی و نیز کاربرد ایستگاه‌های انتقال پسماند در مواردی که محل دفن و سایر تاسیسات سامانه همچون 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. تحقیقات مشابه داخلی و خارجی هم در این زمینه انجام شده است.

Kheyri & Abdi (۲۰۲۳) به بررسی بکارگیری فن ارزیابی چرخه حیات (LCA) در مدیریت پسماندهای جامد شهری کلانشهر ارومیه پرداختند. نتایج حاصل حاکی از آن بود که در هشت شاخص رده اثر محیط زیستی سناریو دفن بهداشتی بیشترین بار آلایندگی را داشت. سناریوی سوزاندن نیز در دو شاخص رده اثر بیشترین آلایندگی را نسبت به سناریوهای دیگر داشته و بار آلایندگی بیشتری را نشان داده است. سناریوی بازیافت هم در دو شاخص از سایر سناریوها بار آلایندگی کمتری داشته و به عنوان بهترین سناریو شناخته شده است. در هفت شاخص، سناریوی کمپوست میزان آلایندگی محیط زیستی کمتری را نسبت به سه سناریو دیگر دارا بوده است.

Zhang و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی استراتژی‌های مدیریت پسماند شهری پایدار از طریق روش ارزیابی چرخه عمر پرداختند. از مطالعات بررسی شده LCA، به این نتیجه رسیدند که بازیافت مواد بیشترین مزایای محیط زیستی را دارد و به عنوان بهترین روش مدیریت زباله در نظر گرفته می‌شود.

Llatas و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای مدلی را برای شبیه‌سازی عملکرد محیط زیستی پیشگیری در مقابل عدم پیشگیری از تولید نخاله‌های ساختمانی پیشنهاد می‌کند. این مدل برای یک سیستم شهری از ساختمان‌های مسکونی در اسپانیا اعمال شده است. نتایج نشان داد که سناریوی پیشگیری ضایعات ساختمانی تولید شده در مقابل سناریوهای غیرپیشگیری، تولید ضایعات ساختمانی را تا ۵۷ درصد کاهش داد. علاوه بر این، امکان کاهش بالقوه اثرات ناشی از سناریوی دفع و سناریوی بازیافت را فراهم می‌کند. این مدل می‌تواند

به متخصصان و سیاست‌گذاران کمک کند تا اقدامات موثر پیشگیری از تولید ضایعات ساختمانی را در طرح‌ها و برنامه‌های پیشگیری از تولید ضایعات بگنجانند.

بازیافت نخاله‌های ساختمانی در منطقه گردنه زینل به کاهش حجم زباله‌هایی که به محل دفن زباله ختم می‌شوند کمک می‌کند. این مزایا بازیافت را به گزینه‌ای جذاب و پایدار برای مدیریت زباله‌های ساختمانی تبدیل می‌کند. هم‌چنین این مطالعه تأیید می‌کند که اجرای موفقیت‌آمیز استراتژی‌های بازیافت بدون چالش نیست و خواستار اقدامات مؤثر سیاستی، از جمله مقرراتی برای تشویق بازیافت و مجازات برای دفن نادرست می‌باشد. علاوه بر این، بر اهمیت آگاهی عمومی برای آموزش مردم در مورد مزایای بازیافت و نحوه مشارکت مؤثر تأکید می‌کند و بینش‌های ارزشمندی را برای سیاست‌گذاران، سهامداران صنعت و محققان علاقه‌مند به ترویج شیوه‌های مدیریت زباله ارائه می‌دهد.

References

Adeleke, O., Akinlabi, S. A., Jen, T. C., & Dunmade, I. (2022). Environmental impact assessment of the current, emerging, and alternative waste management systems using life cycle assessment tools: a case study of Johannesburg, South Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(5), 7366-7381.

Bakhshayesh, M., Farahani, M., & Behbahaninia, A. (2021). Using Life Cycle Assessment (LCA) to Evaluate Environmental Impact of Kangan Desalination Plant. *Journal of Water and Wastewater*. *31*(7), 15-34. [In Persian]

Di Maria, A., Eyckmans, J., & Van Acker, K. (2018). Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. *Waste management*, *75*, 3-21.

Golzary, A., Nematollahi, H., & Tuysserkani, M. (2023). Assessment and pathways for improving municipal solid waste management in rapidly urbanizing Tehran, Iran. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1-17. [In Persian]

Hajbabaie, M., Nematollahi, H., Lam, K. L., & Bazargan, A. (2022). Life cycle assessment of solar photocatalytic wastewater treatment. [In Persian]

Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M., & Cheng, J. C. (2016). Comparative environmental evaluation of aggregate production from recycled waste materials and virgin sources by LCA. *Resources, Conservation and Recycling*, *109*, 67-77.

Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M., & Cheng, J. C. (2017). Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. *Resources, Conservation and Recycling*, *120*, 199-208.

Jafary Nasab, T., Monavari, S. M., Jozi, S. A., & Majedi, H. (2020). Assessment of carbon footprint in the construction phase of high-rise constructions in Tehran. *International journal of environmental science and technology*, *17*, 3153-3164. [In Persian]

Jafary, T., monavari, S. M., Jozi, S. A., & Majedi, H. (2023). Investigation and analyze the methods of the life cycle assessment for High-Rise Construction in Tehran. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, *55*(7), 1449-1466. [In Persian]

Jain, S., Singhal, S., & Pandey, S. (2020). Environmental life cycle assessment of construction and demolition waste recycling: A case of urban India. *Resources, Conservation and Recycling*, *155*, 104642.

Kheyri, R., & Abdi, R. (2023). Utilization of Life Cycle Assessment (LCA) for Municipal Solid Waste Management in Urmia Metropolis. *Agricultural Mechanization*, *8*(3). [In Persian]

Llatas, C., Bizcocho, N., Soust-Verdaguer, B., Montes, M. V., & Quiñones, R. (2021). An LCA-based model for assessing prevention versus non-prevention of construction waste in buildings. *Waste Management*, *126*, 608-622.

Mesa, J. A., Fúquene-Retamoso, C., & Maury-Ramírez, A. (2021). Life cycle assessment on construction and demolition waste: A systematic literature review. *Sustainability*, *13*(14), 7676.

Mostafa Hatami, A., Sabour, M. R., Haj Babaei, M. R., & Nematollahi, H. (2022). Global trends of VOSviewer research, emphasizing Environment and Energy areas: A bibliometric analysis during 2000-2020. *Environmental Energy and Economic Research*, *6*(1), 1-11. [In Persian]

Ortiz, O., Pasqualino, J. C., & Castells, F. (2010). Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. *Waste management*, *30*(4), 646-654.

Padash, A., Vahidi, H., Fattahi, R., & Nematollahi, H. (2021). Analyzing and evaluating industrial ecology development model in Iran using FAHP-DPSIR. *International Journal of Environmental Research*, *15*(4), 615-629. [In Persian]

Rafiee, R., Salman Mahiny, A.R., & Khorasani, N. (2009). Environmental Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management System (Case Study: MASHAD City). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 16(2), 208-220. [In Persian]

Ram, V. G., Kishore, K. C., & Kalidindi, S. N. (2020). Environmental benefits of construction and demolition debris recycling: Evidence from an Indian case study using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *255*, 120258.

Ramezani-Mooziraji, M., Sabour, M., Dezvareh, G., Ehteshami, M. (2023). Life Cycle Assessment of Steel Production and Its Environmental Impacts. *HSR*, 19 (1), 85-94. [In Persian]

Simion, I. M., Fortuna, M. E., Bonoli, A., & Gavrilescu, M. (2013). Comparing environmental impacts of natural inert and recycled construction and demolition waste processing using LCA. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, *21*(4), 273-287.

Suarez Silgado, S. S., Calderon Valdiviezo, L. J., & Mahecha Vanegas, L. F. (2021). Application of life cycle assessment (LCA) methodology and economic evaluation for construction and demolition waste: a Colombian case study. Earth Sciences Research Journal,2021, 25(3), 341- 351.

Zakerhosseini, A., Abdoli, M. A., Molayzahedi, S. M., & Salmi, F. K. (2023). Life cycle assessment of construction and demolition waste management: a case study of Mashhad, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-27. [In Persian]

Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C. H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, *287*, 112238.