

شناسایی پهنه‌های مناسب انتخاب لندفیل با تأکید بر شهرستان‌های ساحلی با استفاده از مدل AHP_Fuzzy (نمونه موردی شهرستان بندر ماهشهر)

آروشا منظمی^{*۱}

Monazami0466@gmail.com

فرهاد کاظمی اسفه^۲

سید مسعود منوری^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۶

چکیده

زمینه و هدف: عدم مدیریت پسماند جامد در اکثر شهرهای جهان یک مشکل جدی است که باعث افزایش تولید زباله جامد می‌شود. مدیریت پسماند جامد در شهرستان بندرماهشهر بسیار ضعیف بوده و یکی از مشکلات مزمن شهراست. بنابراین، این شهر به محل دفن زباله مناسب برای مدیریت صحیح پسماندهای جامد و کاهش اثرات آن بر سلامت عمومی و محیط‌زیست نیاز دارد. هدف از این مطالعه شناسایی مکان‌های مناسب دفن زباله در شهرستان بندرماهشهر با سیستم اطلاعات جغرافیایی، تکنیک‌های تجزیه و تحلیل و ارزیابی تصمیم‌گیری چند معیاره AHP است که از نظر طبیعی و زیست‌محیطی قابل قبول و از نظر کالبدی هم کمترین اثرات را داشته باشد.

روش بررسی: در این مطالعه معیارهایی مانند کاربری زمین‌های کشاورزی، رودخانه‌ها، خط ساحل، باتلاق و مرداب‌ها، نوع خاک، در صد شیب، شهرها، روستاها، راه‌های اصلی، راه‌های روستایی، راه‌آهن، فرودگاه، جاذبه‌های گردشگری، مراکز صنعتی و خطوط انتقال انرژی بر اساس مدل AHP استفاده گردید.

یافته‌ها: براساس مدل AHP، فاصله از شهرها با ۰/۲۷۶، فاصله از خط ساحل با ۰/۰۹۱ و فاصله از راه‌های اصلی با ۰/۰۹ دارای بیشترین وزن و میزان ضریب خطای مدل هم برابر ۰/۰۷ است. با استفاده از روش فازی محدودیت‌های اعمال‌شده و متغیرها نیز رفع اختلاف مقیاس شده‌اند و معیارهای مثبت از طریق فازی خطی کاهشی و معیارها منفی با استفاده از فازی خطی افزایشی نرمال‌سازی شده‌اند.

۱- دانش آموخته ارشد آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- دانش آموخته ارشد عمران، دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

بحث و نتیجه‌گیری: در نهایت از توابع پنج‌گانه فازی (AND, OR, SUM, GAMA, PRODUCT) برای تعیین پهنه‌های مناسب استفاده شد و تابع Gama0.9 به‌عنوان تابع نهایی انتخاب سایت برگزیده و چهار سایت نهایی برای پسماند انتخاب شده‌اند که سه سایت برای شهرهای بندرماهشهر و بندرامام خمینی قابل استفاده هستند و یک سایت نیز برای شهرک شهیدچمران قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، AHP_Fuzzy، دفن پسماند، شهرستان بندر ماهشهر

Identification of suitable zones for landfill selection with emphasis on coastal counties using the AHP_Fuzzy model (case example of Bandar-e Mahshahr County)

Arousha Monazami^{1*}

Monazami0466@gmail.com

Farhad Kazemi Esfeh²

Seyed Masoud Monavari³

Admission Date: November 15, 2023

Date Received: November 27, 2022

Abstract

Backing and Objective: Mismanagement in solid waste disposal is a critical problem increasing the rate of global solid waste production globally. The solid waste management in Bandar-e Mahshahr, Iran is so poor that caused public health and environmental problems requiring to be addressed. The purpose of this study is to use a geographic information system, analysis techniques, and multi-criteria AHP decision-making evaluation techniques in determining suitable locations for landfill sites in Bandar-e Mahshahr. The selected landfill location must satisfy environmental, engineering, and social criteria.

Material and Methodology: In this paper, geotechnical properties, land utilization type, the location of transportation facilities, natural phenomena, and lifelines, were used in the distance-weighted AHP model.

Finding: Based on AHP model, the weight of the distances from cities, the coastline, and railroads are 0.276, 0.091, and 0.090, respectively, which are the highest weights, with an error coefficient of 0.07. Implementing fuzzy method has resolved the scale difference in applied restrictions and the variables. The positive measures have been normalized through the decreasing linear fuzzy and the negative measures have been normalized using the incremental linear fuzzy.

Discussion and Conclusion: In the end, five fuzzy functions (GAMA, SUM, OR, AND, PRODUCT) were used to determine suitable areas and 0.9 GAMA function was selected as the final function for choosing the suitable site. Four sites were then chosen, three for Bandar-e Mahshahr, and one for the Shahid Chamran residence area.

Key Words: Location, AHP_Fuzzy, waste disposal, Bandar-e Mahshahr city.

1- Graduate student of Environmental Pollution, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Science and Research, Tehran, Iran. *(Corresponding Author)

2 - Master of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Technology, Tabriz University, Tabriz, Iran.

3- Associate Professor, Department of Environmental and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Science and Research, Tehran, Iran.

مقدمه

شهر، فضایی پیچیده است که تمام اجزای آن به صورت سیستماتیک در ارتباط نزدیک با یکدیگر می‌باشند، به طوری که ایجاد اختلال در هر کدام از اجزای این مجموعه باعث ایجاد اشکال در کل سیستم می‌شود (۱). زباله‌های شهری یکی از همین اجزای شهر می‌باشند که عدم توجه به آن می‌تواند چشم انداز واحدهای شهری را تحت تأثیر خود قرار دهد (۲). باید توجه داشت که روش‌های مختلف دفع به عوامل و شاخص‌های زیادی بستگی دارد. اما بدون استفاده از یک سیستم توانمند به عنوان ابزاری مطمئن که توانایی استفاده از لایه‌های اطلاعاتی متعدد و تجزیه و تحلیل آنها را داشته باشد، امکان حل این معضل امکان پذیر نخواهد بود (۳).

تولید مواد زائد جامد شهری معظلیست است که با رشد شهرنشینی رو به افزایش است (۴). اغلب این مکان‌ها، پتانسیل پذیرش انواع مواد زائد، بخصوص مواد سمی را نداشته، در نتیجه مسائل زیست محیطی متعددی را ایجاد می‌کنند. به همین دلیل متخصصین بدنبال تجدید نظر در روش‌های دفع مواد زائد جامد شهری هستند. روش دفن بهداشتی زباله، از روش‌هایی است که هم اکنون همپای طرح بازیافت، مورد توجه قرار گرفته است (۵).

در روش دفن بهداشتی، زباله بصورت لایه‌ای در سطح زمین یا درون گودال‌های طبیعی و مصنوعی پخش و متراکم می‌شود و روی آن با لایه‌ای از خاک یا سایر مواد پوشانده می‌شود. اگرچه سالیان طولانی از طرح این روش می‌گذرد اما هنوز دفن بهداشتی و مهندسی مواد زائد جامد متداولترین روش دفع پسماند شهری، صنعتی و خطرناک بشمار می‌رود (۶). در دفن بهداشتی و مهندسی زباله مکان یابی محل دفن، آماده سازی محل‌های دفن و عملیات اجرایی، در محل دفن انجام می‌شود. انتخاب مکان بهینه محل دفن پسماند بسیار اهمیت دارد. محل‌های دفن، مکان‌هایی استراتژیک هستند که به عنوان محل جمع آوری زباله‌های جامد تعیین می‌شوند و مواد در آنها سوزانده یا متراکم می‌شوند. انتخاب محل دفن زباله فرایندی پیچیده و وقت گیر است که نیاز به ارزیابی عوامل متعدد و ویژگیهای مختلفی دارد (۷).

لحاظ نمودن عوامل متعدد در فرآیند مکان یابی مستلزم گردآوری، ذخیره‌سازی و پردازش حجم قابل توجهی از داده‌ها و شرایط مکانی در یک‌زمان است. سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) این توانایی را دارد که این کار را به سرعت و دقت برای غربالگری اولیه مکان‌های مناسب در سطح منطقه مورد مطالعه انجام دهد (۸). شهر بندر ماهشهر نیز مدت‌هاست که با مشکلات مربوط به تولید، نگهداری و دفع پسماندها و نخاله‌های شهری روبه‌روست. مشکلاتی که هزینه‌های بسیار سنگین را بر دوش شهرداری و مردم آن شهر گذاشته و خسارات جبران‌ناپذیری را بر محیط‌زیست و منابع طبیعی منطقه وارد کرده است. بر اساس میانگین سرانه روزانه ۸۰۰ گرم و جمعیت سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۵ که برابر ۱۰۳ هزار نفر است روزانه حدود ۸۳ هزار تن زباله دفع و تولید می‌شود که از نظر وزنی حدود ۳۰ درصد و از نظر حجمی بیش از ۵۰ درصد آن زباله خشک قابل بازیافت است. بقیه آن نیز شامل زباله‌های فسادپذیر، عفونی، خطرناک و غیرقابل بازیافت است که متأسفانه به‌صورت کاملاً غیربهداشتی و غیر مهندسی در محل دفع زباله‌های شهری رهاسازی شده و با تولید گازهای گلخانه‌ای، ایجاد بوهای مشمئزکننده، تولید شیرابه سمی و خطرناک، رشد حشرات و جانوران موذی ناقل بیماری و ده‌ها مورد دیگر باعث ایجاد آلودگی‌های گوناگون و معضلات بهداشتی و محیط‌زیستی متعددی شده است. این مسئله از آنجا قابل تأمل است که بدانیم در سالیان اخیر تحول چشمگیری در سیستم مدیریت پسماند شهری این شهر مشاهده نشده است. بر همین اساس در این تحقیق با استفاده از فنون تصمیم‌گیری چند معیار و سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام به مکان‌یابی دفن زباله خواهد شد و درواقع تحقیق به دنبال پاسخ به این سؤال است که مناسب‌ترین مکان جهت دفن زباله در شهر بندر ماهشهر کجا است. همچنین هدف از این تحقیق مکان‌یابی محل مناسب دفن زباله در شهرستان بندر ماهشهر با استفاده از تحلیل پارامترهای انسانی، زیست‌محیطی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه از طریق سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل شبکه است. عبارت دیگر، این پژوهش با بهره‌گیری از تکنیک GIS و

دفن آخرین مرحله از مدیریت مواد زائد جامد و مکمل تمام روشهای دفع محسوب می‌شود. در کشور ما تنها ۸ درصد پسماندهای شهری بازیافت، کمپوست و استفاده مجدد می‌شوند در حالیکه ۹۲ درصد مواد زائد دفن می‌گردند که از این روش مدیریتی مواد زائد جامد، حدود ۲۵ درصد دفن اصولی و تقریباً بهداشتی است و مابقی بشکل غیربهداشتی دفن و تلبار می‌باشند (۱۳). مدیریت عملیات یک محل دفن بهداشتی شامل مکان یابی مناسب محل دفن، آماده سازی محل دفن و عملیات اجرایی و مهندسی در محل دفن می‌باشد. اولین گام در طراحی محل دفن، انتخاب محل مناسب است (۱۴). پنج دلیل برای توجیه تکنولوژی بیوراكتور دفن پایدار ذکر شده است:

۱- افزایش بازده تبدیل انرژی (افزایش پتانسیل استحصال انرژی از بیوگاز تولیدی)، ۲- امکان سامان دهی و تصفیه شیرابه در محل دفن (تصفیه درجا)، ۳- استفاده مجدد از فضاهای اشغال شده داخل زمین دفن پس از گذشت زمان کوتاه، ۴- بازیافت مواد و تولید کمپوست در محل دفن، ۵- اطمینان از پایداری و تحمل پذیری سیستم (۱۴).

درزمینه مکان‌یابی دفن زباله در خارج و داخل کشور، مطالعات فراوان است. در اکثر آن‌ها از ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) استفاده شده است. در میان مطالعات فارسی می‌توان به مطالعات انجام شده توسط {طالبی (۱۴۰۲) (۱۴) و ساترایی و شیخی (۱۴۰۱) (۱۳) و عسکری جبار آبادی و نجار خدابخش ملک پور (۱۴۰۱) (۱۵) و چگنی و کیانی صدر و چراغی (۱۴۰۰) (۱۶) و در میان مطالعات خارجی می‌توان به مطالعات انجام شده توسط {یان و همکاران (۲۰۲۳) (۱۷) و اوورکمپ (۲۰۱۹) (۱۸) و رافی و سیدیکیو (۲۰۲۳) (۱۹) و بارالا و همکاران (۲۰۲۳) (۲۰) و آل عبادی و همکاران (۲۰۲۲) (۲۱) اشاره کرد.

مدل AHP تلاش می‌کند تا مؤلفه‌های مؤثر در مکان‌یابی محل دفن زباله در شهرستان بندر ماهشهر را تحلیل کرده و با استفاده از توابع فازی، مناسب‌ترین پهنه برای دفن پسماند را شناسایی نماید؛ به گونه‌ای که کمترین آثار زیست‌محیطی و انسانی را به دنبال داشته باشد. همچنین شامل اهداف جزئی‌تری همچون موارد ذیل است:

- مطالعه پارامترهای مؤثر جهت مکان‌یابی محل‌های دفن زباله
- وزن‌گذاری معیارها به روش AHP و تهیه لایه‌های هر یک از معیارها در نرم‌افزار ArcGIS
- مکان‌یابی محل‌های دفن زباله در شهر بندر ماهشهر با استفاده از معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی - اجتماعی مورد استفاده در کشور و سازمان محیط‌زیست
- تدوین معیار و شاخص زیست‌محیطی جهت مکان‌یابی محل‌های دفن زباله در شهرهای ساحلی

مبانی نظری

مکان‌یابی به معنای یافتن مکان‌های مطلوب برای یک پدیده بر اساس داده و اطلاعات موجود می‌باشد (۹). مکان‌یابی در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به فرآیند تعیین مکان دقیق اشیاء یا ویژگی‌ها در سطح زمین اشاره دارد. این شامل به دست آوردن و استفاده از داده‌های مکانی برای تعریف دقیق مختصات نقاط، خطوط یا مناطق در چارچوب GIS است (۱۰).

مکان‌یابی دفن پسماند

معیارها و شاخص‌های متعددی جهت انتخاب محل مناسب برای دفن پسماند ارائه شده است، که هر یک محدودیت‌ها و شرایط خاصی را برای مکان‌یابی مناسب مطرح می‌سازد (۱۱). با توجه به اهمیت و اولویت متفاوت عوامل مختلف برای انتخاب مناسب، محل دفن نیاز به تحلیل چند متغیره برای انتخاب عوامل مهم‌تر و اولویت بندی آنها دارد. روش‌های مختلفی جهت انجام این نوع از تحلیل‌ها وجود دارد و یکی از این روش‌ها می‌تواند تلفیق توام منطق فازی با روش تحلیل سلسله مراتبی باشد (۱۲).

جدول ۱- بررسی پیشینه علمی پژوهش

Table 1. Review of the scientific background of the research

نتیجه	عنوان پژوهش	محققین
نتیجه حاکی از آنست که متغیرهایی مانند فاصله از جاده‌های مسکونی، بیمارستان‌ها، دریاچه‌ها، سطل‌های زباله و شاخص NDBI (شاخص اختلاف نرمال‌سازی‌شده مناطق ساخته‌شده) دارای وزن فازی بالاتر از ۱۰/۰ بوده‌اند که نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه آن‌ها در مکان‌یابی است. در مقابل، عواملی مانند ارتفاع، شیب، دمای سطح، شاخص رطوبت خاک، شاخص پوشش گیاهی NDVI و طبقه‌بندی کاربری شهری دارای وزن فازی صفر بودند و فاقد نقش مؤثر در تحلیل مکان‌یابی تشخیص داده شدند. همچنین مقایسه‌ی عملکرد دو مدل FAHP-RF و FAHP-SVM نشان داد که مدل FAHP-RF با مقدار AUC معادل ۰/۹۱، از دقت بالاتری برخوردار است. بر پایه‌ی تحلیل هم‌پوشانی معیارها، هفت سایت بالقوه برای دفن زباله شناسایی شد که در نهایت، سه مکان با توجه به پوشش فعلی زمین، نظرات عمومی و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، به‌عنوان گزینه‌های بهینه انتخاب گردیدند.	رویکردی نوین مبتنی بر GIS برای انتخاب محل مناسب دفن بهداشتی زباله با استفاده از ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین	محد و همکاران (۲۰۲۲) (۲۳)
در این تحقیق از سیزده معیار در دو دسته‌ی عوامل طبیعی شامل رودخانه، دریاچه، زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب، زمین‌های کشاورزی و عمق آب زیرزمینی، و عوامل مصنوعی شامل خطوط برق، جاده‌ها، سایت‌های باستانی، زیرساخت‌ها، مراکز شهری و روستاها بهره گرفته شد. با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در محیط GIS، نقشه‌ها از نظر میزان تناسب از ۱ (کمترین) تا ۱۰ (بیشترین) رتبه‌بندی شدند. پس از تلفیق لایه‌ها براساس وزن معیارها، مکان‌های کاندید در چهار سطح «نامناسب»، «نسبتاً مناسب»، «مناسب» و «بسیار مناسب» طبقه‌بندی شدند. در نهایت، چهار مکان به‌عنوان سایت‌های مناسب دفن زباله شناسایی شدند که ظرفیت پیش‌بینی حجم پسماند برای حداقل ۱۵ سال آینده را دارا هستند.	انتخاب محل دفن بهداشتی زباله با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فضایی (Spatial-AHP) برای منطقه پشدار، سلیمانیه اقلیم کردستان عراق	منگوری و همزه (۲۰۲۲) (۲۳)
هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی اولیه و شناسایی مکان‌های کاندید برای دفن بهداشتی زباله در شهرداری مِماری با استفاده از نرم‌افزار GIS و معیارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره بود. معیارهای به‌کاررفته شامل ۱/زیست‌محیطی: آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، ارتفاع اراضی، پوشش/کاربری زمین، فاصله از مناطق مسکونی و مکان‌های حساس؛ ۲/اجتماعی-اقتصادی: فاصله از جاده‌ها، تراکم جمعیت و ارزش زمین. برای تهیه نقشه نهایی تناسب اراضی، ترکیب روش AHP و لایه‌های GIS به‌کار گرفته شد. در نهایت، ۷ مکان مناسب شناسایی و با استفاده از روش فازی TOPSIS و نظرات کارشناسان رتبه‌بندی شدند. در نتیجه، سایت‌های ۲ و ۷ به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه‌ها برای دفن زباله در آینده پیشنهاد شدند	انتخاب محل دفن بهداشتی زباله از طریق تلفیق AHP و FTOPSIS با GIS: مطالعه موردی شهرداری مِماری، هند	اسک عجیم و همکاران (۲۰۲۱) (۲۴)

ماینل و همکاران (۲۵)(۲۰۲۰)	انتخاب پهنه محل دفن بهداشتی زباله برای دفع زباله‌های جامد در شهر دورگاپور با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک ارزیابی چندمعیاره	مطالعه حاضر بر ادغام سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به منظور شناسایی مکان‌های بالقوه دفن بهداشتی زباله‌های جامد در شهر دورگاپور، ایالت بنگال غربی هند، تمرکز دارد. در این پژوهش، ۱۱ معیار شامل ارتفاع زمین، شیب، نوع خاک، زمین‌شناسی، پوشش/کاربری اراضی، فاصله تا منابع آبی سطحی، فاصله تا چاه‌های لوله‌ای، فاصله تا جاده‌ها، فاصله تا کمربندهای صنعتی، فاصله تا مکان‌های حساس و ارزش زمین در نظر گرفته شدند. تمامی معیارها با استفاده از تحلیل هم‌پوشانی وزنی در محیط GIS تجمیع شدند. نتایج مطالعه سه مکان بالقوه با مساحت‌های ۱۳/۸۳، ۳۳/۸۰ و ۲۷/۲۰ هکتار را برای دفن زباله شناسایی کرد. همچنین مشخص شد که ارزش زمین با وزن ۰/۲۵۲۵۸ مهم‌ترین معیار در مدل بوده است و پس از آن، فاصله از مکان‌های حساس (۰/۱۴۰۹) و فاصله از جاده‌ها (۰/۱۲۳۳) به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم اهمیت قرار دارند.
کویوس مورا و سولانو بلار (۲۶)(۲۰۲۰)	انتخاب محل دفن بهداشتی زباله با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی: مطالعه موردی در استان آزوای، اکوادور	هدف این پژوهش، شناسایی مناسب‌ترین پهنه‌های دفن پسماند در استان آزوای بود که با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در محیط GIS و AHP انجام شد. در این راستا، چهارده عامل مؤثر شامل معیارهایی از جمله شیب زمین، نوع خاک، کاربری اراضی، منابع آبی، فاصله از مناطق مسکونی و زیرساخت‌ها و غیره، همراه با هفت محدودیت محیطی و قانونی، در قالب معیارهای فنی، زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مورد تحلیل قرار گرفتند. بسیاری از این معیارها مبتنی بر ضوابط وزارت محیط‌زیست اکوادور بودند. نتایج نشان داد تنها ۲۳/۸۳ درصد از اراضی استان برای دفن پسماند مناسب هستند و مطلوب‌ترین پهنه‌ها (با شاخص ۷۰ تا ۸۱ درصد) در مناطق جنوبی استان با اقلیم خشک و خاک رسی قرار دارند.
کاراوش و همکاران (۲۷)(۲۰۲۰)	ارزیابی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS برای انتخاب محل دفن بهداشتی زباله: مطالعه موردی شهر سیواس، ترکیه	در مطالعه‌ای با هدف مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله در شهر سیواس ترکیه، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS استفاده شد. هفت معیار شامل ساختار زمین‌شناسی، کلاس توان زمین، حمل‌ونقل، منابع آب زیرزمینی و سطحی، مناطق مسکونی و کاربری فعلی زمین مورد بررسی قرار گرفتند. برای وزن‌دهی معیارها از روش‌های AHP و SAW بهره گرفته شد و جهت ارزیابی نهایی مکان‌های پیشنهادی از روش CODAS استفاده شد. مناطق مورد مطالعه به پنج سطح از "مناسب‌ترین" تا "نامناسب" طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که بخش زیادی از منطقه مورد بررسی در دسته "متوسط مناسب" قرار دارد. در نهایت، چهار مکان به عنوان گزینه‌های مناسب برای دفن زباله معرفی شدند که بر اساس نتایج مدل تلفیقی AHP-CODAS و SAW-CODAS، منطقه ۱ به عنوان مناسب‌ترین مکان دفن بهداشتی انتخاب شد.

طالبی (۱۴۰۲)(۱۴)	مکان یابی محل دفن پسماند شهر اردکان با استفاده از مدل سازی تصمیم گیری چند معیاره در محیط	در این پژوهش، از ۱۰ فاکتور مهم جهت مکان یابی محل دفن پسماندها نظیر: کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، خاک، فاصله از کاربری مسکونی، جاده‌ها، رودخانه‌ها، چشمه‌ها، چاه‌ها و روستاها در منطقه استفاده و جهت تهیه نقشه پهنه بندی نهایی، از مدل AHP استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی چندمعیاره با نرم افزار Expert choice، وزن معیارهای کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، فاصله از کاربری مسکونی، خاک، فاصله از جاده‌ها، رودخانه‌ها، چشمه‌ها، چاه‌ها، فاصله از روستاها برای منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۰/۱۶۶ و ۰/۰۳۳ و ۰/۰۴۰ و ۰/۰۲۳۲ و ۰/۰۸۳ و ۰/۱۴۴ و ۰/۰۶۳ و ۰/۰۷۱ و ۰/۰۵ و ۰/۱۱۹ به دست آمد. در این منطقه معیار فاصله از مناطق مسکونی بالاترین وزن و معیار شیب کمترین تأثیر را در مکان یابی مناطق دفن پسماند داشته است. با بررسی نقشه نهایی، مناطق کاملاً مناسب دفن زباله در اردکان شمال غرب، غرب و جنوب غرب و بخش‌های کمی از مناطق نزدیک به مرکز محدوده قرار دارد.
ساترایی و شیخی (۱۴۰۱)(۱۳)	مکان یابی محل دفن پسماند پسماند شهرستان روانسر با روش فازی در محیط GIS	هدف از مطالعه حاضر، مکان‌یابی مناطق مستعد دفن پسماند شهرستان روانسر می‌باشد. بدین منظور ابتدا تمام مشاهدات محیطی (اکولوژیکی و اقتصادی اجتماعی) مربوط به محدوده شهرستان روانسر به صورت لایه‌های اطلاعات مکانی ایجاد و پایگاه اطلاعاتی ویژه دفن پسماندهای شهری تشکیل شد. سپس لایه‌های رقومی بر اساس تاثیرگذاری در هدف طبقه بندی گردید و در مرحله بعد با هدف یافتن مکان‌های مناسب دفن پسماند شهرستان روانسر، عملگر گامای فازی بر لایه‌های موجود اعمال شد و نقشه نهایی تهیه شد و نتایج نشان داد که مدل فازی توانسته است مکان‌های مناسب را شناسایی کند.
عسکری جبار آبادی و نجار خدابخش ملک پور (۱۴۰۱)(۱۵)	مکان یابی محل دفن پسماند بهداشتی شهرستان کاشان با استفاده از روش‌های وزن دهی و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS	یکی از مهم‌ترین مراحل مدیریت پسماند مکان یابی صحیح محل دفن پسماند است. در راستای انتخاب محل دفن پسماند مناسب پارامترهای مختلفی دخیل هستند که هر کدام دارای اهمیت خاصی بوده و نیز محدودیت‌هایی را هم در انتخاب ایجاد می‌کند لذا ارزیابی و اولویت بندی عوامل مؤثر در انتخاب مکان مناسب و بهداشتی دفن، امری اجتناب ناپذیر است. در این مطالعه که با هدف مکان یابی صحیح محل دفن پسماند شهری در شهر تاریخی کاشان با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و منطق فازی و بولین و وزن دهی فازی و وزن دهی بولین صورت گرفته است، پس از بررسی‌های متعدد و توجه به ویژگی‌ها و شرایط شهر کاشان، ۱۱ پارامتر شامل فاصله از شهر، روستا، جاده، رودخانه، قنات، چاه، جاذبه طبیعی، کارخانه و هم چنین عمق چاه، شیب و کاربری اراضی در پژوهش حاضر به کار گرفته شد. استفاده و ترکیب روش فازی و وزن دهی در کنارهم، مناطق دقیق‌تری را برای مکان یابی لندفیل به ما نشان می‌دهد.

چگنی و کینی صدر و چگنی (۱۴۰۰) (۱۶)	مکان یابی محل دفن پسماندهای خطرناک با کاربرد روش‌های تصمیم گیری چند معیاره و GIS (مطالعه موردی: استان لرستان)	هدف از این مطالعه مکان یابی محل دفن پسماندهای خطرناک با کاربرد روش‌های تصمیم گیری چند معیاره و GIS می‌باشد. روش بررسی: در این تحقیق با استفاده از روش دلفی جهت تعیین معیارها و ANP، TOPSIS و نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی مکان مناسب جهت دفن پسماندهای ویژه در استان لرستان (که تاکنون هیچ محلی جهت دفن پسماندهای ویژه برای آن در نظر گرفته نشده) مشخص شده است. یافته‌ها: در نهایت پنج منطقه در استان لرستان از شهرستان‌های ازنا، الیگودرز، کوهدشت و پلدختر به عنوان بهترین مکان جهت دفن پسماندهای ویژه در استان لرستان معرفی شدند و سپس با روش Topsis این پنج منطقه اولویت بندی شدند. بحث و نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که دو مدل Topsis و ANP در کنار GIS کارایی بسیاری در مکان یابی دفن پسماندها را دارا می‌باشد که با تحقیقات انجام گرفته در سایر مناطق مطابقت دارد.
--	--	--

مطالعات پیشین حاکی از آن است که به واسطه اهمیت روزافزون مدیریت پسماندهای شهری، تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهانی در حال انجام است. هدف اصلی این پژوهش‌ها، شناسایی بهینه‌ترین مکان برای دفن پسماند با کمترین اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و کالبدی است. معیارها و متغیرهای مورد استفاده در این مطالعات، بسته به شرایط جغرافیایی و ویژگی‌های بوم‌شناختی هر منطقه متفاوت بوده‌اند. در مطالعه حاضر نیز با توجه به ویژگی‌های خاص شهرستان بندر ماهشهر به عنوان شهری ساحلی و دارای موقعیتی راهبردی از منظر محیط‌زیستی، تلاش شده است تا معیارهای انتخاب‌شده به‌گونه‌ای تعیین شوند که به‌طور کامل شرایط اکولوژیکی، اجتماعی و کالبدی منطقه را پوشش دهند. هدف نهایی، تعیین مکان پیشنهادی دفن پسماند است که با بهره‌گیری از روش‌های علمی و مبتنی بر استانداردهای موجود، از بیشترین انطباق با ملاحظات محیط‌زیستی و توسعه پایدار برخوردار باشد.

روش تحقیق

روش پژوهش حاضر ترکیبی از رویکردهای توصیفی، اسنادی، تحلیلی و مبتنی بر پیمایش است. که ابتدا محدوده مطالعاتی شهرستان بندر ماهشهر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی $\frac{1}{25000}$ مورد بررسی قرار گرفته و حدود آن تعیین شد. به منظور شناسایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل دفن زباله، داده‌ها از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری گردید. تهیه

لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز در محیط نرم‌افزار Arc GIS pro به صورت زیر انجام گرفت: لایه شیب با بهره‌گیری از روی مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه و از طریق ابزار Surface Analyses در بخش Spatial Analyze استخراج شد. لایه‌های فاصله‌ای شامل فاصله از شبکه زهکشی، خط ساحل، راه‌های ارتباطی، فرودگاه، راه‌آهن و سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی با آماده سازی نقشه‌های توپوگرافی $\frac{1}{25000}$ به فرمت Gis Ready تهیه شدند، نقشه‌ی زمین‌های کشاورزی، تالاب‌ها و مرداب‌ها از پایگاه داده طرح آمایش سرزمین استان استخراج شد و لایه‌های خاک‌شناسی از طریق رقومی نمودن نقشه خاکشناسی سازمان فائو حاصل شد. پس از تهیه لایه‌های برداری، داده‌ها با استفاده از ابزار فاصله اقلیدسی^۱ در Spatial Analyze به فرمت رستری تبدیل شدند. با توجه به ناهمگنی مقیاس معیارها، نرمال‌سازی داده‌ها با بهره‌گیری از توابع فازی (خطی افزایشی و خطی کاهش) صورت گرفت. سپس به منظور تحلیل و وزن دهی معیارها و زیرمعیارها، از فرایند سلسله مراتبی استفاده شد. وزن لایه‌ها از طریق ابزار Raster calculator اعمال گردید و در نهایت به کمک توابع فازی ترکیبی پنج‌گانه (AND, OR, SUM, GAMA, PRODUCT) لایه‌ها با یکدیگر تلفیق شدند و مکان‌های بهینه برای دفن زباله در شهرستان بندر ماهشهر شناسایی گردید.

جدول ۲- مکان یابی بهینه دفن زباله بندر ماهشهر

Table 2. Optimum location of Bandar-e Mahshahr landfill

معیارها	نام متغیر	محدودیت مکانی (متر)	روش نرمال سازی	وزن معیار
زیست محیطی	کشاورزی	۵۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۲۹
	رودخانه	۱۰۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۸۴
	خط ساحل	۱۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۹۱
	باتلاق و مردابها	۱۰۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۵۶
طبیعی	نوع خاک	طبقه بندی بر اساس نوع خاک	فازی خطی افزایشی	۰/۰۳
	شیب	هر چه شیب کمتر بهتر	فازی خطی کاهشی	۰/۰۱۵
کالبدی	شهرها	۱۰۰۰۰	فازی خطی کاهشی	۰/۲۷۶
	روستاها	۲۰۰۰	فازی خطی کاهشی	۰/۰۷۸
	راه های اصلی	۳۰۰	فازی خطی کاهشی	۰/۰۹
	راه های روستایی	۲۰۰	فازی خطی کاهشی	۰/۰۱۵
	راه آهن	۳۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۱۷
	فرودگاه	۳۰۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۴۴
	جاذبه های گردشگری	۳۰۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۸۷
	مراکز صنعتی	۱۰۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۶۳
	خطوط انتقال انرژی	۵۰۰	فازی خطی افزایشی	۰/۰۲۶

تجزیه و تحلیل

خاک: در ملاحظات مربوط به طراحی مکان دفن زباله، مطالعه و بررسی عمق آب های زیرزمینی و نفوذپذیری خاک از ضرورت های اولیه به شمار می آید. عمده ترین مشکل گودال های دفن زباله، مسئله آلودگی آب های زیرزمینی در اثر نفوذ شیرابه است. در این محل ها، آب های سطحی به تدریج برخی مواد زائد را در خود حل کرده و با شیرابه زباله ها مخلوط می شوند که در نتیجه آن مایعی بسیار آلوده تشکیل می گردد. بر همین اساس پرداختن به موضوع خاکشناسی و زمین شناسی در ملاحظات مربوط به طراحی عملیات و چگونگی حفاظت از آب های سطحی و زیرزمینی از ضرورت های اولیه به شمار می آید. مهم ترین مواردی که در این راستا باید به آن ها توجه شود عبارت اند از: تعیین مشخصات و عمق خاک، تعیین سنگ بستر، ضخامت، شناخت جنس و منشأ آن، تعیین الگوی چین خوردگی زمین، تعیین الگوی گسل ها و خطوط زلزله خیز، شناخت هوازگی، بررسی امکان لغزش خاک

و سنگ و مطالعه در خصوص تخلخل و نفوذپذیری خاک (۲۸) در فرآیند تحلیل داده ها، دو عامل از اهمیت بیشتری برخوردار بودند که به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته اند. به منظور تحلیل ویژگی های خاک منطقه، از نقشه خاک شناسی سازمان فائو استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی این نقشه نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، سه نوع خاک غالب وجود دارد. بر اساس شاخص های مرتبط با مکان یابی دفن پسماند، خاک لومرسی به عنوان مناسب ترین نوع خاک شناسایی شد، در حالی که لوم و لومرسی شنی به ترتیب در رتبه های دوم و سوم قرار گرفتند (۲۹). شیب: ارتفاع و شیب زمین با امتیاز مناسب بودن محل دفن زباله همبستگی معکوس دارند. یعنی ارتفاع و درجه شیب بالاتر تناسب کمتری دارند (۳۰). مطالعات قبلی نشان داد که یک شیب ملایم برای انتخاب مکان های دفن زباله مناسب تر از شیب تندتر است. شیب های بالاتر خطر زمین لغزش و سایر پدیده های شکست شیب

کاربری زمین کشاورزی: پوشش کاربری زمین یک معیار مهم زمین است که باید برای حل و فصل پذیرش عمومی در مورد انتخاب زمین برای مکان‌های دفن زباله در نظر گرفته شود (۲۱).

تالاب و مرداب‌ها: مکان‌های دفن بهداشتی در نزدیکی مکان‌های حساس مانند پارک‌های کودکان، پارک طبیعی، ادارات، بانک‌ها و غیره و یا در مناطق حیاتی زیستگاه و مناطق حساس به محیط‌زیست مجاز نیستند. بنابراین، این پارامتر باید در نظر گرفته شود زیرا مکان‌های دفن زباله نباید در نزدیکی مکان‌های محدود و حساس مجاز باشد (۴۱).

پهنه‌های جمعیتی: جمعیت یکی از پارامترهای کلیدی در تعریف و شناسایی مناطق مسکونی است، چرا که تراکم بالای جمعیت اغلب در مناطق دارای دسترسی آسان و زیرساخت‌های رفاهی مناسب مشاهده می‌شود. با این حال، به دلیل پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی، دفن پسماند در نزدیکی مناطق با تراکم جمعیت بالا توصیه نمی‌شود. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که در مجاورت نواحی پرجمعیت، میزان مخالفت عمومی نسبت به مکان‌یابی محل دفن زباله به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که این امر منجر به کاهش مطلوبیت مکان از منظر اجتماعی می‌گردد. بنابراین، انتخاب محل دفن باید به‌گونه‌ای باشد که فاصله مناسبی از نواحی شهری و روستایی حفظ شود. در این مطالعه، فاصله حداقل ۱۰ کیلومتر از شهرها و ۲ کیلومتر از روستاها به عنوان معیارهای مکانی در نظر گرفته شده است (۴۲).

پهنه‌های صنعتی: در نظر گرفتن مکان صنعتی یک پارامتر حیاتی برای راه‌اندازی سایت جدید دفن زباله است، زیرا دفع MSW در منطقه صنعتی ممنوع است (۴۳). برای پهنه‌های صنعتی محدودیت یک کیلومتری در نظر گرفته شده است.

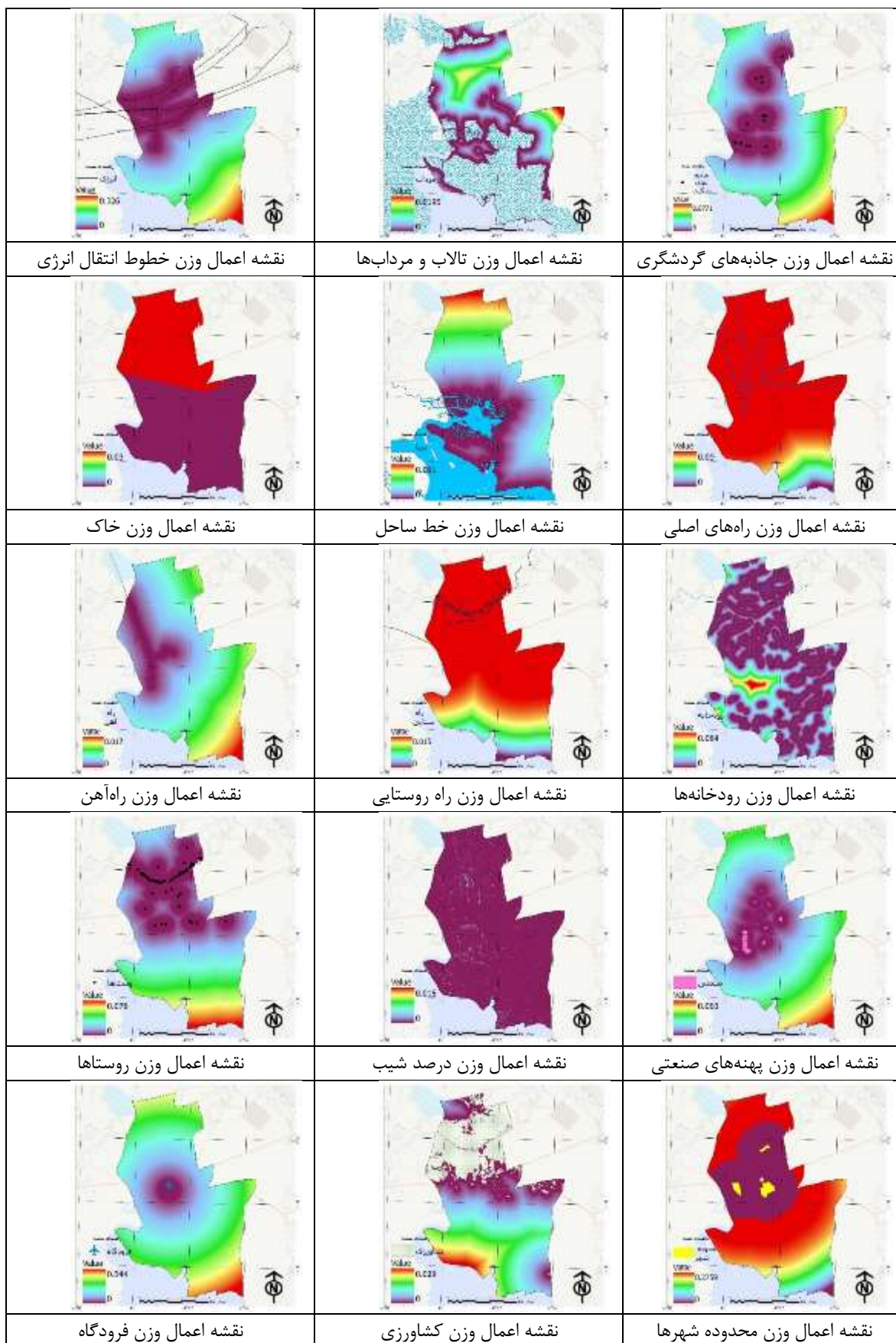
جاذبه‌های گردشگری: بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست محدودیت سه کیلومتری برای جاذبه‌های گردشگری در نظر گرفته شده است.

خطوط انتقال انرژی: در این تحقیق محدودیت مکانی ۵۰۰ متر لحاظ گردیده است.

را افزایش می‌دهند و به‌طور بالقوه برای مکان‌های دفن زباله نامناسب هستند (۳۱). مطالعات دیگر نیز نشان داد که باید از منطقه‌ای با شیب کمتر از ۱۰ درجه استفاده شود. بنابراین، شیب کمتر از ۱۰ درجه مناسب‌تر است، درحالی‌که منطقه‌ای با شیب بیشتر از ۲۰ درجه را نیز نمی‌توان برای محل دفن بهداشتی در نظر گرفت (۳۲). شهرستان بندر ماهشهر دارای شیب زیادی نیست در این تحقیق نیز شیب‌های کمتر بهترین ارزش و هر چه شیب افزایش پیدا کرده است از ارزش آن کاسته شده است.

دسترسی‌ها: طبق دستورالعمل‌ها، قبل از در نظر گرفتن مکانی برای دفع زباله، باید فاصله مشخصی از معیارهای مرتبط با نزدیکی مانند راه‌آهن، جاده‌ها و مترو رعایت شود (۳۰). مطالعات قبلی نیز با همین واقعیت موافق بودند و از بهترین امتیاز مناسب برای فاصله بیشتر از شبکه‌های جاده‌ای استفاده کردند (۳۰). همچنین دار و همکاران (۲۰۱۸) (۳۳) اظهار داشتند که باید ۵۰۰ متر بافر برای جاده‌ها ایجاد شود تا از آلودگی محل‌های تخلیه جلوگیری شود. حسن و همکاران (۲۰۰۹) (۳۴) پیشنهاد کردند که مکان‌های دفن زباله باید در فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متری از جاده‌ها قرار گیرند. طبق گفته صفویان و همکاران (۲۰۱۵) (۳۵) و اوما و همکاران (۲۰۱۱) (۳۶)، منطقه حائل جاده تا ۳۰۰ متر برای ایجاد دفن زباله مناسب است. المیرا و همکاران (۲۰۱۰) (۳۷) توافق کردند که کمتر از ۵۰۰ متر بافر جاده برای مکان‌های دفن زباله مناسب است. در این مطالعه، فاصله بین ۱۰۰۰-۲۰۰۰ متر، ۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر، ۳۰۰۰-۴۰۰۰ متر به ترتیب بسیار مناسب، متوسط مناسب و کم مناسب بودند. درحالی‌که مسافت $4000 >$ متر برای سایت‌های دفن زباله نامناسب بود. الانباری و همکاران (۲۰۱۴) (۳۸) توصیه کردند که مکان‌های دفن زباله نباید بیش از ۲۰۰۰ متر از جاده‌ها فاصله داشته باشند. مکان‌های دفن زباله به دلیل افزایش هزینه حمل‌ونقل زباله، نباید خیلی از جاده دور باشند (۳۹).

آب‌های سطحی: دفن زباله می‌تواند تهدیدی بلندمدت برای آب‌های سطحی و زیرزمینی باشد (۴۰). بنابراین، مکان‌های دفن زباله باید در فاصله‌ای مشخص از آب‌های سطحی مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و برکه‌ها قرار گیرند (۲۷).



شکل ۱- نقشه‌های شهرستان با دیدگاه‌های تخصصی

Figure1. Maps of the city with expert views

$$\mu_{Combination} = MAX(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$$

در این رابطه μ_A, μ_B, μ_C بیانگر مقادیر عضویت فازی واحدهای پیکسلی موجود در هر فاکتور در یک موقعیت مشخص می‌باشند.



شکل ۳- روی هم گذاری لایه‌ها با استفاده از عملگر اجتماع فازی (Fuzzy OR)

Figure 3. On overlaying layers using the Fuzzy OR operator.

عملگر ضرب فازی (Fuzzy Algbabic Product)

عملگر ضرب فازی در یک موقعیت مشخص، درجه عضویت واحدهای پیکسلی را در فاکتورهای مختلف در یکدیگر ضرب نموده و در نقشه نهایی منظور می‌نماید. این عملگر به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$\mu_{Combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

در این رابطه μ_i بیانگر وزن فاکتور i ام است. با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی کوچک شده و به سمت صفر میل می‌کنند، بنابراین اثر کاهشی خواهد داشت.

روهمگذاری نقشه‌ها: با استفاده از عملگرهای فازی عملیات تلفیقی موردنظر انجام شده است. پنج عملگر فازی به نام اشتراک فازی (Fuzzy AND)، اجتماع فازی (Fuzzy OR)، ضرب فازی (Fuzzy Algbabic Product)، جمع فازی (Fuzzy Operation) و گاما (Algbabic Sum) و فازی گاما (Gamma) برای تلفیق مجموعه فاکتورها استفاده شده‌اند. عملگر اشتراک فازی (Fuzzy AND): عملگر اشتراک فازی، مشابه عملگر اشتراک در مجموعه‌های کلاسیک است. این عملگر به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$\mu_{Combination} = \min(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$$

این عملگر اشتراک مجموعه‌هاست. بدین صورت که حداقل درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند.

در پارامترهای مستقل و در مواردی که دو یا چند قسمت از شواهد لازم برای اثبات فرضیه بایستی باهم وجود داشته باشند، استفاده از عملگر "AND" مناسب است. بر اساس این تابع چهار پهنه پیشنهاد شده است.



شکل ۲- نقشه روی هم گذاری لایه‌ها با استفاده از عملگر اشتراک فازی (Fuzzy AND)

Figure 2. of layer overlay map using Fuzzy AND operator.

عملگر اجتماع فازی (Fuzzy OR)

این عملگر مشابه عملگر اجتماع در مجموعه‌های کلاسیک است که به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد.

جامد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. دفع زباله‌های جامد در سایت‌های فعلی دفع پسماند، تأثیرات منفی بر محیط‌زیست و جوامع می‌گذارد. بنابراین، تکنیک‌های مدیریت پسماند دفن زباله بر مبنای پایداری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. با این حال، انتخاب نادرست محل دفن می‌تواند منجر به مشکلات زیست‌محیطی جدی گردد. برای به حداقل رساندن اثرات منفی محل دفن زباله، تکنیک‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDAE) مبتنی بر GIS، در شناسایی مکان‌های مناسب دفن زباله بسیار مؤثر هستند، زیرا این تکنیک‌ها امکان مشارکت چندین پارامتر را در فرآیند تصمیم‌گیری فراهم کرده و راه‌حل‌های جایگزین مختلفی برای حل مشکل ارائه می‌دهند. در این مطالعه، مناسب بودن محل دفن زباله بر اساس پارامترهای کالبدی، طبیعی و زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفت و در مجموع، ۱۵ معیار برای انتخاب مکان دفن زباله مطابق با شرایط منطقه پژوهش، انتخاب شد. از جمله این معیارها می‌توان به کاربری زمین‌های کشاورزی، رودخانه‌ها، خط ساحلی، باتلاق‌ها و مرداب‌ها، نوع خاک، درصد شیب، شهرها، روستاها، راه‌های اصلی، راه‌های روستایی، راه‌آهن، فرودگاه، جاذبه‌های گردشگری، مراکز صنعتی و خطوط انتقال انرژی اشاره کرد. در این مطالعه، از یک رویکرد یکپارچه GIS و MCDAE، شامل تکنیک‌های AHP و Fuzzy، برای انتخاب محل دفن زباله استفاده شد. در این روش، AHP برای استانداردسازی لایه‌های مورد استفاده به‌عنوان معیار و اولویت‌بندی معیارها به‌کار گرفته شد. همچنین، از AHP برای مقایسه دو معیار در یک زمان با استفاده از قضاوت متخصص و ماتریس مقایسه زوجی، شامل مجموعه‌ای از وزن‌ها (بردار ویژه و نسبت سازگاری)، استفاده گردید. تکنیک Fuzzy نیز برای تهیه نقشه مکان‌های مناسب دفن زباله به‌کار رفت که در آن تمامی معیارها و امتیازدهی‌ها لحاظ شدند. نقشه تناسب بر اساس نقشه‌های موضوعی تهیه‌شده و سطح تناسب مکان‌ها به‌صورت نامناسب، نسبتاً مناسب و مناسب تعیین شد. در این تحقیق، از پنج تابع فازی (AND, OR, SUM, PRODUCT, GAMA) برای تعیین مناطق مناسب استفاده شد و در نهایت، تابع Gama با مقدار ۰/۹ به‌عنوان تابع نهایی انتخاب سایت دفن زباله برگزیده شد. چهار سایت نهایی برای



شکل ۴- روی هم‌گذاری لایه‌ها با عملگر ضرب فازی

(Fuzzy Algebraic Product)

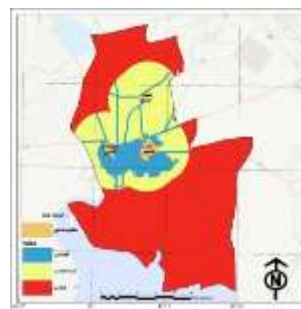
Figure 4. On overlaying the layers with fuzzy multiplication operator) Fuzzy Algebraic Product).

عملگر جمع فازی (Fuzzy Algebraic Sum)

این عملگر مکمل عملگر ضرب فازی است که با استفاده از رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$\mu_{Combination} = 1 - \left(\prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right)$$

با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی بزرگ شده و به سمت ۱ میل می‌کنند که در نتیجه اثر افزایشی خواهد داشت.



شکل ۵- روی هم‌گذاری لایه‌ها با عملگر جمع فازی

(Fuzzy Algebraic Sum)

Figure 5. On combining layers with fuzzy sum operator (Fuzzy Algebraic Sum)

نتیجه‌گیری

مدیریت پسماند جامد شهری یک مشکل جدی در سراسر جهان است و در کشورهای در حال توسعه، مانند ایران، به‌ویژه در شهرستان‌های بندری همچون بندر ماهشهر، به دلیل موقعیت استراتژیک زیست‌محیطی و مدیریت ضعیف تولیدات پسماند

4. Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., & Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of the Total Environment*, 803, 149892.
5. Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1433-1456.
6. Godswill, A. C., Gospel, A. C., Otuosorochi, A. I., & Somtochukwu, I. V. (2023). Industrial and community waste management: global perspective. *American Journal of Physical Sciences*, 1(1), 1-16.
7. Bao, Z., & Lu, W. (2023). Applicability of the environmental Kuznets curve to construction waste management: A panel analysis of 27 European economies. *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106667.
8. Siddiqui, M.Z., Everett, J.W., & Vieux, B.E.; (1996) Landfill siting using geographic information systems: A demonstration, *Journal of Environmental Engineering*, 1996, 122(6):515-523.
9. Khan, S., Anjum, R., Raza, S. T., Bazai, N. A., & Ihtisham, M. (2022). Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives. *Chemosphere*, 288, 132403.
10. Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*, 206, 112285.

پسماند انتخاب شدند که نتایج نشان داد سه سایت برای شهرهای بندر ماهشهر و بندر امام خمینی و یک سایت برای شهرک شهید چمران قابل استفاده هستند.

بنابراین، شهرسازان، مسئولان شهرداری و کارشناسان باید برای توسعه پایدار شهر تلاش بیشتری کرده و مکان مناسبی برای دفن زباله جدید ایجاد نمایند. این مکان باید برای مدیریت یکپارچه پسماندهای جامد، داشتن محیط زیست سالم و ارتقاء ایمنی عمومی طراحی گردد. در این راستا، این مطالعه می‌تواند به عنوان راهنما و منبعی مفید برای برنامه‌ریزان شهری در انتخاب مناطق مناسب برای مکان‌یابی سایت‌های جدید دفن زباله عمل کند. همچنین، استفاده از محل دفن زباله روباز فعلی توصیه نمی‌شود، زیرا این محل به دلیل موقعیت نامناسب و نزدیکی به شاخص‌های زیست‌محیطی باید با محل دفن جدید جایگزین گردد.

References

1. Abedini, M., & Saraei, B. (2023). Evaluating the environmental effects of waste burial in Saravan forests using the ANP network analysis model and choosing the appropriate place for waste burial. *Geography and Human Relationships*, 5(4), 760-777.
2. Calla, S., Guinchard, C., Moine, A., Novello-Paglianti, N., Nuninger, L., & Ogorzelec-Guinchard, L. (2023). Confronting the Uncertainties Associated with Long-Time Scales: Analysis of the Modes of Preservation of Memory of Radioactive Waste Burial Sites. *Worldwide Waste: Journal of Interdisciplinary Studies*, 6(1), 1.
3. Christy, H. L., Paulus, J., Raranta, R., & Tamod, Z. E. (2023). Analysis of The Characteristics Waste Buried in Landfill of North Sulawesi Province. *International Journal of Advanced Energy, Life Science and Environment Sustainability*, 3(3).

- GIS (case study: Lorestan province). (In Persian)
17. Yin, B., Guangquan, Z., Xue, W., Du, Y., & Fengmin, L. (2023). Investigation on nitrogen leaching control in the semi-arid area of Loess Plateau restrained by surface soil covering and massive burying of vegetable waste. *Journal of Agriculture Resources and Environment*, 40(2), 434.
 18. Overcamp, T. J. (2019). Low-level radioactive waste disposal by shallow land burial. In *Handbook of Environmental Radiation* (pp. 207-267). CRC Press.
 19. Rafey, A., & Siddiqui, F. Z. (2023). A review of plastic waste management in India—challenges and opportunities. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(16), 3971-3987.
 20. Baralla, G., Pinna, A., Tonelli, R., & Marchesi, M. (2023). Waste management: A comprehensive state of the art about the rise of blockchain technology. *Computers in Industry*, 145, 103812.
 21. Al-Obadi, M., Ayad, H., Pokharel, S., & Ayari, M. A. (2022). Perspectives on food waste management: Prevention and social innovations. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 190-208.
 22. Mohsin, M., Ali, S., Shamim, S. et al. (2022). A GIS-based novel approach for suitable sanitary landfill site selection using integrated fuzzy analytic hierarchy process and machine learning algorithms. *Environ Sci Pollut Res* 29, 31511–31540 <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17961-x>
 11. Bui, T. D., Tseng, J. W., Tseng, M. L., Wu, K. J., & Lim, M. K. (2023). Municipal solid waste management technological barriers: A hierarchical structure approach in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106842.
 12. Shah, S. A. R., Zhang, Q., Abbas, J., Tang, H., & Al-Sulaiti, K. I. (2023). Waste management, quality of life and natural resources utilization matter for renewable electricity generation: The main and moderate role of environmental policy. *Utilities Policy*, 82, 101584.
 13. Satrabi, Fariba; Sheikhi, Hojjat. (1401). Locating the waste burial site of Ravansar city with fuzzy method in GIS environment, 8th annual international congress on civil engineering, architecture and urban development, Tehran. (In Persian)
 14. Talebi, Mohammad Sadiq. (1402)., locating the landfill site of Shahr Ardakan using multi-criteria decision making modeling in GIS environment, <https://civilica.com/doc/1676048>. (In Persian)
 15. Askari Jabarabadi, Maitham; Najar Khodabakhsh, Zahra; Malekpour, Fatima. (1401). Locating the sanitary waste burial site of Kashan city using weighting methods and geographic information system GIS, 8th international conference on knowledge and technology of agricultural sciences, natural resources and environment of Iran, Tehran, <https://civilica.com/doc/1651856>. (In Persian)
 16. Chegini, but; Kayani Sadr, Maryam; Cheraghi, Mehrdad. (1400). Locating hazardous waste landfills using multi-criteria decision-making methods and

- <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-019-00935-0>
28. Amani Lari, Sara; Mirjalili, Vali Elah. (1401). Geological origin of dust and soil in the villages west of Bandar Abbas, 41st National Conference of Earth Sciences, Tehran, <https://civilica.com/doc/1665419>. (In Persian)
 29. Bagheri Badaghabadi, Mohsen; Tomanyan, Norayer. (2018). Examining the compatibility of the structure of the geosol method with the soil classification system in soil-landscape models using conditional probabilities, <https://civilica.com/doc/1663594>. (In Persian)
 30. Ali SA, Ahmad A (2020) Suitability analysis for municipal landfill site selection using fuzzy analytic hierarchy process and geospatial technique. *Environ Earth Sci* 79:1–27. <https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1007/s12665-020-08970-z>
 31. Ebistu TA, Minale AS (2013) Solid waste dumping site suitability analysis using geographic information system (GIS) and remote sensing for Bahir Dar Town, North Western Ethiopia. *Afr J Environ Sci Technol* 7(11):976–989. <https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.5897/AJEST2013.1589>
 32. Ali, S. A., Parvin, F., Al-Ansari, N., Pham, Q. B., Ahmad, A., Raj, M. S., ... Thai, V. N. (2020). Sanitary landfill site selection by integrating AHP and FTOPSIS with GIS: a case study of Memari Municipality, India. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-020-11004-7
 23. Manguri, S.B.H., Hamza, A.A. Sanitary Landfill Site Selection Using Spatial-AHP for Pshdar Area, Sulaymaniyah, Kurdistan Region/Iraq. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng* 46, 1345–1358 (2022). <https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1007/s40996-021-00605-y>
 24. Ali, S.A., Parvin, F., Al-Ansari, N. et al. (2021). Sanitary landfill site selection by integrating AHP and FTOPSIS with GIS: a case study of Memari Municipality, India. *Environ Sci Pollut Res* 28, 7528–7550. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11004-7>
 25. Sk, M.M, Ali, SA., & Ahmad, A. (2020) Optimal Sanitary Landfill Site Selection for Solid Waste Disposal in Durgapur City Using Geographic Information System and Multi-criteria Evaluation Technique. *Environ Sci Pollut Res* 70, 163–180 <https://link.springer.com/article/10.1007/s42489-020-00052-1#citeas>
 26. Cobos Mora, S. L., & Solano Peláez, J. L. (2020). Sanitary landfill site selection using multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process: A case study in Azuay province, Ecuador. *Waste Management & Research*, 0734242X2093221. doi:10.1177/0734242X20932213 (<https://doi.org/10.1177/0734242X20932213>)
 27. Karakuş, C. B., Demiroğlu, D., Çoban, A., & Ulutaş, A. (2020). Evaluation of GIS-based multi-criteria decision-making methods for sanitary landfill site selection: the case of Sivas city, Turkey. *Journal of Material Cycles and WasteManagement*. doi:10.1007/s10163-019-00935-0

- <https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.4236/ns.2014.65032>.
39. Ajibade, O. F., Olajire, O. O., Ajibade, T. F., Nwogwu, N. A., Lasisi, K. H., Alo, A. B., et al. (2019). Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian state. *Environmental and Sustainability Indicators*.
<https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1016/j.indic.2019.100010>.
 40. Gorsevski PV, Donevska KR, Mitrovski CD, Frizado JP (2012) Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average. *Waste Manag* 32(2):287–296.
<https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1016/j.wasman.2011.09.023>
 41. Kontos TD, Komilis DP, Halvadakis CP (2005) Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Manag* 25(8):818–832. <https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1016/j.wasman.2005.04.002>
 42. Babalola A, Busu I (2011) Selection of landfill sites for solid waste treatment in Damaturu town-using GIS techniques. *J Environ Prot* 2:1–10. <https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.4236/jep.2011.21001>
 43. Palarari H, Farzadkia M, Gholami M, Emamjomeh MM (2019) Management of landfill leachate in Iran: valorization, characteristics, and environmental approaches. *Environ Chem Lett* 17:335–348.
<https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1007/s10311-018-0804-x>
 44. Rafiee R, Khorasani N, Mahiny AS, Darvishsefat AA, Danekar A, Hasan SE (2011) Siting transfer stations for [\(<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11004-7>\)](https://doi.org/10.1007/s11356-020-11004-7)
 33. Dar, S. N., Wani, M. A., Shah, S. A., & Skinder, S. (2018). Identification of suitable landfill site based on GIS in Leh, Ladakh Region. *GeoJournal*, 84, 1499–1513.
<https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1007/s10708-018-9933-9>.
 34. Hasan, M. R., Tetsuo, K., & Islam, S. A. (2009). Landfill demand and allocation for municipal solid waste disposal in Dhaka city—an assessment in a GIS environment. *Civil Engineering Journal*, 37(2), 133–149.
 35. Safavian, S. T. S., Fataei, E., Ebadi, T., & Mohamadian, A. (2015). Site selection of sarein's municipal solid waste landfill using the GIS technique and SAW method. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6(12).
 36. Ouma, Y. O., Kipkorir, E. C., & Tateishi, R. (2011). MCDA-GIS integrated approach for optimized landfill site selection for growing urban regions: an application of neighborhood-proximity analysis. *Annals of GIS*, 17(1), 43–62. <https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1080/19475683.2011.558021>.
 37. Elmira, S., Behzad, N., Mazlin, B. M., Ibrahim, K., Halima, T., & Saadiah, H. (2011). Urban solid waste management based on geo-informatics technology, University Putra Malaysia. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, 3(2), 54–60.
 38. Al-Anbari, M. A., Al-Ansari, N., & Jasim, H. K. (2014). GIS and Multicriteria decision analysis for landfill site selection in Al-Hashimiyah Qadaa. *Natural Science*, 6(5), 282–304.

municipal solid waste using a spatial multi-criteria analysis. Environ Eng Geosci 17(2):143–154.
<https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.2113/gseegeosci.17.2.143>