Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences
rsgi.tabrizu.ac.ir

Identification and Evaluation of Optimum Sites for Construction Waste Landfill in Bukan

Marziyeh Esmaeilpour[1]✉, Manijeh Lalehpour[2], Chia Najari[3]

1. Corresponding Author, Associate Professor, Geography and Urban Planning, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: s.esmaeilpour@gmail.com
2. Associate Professor, Geography and Urban Planning, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: m.lalepour@gmail.com
3. MA in Geography and Urban Planning, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: chia.nadjari@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 21 July 2025
Revised: 28 December 2025
Accepted: 1 February 2026
Published: 29 April 2026

Keywords:
Construction waste,
site selection,
geographic information system,
Fuzzy logic,
Bukan.

ABSTRACT

Objective: In the twentieth century, rapid urbanization and population growth led to increased construction, resulting in large volumes of construction waste and significant environmental challenges. Bukan County, due to its rapid spatial and physical development, has become one of the regions with a high volume of such waste, making it an ideal study area for identifying suitable construction waste disposal sites. The primary aim of this study is to minimize environmental impacts, improve public health, and optimize resource use through data-driven decision-making based on spatial analysis.

Methods: In this study, the criteria for site selection include surface and groundwater resources, proximity to roads, rivers, urban and rural settlements, vegetation cover, land use, soil type, geology, slope, and elevation. These criteria were standardized using fuzzy logic functions and then integrated through the fuzzy gamma operator to generate a final land suitability map for construction waste disposal.

Results: The results show that the fuzzy values fall within a low range, highlighting significant limitations in finding suitable disposal sites within Bukan County. No area in the region fully meets the ideal criteria for site selection, with factors such as unfavorable topography and limited access to transportation networks being the primary challenges. However, by modification of the initial strict criteria and adopting a more flexible approach, three potential sites were identified as optimal options. These sites were selected based on their environmental advantages, accessibility, and reduced transportation costs.

Conclusions: This study provides a practical, low-risk decision-support tool for local policymakers in managing construction waste.

Cite this article: Esmaeilpour, M., Lalehpour, M., & Najari, Ch. (2026). Identification and Evaluation of Optimum Sites for Construction Waste Landfill in Bukan. *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 6 (19), 31-51. http//doi.org/10.22034/rsgi.2026.68129.1142

© The Author(s).
Publisher: University of Tabriz.
DOI: http//doi.org/10.22034/rsgi.2026.68129.1142

Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences
rsgi.tabrizu.ac.ir

Introduction

In recent years, rapid population growth, industrialization, excessive urbanization, increasing diversity in solid waste, and poor waste management practices have been major contributors to the growing volume of solid waste and environmental degradation. Developing countries face significant challenges in selecting and managing waste disposal sites due to factors such as urban expansion, changes in land use, and waste mismanagement (Zarrin et al., 2021). The construction sector, in particular, is a significant source of environmental pollution, leading to land use changes, surface water contamination, greenhouse gas emissions, dust, and the accumulation of construction and demolition waste (Araiza-Aguilar, 2019). Construction waste, which arises from construction, renovation, and demolition activities, includes inert and non-neutral materials such as concrete, steel, wood, and glass. These wastes not only degrade the environment but also consume valuable landfill space and can result in geological hazards, requiring careful management (Lu et al., 2021). Landfills are a crucial component of waste management systems, which encompass waste reduction, reuse, recycling, composting, and ultimately, landfilling. Selecting optimum disposal sites is one of the most critical and challenging steps in waste management (Zarrin et al., 2021). Choosing a landfill site involves ensuring that waste is disposed of in a safe and environmentally responsible manner, minimizing risks to public health and the environment while accommodating the needs of the local community (Arabeyyat et al., 2024).

This study aims at identifying optimal sites for construction waste disposal in Bukan City. Using fuzzy logic integrated within a Geographic Information System (GIS), the study overlays various thematic layers to determine suitable locations for construction waste landfills in Bukan County.

Materials and Methods

Construction waste is an increasing global concern, and managing it through a circular economy approach requires decision-making tools that evaluate multiple criteria for identifying the most suitable disposal sites (Soto-Paz et al., 2023). Commonly selected criteria for site evaluation include elevation, slope, land use, vegetation, proximity to rivers, soil type, accessibility, groundwater levels, geology, and distance to valuable ecosystems, cities, and villages. Fuzzy logic, in the context of GIS, was used to combine these criteria and create suitability maps.

To prepare a land suitability map for construction waste disposal in Bukan County, thematic layers related to the studied criteria were first converted into fuzzy values. Fuzzy logic, a widely used method for site selection, follows a standard workflow that involves defining the problem and selection criteria, gathering spatial data, assigning fuzzy membership values, performing fuzzy overlay, and validating results (Akinci and Özalp, 2022). Various functions, such as linear (increasing or decreasing), Gaussian, near, small and large are used to standardize these layers. In this study, linear decreasing, increasing, and user-defined functions were employed for fuzzification. The criteria were categorized into three groups based on their suitability for construction waste disposal:

1. Criteria where higher values indicate more suitable areas. This group includes distance from valuable ecosystems, geology, soil, proximity to rivers, groundwater level, distance to villages, and land use. An increasing linear fuzzy function was applied to these layers.
2. Criteria where lower values indicate more suitable areas. This group includes elevation, vegetation cover, and proximity to roads. A decreasing linear fuzzy function was used for these layers.
3. Criteria with a non-linear relationship to site suitability, including slope and distance to the city. Due to software limitations, Terrset software and a user-defined function were used for fuzzification.

Results

The results of overlaying and combining the thematic layers for site selection indicate that only about 1.08% of Bukan county is highly suitable for construction waste disposal, while 22.4% is moderately suitable. Over 82% of the area falls into low to very low suitability for waste disposal. These low-suitability areas are primarily due to the area's fertile soil, surrounding villages, mountainous terrain, high groundwater levels, and distance to the city. Three locations—labeled S1, S2, and S3—have been identified as suitable for construction waste landfills, based on the presence of favorable conditions such as suitable slope, elevation, access to communication networks, poor vegetation cover, and low agricultural potential. Field studies indicate that site S1, located behind

Naleh Shekineh Mountain and northeast of Damdaran Town, has the most favorable conditions for landfill development.

Conclusion

This study highlights the need for effective waste management in Bukan County, particularly given the current issues with illegal waste disposal, especially construction waste, along roads, riverbanks, and around the city. With the accelerating pace of urban development and renovation, proper waste management practices are crucial. Selecting appropriate landfill sites involves multiple criteria, each contributing unique challenges. The ultimate goal is to identify locations that minimize environmental harm and economic costs. Factors such as pollution of groundwater resources, soil contamination, and the environmental limitations of the available sites are key considerations in this process. The results indicate that only limited areas in Bukan County are suitable for construction waste disposal, with areas in the northeastern, eastern, and southwestern perimeters being the most viable. However, limitations such as high groundwater levels, geological factors, and vegetation cover reduce the suitability of these areas.

References

Akinci, H., Özalp, A.Y. Optimal site selection for solar photovoltaic power plants using geographical information systems and fuzzy logic approach: a case study in Artvin, Turkey. *Arab J Geosci* 15, 857 (2022). https://doi.org/10.1007/s12517-022-10129-y

Arabeyyat, O., Shatnawi, N., Shbool, M., Al Shraah, A., (2024) Landfill site selection for sustainable solid waste management using multiple-criteria decision-making. Case study: Al-Balqa governorate in Jordan, *MethodsX*, Volume 12, https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102591.

Araiza-Aguilar, J. A., Gutiérrez-Palacios, C., Rojas-Valencia, M. N., Nájera-Aguilar, H. A., Gutiérrez-Hernández, R. F., & Aguilar-Vera, R. A. (2019). Selection of Sites for the Treatment and the Final Disposal of Construction and Demolition Waste, Using Two Approaches: An Analysis for Mexico City. *Sustainability*, *11*(15), 4077. https://doi.org/10.3390/su11154077

Lu, W., Lou, J., Webster, C., Xue, F., Bao, Z., Chi, B., (2021) Estimating construction waste generation in the Greater Bay Area, China using machine learning, *Waste Management*, Volume 134, Pages 78-88, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.012.

Soto-Paz,J., Arroyo, O., Torres-Guevara, L., Parra-Orobio, B., Casallas-Ojeda, M., (2023) The circular economy in the construction and demolition waste management: A comparative analysis in emerging and developed countries, *Journal of Building Engineering*, Volume 78, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107724.

Zarin, R., Azmat, M., Naqvi, S.R. *et al.* (2021) Landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC method based on multi-criteria decision analysis. *Environ Sci Pollut Res* **28**, 19726–19741. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11975-7

نشریه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی
rsgi.tabrizu.ac.ir

شناسایی و ارزیابی محل‌های بهینه دفن پسماندهای ساختمانی شهر بوکان

مرضیه اسمعیل‌پور[۱]✉، منیژه لاله‌پور[۲]، چیا نجاری[۳]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: s.esmaeilpour@gmail.com
۲. دانشیار، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: m.lalepour@gmail.com
۳. کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: chia.nadjari@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۰۹

کلیدواژه‌ها:
پسماند ساختمانی،
مکان‌یابی،
سیستم اطلاعات جغرافیایی،
منطق فازی،
بوکان.

چکیده

در قرن بیستم، رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت موجب گسترش ساخت‌وساز و در نتیجه تولید حجم بالایی از پسماندهای ساختمانی شد که چالش‌های زیست‌محیطی متعددی را موجب شده‌اند. شهرستان بوکان به دلیل توسعه فضایی- کالبدی سریع، یکی از مناطق دارای حجم بالای این نوع پسماندهاست و از این‌رو به‌عنوان محدوده مطالعاتی برای مکان‌یابی محل دفن زائدات ساختمانی انتخاب شد. هدف اصلی این پژوهش، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی، ارتقای سلامت عمومی و بهینه‌سازی مصرف منابع از طریق تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های مکانی است. در این تحقیق، معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی شامل منابع آب سطحی و زیرزمینی، فاصله از جاده‌ها، رودخانه‌ها و سکونتگاه‌های شهری و روستایی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، شیب و ارتفاع می‌باشند. این معیارها با کاربست توابع فازی استانداردسازی و سپس به کمک عملگر گامای فازی ترکیب شدند تا نقشه نهایی تناسب اراضی برای دفع پسماندهای ساختمانی تهیه شود. نتایج نشان داد که مقادیر فازی در محدوده‌ای پایین قرار دارند که بیانگر وجود محدودیت‌های شدید برای مکان‌یابی سایت‌های مناسب در شهرستان بوکان است. هیچ پهنه‌ای در منطقه از نظر معیارهای ایده‌آل مکان‌یابی شرایط کاملاً مطلوب ندارد؛ عواملی مانند توپوگرافی نامناسب و دسترسی محدود به شبکه‌های ارتباطی از مهم‌ترین موانع هستند. با این حال، سه سایت پیشنهادی با تعدیل معیارهای سخت‌گیرانه اولیه و بر اساس رویکردی سازگار انتخاب شدند. این سایت‌ها به دلیل مزایای زیست‌محیطی، دسترسی بهتر و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، به‌عنوان گزینه‌های بهینه معرفی گردیدند. پژوهش حاضر با ارائه یک روش ترکیبی فازی- مکانی، ابزار عملی و کم‌ریسک برای تصمیم‌گیرندگان محلی در مدیریت پسماندهای ساختمانی فراهم می‌کند.

استناد: اسمعیل‌پور، مرضیه؛ لاله‌پور، منیژه و نجاری، چیا (۱۴۰۵). شناسایی و ارزیابی محل‌های بهینه دفن پسماندهای ساختمانی شهر بوکان. *کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی*، ۶ (۱۹)، ۳۱-۵۱
http//doi.org/10.22034/rsgi.2026.68129.1142

ناشر: دانشگاه تبریز.
© نویسندگان.

مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش ناگهانی جمعیت، صنعتی شدن سریع، شهرنشینی بی‌رویه، تنوع در پسماندهای جامد و مدیریت نادرست از عوامل اصلی افزایش تولید زباله جامد و در نتیجه تخریب محیط زیست هستند. کشورهای در حال توسعه به دلایل متعدد از جمله توسعه شهری، تغییرات کاربری اراضی و در نتیجه سوءمدیریت پسماندها، در انتخاب و مدیریت مکان‌های دفع زباله با چالش مواجه هستند (زرین و همکاران، ۲۰۲۱). فعالیت‌های انجام شده در بخش ساخت و ساز منبع آلودگی محیط زیست است. معمولاً آسیب‌هایی مانند تغییر کاربری زمین، آلودگی آب‌های سطحی، تولید گازهای گلخانه‌ای، گرد و غبار و زباله‌های ساختمانی و تخریب ایجاد می‌کند (آرایزا آگولار، ۲۰۱۹).

پسماند[1] به مواد جامد، نیمه‌جامد و مایع (به استثنای فاضلاب) اطلاق می‌گردد که به طور مستقیم یا غیرمستقیم حاصل فعالیت‌های انسان بوده و از نظر تولیدکننده، زائد در نظر گرفته می‌شود. پسماندها به پنج دسته شامل پسماندهای عادی، پسماندهای پزشکی (بیمارستانی)، پسماندهای ویژه، پسماندهای کشاورزی و پسماندهای صنعتی طبقه‌بندی می‌شوند (پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران، ۱۳۹۲). زباله‌های ساختمانی، زباله‌های جامد تولید شده توسط فعالیت‌های ساخت و ساز، نوسازی یا تخریب است و شامل مواد بی‌اثر و غیرخنثی از قبیل بتن، فولاد، چوب، شیشه و غیره است. این پسماندها به طور قابل توجهی باعث تخریب محیط زیست می‌شود، فضای ارزشمند دفن زباله را مصرف می‌کنند، باعث مخاطرات زمین‌شناسی و پیامدهای نامطلوب می‌شوند؛ بنابراین نیاز به مدیریت دقیق دارند (لو و همکاران، ۲۰۲۱). بخش قابل‌توجهی از پسماندهای شهری را پسماندهای ساختمانی به خود اختصاص می‌دهند؛ تا حدی که بالغ بر ۲۰–۳۰ درصد و در مواردی بیش از ۵۰ درصد از کل زباله‌ها و مصالح بنایی هستند. عناصر دیگر غالبا با حجم قابل توجهی شامل انواع فلزها، پلاستیک، خاک، توفال، عایق و کاغذ و مقوا می‌باشند (یهییس[2] و همکاران، ۲۰۱۳).

پسماندهای ساختمانی و تخریب تاثیرات مخربی بر محیط زیست (از قبیل آلوده کردن منابع آب و خاک، آلودگی هوا و تاثیرات سوء بر پوشش گیاهی و گونه‌های جانوری)، اقتصاد (از بین رفتن منابع اولیه، اثرات نامطلوب بر توریسم) و سلامت همگانی و زندگی اجتماعی (مخاطرات بهداشتی، استفاده از فضای عمومی) دارند (اسپایز[3]، ۲۰۰۹). افزایش تعداد پروژه‌های ساختمانی و تخریب منجر به ایجاد مقادیر عظیمی از زباله‌های ساختمانی می‌شود که به طور غیرقانونی تخلیه می‌شوند. در حالی که این زباله‌ها برای حفاظت از محیط زیست و سلامت انسان باید در مکان‌های قانونی و مناسب دفع شوند (الشابوری و همکاران، ۲۰۲۴). به دلیل اینکه هنگامی که پسماندها در محل‌های دفن قرار می‌گیرند، تحت فرآیندهای تجزیه مختلفی قرار می‌گیرند و ترکیبات آلی و معدنی آزاد شده در طی این فرآیندها می‌توانند خاک اطراف و آب‌های زیرزمینی را آلوده کنند (الفارس، ۲۰۲۴). دفن زباله بخشی جدایی‌ناپذیر از زنجیره مدیریت زباله است. این زنجیره شامل کاهش زباله، استفاده مجدد، بازیافت زباله، کمپوست‌سازی و در نهایت دفن زباله است. بنابراین، تعیین مکان‌های دفع یکی از اساسی‌ترین و چالش‌برانگیزترین گام‌ها در مدیریت زباله‌ها است (زرین و همکاران، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، از نظر پتانسیل حفاظت از محیط‌زیست، بهینه‌ترین راهبرد، بازیافت نخاله‌های ساختمانی و تخریب و پس از آن دفن زباله و سپس سوزاندن است (شی و همکاران، ۲۰۱۹). از آنجایی که فضا جهت دفن زباله محدود است و به دلیل مسائل منفی که ممکن است از نظر جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی ایجاد شود، انتخاب مکان مناسب برای دفن زباله‌ها بسیار مهم است (دینگ و همکاران، ۲۰۱۸). به عبارت دیگر، انتخاب محل دفن پسماند یکی از جنبه‌های ضروری مدیریت پایدار آن است، زیرا تضمین می‌کند که زباله‌های تولید شده توسط یک جامعه یا منطقه به روشی سازگار با محیط زیست و ایمن دفع شوند. رویکرد انتخاب مکان‌های دفن زباله به دنبال انتخاب مکان‌هایی است که کمترین خطر را برای محیط زیست و سلامت عمومی فراهم می‌کنند و در عین حال خواسته‌های جامعه محلی را برآورده می‌کنند (عربیات و همکاران، ۲۰۲۴).

بر همین اساس و برای کاربست این اصول در مقیاس محلی، تحقیقات فراوانی از طرف محققان برای شهرهای مختلف ایران

1. Waste
2. Yeheyis
3. Spies

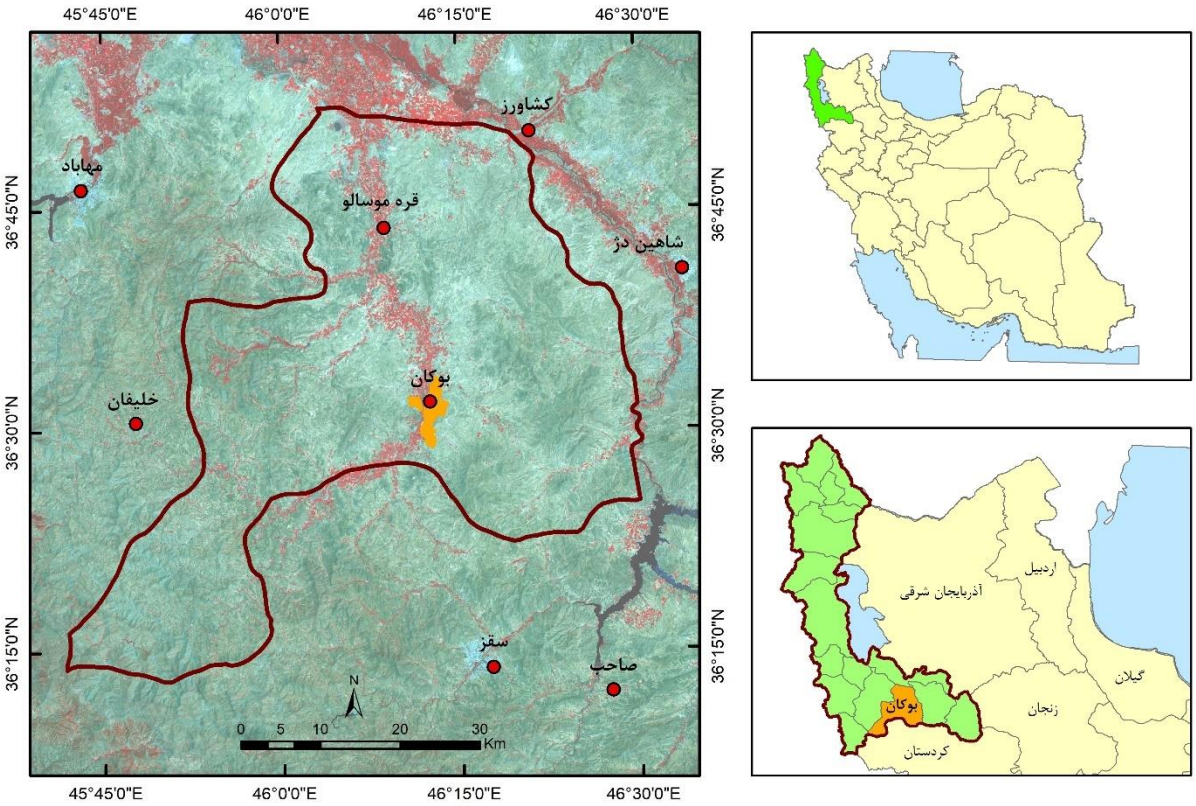
و جهان صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. کشفی و همکاران (۱۳۹۶) محل دفن پسماندهای ساختمانی شهر یزد را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مکان‌یابی کردند. هر لایه اطلاعاتی و زیرلایه مربوطه وزن‌دهی شد و در نقشه نهایی با استفاده از لایه حریم، مناطق ممنوعه حذف شد. طبق نقشه نهایی ۴ منطقه در رده کاملا مناسب واقع شد. با توجه به تاثیر جهت باد غالب نهایتا دو منطقه بهترین مکان تشخیص داده شد. موسوی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش ارزیابی چند معیاره محل‌های مناسب دفن نخاله‌های ساختمانی را در شهرستان کرج مکان‌یابی کردند. پس از شناسایی معیارها و زیرمعیارهای موثر در فرایند مکان‌یابی، با استفاده از روش دلفی مهم‌ترین آنها غربالگری شدند که در نتیجه ۱۶ زیرمعیار در قالب ۴ معیار اصلی شناسایی شدند. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارها را وزن‌دهی کردند و پس از استانداردسازی، با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دهی شده ترکیب کردند. چهار گزینه با مجموع مساحت ۹۷۰۰ هکتار برای هدف مورد نظر شناسایی شد که با روش تاپسیس اولویت‌بندی شدند. جعفری نوبخت و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله «مکان‌یابی محل دفن مواد زاید ساختمانی شهر همدان با استفاده از روش سلسله مراتبی» پس از سنجش معیارها و زیر معیارها و امتیازهای بدست آمده، پلی‌گونی که بیشترین امتیاز را بدست آورده بود در اولویت برای دفن نخاله‌های ساختمانی شهر همدان قرار دادند. این پلی‌گون با وسعت حدود ۳۴ هکتار در شرق همدان و فاصله یازده کیلومتری مرکز شهر واقع شده است. نرگسی و خطیبی (۱۴۰۱) با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی محل دفن نخاله‌های ساختمانی شهر ایلام را مکان‌یابی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که متغیرهای فاصله از شهر، شیب و فاصله از جاده‌های اصلی مهم‌ترین متغیرهای موثر بر مکان‌یابی بهینه پسماندهای ساختمانی شهر ایلام می‌باشند. دو پهنه‌ی واقع در جنوب غرب و شمال غرب شهر ایلام جهت ایجاد سایت‌های دفع نخاله‌های ساختمانی پیشنهاد گردید. عواملی همچون موقع نسبی مطلوب نسبت به شهر، دسترسی مناسب و وجود اراضی نسبتا هموار و کم‌شیب مهم‌ترین عوامل موثر بر مطلوبیت این پهنه‌ها هستند. از سوی دیگر در این پهنه‌های پیشنهادی مسائل زیست محیطی- بهداشتی به حداقل می‌رسد. دینگ و همکاران (۲۰۱۸) ۱۶ معیار را برای مکان‌یابی سایت دفن نخاله‌های ساختمانی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و روش آنتروپی برای شهر شنزن چین مورد بررسی قرار دادند. ایشان مکان‌های بالقوه برای دفن زباله را به سه سطح، یعنی بسیار مناسب (۳۸ درصد) مناسب (۱۷/۵۸ درصد) و نامناسب (۸۲/۰۴ درصد) تقسیم کردند. اسمعیل‌پور (۲۰۲۴) با استفاده از تئوری کاتاستروف محل دفن نخاله‌های ساختمانی شهر بناب را مکان‌یابی کردند. ایشان ۱۲ معیار (ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی، کاربری، نوع خاک، فاصله تا نراکر جمعیتی، سطح آب‌های زیرزمینی و...) را در نظر گرفتند. نتایج پژوهش نشان داد که مناطقی در قسمت‌های شمال و غرب شهر برای دفن پسماندهای ساختمانی مناسب هستند که شیب ملایم، پتانسیل پایین کشاورزی، دسترسی مناسب به شهر و شبکه ارتباطی دارند و از نظر سطح آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی محدودیتی ندارند.

در پژوهش حاضر به شناسایی و اولویت‌بندی مکان‌های بهینه برای دفن پسماندهای ساختمانی در شهر بوکان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و منطق فازی پرداخته شده است. شهر بوکان با توجه به رشد شتابان عمرانی و توسعه زیرساخت‌ها، با حجم انبوهی از پسماندهای ساختمانی مواجه است که در حال حاضر به صورت غیراصولی و بدون رعایت ملاحظات زیست‌محیطی در حاشیه شهر و زمین‌های بایر دفع می‌شوند. این وضعیت با توجه به موقعیت حساس جغرافیایی شهر، از جمله نزدیکی به رودخانه سیمینه‌رود، سد بوکان و آبخوان مهم دشت، تهدیدی جدی برای آلودگی منابع آب و خاک به شمار می‌رود. بنابراین، انجام این مطالعه به منظور یافتن محل‌های بهینه با رعایت استانداردهای زیست‌محیطی و فنی، یک ضرورت فوری برای حفظ سلامت محیط زیست و دستیابی به توسعه پایدار شهری است. با وجود مطالعات گسترده در زمینه مکانی‌یابی محل دفع پسماندهای ساختمانی با استفاده از GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، اغلب پژوهش‌ها بر مناطق با شرایط محیطی نسبتاً مساعد متمرکز بوده‌اند و مناطق با محدودیت‌های شدید اکولوژیکی و انسانی مانند شهرستان بوکان کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نوآوری این پژوهش در ارائه رویکرد ترکیبی فازی- مکانیِ سازگار در چنین بستر پیچیده‌ای است، جایی که عملاً هیچ پهنه‌ای واجد شرایط ایده‌آل نیست. این مطالعه با تعدیل معیارهای سختگیرانه و تلفیق داده‌های میدانی و سنجش از دور، گزینه‌های عملی و اولویت‌بندی‌شده را در محدوده‌ای بسیار محدود شناسایی کرده و الگویی برای تصمیم‌گیری در مناطق مشابه با موانع محیطی ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

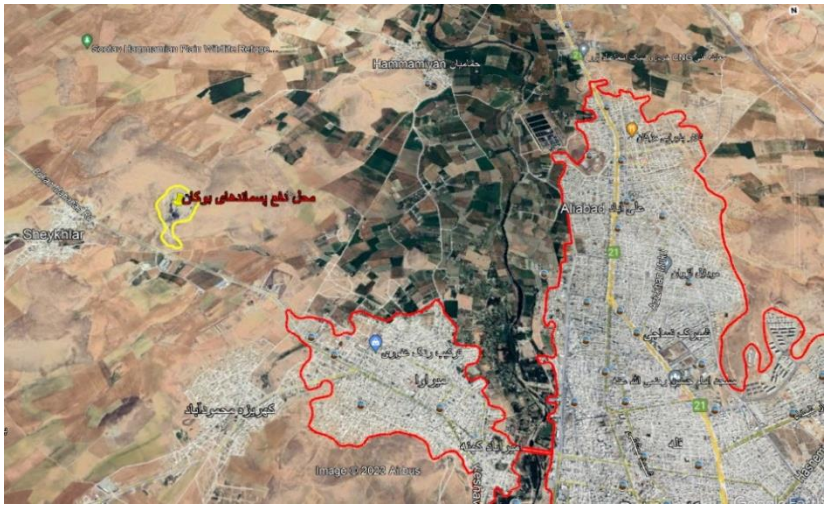
در این پژوهش سایت‌های بهینه به‌منظور انتقال و دپوی پسماندهای ساختمانی شهر بوکان مکان‌یابی شده است. شهر بوکان به عنوان مرکز شهرستان بوکان با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی در جنوب استان آذربایجان غربی واقع شده است (شکل ۱). این شهر با جمعیتی بالغ بر ۱۹۳۵۰۱ نفر بزرگ‌ترین شهر جنوب استان آذربایجان غربی به‌شمار می‌رود. از نظر تقسیمات سیاسی، شهرستان بوکان از شمال به شهرستان میاندوآب، از شرق به شهرستان شاهین‌دژ، از جنوب به استان کردستان (شهرستان سقز) و از غرب به شهرستان مهاباد محدود می‌شود. موقعیت ارتباطی این شهر به گونه‌ای است که به‌عنوان یک گذرگاه مهم بین استان‌های آذربایجان غربی و کردستان عمل می‌کند. بوکان در دشتی هموار و حاصلخیز واقع شده که توسط کوه‌های مرتفع احاطه شده است. این دشت بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. مهم‌ترین عوارض توپوگرافی اطراف شهر عبارتند از: کوه‌های جنوبی مانند کوه سیاه و کوه چشمه، که از کوه‌های مرتفع منطقه هستند؛ رودخانه سیمینه‌رود که یکی از رودهای اصلی حوضه آبریز دریاچه ارومیه است، از شمال شهر بوکان می‌گذرد و نقش حیاتی در تأمین آب کشاورزی منطقه دارد. زمین‌شناسی منطقه متشکل از سازندهای آهکی، رسوبات آبرفتی جدید و قدیمی است. این رسوبات که دشت بوکان را تشکیل داده‌اند، از نظر نفوذپذیری و ظرفیت آب‌دهی دارای اهمیت هستند. این ویژگی زمین‌شناسی در ارزیابی محل دفن پسماند، به ویژه برای بررسی خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی، عاملی کلیدی به شمار می‌آید. شهر بوکان دارای اقلیمی نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و پربرف است. میانگین بارش سالانه آن حدود ۳۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن حدود ۱۲ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان بوکان

Fig. 1. Map showing the location of Bukan County

با توجه به اینکه سایت دفع زباله شهرستان بوکان در دو کیلومتری و غرب حاشیه شهر در مسیر فرعی جاده بوکان به مهاباد بر روی تپه‌ای قرار گرفته است (شکل ۲) باعث بوجودآمدن مشکلات عدیده‌ای گردیده است. به‌دلیل نامناسب بودن مکان و نحوه دفن زباله بصورت کاملا سنتی در این شهر، شرایط بحرانی را برای بوکان و روستای مهاجرپذیر شیخلر با جمعیت ۱۴۰۰ نفر که در جوار محل دفن قرار دارد ایجاد کرده است. تولید گاز متان با آتش سوزی‌های پی در پی و آلودگی مستمر منطقه و ایجاد جلوه بصری نامناسب، آلودگی مزارع کشاورزی و آب‌های سطحی و زیر زمینی، آلودگی خاک، بوی نامطبوع، کاهش قیمت زمین‌های کشاورزی و باغات اطراف و همچنین شرایط مشابه در روستای شیخلر که پتانسیل شهرک شدن را در سال‌های آتی داراست از جمله مشکلاتی است که این سایت دفن زباله برای شهر ایجاد کرده است.



شکل ۲. موقعیت فعلی محل دفع پسماندهای جامد و ساختمانی بوکان در حد فاصل شهر بوکان و روستای شیخلر

Fig. 2. The current location of the construction waste disposal site of Bukan between the city of Bukan and the village of Sheikhlar

داده‌ها و ابزارها

داده‌های مورد استفاده جهت انجام این پژوهش عبارتند از:

– تصویر مدل رقومی (DEM) منطقه. بدین منظور از تصاویر ماهواره ALOS- PALSAR با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده گردید. شیب منطقه نیز با استفاده از تصویر DEM تهیه شد؛

– تصاویر سری ماهواره‌های لندست. از تصاویر این ماهواره در تاریخ اواخر ژوئن ۲۰۲۳ به منظور تهیه لایه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه بهره گرفته شد؛

– لایه خاک منطقه مورد مطالعه. لایه خاک منطقه مطالعاتی از طریق رقومی کردن نقشه خاک ارائه شده توسط موسسه تحقیقات خاک و آب کشور با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه گردید. این نقشه‌ها از نظر شناسایی قابلیت‌های کشاورزی و تناسب اراضی حائز اهمیت می‌باشند؛

– لایه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه. لایه کاربری اراضی محدوده و پیرامون شهر بوکان با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای منطقه و با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده تهیه گردید؛

– نقشه زمین‌شناسی منطقه. برای تهیه نقشه زمین‌شناسی محدوده و پیرامون شهر بوکان از نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شده است؛

– لایه جاده‌ها، لایه رودخانه‌های محدوده شهر بوکان و روستاها. این لایه‌ها از طریق نقشه‌های ارائه شده توسط سازمان‌های مختلف تهیه گردیدند.

روش پژوهش

پسماندهای ساختمانی جریانی در حال رشد در جهان است و اجرای اقتصاد دایره‌ای برای مدیریت آن نیازمند ابزارهای تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای متعدد برای شناسایی مناسب‌ترین مکان برای دفع است (سوتوپاز و همکاران، ۲۰۲۳). به این ترتیب، منتخبی از معیارها شامل طبقات ارتفاعی، شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، نوع خاک، دسترسی به شبکه‌های ارتباطی، سطح آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی، فاصله از اکوسیستم‌های ارزشمند، فاصله از شهر و روستا معمول گردیده است. به منظور ترکیب و روی‌هم‌گذاری شاخص‌های مذکور از منطق فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد.

منطق فازی یکی از محبوب‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره است که در آن استانداردسازی معیارهای مکانی از طریق فرآیندی پیوسته انجام می‌شود. منطق فازی برای حل عدم قطعیت و عدم دقت ناشی از تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. منطق فازی بر این فرض استوار است که منطق باینری قادر به تشخیص برخی از حالت‌های انتقالی یا ابهاماتی که ممکن است بین مقادیر دقیقاً درست یا نادرست وجود داشته باشد نمی‌باشد. در مقایسه با مجموعه کلاسیک، مجموعه فازی مرزهای واضحی ندارد. در منطق فازی، گزاره می‌تواند هم درست و هم نادرست باشد و همچنین می‌تواند نه درست باشد و نه نادرست. این نظریه درجه عضویت هر عنصر را در بازه (۰/۱) به عنوان نوعی منطق قرار می‌دهد. منطق فازی امکان درجه عضویت را با استفاده از تابع عضویت ارزیابی می‌کند.

منطق فازی یکی از رویکردهای پرکاربرد در انتخاب سایت است. منطق فازی مشابه سایر روش‌های تحلیل تناسب، دارای یک گردش کار استاندارد است که انجام تمام مراحل لازم را امکان‌پذیر می‌سازد. این گردش کار استاندارد شامل مراحل تعریف مسئله و معیارهای انتخاب سایت، جمع آوری داده‌های مکانی لایه‌های معیارها، تخصیص مقادیر عضویت فازی، اجرای همپوشانی فازی و تأیید و اجرای نتایج است (اکینچی و اوزلپ، ۲۰۲۲).

در این پژوهش، فازی‌سازی لایه‌های موضوعی با سه هدف اصلی انجام شد: نخست، برای همسان‌سازی واحدها و بی‌بعدسازی داده‌ها، تمامی لایه‌های اطلاعاتی با نرمال‌سازی در بازه ۰ تا ۱ به مقیاسی یکسان تبدیل شدند تا امکان مقایسه و ترکیب ریاضی آن‌ها فراهم شود. دوم، به منظور همسو کردن ارزش‌گذاری لایه‌ها با هدف پژوهش، مقادیر هر شاخص با توجه به نوع رابطه آن با موضوع مکان‌یابی محل دپوی پسماندهای ساختمانی بازتعریف گردید؛ به‌گونه‌ای که در برخی شاخص‌ها مانند فاصله از آبراهه‌ها، افزایش مقدار به معنای مطلوبیت بیشتر است، در حالی که در شاخص‌هایی مانند فاصله از جاده‌ها رابطه معکوس برقرار است. سوم، برای کاهش عدم‌قطعیت، از داده‌های استانداردشده به صورت پیوسته استفاده شد تا خطاها و سوگیری‌های ناشی از طبقه‌بندی گسسته و مرزبندی‌های دلخواه در فرآیند همپوشانی لایه‌ها در محیط GIS به حداقل برسد. توابع متعددی جهت استانداردسازی لایه‌های موضوعی وجود دارد که عبارتند از خطی (کاهشی یا افزایشی)، گوسین، نزدیک، کوچک فازی و بزرگ فازی. در این پژوهش، تابع مورد استفاده جهت فازی‌سازی لایه‌های موضوعی از خطی کاهشی، افزایشی و تعریف کاربر می‌باشد. در حالت کلی، معیارهای مورد استفاده به منظور مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت دفن پسماندهای ساختمانی در محدوده شهر بوکان از نظر تابع مورد استفاده جهت فازی‌سازی به سه گروه طبقه‌بندی شدند:

– دسته اول معیارهایی می‌باشند که مقادیر بیشتر آنها، مناطق مناسبی جهت دفن پسماندهای ساختمانی هستند. جهت بی‌بعدسازی این لایه‌ها تابع فازی خطی افزایشی مورد استفاده قرار گرفت. لایه‌های فاصله از اکوسیستم‌های ارزشمند، زمین‌شناسی، خاک، فاصله از رودخانه، سطح آب‌های زیرزمینی و فاصله از روستا در این دسته جای می‌گیرند.

– دسته دوم معیارهایی می‌باشند که مقادیر کمتر آنها، جهت دفن پسماندهای ساختمانی مناطق مساعدی هستند. لایه‌های ارتفاع، پوشش‌گیاهی و فاصله از جاده به این گروه تعلق دارند. تابع مورد استفاده جهت بی‌بعدسازی این لایه‌ها، تابع خطی کاهشی می‌باشد.

– معیارهای دسته سوم مواردی هستند که ارتباط آنها با مکان‌های مناسب جهت دفن پسماندهای ساختمانی به صورت مستقیم یا معکوس نیست. این لایه‌ها عبارتند از: شیب و فاصله از شهر. با توجه به محدودیت توابع موجود در نرم‌افزار ArcMap و به دلیل اینکه ارتباط این متغیرها با محل‌های دفن پسماند به صورت خطی نمی‌باشد، جهت فازی‌سازی این لایه‌ها از نرم‌افزار Terrset و تابع تعریف کاربر استفاده شد.

– تعدادی از لایه‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل خاک، کاربری اراضی و زمین‌شناسی لایه‌های کیفی می‌باشند. بدین ترتیب قبل از فازی‌سازی لازم است نسبت به کمّی‌سازی آنها از طریق اختصاص کدهای مناسب اقدام شود. به‌عنوان مثال لایه کاربری اراضی شامل پنج کلاس می‌باشد. بدیهی است که کاربری‌های مسکونی و ساخته‌شده نامناسب‌ترین پهنه‌ها برای دپوی پسماندهای ساختمانی می‌باشند؛ بنابراین کد صفر به آن‌ها اختصاص داده شد. در مرتبه بعد کاربری کشاورزی آبی قرار می‌گیرد که کد ۱ به آن اختصاص یافت. برعکس، کاربری مراتع ضعیف به‌عنوان مطلوب‌ترین پهنه‌ها برای دپوی پسماندهای ساختمانی بوده و بدین ترتیب کد ۵ را کسب نمود. پس از اختصاص کدها، با استفاده از تابع فازی خطی افزایشی نسبت به فازی‌سازی لایه مربوطه اقدام شد.

به‌منظور ترکیب نقشه‌های موضوعی عملگرهای اشتراک فازی، اجتماع فازی، ضرب فازی، جمع فازی و گاما فازی به‌کار گرفته می‌شود. با این حال، پرکاربردترین عملگر در مطالعات مشابه، عملگر گامای فازی شناخته می‌شود. این عملگر که توسط ایستمن (۲۰۰۳) به طور گسترده‌ای ترویج شده است، یک ترکیب انعطاف‌پذیر و متعادل بین دو عملگر افراطی AND و OR ایجاد می‌کند. خروجی این عملگر از رابطه ریاضی خاصی محاسبه می‌شود که در آن یک پارامتر γ بین صفر و یک، میزان تعادل بین دو عملگر مذکور را کنترل می‌نماید. مقادیر نزدیک به یک، نتیجه‌ای مشابه عملگر OR و مقادیر نزدیک به صفر، نتیجه‌ای مشابه عملگر AND تولید می‌کنند. معمولاً مقادیر بین ۰/۷ تا ۰/۹ برای دستیابی به نتایج بهینه پیشنهاد می‌شوند (ایستمن[1]، ۲۰۱۲). معادله آن به صورت زیر است:

$$\mu_{Combination} = (fuzzyAlg.Sum)^{\gamma} \times (fuzzyAlg.Product)^{1-\gamma} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در رابطه فوق برای مقدار گاما (γ) عددی بین صفر تا یک می‌تواند در نظر گرفته شود. انتخاب مقدار مناسب برای γ بین صفر و یک، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات کاهشی ضرب فازی و گرایشات کاهشی جمع فازی می‌باشد (فاضل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴).

نتایج و بحث

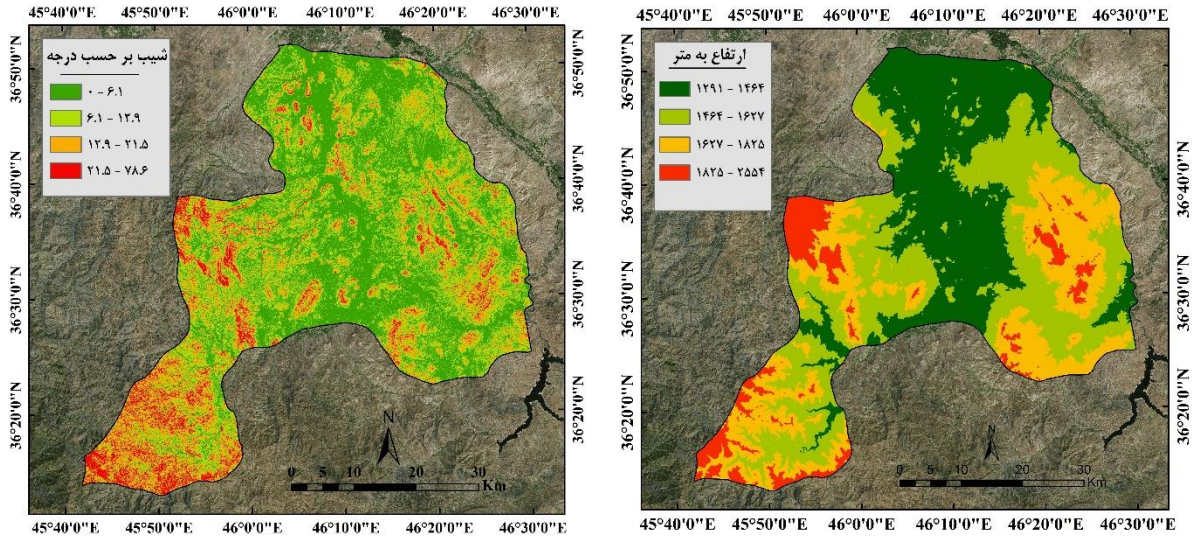
در این قسمت از پژوهش، متغیرهای مورد استفاده جهت مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی به تفکیک در سطح شهرستان بوکان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

متغیرهای ژئومورفولوژیکی– زمین‌شناسی

ارتفاع: بررسی میزان ارتفاع منطقه مورد مطالعه یکی از پارامترهایی است که باید در مکان‌یابی سایت دفن در نظر گرفت. مناطق با ارتفاع و شیب زیاد به دلایلی از جمله عدم دسترسی برای مکان دفن مناسب نمی‌باشد. بهترین مکان برای دفن مکانی است که از اطراف توسط تپه‌هایی احاطه شده باشد (اکبری و همکاران، ۲۰۰۸). از آنجایی که افزایش ارتفاع باعث دسترسی سخت و افزایش هزینه‌های حمل و نقل و احداث و نگهداری می‌شود، بنابراین ارتفاعات کمتر در احداث مکان دفن پسماند دارای ارزش بیشتری می‌باشند. توزیع ارتفاعات در سطح شهرستان بوکان در شکل (۳) ارائه شده است. حداقل ارتفاع ۱۲۹۱ و حداکثر ارتفاع ۲۵۵۴ متر و ارتفاع متوسط شهر بوکان از سطح دریای آزاد ۱۳۴۰ متر است. از نظر توزیع ارتفاعات، اراضی شهرستان بوکان به

1. Eastman

پنج کلاس عمده طبقه‌بندی شد. کلاس اول و دوم اراضی با تراز ارتفاع نسبی پایین هستند که عمدتا دارای ارتفاعی کمتر از ۱۵۷۵ متر بوده و در مرکز و شمال شهرستان به طرف میاندوآب گسترش یافته‌اند و بیش از ۵۶ درصد از اراضی شهرستان را شامل می‌شوند. این کلاس‌ها دارای اراضی حاصلخیز زراعی و شرایط خاک شناسی و آب‌شناختی مطلوبی می‌باشند و عمدتا برای محل دفن پسماند نامطلوب می‌باشند. کلاس سوم و چهارم که اراضی با ارتفاعی بین ۱۵۷۵ تا ۱۹۱۹ متر باشند عمدتا شرق، شمال‌شرق، غرب و جنوب غربی شهرستان بوکان در دامنه کوه‌های کلتگه و سلطان و کپری را شامل می‌شود که ۳۹ درصد مساحت شهرستان را در بر می‌گیرند. این پهنه‌ها برای مکان‌یابی محل دفن پسماند نسبتا مطلوب می‌باشند. کلاس پنجم ارتفاع بالای ۱۹۱۹ را شامل می‌شود که ۳/۲۹ مساحت شهرستان را در بر می‌گیرند و ارتفاعات کوه‌های نامبرده در کلاس قبلی می‌باشند. در نتیجه، برای مکان‌یابی محل دفن پسماند کاملا نامطلوب هستند. طبق شکل (۳) بدست آمده، فقط با در نظر گرفتن عامل ارتفاع نواحی مرکزی و شمالی شهرستان بوکان جهت دفن زباله مناسب هستند.



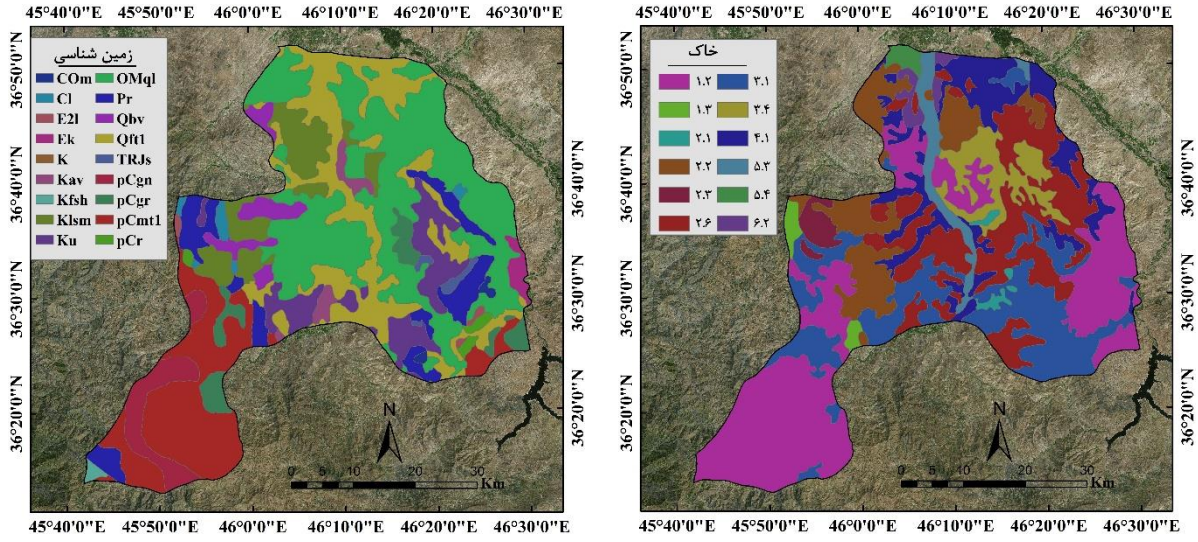
شکل ۳. نقشه ارتفاع و شیب شهرستان بوکان

Fig. 3. Map of elevation and slope in Bukan County

شیب: شیب‌های ۰ تا ۵ درصد پهنه‌های منفردی را شامل می‌شود که تمرکز عمده آنها در حاشیه آبراهه‌ها بوده و یا تشکیل‌دهنده بخشی از دشت‌های پراکنده شهرستان هستند. این کلاس ۱۲/۶۹ درصد پهنه شهرستان، در گستره دشت بوکان و حاشیه سیمنه رود از جنوب غربی تا مرکز و شمال شهرستان، را شامل می‌شوند که جهت مکان‌یابی دفع پسماند مناسب به نظر می‌رسد. شیب‌های ۵ تا ۱۰ درصد ترکیب اصلی محدوده‌های کوهپایه‌ای شهرستان بوده و شرایط مناسبی برای فعالیت‌های کشاورزی و استقرار عناصر انسان‌ساخت فراهم می‌نمایند و ۱۹/۶۵ درصد مساحت شهرستان را شامل می‌شوند؛ شیب‌های ۱۰ تا ۱۵ درصد که بالاترین حد برای استفاده‌های زراعت و تثبیت عوامل انسان‌ساخت تلقی می‌شوند در ترکیب و پیوند با شیب‌های ۵ تا ۱۰ درصد در نقاط مختلف شهرستان بوکان با مساحت ۱۹/۸۶ درصد پراکنده هستند که در رده بعدی اهمیت در راستای مکان‌یابی دفن پسماند قرار دارند. شیب‌های ۱۵ تا ۲۰ درصد با قلمروهای تپه ماهوری و شیب‌های بالاتر از ۲۰ درصد با حوزه‌های کوهستانی شهرستان انطباق دارند و عمدتاً در بازوی جنوب‌غربی ناحیه در شهرستان بوکان قابل تشخیص هستند و ۴۷/۸ درصد مساحت شهرستان را در اختیار دارند که جهت مکان‌یابی دفع پسماند نامناسب می‌باشند. از آنجایی که با افزایش شیب میزان تناسب اراضی برای دفن کاهش پیدا می‌کند، بنابراین تابع مورد استفاده جهت فازی‌سازی لایه شیب از نوع خطی کاهشی می‌باشد. برای فازی‌سازی لایه شیب برای دقت بیشتر از نرم افزار Terrset استفاده شده است (شکل ۲). در این پژوهش، شیب‌های ۰ عنوان شیب‌های ایده‌آل جهت استقرار سایت‌های دفع نخاله‌ها و پسماندهای ساختمانی تعریف گردید و در

نتیجه ارزش ۱ را کسب نمودند. با دور شدن از این نقطه ایده‌آل ارزش‌های پیکسل‌ها و عضویت آنها کاهش می‌یابد. این کاهش تا شیب‌های ۳۰ درصد تداوم می‌یابد. شیب‌های بیش از ۳۰ درصد تحت عنوان عدم عضویت معرفی شدند و مقدار ۰ را کسب نمودند.

خاک‌شناسی: لایه خاک منطقه مورد مطالعه براساس نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان غربی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (موسسه تحقیقات خاک و آب) تهیه گردید. در پژوهش حاضر لایه خاک مشتمل بر ۱۲ طبقه مختلف می‌باشد. به منظور کمّی‌سازی این لایه موضوعی، کد ۱ برای خاک ۵/۳ و ۴/۱ و کد ۸ برای تیپ ۱/۳ و ۱/۲ اختصاص یافت. تابع مورد استفاده جهت فازی‌سازی لایه خاک از نوع خطی افزایشی است. بر اساس این تابع، سازندهایی که کد بالاتری به آنها اختصاص پیدا کرده از تناسب کمتری جهت مکان‌گزینی برخوردار می باشند.



شکل ٤. نقشه خاک و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

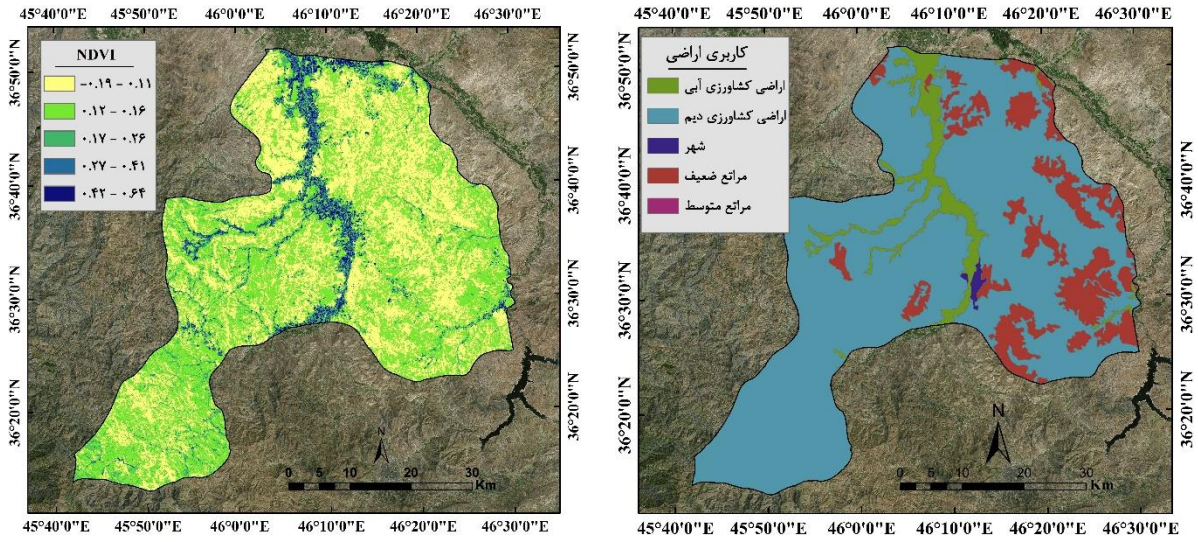
Fig. 4. Soil and Geology map of the study area

زمین شناسی: از نظر زمین‌شناسی بخش قابل توجهی از محدوده شهرستان بوکان توسط سنگ آهک ریفی توده‌ای تا ضخیم‌لایه (OMql) مربوط به دوره اولیگوسن- میوسن پوشیده شده است. این سازند با مساحتی بالغ بر ۷۷۵ کیلومتر حدود ۳۱ درصد از مساحت شهرستان را پوشش می‌دهد. بخش عمده‌ای از اراضی غربی و شرقی پیرامون شهر بوکان نیز توسط این سازند پوشیده شده است. به دلیل مقاومت نسبتا مطلوب از شرایط نسبتا مساعدی برای دفع پسماندهای ساختمانی برخوردار است. هر چند این سازند نسبت به انحلال حساس می‌باشد؛ با این حال معمولا در پسماندهای ساختمانی میزان کمی از رطوبت و آب موجود است. در رتبه بعد، سازند آبرفت‌های کواترنری (Qft1) قرار می‌گیرد که با مساحتی بالغ بر ۴۰۳ کیلومتر حدود ۱۶/۲ درصد از محدوده شهرستان را شامل می‌شود. سازند مذکور به دلیل نفوذپذیری بالا و حاصلخیزی زیاد از شرایط مساعد برای دفع پسماندهای ساختمانی برخوردار نبوده و درنتیجه جزو اولویت‌های نخست برای دپوی این نوع پسماندها نمی‌باشد. شهر بوکان نیز بر روی این سازند مکان‌گزینی شده است. سازند مذکور را می‌توان به‌عنوان نامناسب‌ترین سازند برای دپوی پسماندهای ساختمانی به‌شمار آورد. برعکس، سازندهای pCgr شامل گرانیت و گرانودیوریت‌های پرکامبرین، Kav شامل سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و Qbv شامل سنگ‌های آتشفشانی بازالتی برای دپوی پسماندهای ساختمانی ایده‌آل می‌باشند.

متغیرهای زیست محیطی

متغیرهای زیست‌محیطی شامل کاربری اراضی، پوشش گیاهی، دوری از اکوسیستم‌های ارزشمند و فاصله از روستاها می‌باشد.

کاربری اراضی: در مکان‌یابی محل دفن پسماندها باید به این مسئله دقت داشت که زمین انتخاب شده مورد نظر کارایی بهتری نداشته باشد، چرا که زمین‌هایی نظیر زمین‌های کشاورزی یا مکان‌هایی که نزدیک به مراکز صنعتی و یا مناطق مسکونی باشند نمی‌توانند به عنوان گزینه مناسب برای انتخاب سایت دفن مورد استفاده قرار بگیرند (امانپور و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهش حاضر همانطور که در شکل (۵) قابل مشاهده می‌باشد کاربری اراضی شهرستان بوکان در ۵ طبقه آورده شده‌اند. اراضی دیم با مساحتی بالغ بر ۱۹۵۴ کیلومترمربع حدود ۷۸/۴ درصد از سطح شهرستان را پوشش می‌دهد. به‌واقع، بخش عمده‌ای از دامنه کوهستان‌های شهرستان در مقیاسی وسیع تبدیل به اراضی کشاورزی دیم شده‌اند. در مرتبه بعد پوشش مراتع ضعیف با مساحتی بالغ بر ۳۷۲ کیلومترمربع حدود ۱۵ درصد سطح شهرستان را دربرمی‌گیرد. اراضی دارای مراتع ضعیف و متوسط عمدتا در شرق و کریدور بوکان- شاهین‌دژ، شمال و شمال شرقی بوکان قرار دارند و شرایط نسبتا مناسب‌تری جهت مکان یابی دفع پسماند دارند. اراضی کشاورزی آبی از جنوب و غرب به شمال شهرستان امتداد یافته‌اند که برای مکان‌گزینی به دلیل اهمیت ویژه اراضی کاملا نامناسب می‌باشند. این نوع کاربری با مساحتی بالغ بر ۱۵۵ کیلومترمربع حدود ۶/۲ درصد شهرستان را شامل می‌شود.

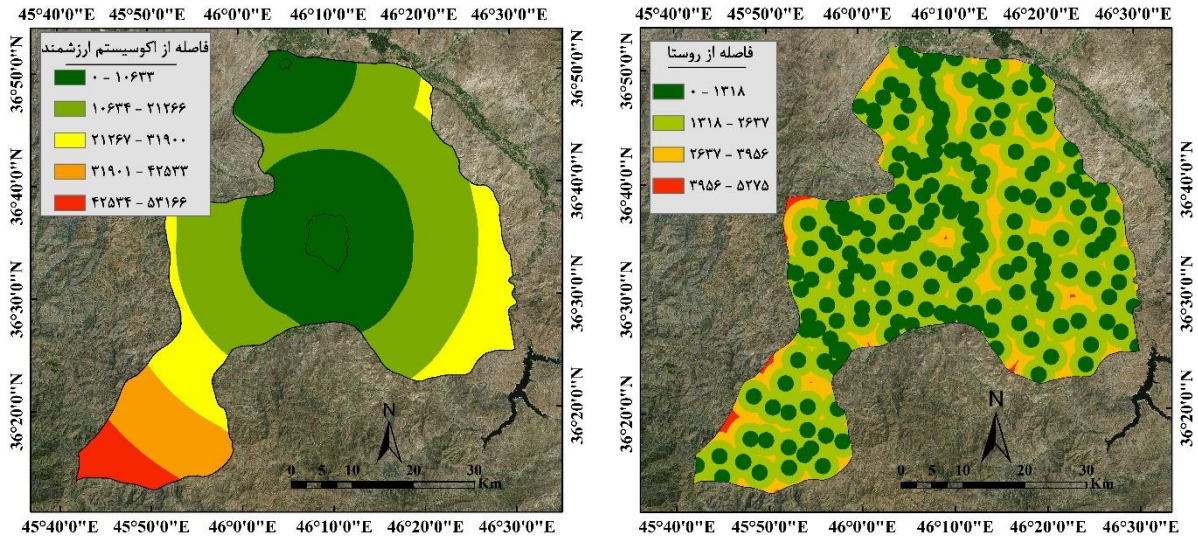


شکل ۵. نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی شهرستان بوکان
Fig. 5. Map of land use and vegetation cover in Bukan County

پوشش گیاهی: برای بررسی این متغیر متداول‌ترین شاخص پوشش گیاهی (شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی یا NDVI) مورد استفاده قرار گرفت. در شکل (۵) توزیع فضایی پوشش گیاهی در سطح شهرستان بوکان در قالب پنج کلاس ارائه شده است. در حالت کلی، پهنه‌های دارای پوشش گیاهی مطلوب از محدودیت‌های اکولوژیکی مرتبط با مکان‌یابی سایت‌های دفع پسماندهای ساختمانی به حساب می‌آیند. مقادیر کلاس اول (۰/۱۱ تا ۰/۱۹-) شامل خاک و سنگلاخ می باشند که NDVI نزدیک به صفر را نشان می‌دهند. کلاس مذکور از نظر متغیر پوشش گیاهی مطلوب‌ترین پهنه‌ها برای مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی به‌شمار می‌رود. مقادیر کلاس دوم (۰/۱۶ تا ۰/۱۲) دلالت بر مراتع با پوشش گیاهی ضعیف و اراضی دیم دارد، پوشش گیاهی مذکور نیز از نظر مکان‌یابی محل دفع پسماندها و نخاله‌های ساختمانی محدودیت چندانی را ایجاد نمی‌کند. بدین ترتیب می‌توان بیان داشت که پهنه‌های با شاخص NDVI کمتر از ۰/۱۶ به منظور مکان‌یابی محل دفع پسماندهای ساختمانی مناسب و مطلوب می‌باشند. مقادیر کلاس (۰/۲۶ تا ۰/۱۷) نشان‌دهنده مراتع متوسط تا خوب و برخی از اراضی زراعی آبیاری شده می‌باشد. در کل، می‌توان گفت که با افزایش مقادیر شاخص NDVI از مطلوبیت و تناسب اراضی جهت احداث مکان‌های دفع پسماندها و نخاله‌های ساختمانی کاسته می‌شود. بدین ترتیب، این کلاس پوشش گیاهی نسبت به دو کلاس قبلی

از مطلوبیت پایینی برای مکان‌یابی محل دفع پسماندهای ساختمانی برخوردار است. مقادیر کلاس‌های (۰/۲۷ تا ۰/۴۱) و (۰/۴۲ تا ۰/۶۴) عمدتا بیانگر اراضی کشاورزی آبی و باغات می‌باشند. هر دو کلاس مذکور از جنبه‌های کشاورزی و زیست‌محیطی حائز اهمیت زیادی می‌باشند و بنابراین به منظور مکان‌یابی محل دفع پسماندها و نخاله‌های ساختمانی از کمترین میزان مطلوبیت برخوردار هستند. تابع مورد استفاده جهت فازی‌سازی لایه پوشش گیاهی از نوع خطی کاهشی است. به طوری که با افزایش پوشش گیاهی محدوده شهرستان بوکان از میزان تناسب اراضی جهت مکان‌یابی محل دفن کاسته می‌شود. نوار بستر رودخانه سیمینه رود از جنوب به شمال دارای پوشش گیاهی متراکم و مقادیر نزدیک به صفر بوده و از لحاظ تناسب کاملا نامناسب می باشد.

فاصله از روستاها: در شکل (۶) روستاها و مراکز جمعیتی بوکان در پنج طبقه برای مکان‌یابی دفع پسماند آورده شده است. توجه به حریم روستاها از نظر سلامت و بهداشت عمومی بسیار مهم می‌باشد. جهت فازی‌سازی فاصله از روستاها نیز از تابع خطی افزایشی استفاده شد و بنابر تعریف و شکل بدست آمده (۹) هرچه فاصله از روستاها بیشتر و مقادیر به سمت یک میل کنند تناسب اراضی جهت دفن پسماندهای ساختمانی بیشتر خواهد بود.



شکل ٦. نقشه فاصله از روستا و فاصله از اکوسیستم‌های ارزشمند در شهرستان بوکان
Fig. 6. Map of distance to villages and valuable ecosystems in Bukan County

فاصله از اکوسیستم‌های ارزشمند: مکان‌های دفع پسماندهای ساختمانی به عنوان مراکز انتشار آلودگی و بیماری مطرح می‌باشند. لذا ضرورت دارد که مکان‌گزینی اینگونه مکان‌ها در نقاطی باشدکه حداقل اثرات سوء زیست‌محیطی را به همراه داشته باشند. در این رابطه، برخی از عوارض و پدیده‌های زیست‌محیطی از حساسیت و آسیب‌پذیری بالاتری برخوردار می‌باشند که تالاب‌ها از جمله این عوارض به‌شمار می‌روند. بدین ترتیب حفظ حریم و دوری از تالاب‌ها و سایر عوارض زیست‌محیطی ارزشمند به یکی از ضرورت‌های مکان‌یابی سایت‌های دفع پسماندهای ساختمانی تبدیل می‌شود. دشت سوتاو که محل زیست میش‌مرغ یکی از پرندگان نادر در سطح کره زمین می‌باشد در غرب و تالاب قره‌گل در شمال‌غربی شهر بوکان به‌عنوان دو اکوسیستم ارزشمند در محدوده مرزی بوکان قرار دارند (شکل ۶). این دشت یک پهنه تپه ماهوری به وسعت ۵۰۰۰ هکتار است که تماما زیر کشت گندم، جو و نخود دیم قرار دارد و در غرب روستای حمامیان از توابع شهرستان بوکان واقع شده است. تالاب قره‌گل نیز با وسعت ۳۰۰ هکتار در حاشیه محور بوکان- مهاباد در ۴۰ کیلومتری شهر بوکان قرار دارد. این تالاب در نزدیکی روستای قره‌گل قرار گرفته و از سیمینه‌رود تغذیه و آبگیری می‌کند. تالاب قره‌گل انواع پرنده‌گان مهاجر و بومی مانند: غاز خاکستری، پلیکان، فلامینگو، مرغابی کله سبز، کاکایی صورتی، و پرستوی دریایی را جذب می‌کند. این مناطق از لحاظ زیست محیطی بسیار حائز

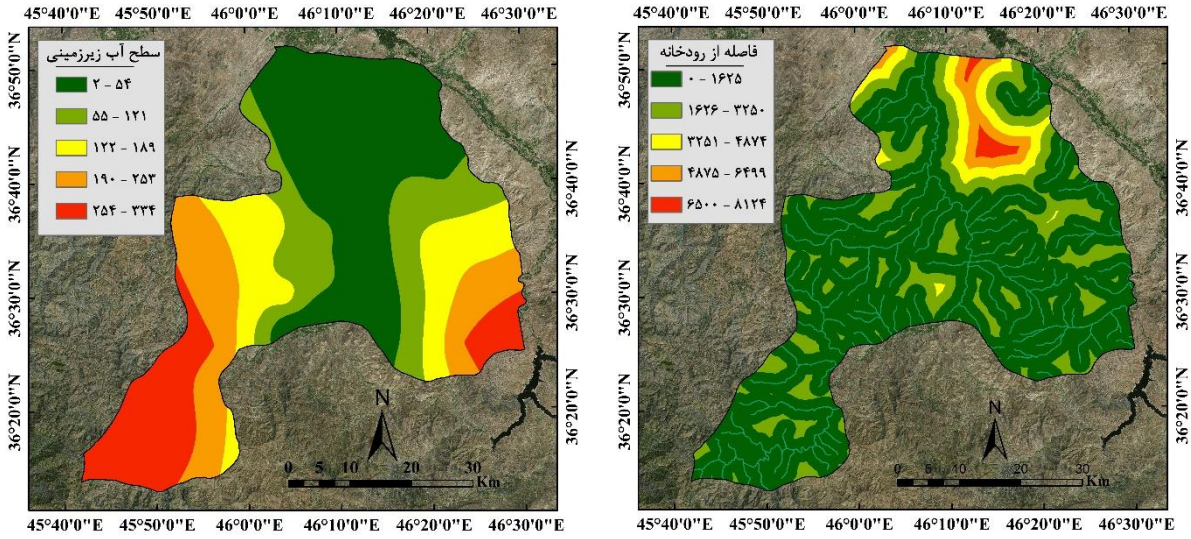
اهمیت هستند و بدیهی است این مناطق و همسایگی آنها برای دفع نخاله‌ها و پسماندهای ساختمانی به هیچ وجه مناسب نیستند. بدین ترتیب این پهنه‌ها ارزش صفر را کسب می‌کنند. به منظور فازی سازی این لایه نیز از تابع خطی افزایشی استفاده شد.

متغیرهای هیدرولوژیکی

فاصله از آبراهه‌ها: توجه به فاصله از رودخانه‌ها به دو دلیل در رابطه با مکان‌گزینی مکان‌های دفع نخاله‌ها و پسماندهای ساختمانی حائز اهمیت زیادی است. دلیل اول مربوط به مسائل زیست محیطی می‌باشد. در واقع، نخاله‌های ساختمانی حاوی مواد آلاینده و گاها بسیار سمّی می‌باشند که نفوذ این آلاینده‌ها می‌تواند باعث آلودگی رودخانه‌ها و منابع آب سطحی منطقه گردد. دلیل دوم در ارتباط با خطرات سیلاب می‌باشد. دفع نخاله‌های ساختمانی در مجاورت رودخانه‌ها می‌تواند موجب انسداد رودخانه‌ها به‌ویژه رودخانه‌های فصلی و مسیل‌ها شده و خطر سیلاب را به شدت افزایش دهد. در منطقه مورد مطالعه آب‌های سطحی عبارت است از رودخانه‌ها و آبراه‌های فصلی که عمدتا در طول سال خشک می‌باشند. مهم‌ترین رودخانه در پهنه منطقه مورد مطالعه سیمینه‌رود می‌باشد که از کوهستان‌های جنوب محدوده بوکان سرچشمه گرفته و در شمال از داخل شهر میاندوآب عبور می‌کند. شرق و غرب و جنوب غربی و همچنین گستره‌ی زیادی از اراضی شمال شهرستان بوکان دارای فاصله مناسبی از رودخانه و آبراهه‌ها هستند که شرایط نسبتا مطلوب تری برای مکان‌گزینی محل دفن پسماند ساختمانی را دارا هستند. برای فازی‌سازی از تابع خطی افزایشی برای این لایه استفاده شده است. به دلیل این که با افزایش فاصله از رودخانه‌ها تناسب و مطلوبیت اراضی جهت استقرار سایت‌های دفع نخاله‌ها و پسماندهای ساختمانی افزایش می‌یابد.

سطح آب‌های زیرزمینی: برای جلوگیری از انتشار آلودگی به سایر نقاط و حفاظت از منابع آب زیرزمینی، محل دفن پسماند نباید در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا باشد در نظر گرفته شوند. در ارزیابی هیدروژئولوژیکی محل دفع و دپوی نخاله‌های ساختمانی فاصله کف زمین تا خط ایستایی باید مشخص شود. زیرا مناسب‌ترین موقعیت جهت آلودگی آب‌های زیرزمینی هنگامی به وجود می‌آید که خط ایستایی آب‌های زیرزمینی نزدیک به کف محل دفن زایدات باشد. عدم مجاورت محل دفن با چاه آب و چشمه و قنات، یک معیار با اهمیت زیست‌محیطی در انتخاب محل دفن بهداشتی می باشد، از این رو چاه‌های آب و قنوات و چشمه‌ها می‌بایست از روانآب‌ها و شیرابه‌های پسماند ساختمانی محافظت شوند (اکبری و همکاران، ۲۰۰۸).

شهر بوکان بر روی دشت بوکان قرار دارد. بنابراین برای بررسی آب‌های زیرزمینی این دشت را نمی‌توان در زمره دشت‌های آبرفتی محسوب کرد. زیرا در حقیقت بسترگاه وسیع سیمینه‌رود است که با برخورد به مسیل‌های اطراف، دشت‌های کوچک آبرفتی را بوجود آورده است و به همین دلیل نمی‌تواند از ضخامت قابل ملاحظه آبرفت برخوردار باشد. در کنارهای دشت، عمق سطح آب حدود ۸ تا ۱۰ متر بوده و به سمت مرکز آن به سطح زمین نزدیک می‌شود. وجود مرغزارهای و دشت‌های کوچک پوشیده از چمن نمایانگر بالا بودن سطح آب زیرزمینی در این نقاط است. در تحقیق حاضر جهت تهیه نقشه سطح ایستابی آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی از داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای دشت بوکان (تهیه شده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی) استفاده شد. داده‌های چاه‌های مشاهداتی از طریق روش درون‌یابی (کریجینگ) در نرم ArcGIS به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شد (شکل ۷). برای فازی‌سازی این لایه از تابع خطی افزایشی استفاده شد و با توجه به نقشه فازی (شکل ۹) بخش‌های مرکز و شمالی شهرستان که مقدار فازی آنها به طرف صفر میل می‌کند از لحاظ تناسب جهت دفن پسماند نامناسب بوده و بخش‌های شرق و جنوب شرقی و همچنین غرب شهرستان بوکان و جنوب غربی مناسب جهت مکان‌گزینی دفن پسماند از شرایط مناسب برخوردارند.



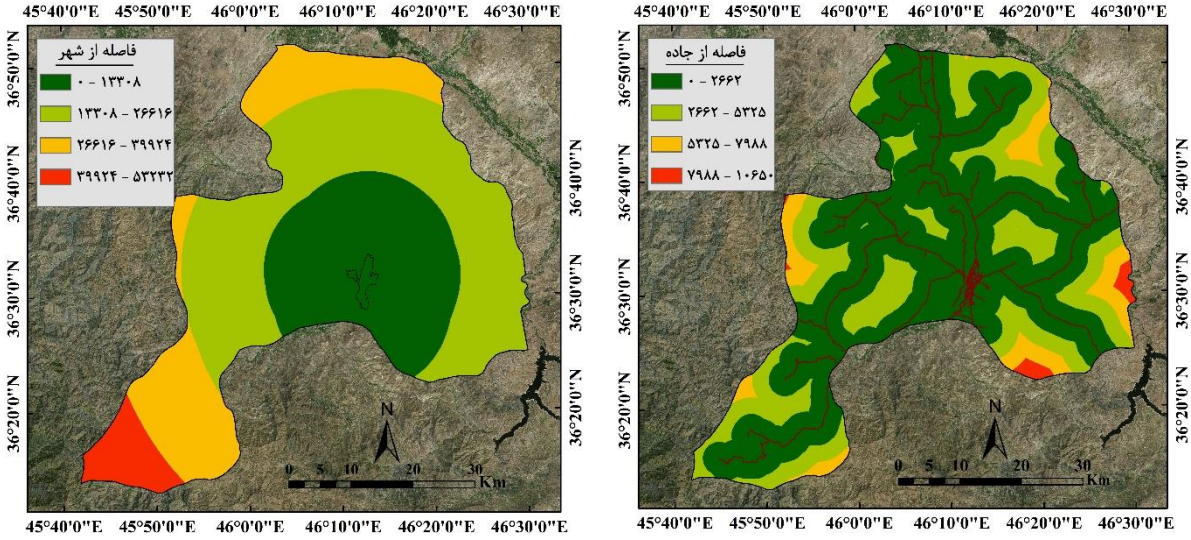
شکل ۷. نقشه فاصله از رودخانه و سطح آب زیرزمینی شهرستان بوکان

Fig. 7. Map showing the distance to the river and ground water level in Bukan County

متغیرهای دسترسی– اقتصادی

این متغیرها دارای دو مولفه دسترسی به شبکه‌های ارتباطی و نزدیکی به شهر بوکان می‌باشد. در واقع، استقرار مکان‌های دفع پسماندهای ساختمانی در محل‌های دور از شهر و یا عدم دسترسی مناسب به شبکه‌های ارتباطی می‌تواند کارایی این‌گونه مراکز را زیر سوال ببرد.

فاصله از شبکه‌های ارتباطی: بطور کلی برای سهولت و کاهش زمان، حمل و نقل و هزینه، مکان دفن باید حتی‌المقدور به جاده های اصلی و راه‌های موجود نزدیک باشد. در این خصوص، مطالعه در مورد ترافیک راه‌ها، ایمنی رفت و امد، ظرفیت و عرض پل‌ها نیز انجام گیرد. باید دقت نمود که جاده‌ها دوطرفه بوده و از نظر عرض و انحنا برای عبور تجهیزات و کامیون‌ها مناسب باشد (عبدلی، ۱۳۷۹). در همین رابطه، عرض جاده‌های دائمی را در اکثر موارد ۶ تا ۷ متر در نظر می‌گیرند و در صورتی‌که مکان دفع از تجهیزات عظیم و سنگین برخوردار نباشد، جاده با عرض ۴/۵ متر نیز مناسب در نظر گرفته می‌شود. ورودی به جاده سایت دفع نیز می‌بایست حداقل در ۲۱ متری اتوبان واقع شود. در ضمن جاده‌های دائمی باید صاف و هموار و آسفالت باشند. با توجه به اینکه شهر بوکان، نقطه جمعیتی غالب در سطح شهرستان بوده و همچنین قرار گرفتن آن بر سر محور ارتباطی تبریز به کرمانشاه، بررسی وضع ارتباطات شهر بوکان با شهرهای اطراف و آبادی‌های واقع در حوزه نفوذ آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. در شکل (۷) نقشه فاصله از جاده‌های ارتباطی آورده شده است. تابع مورد استفاده جهت فازی سازی لایه فاصله از راه‌های ارتباطی از نوع خطی کاهشی است که با افزایش میزان فاصله از راه‌های ارتباطی از درجه عضویت پیکسل‌ها کاسته می‌شود و بر عکس (شکل ۹).

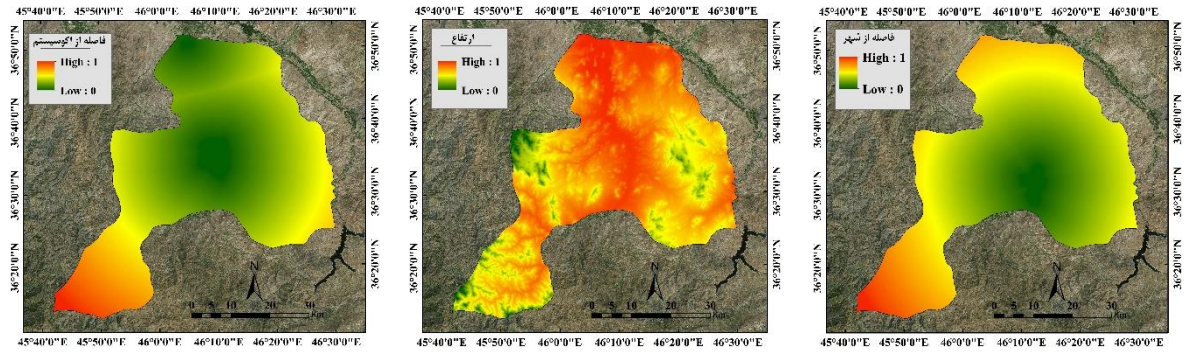


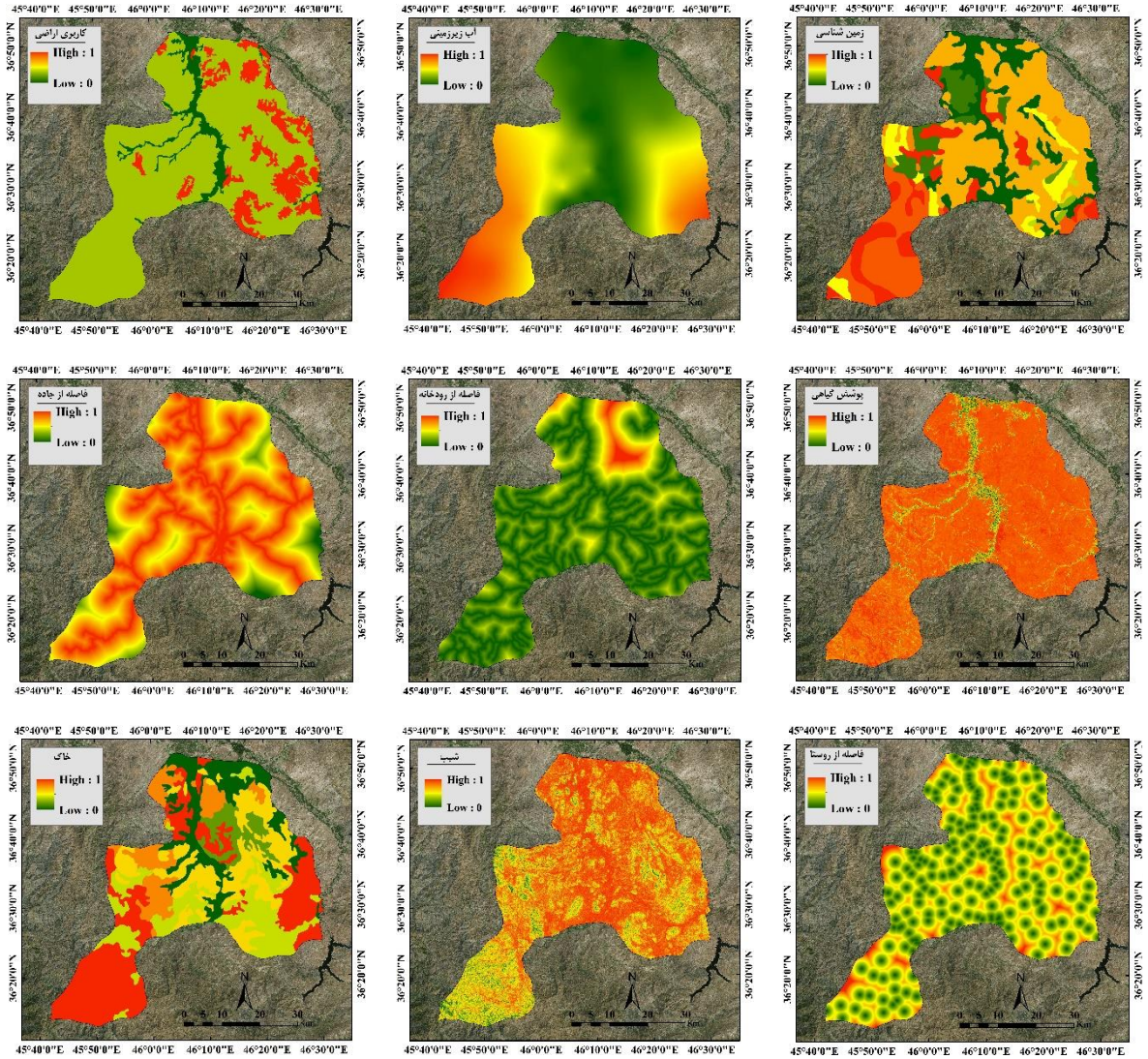
شکل ۸. نقشه فاصله از جاده و فاصله از شهر

Fig. 8. Map showing distance to roads and city

فاصله از شهر بوکان: در فرایند مکان‌یابی محل دفع پسماندهای جامد توجه به فاصله بهینه از شهر مورد نظر حائز اهمیت می‌باشد. این توجه به دو نکته اساسی معطوف می‌گردد؛ هزینه و بهداشت همگانی. پسماندهای ساختمانی که شامل مواد زائد و پسماندهای ساخت و ساز می باشند اغلب دارای حجم زیاد بوده که این ویژگی بالارفتن بار مالی و افزایش هزینه دفع را در پی دارد و موجب رهاسازی و تخلیه غیرقانونی این پسماندها در حاشیه و فواصل نزدیک شهر بوکان می‌گردد. بنابراین برای در نظر گرفتن فواصل بالاتر از ۵ کیلومتر هزینه‌های مرتبط با حمل و نقل پسماند ساختمانی بشدت افزایش می‌یابد. و اما از نظر ویژگی بهداشت همگانی به این دلیل که مواد زائد ساختمانی می تواند منشاء بیماری سالک باشد در این پژوهش از نظر بهداشتی فواصل نزدیکتر از ۱/۵ کیلومتر نامناسب در نظر گرفته شده است. همچنین این مواد زائد علاوه بر زیبایی بصری موجب ایجاد ریزگردها نیز خواهند شد. در نتیجه لایه فاصله از شهر بوکان در پژوهش حاضر گنجانده شد. همانطور که قبلا اشاره شد فاصله مکان دفن زباله های ساختمانی از شهر هم از لحاظ هزینه و هم از لحاظ بهداشت همگانی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. لذا رعایت فاصله قانونی از شهر امری بسیار مهم تلقی می‌شود. در این تحقیق تابع مورد استفاده جهت فازی سازی لایه فاصله از نقاط شهری از نوع خطی افزایشی است. یعنی با افزایش فاصله از نقاط شهری تناسب اراضی جهت دفن پسماندها و نخاله‌های ساختمانی بیشتر می‌شود. برای فازی‌سازی این لایه نیز از ابزار فازی تعریف کاربر در نرم افزار Terrset کمک گرفته شد (شکل ۸).

نقشه‌های فازی‌شده لایه‌های موضوعی موثر در مکان‌یابی بهینه سایت‌های دپوی پسماندهای ساختمای در شکل (۹) ارائه شده است.





شکل ۹. نقشه‌های فازی متغیرهای مورد بررسی به منظور مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی شهر بوکان

Fig. 9. Fuzzy maps of the variables under study for site selection of construction waste disposal sites in the city of Bukan

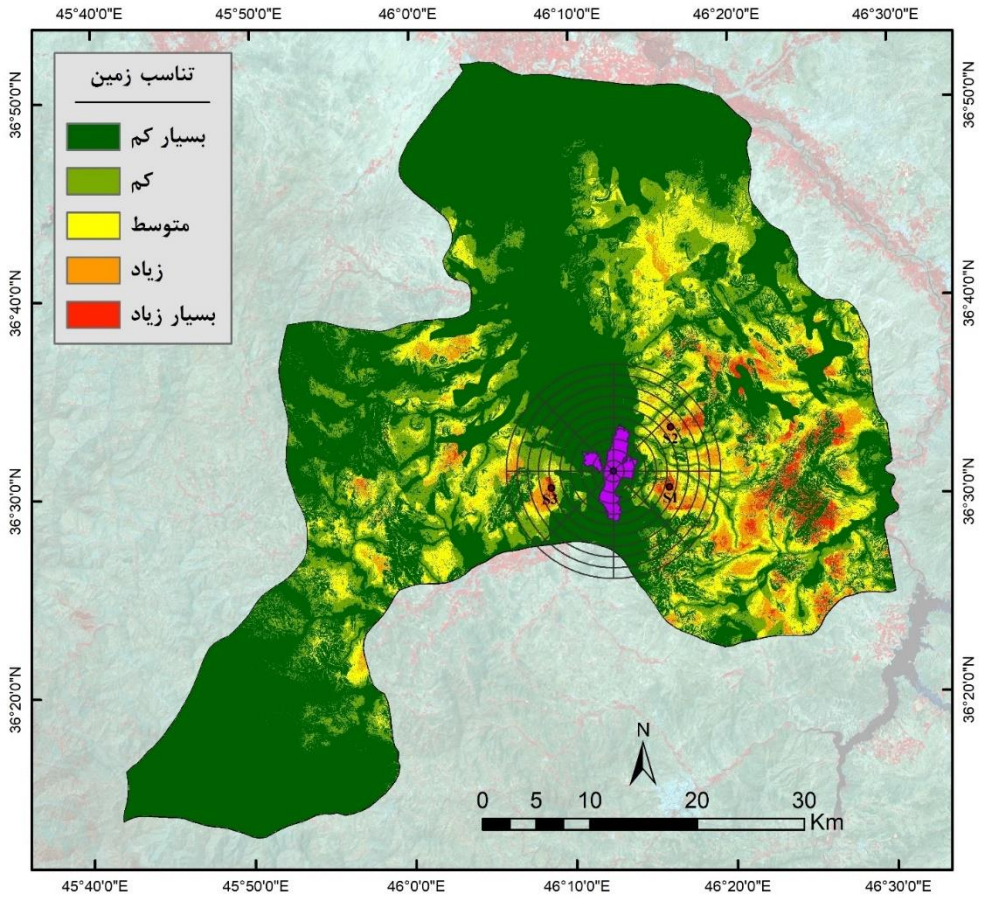
تلفیق لایه‌های موضوعی و تهیه تناسب اراضی برای دفع پسماندهای ساختمانی

نتایج حاصل از روی‌هم‌گذاری و ترکیب فازی لایه‌های موضوعی موثر بر مکان‌یابی محل دفن زایدات ساختمانی شهر بوکان را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

شرایط توپوگرافیکی و اکولوژیکی منطقه مطالعاتی به گونه‌ای است که مکان‌یابی پهنه مناسب جهت دفن مواد زائد ساختمانی را به شدت محدود می‌سازد. در این رابطه می‌توان به دلایل متعددی اشاره داشت. یکی از مهمترین دلایل وجود روستاها و مراکز جمعیتی کوچک نزدیک شهر بوکان و همچنین قرار گرفتن محدوده مورد مطالعه بر روی دشت آبرفتی، احاطه شهر از طرفین با کوه‌های «نالشکینه» و «برده‌رش» و وجود اراضی کشاورزی حاصلخیز می‌باشد. از طرف دیگر، وجود منابع غنی آب زیرزمینی مانعی جدی در مکان‌گزینی محل‌های دفع نخاله‌های ساختمانی محسوب می‌شود. لذا نقشه پهنه‌بندی تناسب اراضی منطقه جهت یافتن محل بهینه برای دفن تا حد زیادی به صورت نسبی می‌باشد (شکل ۱۰).

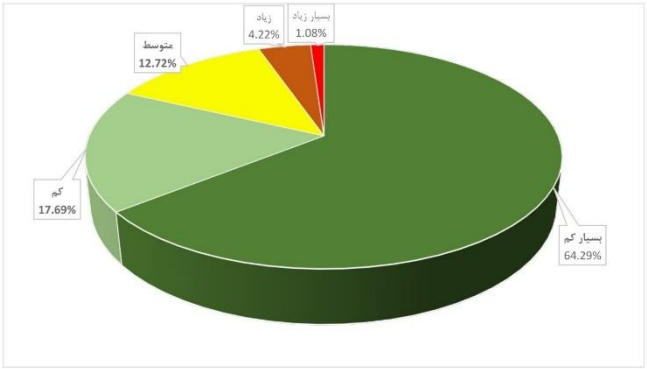
از نظر درصد کلاس‌های تناسب اراضی برای مکان‌یابی محل‌های دفع پسماندها و نخاله‌های ساختمانی با توجه به شکل (۱۱) تنها حدود ۱/۰۸ درصد مساحت شهرستان برای این هدف بسیار مناسب هستند. همچنین حدود ۴/۲۲ درصد مساحت شهرستان برای مکان‌یابی محل‌های دفع پسماندهای ساختمانی مناسب تشخیص داده شده است. با این حال، بالغ بر ۸۲ درصد مساحت شهرستان برای مکان‌یابی محل‌های دفن پسماندهای ساختمانی از تناسب کم تا بسیار کم برخوردار هستند. پهنه‌های با تناسب کم یا بسیار کم تقریبا در کل محدوده شهرستان بوکان پراکنده هستند. وسعت زیاد کلاس تناسب کم و بسیار کم در ارتباط با شرایط محیطی حاکم بر محدوده شهرستان است. خاک حاصلخیز و تعداد زیاد روستا پیرامون شهر، احاطه کوه‌ها و شیب زیاد، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و دوری از مرکز شهرستان باعث شده‌اند که تقریبا تمامی این پهنه‌ها در کلاس‌های با تناسب کم و بسیار کم قرار گیرند. براساس خروجی مدل در سه بخش از محدوده پیرامونی شهر بوکان اراضی مناسب برای مکان‌یابی محل‌های دفن پسماندهای ساختمانی وجود دارد. مکان‌های ذکر شده با علامت اختصاری S1، S2 و S3 در نقشه علامت‌گذاری شده‌اند. دو سایت در شرق و یک سایت در غرب شهر بوکان مکان‌یابی شد. سایت‌های موجود با توجه به ملاک‌های متعدد نظیر دسترسی مطلوب به شهر بوکان- به عنوان منبع تولید پسماندهای ساختمانی- اولویت‌بندی شدند که سایت‌های موجود در شرق شهر از اولویت بالاتری برخوردارند. حضور همزمان چندین معیار مساعد برای مکان‌یابی دفن پسماندهای ساختمانی باعث شده است که این اراضی حائز شرایط لازم برای استقرار محل دفن پسماندهای ساختمانی باشند. در این زمینه می‌توان به عواملی مانند شیب و ارتفاع مناسب، دسترسی بسیار مناسب به شهر بوکان و شبکه ارتباطی، پوشش گیاهی نسبتا ضعیف و قابلیت نسبتا پایین کشاورزی اشاره نمود. مطابق بررسی‌های میدانی به نظر می‌رسد که سایت S1 واقع در پشت کوه «ناله شکینه» و شمال شرقی شهرک دامداران از شرایط مطلوب‌تری برخوردار می‌باشد.

در شهر بوکان روزانه بالغ بر ۲۳۰ تن زباله تر و خشک و حدود ۵۰ تن پسماند ساختمانی تولید می‌شود. محل دفع هر دو نوع پسماند در سایت شیخلر، در حد فاصل شهر بوکان و روستای شیخلر در غرب شهر بوکان می‌باشد. وجود سایت دفع پسماندهای مذکور یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شهرستان بوکان به‌شمار می‌رود. این سایت در نزدیکی شهر بوکان و روستای پرجمعیت شیخلر واقع شده است که عدم رعایت فاصله مناسب از سکونتگاه‌ها باعث ایجاد مسائل متعددی از قبیل انتشار بوی نامطبوع شده است. از سوی دیگر، سایت دفع پسماند شیخلر باعث آلودگی منابع آب سطحی (مخصوصا رودخانه سیمینه‌رود) و زیرزمینی و آلودگی خاک منطقه شده است. مطابق با نقشه مکان‌یابی دفع پسماندهای ساختمانی (شکل ۱۰)، سایت مذکور در کلاس با تناسب بسیار کم قرار گرفته است. بدین ترتیب، لازم است نسبت به جابجایی سایت دفع پسماند فعلی اقداماتی صورت گیرد.



شکل ۱۰. نقشه تناسب زمین جهت دفن پسماندهای ساختمانی در محدوده شهرستان بوکان

Fig. 10. Map showing land suitability for construction waste landfill in the Bukan County



شکل ۱۱. درصد مساحت هر یک از کلاس‌های تناسب برای مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی

Fig. 11. Percentage of each land suitability class for construction waste site selection

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف شناسایی مکان‌های بهینه برای دفع پسماندهای ساختمانی در شهرستان بوکان و با بهره‌گیری از تلفیق سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) و منطق فازی انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از محدودیت‌های بسیار شدید محیطی در پهنه‌ی این شهرستان برای انجام این مهم است. ترکیب فازی لایه‌های استانداردشده نشان می‌دهد که تنها حدود ۱/۰۸ درصد از

مساحت کل شهرستان بوکان در طبقه‌ی بسیار مناسب برای احداث محل دفن پسماند ساختمانی قرار می‌گیرد. همچنین، تنها ۴/۲۲ درصد از اراضی در طبقه‌ی مناسب جای گرفته‌اند. در مقابل، بیش از ۸۲ درصد از مساحت شهرستان، به دلایل متعدد از جمله حاصلخیزی خاک، تراکم بالای سکونتگاه‌های روستایی، توپوگرافی نامساعد کوهستانی، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در دشت مرکزی، و مجاورت با اکوسیستم‌های حساس، دارای تناسب کم تا بسیار کم ارزیابی شدند. این آمار به وضوح گویای چالش‌های بنیادین در مدیریت پایدار پسماندهای ساختمانی در این منطقه است. در چنین بستر محدودکننده‌ای، سه پهنه به عنوان گزینه‌های نسبتاً بهینه با اولویت‌های متفاوت شناسایی شدند. اولویت نخست به سایت S1 واقع در پشت کوه ناله‌شکینه و در شمال شرقی شهرک دامداران تعلق دارد. این سایت با برخورداری از شیب ملایم، دسترسی نسبتاً مناسب به شبکه‌ی ارتباطی، پوشش گیاهی ضعیف، و دوری نسبی از منابع آب زیرزمینی اصلی، بهترین ترکیب از معیارهای مثبت را داراست. سایت S2 در شرق شهر بوکان و سایت S3 در غرب آن، به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. این سه گزینه اگرچه شرایط ایده‌آل را کاملاً دارا نیستند، اما در مقایسه با محل دفن فعلی شیخلر– که در این تحقیق در طبقه‌ی کم‌تناسب قرار گرفت و منشأ مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی فراوانی شده است– گزینه‌های به مراتب قابل قبول‌تری محسوب می‌شوند.

مقایسه‌ی این نتایج با یافته‌های مطالعات مشابه در دیگر مناطق، هم‌جهتی‌ها و نیز خاص‌بودگی شرایط بوکان را نشان می‌دهد. برای مثال، تحقیق دینگ[1] و همکاران (۲۰۱۸) در شهر شنزن چین، حدود ۰/۳۸ درصد از مساحت را برای دفن پسماند ساختمانی بسیار مناسب و ۱۷/۶ درصد را مناسب گزارش کرده‌اند که این عدد به مراتب بیشتر از درصد به‌دست‌آمده در بوکان است و حاکی از محدودیت‌های فوق‌العاده شدیدتر در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی حاضر دارد. از سوی دیگر، مطالعه‌ی اسمعیل‌پور (۲۰۲۴) در شهر بناب نیز مناطق شمالی و غربی را به دلیل شیب مناسب و دسترسی خوب، مناسب تشخیص داده است که با موقعیت‌یابی سایت‌های S1 و S3 در شمال شرق و غرب بوکان هم‌خوانی دارد. با این حال، عامل بازدارنده‌ی اصلی در بوکان که در بسیاری از مطالعات دیگر کمتر به چشم می‌خورد، تلفیق دو عامل بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در دشت حاصلخیز مرکزی و تراکم زیاد روستاها در پیرامون شهر است که پهنه‌های وسیعی را از دایره‌ی انتخاب خارج می‌کند. رویکرد ترکیبی فازی– مکانی به‌کاررفته در این پژوهش، مشابه روش‌های موفق در مطالعاتی مانند اکینچی و اوزالپ[2] (۲۰۲۲) و زرین و همکاران (۲۰۲۱) بود.

درنهایت، پیشنهادات مبتنی بر یافته‌های پژوهش را می‌توان به شرح زیر بیان داشت:

- جایگزینی محل دفع فعلی: با توجه به خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی سایت فعلی شیخلر، لازم است مسئولان شهرداری نسبت به انتقال فعالیت دفع پسماند ساختمانی به یکی از سایت‌های پیشنهادی این تحقیق، ترجیحاً سایت S1، امکان‌سنجی کنند.
- مطالعات تفصیلی میدانی: پیش از هرگونه اقدام اجرایی، انجام مطالعات تکمیلی ژئوتکنیک، هیدروژئولوژیک و ارزیابی دقیق تأثیرات زیست‌محیطی (EIA) بر روی سایت‌های پیشنهادی S1، S2 و S3 ضروری است تا از برآورده شدن کلیه ضوابط فنی و ایمنی اطمینان حاصل شود.
- تدوین ضوابط محلی مدیریت پسماند: پیشنهاد می‌شود شهرداری بوکان با همکاری دانشگاه و دستگاه‌های زیست‌محیطی، ضوابط و دستورالعمل‌های محلی برای مدیریت، کاهش در مبدأ، تفکیک و بازیافت پسماندهای ساختمانی تدوین نماید. تمرکز صرف بر دفع، راه‌حلی پایدار نخواهد بود.
- آگاه‌سازی و نظارت: ایجاد کمپین‌های آگاهی‌بخشی برای پیمانکاران و شهروندان درباره‌ی مضرات دفع غیرقانونی نخاله‌ها و همچنین تقویت نظارت بر تخلیه‌ی پسماند در حاشیه‌ی جاده‌ها و رودخانه سیمینه‌رود ضروری است.

1. Ding
2. Akinci & Özalp

منابع

امانپور، س.؛ سعیدی، ج. و سلیمانی‌راد، ا (۱۳۹۲). مکانیابی دفن پسماندهای شهری (مطالعه موردی شهرکرمانشاه). *انسان و محیط زیست*، سال یازدهم، شماره ۴.

پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران. (۱۳۹۲). *راهنمای طبقه‌بندی پسماندها برای بازرسین بهداشت محیط؛ الزامات، دستورالعمل‌ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار*. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، مرکز سلامت محیط و کار.

جعفری نوبخت، ف.؛ چراغی، م. و لرستانی، ب. (۱۳۹۹). مکان‌یابی محل دفن نخاله‌های ساختمانی با استفاده از GIS و روش AHP (مطالعه موردی: شهر همدان). *مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۹)، ۲۳۹-۲۱۵.

طرح تفصیلی بوکان (۱۴۰۰) شهرداری بوکان.

عبدلی، محمدعلی (۱۳۷۹). *مدیریت دفع و بازیافت مواد زائد جامد شهری در ایران*، مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری وزارت کشور. انتشارات سازمان شهرداری‌ها.

فاضل‌نیا، غریب؛ حکیم‌دوست، سیدیاسر و بلیانی، یدالله (۱۳۹۴). *راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS در برنامه‌ریزی شهری*، روستایی و محیطی، تهران، انتشارات آزاد پیما.

کشفی، ا. (۱۳۹۶). *مکان‌یابی و ارزیابی زیست محیطی مکان‌های دفن نخاله‌های ساختمانی در شهر یزد*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه زمین‌شناسی. گرایش زیست محیط. دانشگاه یزد.

موسوی، سیدحسن؛ بیگدلو، سعیده؛ معین الدینی، مظاهر؛ عمرانی، قاسمعلی و میرزاحسینی، علیرضا (۱۳۹۸). مکانیابی محل دفن نخاله‌های ساختمانی شهر کرج با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۴(۴)، ۲۰۰۲-۱۹۹۳.

نرگسی، سارا و بیاتی خطیبی, مریم (۱۴۰۱). مکان‌یابی محل دفن نخاله‌های ساختمانی با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی شهر ایلام، *نشریه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی*، ۲(۴)، ۷۹-۵۷.

Abdoli, M. A. (2000). *Management of municipal solid waste disposal and recycling in Iran*. Tehran, Iran: Center for Urban Planning Studies, Ministry of Interior. (In Persian)

Akbari, V., Rajabi, M. A., Chavoshi, S. H., and Shams, R., (2008). Landfill site selection by combining GIS and fuzzy multi criteria decision analysis, case study: Bandar Abbas, Iran. *World Applied Sciences Journal*. 3(1): 39-47.

Akinci, H., Özalp, A.Y. (2022). Optimal site selection for solar photovoltaic power plants using geographical information systems and fuzzy logic approach: a case study in Artvin, Turkey. *Arab J Geosci* 15, 857 (2022). https://doi.org/10.1007/s12517-022-10129-y

Akinci, H., Özalp, A.Y. Optimal site selection for solar photovoltaic power plants using geographical information systems and fuzzy logic approach: a case study in Artvin, Turkey. *Arab J Geosci* 15, 857 (2022). https://doi.org/10.1007/s12517-022-10129-y

Al-Fares, R. A. (2024). Optimal landfill site selection through the application of GIS analysis & geotechnical investigation. *Annals of GIS*, 30(3), 383–409. https://doi.org/10.1080/19475683.2024.2390409.

Amanpour, S., Saeedi, V., & Soleimanirad, A. (2014). Locating urban landfill, the city of Kermanshah Case Study, *Human and Environment*. Volume:11 Issue: 4 (In Persian)

Arabeyyat, O., Shatnawi, N., Shbool, M., Al Shraah, A., (2024) Landfill site selection for sustainable solid waste management using multiple-criteria decision-making. Case study: Al-Balqa governorate in Jordan, *MethodsX*, Volume 12, https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102591.

Araiza-Aguilar, J. A., Gutiérrez-Palacios, C., Rojas-Valencia, M. N., Nájera-Aguilar, H. A., Gutiérrez-Hernández, R. F., & Aguilar-Vera, R. A. (2019). Selection of Sites for the Treatment and the Final Disposal of Construction and Demolition Waste, Using Two Approaches: An Analysis for Mexico City. *Sustainability*, 11(15), 4077. https://doi.org/10.3390/su11154077

Bukan Municipality. (2021). *Detailed plan of Bukan County*. Bukan, Iran: Bukan Municipality. (In Persian)

Ding, Z., Zhu, M., Wu, Z., Fu, Y., & Liu, X. (2018). Combining AHP-entropy approach with GIS for construction waste landfill selection—A case study of Shenzhen. *International Journal Of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2254.

Ding, Z., Zhu, M., Wu, Z., Fu, Y., & Liu, X. (2018). Combining AHP-Entropy Approach with GIS for Construction Waste Landfill Selection—A Case Study of Shenzhen. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(10), 2254. https://doi.org/10.3390/ijerph15102254

Eastman, J. R (a). (2012). *IDRISI Selva Tutorial*, Manual Version 17, Clark Labs, Clark University, 354p.

Eastman, J. R (b). (2012). IDRISI Selva Manual, Manual Version 17, Clark Labs, Clark University, 322p.

Elshaboury, N., Hesham, A. & AlMetwaly, W.M. (2024). Optimal site selection for construction and demolition waste disposal using GIS-FAHP: a case study from Kafr El Sheikh City, Egypt. *Environ Sci Pollut Res* 31, 8223–8239. https://doi.org/10.1007/s11356-023-31637-8

Esmaeilpour, M. (2023). Site selection for construction and demolition waste landfill using catastrophe theory: the case of Bonab city, Iran. *Environ Monit Assess* 195, 1409. https://doi.org/10.1007/s10661-023-12013-y

Fazelnia, G., Hakimdoos, S. Y., & Belyani, Y. (2015). *Comprehensive guide on applied GIS models in urban*, rural, and environmental planning (4th ed.). Tehran, Iran: Azad Peyma Publications. (In Persian)

Jafari Nobakht, F., Cheraghi, M., & Lorestani, B. (2021). Landfill Site Selection of Construction and Demolition Wastes Using GIS and AHP Method (A Case Study of Hamedan City). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(9 (100)), 215-239. SID. https://sid.ir/paper/387591/en. (In Persian)

Kashfi, A. (2017). *Locating and environmental assessment of construction waste disposal sites in Yazd City* (Master's thesis). University of Yazd, Yazd, Iran. (In Persian)

Lu, W., Lou, J., Webster, C., Xue, F., Bao, Z., Chi, B., (2021). Estimating construction waste generation in the Greater Bay Area, China using machine learning, *Waste Management*, Volume 134, Pages 78-88, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.012.

Mousavi, S. H., bigdelo, S., Moeinaddini, M., Omrani, G. and Mirzahosseini, A. (2019). Site selection of construction and demolition wastes landfill using Multi-Criteria Evaluation (MCE) methodology. *Journal of Environmental Science Studies*, *4*(4), 1993-2002. (In Persian)

Nargesi, S. and Bayati Khatibi, M. (2022). Locating construction waste landfills using fuzzy logic and hierarchical analysis process (case study: Ilam city). *Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, *2*(4), 79-57. doi: 10.22034/rsgi.2023.15838. (In Persian)

Shi, Q., Ren, H., Ma, X., Xiao, Y., (2019). Site selection of construction waste recycling plant, *Journal of Cleaner Production*, Volume 227, Pages 532-542, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.252.

Spies, S. (2009). *3R in Construction and Demolition Waste (CDW)-Potentials and Constraints*. GTZ-German Technical Cooperation, Inaugural Meeting of the Regional 3R Forum in Asia, Tokyo, Japan. Retrieved from: www.uncrd.or.jp/env/spc/.

Tehran University of Medical Sciences, Environmental Research Institute. (2013). *Waste classification guide for environmental health inspectors: Requirements, guidelines, and specialized instructions.* Tehran, Iran: Ministry of Health and Medical Education, Center for Environmental and Occupational Health. (In Persian)

Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M.S., Eskicioglu, C., Sadiq, R., (2013). An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Techn Environ Policy*, 15, 81–91. https://doi.org/10.1007/s10098-012-0481-6

Zarin, R., Azmat, M., Naqvi, S.R. et al. Landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC method based on multi-criteria decision analysis. Environ Sci Pollut Res 28, 19726–19741 (2021). https://doi.org/10.1007/s11356-020-11975-7