



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 37, Issue 1, No.101, 2026, pp. 43- 66

Received: 17/02/2026 Accepted: 10/06/2026

Identification of Suitable Landfill Areas in Izeh County Considering Environmental Constraints

Masoumeh Asadi  *

Assistant Professor of Soil and Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. asadizhina@yahoo.com

Hamid Ganjaeian

Ph.D. of Geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran
h.ganjaeian@ut.ac.ir

Azam Ebrahimi

Ph.D. student of Geography and Urban Planning, University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran
az-ebrahimi@stu.scu.ac.ir

Abstract

With rising population growth and increasing waste generation, sustainable waste management has emerged as a major environmental challenge. The selection of appropriate landfill sites plays a crucial role in mitigating environmental impacts and improving the quality of life for local residents. Given the importance of this issue, the present study aimed to identify suitable areas for landfill siting in Izeh County. A range of spatial datasets was employed, including the ALOS PALSAR digital elevation model (12.5 m spatial resolution), 1:100,000-scale geological maps, MODIS and Google Earth satellite imagery, and CHIRPS satellite precipitation data. Data processing and analysis were conducted using ArcGIS software and the Google Earth Engine platform, from which indicators like vegetation cover, mean annual precipitation, and surface features were extracted. A combined model integrating the Relative Weighting Rate (RWR) and fuzzy logic was applied to evaluate spatial suitability for landfill placement. The results indicated that approximately 45.7% of the county area fell within the moderate suitability class, while 45.8% was classified as low or very low suitability. Only 4.8% of the total area (approximately 210 km²) exhibited high potential for landfill siting. After applying environmental and land-use constraints, the final suitable area was reduced to about 76 km². These findings underscored the severe scarcity of suitable land and high environmental sensitivity of the region. The results of this study can serve as a scientific basis for waste management planning. It is recommended that, alongside site selection, complementary measures, such as waste reduction, recycling promotion, geotechnical and hydrogeological assessments, and local community engagement, be considered.

Keywords: Landfill, Environmental Impacts, Suitable Landfill Areas, Izeh County.

*Corresponding Author

Asadi, M. , Ganjaeian, H. and Ebrahimi, A. (2026). Identification of Suitable landfill Areas in Izeh County Considering Environmental Constraints. *Geography and Environmental Planning*, 37 (1), 43 - 66 .

2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gep.2026.148419.1776

Introduction

Solid waste management is regarded as one of the most pressing environmental challenges facing contemporary societies, a problem that has grown increasingly complex due to population growth, urban development, and rising consumption patterns. Landfilling as one of the most common and oldest waste disposal methods can effectively mitigate the negative impacts of waste on both the environment and human health—provided it is carried out properly and scientifically. Selection of an appropriate landfill site is therefore of great importance as improper siting can lead to contamination of surface and groundwater resources, soil degradation, greenhouse gas emissions, threats to ecosystems, and adverse health effects on human communities. Given the significance of this issue, the present study aimed to identify suitable landfill sites in Izeh County. Located in the eastern part of Khuzestan Province and situated within the high Zagros region, Izeh County is characterized by diverse and complex natural conditions. The hydrogeomorphological diversity, considerable elevation differences, severe topographic irregularities, and unique geological features of the area pose serious challenges for spatial planning and siting of various land uses, including landfills. Furthermore, the hydroclimatic conditions of the region—encompassing precipitation patterns, surface water flows, and sensitivity of groundwater resources—underscore the necessity of paying special attention to environmental considerations when selecting landfill locations. Population growth and concentration of human settlements in Izeh County have led to the generation of substantial volumes of municipal waste. At the same time, limited suitable land availability, prevailing lithology, and the risk of water and soil contamination reduce the feasibility of using many areas for landfill purposes. Inappropriate site selection or indiscriminate waste dumping may result in consequences, such as water resource contamination, soil erosion, destruction of natural landscapes, and health risks for local residents. Consequently, identifying suitable areas for landfill siting in Izeh County is an essential and urgent necessity.

Materials & Methods

To achieve the objectives of this study, a range of spatial data, remote sensing data, and base maps were utilized. The primary datasets included the ALOS PALSAR Digital Elevation Model (DEM) with a spatial resolution of 12.5 meters, a 1:100,000-scale geological map of the region, MODIS satellite imagery for vegetation extraction, CHIRPS satellite rainfall data for estimating mean annual precipitation, and Google Earth imagery for identifying surface features, such as roads, water bodies, and residential areas. ArcGIS software served as the main tool for preparing, managing, and analyzing spatial data layers, as well as for producing the required maps. In addition, the Google Earth Engine platform was employed for processing remote sensing data, extracting vegetation indices, and calculating mean annual precipitation. The combined use of these datasets and tools enabled a more accurate analysis of the environmental and spatial characteristics of the study area. This study employed a hybrid model integrating the Relative Weighting Rate (RWR) and fuzzy logic. The research was carried out in 5 stages:

1. **Parameter identification and information layer preparation:** Relevant factors were identified and the corresponding spatial layers were compiled.
2. **Standardization of information layers:** Each layer was transformed into a comparable scale.
3. **Weighting of information layers:** The relative importance of each layer was determined.
4. **Generation of the preliminary suitability map:** The weighted layers were combined to produce an initial map of suitable landfill areas.
5. **Application of exclusion zones:** Constraining factors were overlaid to derive the final map of suitable landfill locations.

Discussion of Results and Conclusion

Following the identification and weighting of the information layers, the assigned weight values were applied to each layer. The layers were then combined by using the fuzzy gamma operator to appropriately account for the interactions and overlaps among the various datasets. In this process, a hybrid model integrating RWR and fuzzy logic was employed to enhance the accuracy and reliability of the analysis. Based on these analyses, the final map of suitable areas for landfill siting in Izeh County was produced. An examination of the areal extent and percentage distribution of each suitability class revealed that only a limited portion of Izeh County was suitable

for landfill development. According to the results, 1,143 km² equivalent to 45.8% of the county's total area (Table 2 and Figure 4), fell into the low and very low potential classes. These areas characterized by dense vegetation, high elevation and slope, and proximity to rivers and lakes were considered unsuitable for landfill siting due to their unfavorable natural and environmental conditions. Utilizing such areas would pose significant environmental and managerial risks. In contrast, only 210 km² accounting for 4.8% of the county's area was classified as relatively suitable for landfill establishment. These areas consisted of scattered portions of the central and western regions of Izeh County, where conditions were favorable according to most evaluated parameters.

The findings of this study revealed that, of the total area of Izeh County, approximately 45.7% fell into the medium potential class, while 45.8% fell into the low and very low potential classes for landfill siting. This indicated that a large portion of the region was unsuitable based on environmental and spatial criteria. Only 4.8% of the county's area—equivalent to 210 km²—was identified as having high potential with these areas mostly dispersed across the central and western parts of the county. After applying constraining layers and exclusion zones—including buffers around water resources, human settlements, main roads, and areas of dense vegetation—the final suitable areas were reduced to approximately 76 km², representing about 3% of the total area of Izeh County. This substantial reduction underscored the region's high environmental sensitivity and the severe scarcity of suitable land for landfill purposes. Overall, the results demonstrated that the integrated use of GIS, fuzzy logic, and RWR could effectively enhance the accuracy of site selection and serve as a scientific basis for planning and decision-making in waste management within Izeh County. Given the limited availability of suitable land for landfill in Izeh County, it is recommended that municipal managers and waste management authorities not only utilize the findings of this study to guide site selection, but also actively pursue complementary strategies, such as waste reduction, source separation, recycling, and material reuse.

مقاله پژوهشی

شناسایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایزه با اعمال محدودیت‌های زیست‌محیطی

معصومه اسدی* ، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

asadizhina@yahoo.com

حمید گنجائیان، دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

h.ganjaeian@ut.ac.ir

اعظم ابراهیمی، دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

az-ebrahimi@stu.scu.ac.ir

چکیده

با افزایش جمعیت و تولید پسماند، مدیریت پایدار زباله‌ها به یکی از چالش‌های مهم محیط‌زیستی تبدیل شده است. انتخاب مکان مناسب برای دفن یا دپوی پسماند، نقش اساسی در کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهبود کیفیت زندگی شهروندان دارد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به شناسایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایزه پرداخته شده است. در این تحقیق به منظور شناسایی مناطق مناسب دفن زباله در شهرستان ایزه، از مجموعه‌ای از داده‌های مکانی شامل مدل رقومی ارتفاعی ALOS PALSAR با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای MODIS و Google Earth و داده‌های بارش ماهواره‌ای CHIRPS استفاده شد. پردازش و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار ArcGIS و سامانه Google Earth Engine انجام شد و شاخص‌های پوشش گیاهی، میانگین بارش سالانه و عوارض سطحی استخراج شد. همچنین مدل تلفیقی ضریب وزنی نسبی (RWR) و منطق فازی برای ارزیابی پتانسیل مکانی دفن زباله به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که حدود ۴۵/۷ درصد مساحت شهرستان در طبقه پتانسیل متوسط و ۴۵/۸ درصد در طبقات کم و خیلی کم قرار دارند و تنها ۴/۸ درصد از مساحت شهرستان (۲۱۰ کیلومتر مربع) پتانسیل بالایی برای دفن زباله دارد. با اعمال محدودیت‌های زیست‌محیطی و کاربری اراضی، مساحت نهایی مناطق مناسب به حدود ۷۶ کیلومتر مربع کاهش یافت. این یافته‌ها نشان‌دهنده محدودیت شدید اراضی مناسب و حساسیت بالای محیط‌زیست منطقه است. نتایج پژوهش می‌تواند به عنوان مبنای علمی برای برنامه‌ریزی مدیریت پسماند مورد استفاده قرار گیرد و توصیه می‌شود همراه با انتخاب مکان مناسب، اقدامات تکمیلی مانند کاهش تولید زباله، بازیافت، ارزیابی‌های ژئوتکنیکی و هیدروژئولوژیکی و مشارکت جامعه محلی نیز مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: دفن زباله، اثرات زیست محیطی، مناطق مستعد دفن زباله، شهرستان ایزه

*نویسنده مسؤول

اسدی، معصومه، گنجائیان، حمید و ابراهیمی، اعظم. (۱۴۰۵). شناسایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایزه با اعمال محدودیت‌های زیست‌محیطی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۷ (۱)، ۶۶-۴۳.



مقدمه

مدیریت پسماندهای جامد یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جوامع امروزی به شمار می‌رود (Zhang, 2013, p. 2) که با رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و افزایش مصرف، ابعاد پیچیده‌تری به خود گرفته است (Yan, 2014, p. 8162). دفن زباله به‌عنوان یکی از رایج‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌های مدیریت پسماند، در صورتی که به شکل اصولی و علمی انجام شود، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش اثرات منفی زباله‌ها بر محیط زیست و سلامت انسان ایفا کند (Torres & Fraternali, 2021, p. 3). انتخاب مکان مناسب برای دفن زباله اهمیت بسیار زیادی دارد؛ زیرا مکان‌یابی نادرست می‌تواند منجر به آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی (Papale et al., 2023, p. 3)، تخریب خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تهدید اکوسیستم‌ها و بروز مشکلات بهداشتی برای جوامع انسانی شود (Mallick, 2021, p. 2).

دفن غیراصولی زباله‌ها علاوه بر پیامدهای زیست‌محیطی، آثار اقتصادی و اجتماعی درخور توجهی نیز به همراه دارد (Moumane et al., 2025, p. 2) از جمله کاهش ارزش اراضی اطراف، افزایش هزینه‌های درمانی و ایجاد تعارضات اجتماعی؛ از این رو، برنامه‌ریزی صحیح در زمینه دفن زباله مستلزم توجه هم‌زمان به عوامل طبیعی مانند زمین‌شناسی، توپوگرافی، هیدرولوژی، اقلیم و عوامل انسانی نظیر فاصله از سکونتگاه‌ها، راه‌های ارتباطی و کاربری اراضی است (اقصایی و سوری، ۱۳۹۶، ص. ۲۱۶؛ عباس‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶، ص. ۸۸؛ ناصرترابی و همکاران، ۱۴۰۱، ص. ۷۷۵). امروزه استفاده از رویکردهای علمی و ابزارهای نوین مانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل‌های چندمعیاره، امکان شناسایی مناطق مناسب برای دفن زباله را با دقت بیشتری فراهم کرده است (Spigolon et al., 2018, p. 607). در مجموع، دفن بهداشتی و اصولی زباله نه‌تنها راهکاری برای کنترل آلودگی‌هاست (Soyaslan, 2025, p. 2)، گامی اساسی در جهت دستیابی به توسعه پایدار و حفظ کیفیت محیط زیست برای نسل‌های آینده محسوب می‌شود (Powell et al., 2018, p. 138).

شهرستان ایذه در شرق استان خوزستان واقع شده و به دلیل قرارگیری در محدوده زاگرس مرتفع، از شرایط طبیعی متنوع و پیچیده‌ای برخوردار است. تنوع هیدروژئومورفولوژیکی، اختلاف ارتفاع زیاد، ناهمواری‌های شدید و ویژگی‌های زمین‌شناسی خاص این منطقه، برنامه‌ریزی فضایی و مکانیابی کاربری‌های مختلف از جمله دفن زباله را با چالش‌های جدی مواجه کرده است. از سوی دیگر، شرایط هیدرواقليمی منطقه، شامل میزان بارش، جریان‌های سطحی و حساسیت منابع آب زیرزمینی، اهمیت توجه ویژه به مسائل زیست‌محیطی در انتخاب محل دفن زباله را دوچندان می‌کند.

افزایش جمعیت و تمرکز سکونتگاه‌های انسانی در شهرستان ایذه منجر به تولید حجم درخور توجهی از پسماندهای شهری شده است. این در حالی است که محدودیت اراضی مناسب، نوع لیتولوژی غالب و خطر آلودگی آب و خاک، امکان استفاده از بسیاری از مناطق را برای دفن زباله کاهش داده است. در صورت انتخاب نادرست محل دفن یا دپوی زباله، پیامدهایی نظیر آلودگی منابع آب، فرسایش خاک، تخریب چشم‌اندازهای طبیعی و تهدید سلامت ساکنان منطقه محتمل خواهد بود؛ بنابراین، شناسایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایذه یک ضرورت اساسی به شمار می‌رود. این امر مستلزم بررسی و تحلیل هم‌زمان پارامترهای طبیعی شامل شیب، زمین‌شناسی، فاصله از منابع آب و شرایط اقلیمی، و همچنین پارامترهای انسانی نظیر تراکم جمعیت، فاصله از مراکز سکونت و زیرساخت‌هاست. اتخاذ رویکردی علمی و جامع در این زمینه می‌تواند ضمن کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، به بهبود مدیریت پسماند

و ارتقای کیفیت محیط زیست در شهرستان ایزه کمک شایانی کند. با توجه به موارد ذکر شده، هدف از این تحقیق، شناسایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایزه است.

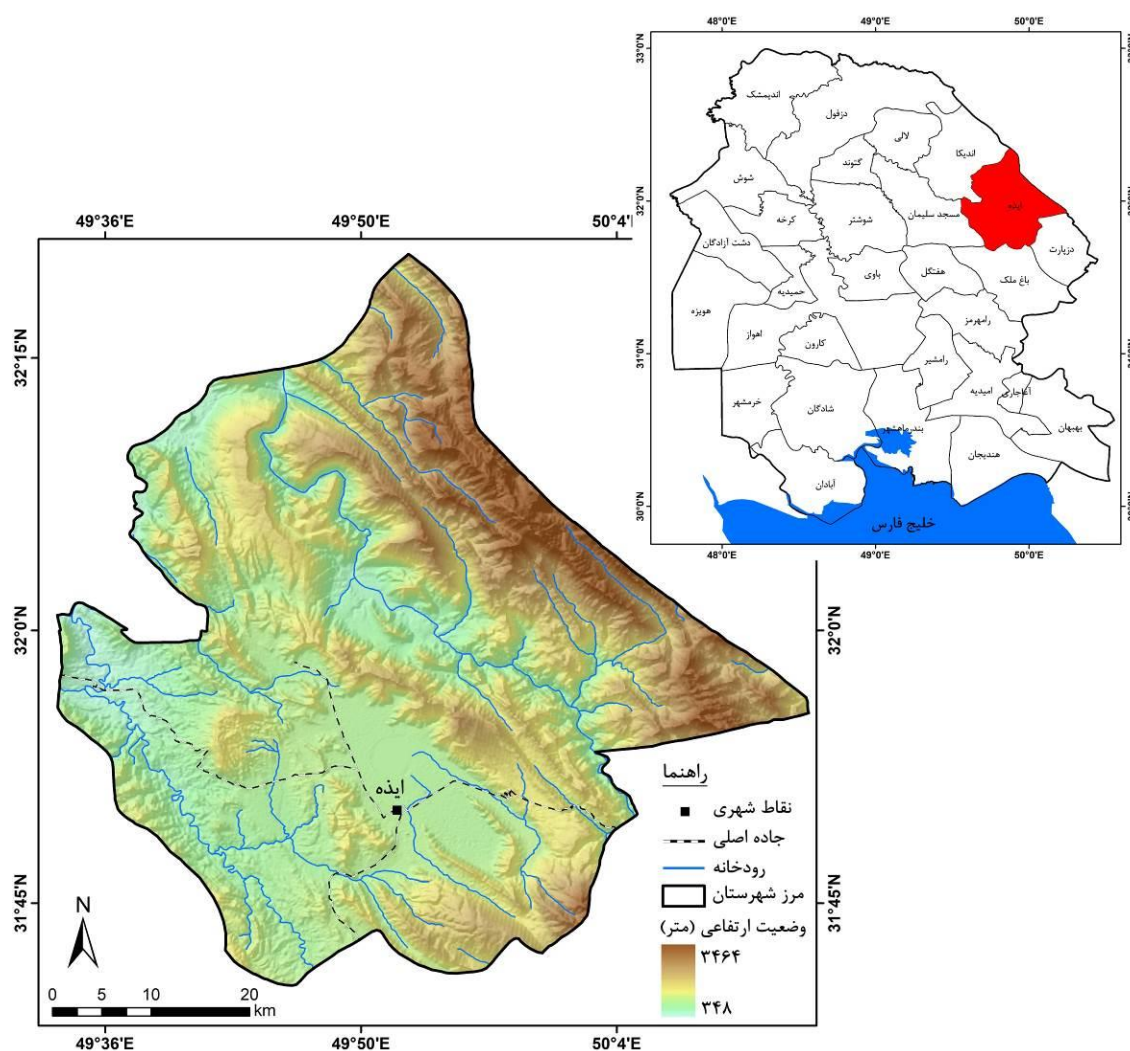
در سال‌های اخیر، با افزایش تولید پسماند شهری و تشدید محدودیت‌های زیست‌محیطی، مکانیابی بهینه محل دفن زباله به یکی از چالش‌های اساسی مدیریت پسماند تبدیل شده است؛ از این رو، پژوهش‌های متعددی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به این مسئله پرداخته‌اند؛ برای نمونه، آجیباد و همکاران در نیجریه با کاربرد منطق فازی به این نتیجه رسیدند که تنها بخش محدودی از منطقه مورد مطالعه‌شان برای دفن زباله مناسب است (Ajibade et al., 2019). در قاره آفریقا و در منطقه‌ای دیگر، وانور و همکاران در جنوب اتیوپی نشان دادند که حدود ۱۹ هکتار از اراضی حومه شهر هوسانا پتانسیل لازم را دارد (Wanore et al., 2023). در خاورمیانه نیز اربیات و همکاران در استان البقاء اردن، بخش‌های شمالی این منطقه را دارای استعداد نسبی برای دفن زباله گزارش کردند (Arabeyyat et al., 2024). در عربستان سعودی، الاوده و مالیک با تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و هوش مصنوعی، تناسب اولیه حدود ۲۰ درصد از منطقه مورد مطالعه را برای ایجاد سایت دفن زباله تأیید نمودند (Al Awadh & Mallick, 2024).

در ایران نیز تلاش‌های پژوهشی مشابهی صورت گرفته است. خادمی شیراز و همکاران (۱۴۰۰) در شهر قزوین با ترکیب منطق فازی و AHP به این یافته دست یافتند که مناطق شمالی این شهر برای دفن زباله ساختمانی مستعدتر هستند. تاج‌الدینی و همکاران (۱۴۰۱) در کرج با رویکرد توسعه پایدار و استفاده از مدل AHP، مناطق دشت نظر و سایت جدید حلقه دره را به‌عنوان گزینه‌های برتر معرفی کردند. در غرب کشور، حجازی و زنگنه‌تبار (۱۴۰۴) در شهرستان دالاهو با بهره‌گیری از روش‌های ANP و WLC نشان دادند که تنها ۸ درصد از وسعت این شهرستان قابلیت ایجاد سایت دفن زباله را دارد. نزدیک‌ترین پژوهش به مطالعه حاضر، کاری است که گنجائیان و همکاران (۱۴۰۴) در شهرستان کامیاران انجام داده‌اند؛ آنها با استفاده از روش ضریب وزنی نسبی (RWR) و WLC و با اعمال مناطق ممنوعه، به این نتیجه رسیدند که فقط ۲/۷ درصد از مساحت کامیاران برای دفن یا دپوی زباله مناسب است.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که استفاده از GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مانند AHP، ANP، WLC و منطق فازی) در مکانیابی دفن زباله رویکردی کارآمد محسوب می‌شود؛ اما این پژوهش‌ها اغلب با محدودیت‌هایی همراه هستند: نخست، بیشتر آنها از وزن‌دهی قطعی یا عملگرهای فازی ساده (AND/OR) استفاده کرده‌اند که قابلیت مدل‌سازی عدم قطعیت‌های محیطی را ندارند؛ دوم، تاکنون مطالعه‌ای در منطقه‌ای با شرایط پیچیده هیدروژئومورفولوژیکی شهرستان ایزه (تضاد توپوگرافی شدید، وجود دریاچه میانگران و لیتولوژی کارستی) انجام نشده است؛ از این رو، نوآوری پژوهش حاضر در به‌کارگیری مدل تلفیقی ضریب وزنی نسبی (RWR) و عملگر گامای فازی است که نسبت به روش‌های مرسوم، دقت بالاتری داشته و امکان کنترل تعادل بین شرایط خوش‌بینانه و بدبینانه را فراهم می‌کند. هدف اصلی این تحقیق، شناسایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایزه با استفاده از این مدل و اعمال مناطق ممنوعه است تا ضمن کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، مدیریت بهینه پسماند در منطقه محقق شود.

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه شامل محدوده سیاسی شهرستان ایزه در شرق استان خوزستان است. این شهرستان از شمال به شهرستان‌های کوهرنگ و اردل، از شرق به اندیکا، از جنوب به باغ‌ملک و دزپارت و از غرب به

مسجد سلیمان محدود می‌شود (شکل ۱). از نظر تقسیمات مورفوتکتونیک، ایذه در واحد زاگرس چین‌خورده قرار دارد و بخش عمده آن را کوهستان‌های بلند و دامنه‌های پرشیب فرا گرفته است. از نظر لیتولوژی، بخش‌های مرکزی و غربی شهرستان عمدتاً از سازندهای آهکی کارستی (آسماری و ایلام-سروک) تشکیل شده که نفوذپذیری بالایی دارد و پتانسیل زیادی برای انتقال آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی دارند. وجود گسل‌های فعال متعدد نیز بر آسیب‌پذیری منطقه افزوده است. ارتفاع شهرستان بین ۳۴۸ تا ۳۴۶۴ متر متغیر است و همین امر تنوع اقلیمی چشمگیری ایجاد کرده است؛ به‌طوری‌که مناطق شرقی و شمال شرقی دارای آب‌وهوای سرد کوهستانی و مناطق غربی دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای هستند. میانگین بارش سالانه منطقه حدود ۶۰۰ میلی‌متر است و از نظر پوشش گیاهی، نواحی مرکزی و غربی شهرستان ایذه، از تراکم نسبتاً بالایی (جنگل‌های بلوط زاگرسی و مراتع) برخوردارند. از نظر جغرافیای انسانی، شهرستان ایذه با جمعیت ۱۷۹۵۲۰ نفر (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، دارای پراکندگی نسبتاً زیاد روستاها و شبکه ارتباطی گسترده‌ای است که همراه با حساسیت‌های طبیعی یادشده، محدودیت‌های شدیدی را برای انتخاب مکان مناسب دفن زباله ایجاد کرده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location map of the study area

روش تحقیق

در این تحقیق به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، از مجموعه‌ای از داده‌های مکانی، سنجش‌ازدور و نقشه‌های پایه استفاده شده است. داده‌های اصلی شامل مدل رقومی ارتفاعی ALOS PALSAR با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر، نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای MODIS به منظور استخراج پوشش گیاهی، داده‌های بارش ماهواره‌ای CHIRPS برای برآورد میانگین بارش سالانه و همچنین تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث به منظور شناسایی عوارض سطحی نظیر جاده‌ها، پهنه‌های آبی و نواحی سکونتگاهی بوده است. در راستای پردازش، تحلیل و تلفیق داده‌ها، از نرم‌افزار ArcGIS به عنوان ابزار اصلی تهیه، مدیریت و تحلیل لایه‌های اطلاعات مکانی و تولید نقشه‌های مورد نیاز استفاده شده است. همچنین سامانه Google Earth Engine به منظور پردازش داده‌های سنجش از دور، استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی و محاسبه میانگین بارش سالانه به کار گرفته شده است. بهره‌گیری هم‌زمان از این داده‌ها و ابزارها امکان تحلیل دقیق‌تر شرایط محیطی و مکانی منطقه مورد مطالعه را فراهم کرده است. همچنین در این تحقیق از مدل ترکیبی ضریب وزنی نسبی (RWR) و منطق فازی استفاده شده است. با توجه به موضوع و اهداف مدنظر، این تحقیق در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آنها پرداخته شده است:

–مرحله اول (شناسایی پارامترها و تهیه لایه‌های اطلاعاتی): در مرحله نخست، به منظور شناسایی معیارهای مؤثر

در تعیین مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایزه، از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی پژوهش‌های پیشین (Wang et al., 2009; Nguyen et al., 2024; Ebrahimi et al., 2025) و بهره‌گیری از نظرات کارشناسان حوزه‌های محیط‌زیست، برنامه‌ریزی شهری و سنجش‌ازدور استفاده شده است. بر این اساس، تعداد ۱۱ پارامتر مؤثر شناسایی و انتخاب شد (جدول ۱). پس از تعیین پارامترها، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از معیارها با استفاده از داده‌های مکانی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه تهیه و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی آماده‌سازی شد.

جدول ۱: نحوه تهیه لایه‌های اطلاعاتی

Table 1: Method of preparing the information layers

ردیف	پارامتر	نحوه تهیه
۱	فاصله از نواحی سکونتگاهی	تهیه شده براساس لایه رقومی اطلاعاتی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
۲	فاصله از جاده اصلی	تهیه شده براساس تصاویر گوگل ارث
۳	فاصله از رودخانه	تهیه شده براساس مدل رقومی ۱۲/۵ متر ALOS PALSAR
۴	فاصله از دریاچه و پهنه‌های آبی	تهیه شده براساس تصاویر گوگل ارث
۵	میانگین بارش سالانه	تهیه براساس تصاویر ماهواره CHIRPS و سامانه گوگل ارث انجین
۶	پوشش گیاهی	تهیه براساس تصاویر ماهواره MODIS و سامانه گوگل ارث انجین
۷	فاصله از خط گسل	تهیه شده براساس لایه رقومی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه
۸	لیتولوژی	تهیه شده براساس لایه رقومی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه
۹	ارتفاع	تهیه شده براساس مدل رقومی ۱۲/۵ متر ALOS PALSAR
۱۰	شیب	تهیه شده براساس مدل رقومی ۱۲/۵ متر ALOS PALSAR
۱۱	جهت شیب	تهیه شده براساس مدل رقومی ۱۲/۵ متر ALOS PALSAR

مرحله دوم (استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی): با توجه به ناهمگونی واحد اندازه‌گیری و دامنه تغییرات پارامترهای مختلف، در مرحله دوم لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور امکان تلفیق و تحلیل نهایی، استانداردسازی شدند. استانداردسازی لایه‌ها براساس ارزش درون‌لایه‌ای و با استفاده از منطق فازی انجام گرفت، به‌گونه‌ای که مقادیر هر لایه در بازه صفر تا یک تبدیل شدند. در این فرآیند، مقادیر نزدیک به یک بیانگر مناطق با استعداد بالاتر برای دفن زباله و مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده مناطق نامناسب برای این کار است (جدول ۲).

جدول ۲: نحوه استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی

Table 2: Method of standardizing the information layers

ردیف	پارامتر	نحوه استانداردسازی
۱	فاصله از نواحی سکونتگاهی	به مناطق دور از نواحی سکونتگاهی، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق نزدیک نواحی سکونتگاهی، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۲	فاصله از جاده اصلی	به مناطق دور از جاده اصلی، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق نزدیک جاده اصلی، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۳	فاصله از رودخانه	به مناطق دور از رودخانه، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق نزدیک رودخانه، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۴	فاصله از دریاچه و پهنه‌های آبی	به مناطق دور از دریاچه، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق نزدیک دریاچه، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۵	میانگین بارش سالانه	به مناطق دارای میانگین بارش کم‌تر، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق دارای میانگین بارش بیش‌تر، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۶	پوشش گیاهی	به مناطق دارای پوشش گیاهی کم تراکم، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۷	فاصله از خط گسل	به مناطق دور از گسل، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق نزدیک گسل، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۸	لیتولوژی	به مناطق دارای لیتولوژی نفوذناپذیر، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق دارای لیتولوژی نفوذپذیری، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۹	ارتفاع	به مناطق کم ارتفاع، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق مرتفع، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۱۰	شیب	به مناطق کم شیب، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق با شیب زیاد، ارزش نزدیک صفر داده شده است.
۱۱	جهت شیب	به جهات شیب جنوبی، ارزش نزدیک ۱ و به جهات شیب شمالی، ارزش نزدیک صفر داده شده است.

مرحله سوم (وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی): پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی، در مرحله سوم به‌منظور تعیین میزان اهمیت نسبی هر یک از پارامترهای مؤثر در مکانیابی دفن یا دیپوی زباله، فرآیند وزن‌دهی انجام شد. در این مرحله، از ترکیب نظرات کارشناسان و مدل وزن‌دهی نسبی (Relative Weighting Ratio – RWR) استفاده شد.

بدین صورت که کارشناسان، با در نظر گرفتن میزان تأثیر هر پارامتر بر انتخاب مکان مناسب دفن زباله و پیامدهای زیست‌محیطی، به هر معیار وزن نسبی اختصاص دادند. سپس، به منظور امکان تلفیق لایه‌ها و مقایسه‌پذیری وزن‌ها، مقادیر به دست آمده نرمال‌سازی شده و به مقیاسی یکنواخت تبدیل شدند (Hosseini et al., 2026).

مرحله چهارم (ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه اولیه مناطق مستعد دفن زباله): در مرحله چهارم، پس از اعمال وزن‌های نرمال‌شده بر لایه‌های استاندارد شده، فرآیند ترکیب لایه‌های اطلاعاتی به منظور شناسایی مناطق مستعد دفن یا دپوی زباله انجام شد. در این راستا، از مدل ترکیبی ضریب وزنی نسبی (RWR) و منطق فازی استفاده شد تا اثر متقابل پارامترها و عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های محیطی به طور مناسب لحاظ شود. برای ترکیب لایه‌ها، از عملگر گامای فازی بهره گرفته شد که قابلیت در نظر گرفتن هم‌زمان شرایط خوش‌بینانه و بدبینانه را دارد و موجب افزایش دقت نتایج می‌شود. خروجی این مرحله، نقشه اولیه پهنه‌بندی مناطق مستعد دفن یا دپوی زباله در شهرستان ایزه بود که مناطق را در چهار طبقه پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی می‌کند.

مرحله پنجم (اعمال مناطق ممنوعه و تهیه نقشه نهایی مناطق مستعد دفن زباله): در مرحله پنجم، به منظور افزایش دقت مکانیابی و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، انسانی و بهداشتی، مناطق ممنوعه دفن یا دپوی زباله بر نقشه پتانسیل اولیه اعمال شد. شناسایی مناطق ممنوعه با استفاده از تلفیق نظرات کارشناسان، بررسی مطالعات پیشین، ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی و ارزیابی شرایط جغرافیایی و محیطی منطقه انجام شد. بر این اساس، نواحی دارای حساسیت بالا شامل حریم منابع آب سطحی (دریاچه‌ها و رودخانه‌ها)، سکونتگاه‌های شهری و روستایی، جاده‌های اصلی و مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم به عنوان مناطق ممنوعه در نظر گرفته شدند. پس از تهیه نقشه مناطق ممنوعه، این لایه به عنوان یک محدودکننده اصلی بر نقشه پهنه‌بندی پتانسیل اعمال شد. در نهایت، مناطقی که در طبقه پتانسیل زیاد قرار داشتند و هم‌زمان خارج از محدوده‌های ممنوعه واقع شده بودند، به عنوان مناطق مستعد نهایی دفن یا دپوی زباله شناسایی شدند.

بحث و نتایج

تشریح پارامترهای مورد استفاده

در این پژوهش، به منظور شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد برای احداث محل دفن زباله در شهرستان ایزه، مجموعه‌ای از پارامترهای انسانی و طبیعی استفاده شده است. پارامترهای انسانی شامل فاصله از نواحی سکونتگاهی و فاصله از جاده‌های اصلی و پارامترهای طبیعی نیز شامل فاصله از دریاچه، فاصله از رودخانه، میانگین بارش سالانه، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل، لیتولوژی، ارتفاع، شیب و جهت دامنه هستند. انتخاب این عوامل براساس مطالعات پیشین و معیارهای زیست‌محیطی و ژئومورفولوژیکی انجام شده است. در ادامه، هر یک از پارامترهای مورد استفاده تشریح می‌شوند.

- **پارامترهای انسانی:** توجه به پارامترهای انسانی در فرآیند مکان‌یابی محل دفن زباله از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا این مراکز به دلیل تولید شیرابه، انتشار بو، آلودگی‌های زیست‌محیطی و پیامدهای بهداشتی، می‌توانند تأثیرات منفی درخور توجهی بر سلامت انسان و کیفیت زندگی ساکنان اطراف داشته باشند. یکی از مهم‌ترین

پارامترهای انسانی، فاصله از نواحی سکونتگاهی است. با توجه به ماهیت آلاینده سایت‌های دفن زباله، استقرار آنها در مجاورت مناطق مسکونی می‌تواند منجر به بروز مشکلات بهداشتی، زیست‌محیطی و اجتماعی شود؛ بنابراین، انتخاب مکان‌هایی با فاصله مناسب از نواحی سکونتگاهی ضروری است.

پارامتر انسانی مهم دیگر، فاصله از جاده‌های اصلی است. جاده‌های اصلی به‌عنوان شریان‌های ارتباطی مهم، دارای ارزش اقتصادی، اجتماعی و بصری بالایی هستند و استقرار سایت‌های دفن زباله در نزدیکی آنها می‌تواند علاوه بر کاهش کیفیت منظر و چشم‌انداز طبیعی، موجب آلودگی بصری و زیست‌محیطی شود. همچنین این مناطق معمولاً برای توسعه سایر کاربری‌های شهری و منطقه‌ای مناسب‌تر بوده و از این رو، باید از تخصیص آنها به کاربری دفن زباله اجتناب شود. بر این اساس، به‌منظور استانداردسازی و ارزش‌دهی به پارامترهای انسانی در فرآیند تحلیل مکانی، مناطقی که فاصله بیشتری از نواحی سکونتگاهی (شکل ۱-۲) و جاده‌های اصلی (شکل ۲-۲) دارند، از مطلوبیت بالاتری برخوردار بوده و بالاترین امتیاز (نزدیک به ۱) به آنها اختصاص داده شده است. این رویکرد موجب کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و اجتماعی و افزایش پایداری سایت‌های پیشنهادی دفن زباله می‌شود.

- پارامترهای هیدرواقليمی: پارامترهای هیدرواقليمی از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار در فرآیند مکان‌یابی محل دفن زباله به شمار می‌روند؛ زیرا این پارامترها نقش مستقیمی در گسترش، انتقال و تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از دفن پسماند ایفا می‌کنند. منابع آب سطحی از حساس‌ترین مؤلفه‌های هیدرواقليمی بوده و به دلیل ارتباط مستقیم با اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های انسانی، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر آلودگی هستند. رودخانه‌ها به‌عنوان عناصر پویای سیستم هیدرولوژیکی، علاوه بر قابلیت بالای آلودگی‌پذیری، نقش مهمی در انتقال و انتشار آلودگی به مناطق پایین‌دست دارند. نفوذ شیرابه محل‌های دفن زباله به رودخانه‌ها می‌تواند موجب آلودگی گسترده منابع آب، تخریب زیست‌بوم‌های آبی و ایجاد مخاطرات بهداشتی شود؛ از این رو، استقرار سایت‌های دفن زباله در مجاورت رودخانه‌ها نامناسب بوده و لازم است فاصله‌ای ایمن از آنها در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه رودخانه‌های شهرستان ایزه دارای دبی درخور توجهی هستند، در صورت ورود آلاینده‌ها، قابلیت انتقال و گسترش آلودگی در آنها افزایش می‌یابد که این امر ضرورت توجه ویژه به این پارامتر را در مکان‌یابی دفن زباله دوجندان می‌کند.

دریاچه‌ها و پهنه‌های آبی نیز از مهم‌ترین پارامترهای هیدرواقليمی محسوب می‌شوند و به دلیل ظرفیت محدود خودپالایی و اهمیت اکولوژیکی بالا، پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی در برابر آلودگی دارند. بر این اساس، سایت‌های دفن زباله باید در فاصله‌ای مناسب از دریاچه‌ها و سایر پهنه‌های آبی جانمایی شوند. در شهرستان ایزه، وجود دریاچه میانگران و همچنین بخشی از دریاچه سد کارون ۱ موجب شده است که این منطقه از نظر آلودگی منابع آب سطحی دارای حساسیت و آسیب‌پذیری بالایی باشد؛ بنابراین، در فرآیند مکان‌یابی محل دفن زباله، توجه ویژه به این دریاچه‌ها به‌عنوان یک معیار محدودکننده ضروری است.

از دیگر پارامترهای مهم هیدرواقليمی می‌توان به بارش اشاره کرد. میزان بارش نقش مستقیمی در تولید و نفوذ شیرابه و همچنین انتقال آلاینده‌ها به منابع آب سطحی و زیرزمینی دارد. مناطقی که از میانگین بارش بالاتری برخوردارند، به دلیل افزایش رواناب و نفوذپذیری آلاینده‌ها، دارای پتانسیل آلودگی و آسیب‌پذیری بیشتری هستند.

بررسی الگوی بارش در شهرستان ایزه نشان می‌دهد که به‌طور کلی مناطق شمالی این شهرستان دارای بارش بیشتری هستند و در نتیجه، از نظر آلودگی ناشی از دفن زباله، حساس‌تر و آسیب‌پذیرترند. با توجه به موارد ذکرشده، به‌منظور استانداردسازی پارامترهای هیدرواقليمی در این پژوهش، مناطقی که فاصله بیشتری از رودخانه‌ها (شکل ۲-۳) و دریاچه‌ها (شکل ۲-۴) داشته و همچنین دارای میانگین بارش سالانه کمتری (شکل ۲-۵) هستند، از مطلوبیت بالاتری برخوردار بوده و بالاترین امتیاز (نزدیک به ۱) به آنها اختصاص داده شده است.

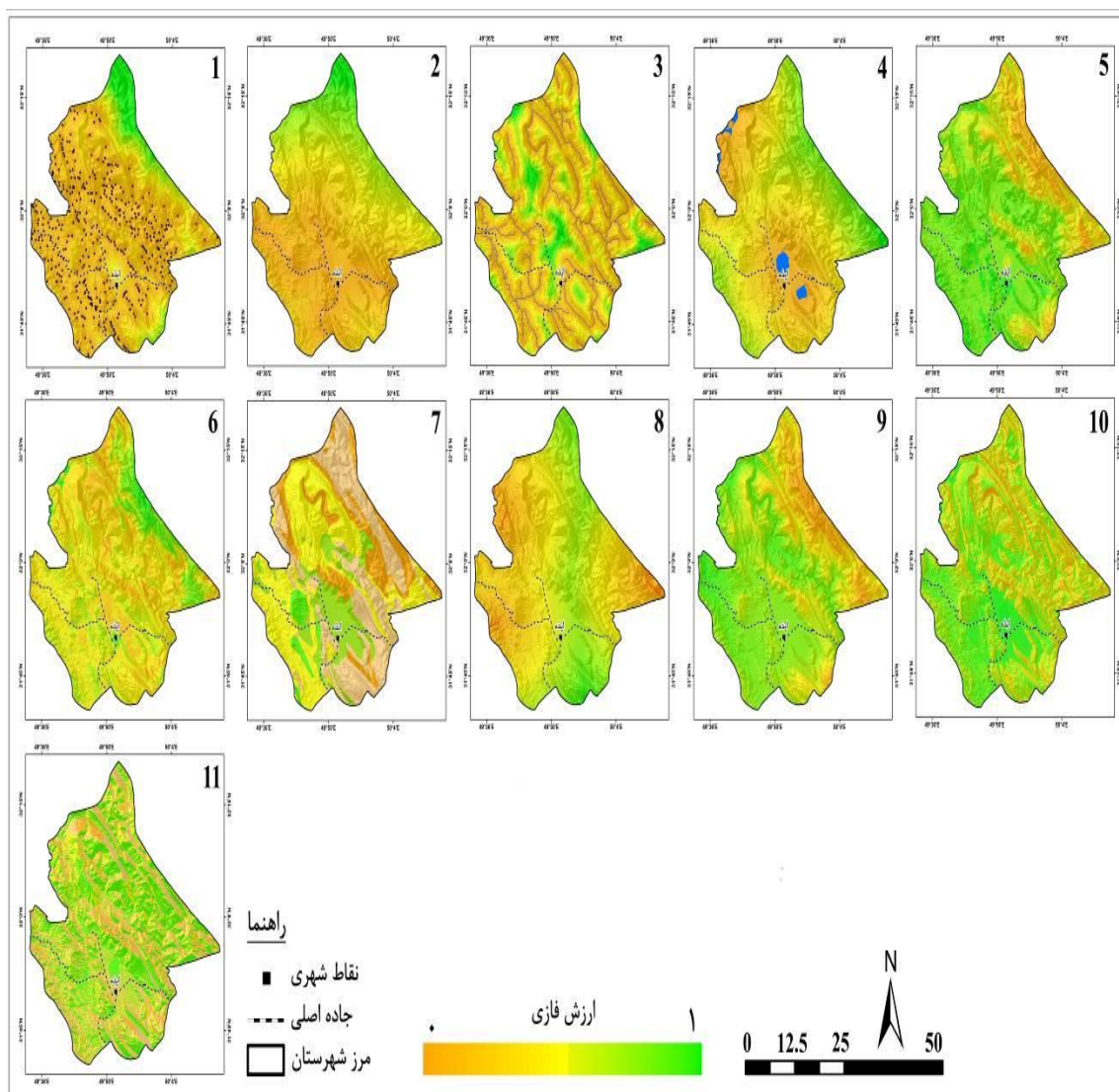
- **پارامتر پوشش گیاهی:** پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم زیست‌محیطی، نقش تعیین‌کننده‌ای در فرآیند مکان‌یابی سایت‌های دفن زباله دارد. مناطقی که از تراکم بالای پوشش گیاهی برخوردارند، به دلیل توان اکولوژیکی بالا و حساسیت محیطی، برای استقرار سایت‌های دفن زباله نامناسب تلقی می‌شوند. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی شهرستان ایزه، از تصاویر ماهواره‌ای MODIS استفاده و نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه تهیه شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که نواحی مرکزی شهرستان ایزه دارای تراکم پوشش گیاهی بالاتری نسبت به سایر بخش‌ها هستند. با توجه به حساسیت بالای این مناطق در برابر دفن زباله، در فرآیند وزن‌دهی و ارزش‌گذاری، کم‌ترین امتیاز (نزدیک به صفر) به آنها اختصاص داده شد (شکل ۲-۶).

- **پارامترهای زمین‌شناسی:** پارامترهای زمین‌شناسی از جمله عوامل اساسی در برنامه‌ریزی و مکان‌یابی سایت‌های دفن زباله به‌شمار می‌روند. یکی از مهم‌ترین این پارامترها، فاصله از خطوط گسلی است. به دلیل وجود درز و شکاف‌های فراوان در امتداد گسل‌ها، این نواحی از پتانسیل بالایی برای انتقال آلاینده‌ها به منابع آب زیرزمینی برخوردارند و از این رو برای دفن زباله نامناسب محسوب می‌شوند. بررسی وضعیت خطوط گسلی شهرستان ایزه نشان می‌دهد که بخش‌های غربی و شرقی این شهرستان دارای تراکم بیشتری از خطوط گسلی هستند و بنابراین، از نظر این پارامتر، استعداد کمتری برای استقرار سایت‌های دفن زباله دارند.

علاوه بر این، نوع لیتولوژی نیز نقش مهمی در فرآیند مکان‌یابی دفن زباله ایفا می‌کند. واحدهای سنگی با نفوذپذیری کمتر، به دلیل کاهش احتمال نشست آلاینده‌ها، از آسیب‌پذیری زیست‌محیطی کمتری برخوردار بوده‌اند و برای دفن زباله مناسب‌ترند. بررسی نقشه لیتولوژی شهرستان ایزه بیانگر تنوع بالای واحدهای زمین‌شناسی در این منطقه است؛ به‌گونه‌ای که بخش درخور توجهی از آن را سازندهای آهکی تشکیل می‌دهند که به دلیل نفوذپذیری بالا، مستعد نفوذ آلاینده‌ها و آلودگی منابع آب هستند. بر این اساس، به‌منظور استانداردسازی لایه‌های زمین‌شناسی، به مناطقی که از خطوط گسلی فاصله بیش‌تری داشته (شکل ۲-۷) و دارای لیتولوژی مقاوم و کم‌نفوذپذیر هستند (شکل ۲-۸)، ارزش نزدیک به ۱ اختصاص داده شد.

- **پارامترهای توپوگرافی:** در برنامه‌ریزی و انتخاب مکان‌های مناسب برای دفن زباله، بررسی وضعیت توپوگرافی منطقه اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا ارتفاع و شیب زمین تأثیر مستقیمی بر جریان شیرابه‌ها و نفوذ آنها به محیط زیست دارند. مناطق مرتفع به دلیل احتمال سرریز شدن زباله‌ها و جریان شیرابه‌ها به سمت پایین‌دست، گزینه مناسبی برای دفن زباله نیستند؛ بنابراین مکان‌های کم‌ارتفاع‌تر به دلیل کاهش خطر آلودگی و کنترل بهتر جریان آب مناسب‌تر محسوب می‌شوند. علاوه بر ارتفاع، شیب زمین نیز پارامتر مهمی است؛ مناطق با شیب زیاد، به دلیل تسهیل جریان

سریع شیرابه‌ها و افزایش احتمال فرسایش خاک، ظرفیت کمی برای دفن زباله دارند. همچنین، جهت شیب زمین نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب مکان دارد؛ زیرا شیب‌های شمالی معمولاً رطوبت بیشتری دارند و شرایط بهداشتی در آنها سخت‌تر کنترل می‌شود؛ بنابراین برای دفن زباله مناسب نیستند. با توجه به این عوامل، برای استانداردسازی پارامترهای توپوگرافی، مناطقی که کم‌ارتفاع، کم‌شیب و دارای شیب به سمت جنوب باشند، بیشترین ارزش را کسب می‌کنند و ارزش آنها نزدیک به یک در نظر گرفته شده است؛ در حالی که سایر مناطق با ویژگی‌های کمتر مطلوب، ارزش‌های کمتری دریافت می‌کنند. این رویکرد به برنامه‌ریزان امکان می‌دهد تا مکان‌های دفن زباله را با معیارهای بهینه و سازگار با محیط زیست انتخاب کنند. با توجه به موارد ذکرشده، به منظور استانداردسازی پارامترهای توپوگرافی، به مناطق کم‌ارتفاع (شکل ۲-۹)، کم‌شیب (شکل ۲-۱۰) و جهات شیب جنوبی (شکل ۲-۱۱)، ارزش نزدیک ۱ داده شده است.



شکل ۲: نقشه استانداردسازی شده لایه‌های اطلاعاتی

Figure 2: Standardized map of information layers

وزندهی به پارامترها

پس از استلنداردسازی پارامترها در این مرحله برای تعیین اهمیت هر پارامتر و وزندهی به آنها از ترکیب نظرات کارشناسان و روش وزندهی نسبی استفاده شده است. در این رویکرد، کارشناسان با توجه به تأثیر هر پارامتر بر انتخاب مکان مناسب برای دفن زباله، وزن نسبی آنها را تعیین کرده‌اند و سپس این وزن‌ها به صورت نرمال‌شده به مقیاسی یکسان تبدیل شده‌اند تا مقایسه بین پارامترها تسهیل شود. نتایج وزندهی (جدول ۳) نشان داده است که پارامترهای فاصله از دریاچه و فاصله از رودخانه نسبت به سایر پارامترها دارای اهمیت و ارزش بالاتری هستند؛ زیرا رعایت فاصله مناسب از منابع آبی برای پیشگیری از آلودگی محیط زیست و حفاظت از کیفیت آب ضروری است. سایر پارامترها نیز به ترتیب اهمیت خود در انتخاب مکان مناسب برای دفن زباله وزندهی شده‌اند و به این ترتیب امکان ارزیابی ترکیبی و جامع پارامترهای توپوگرافی، هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی فراهم آمده است.

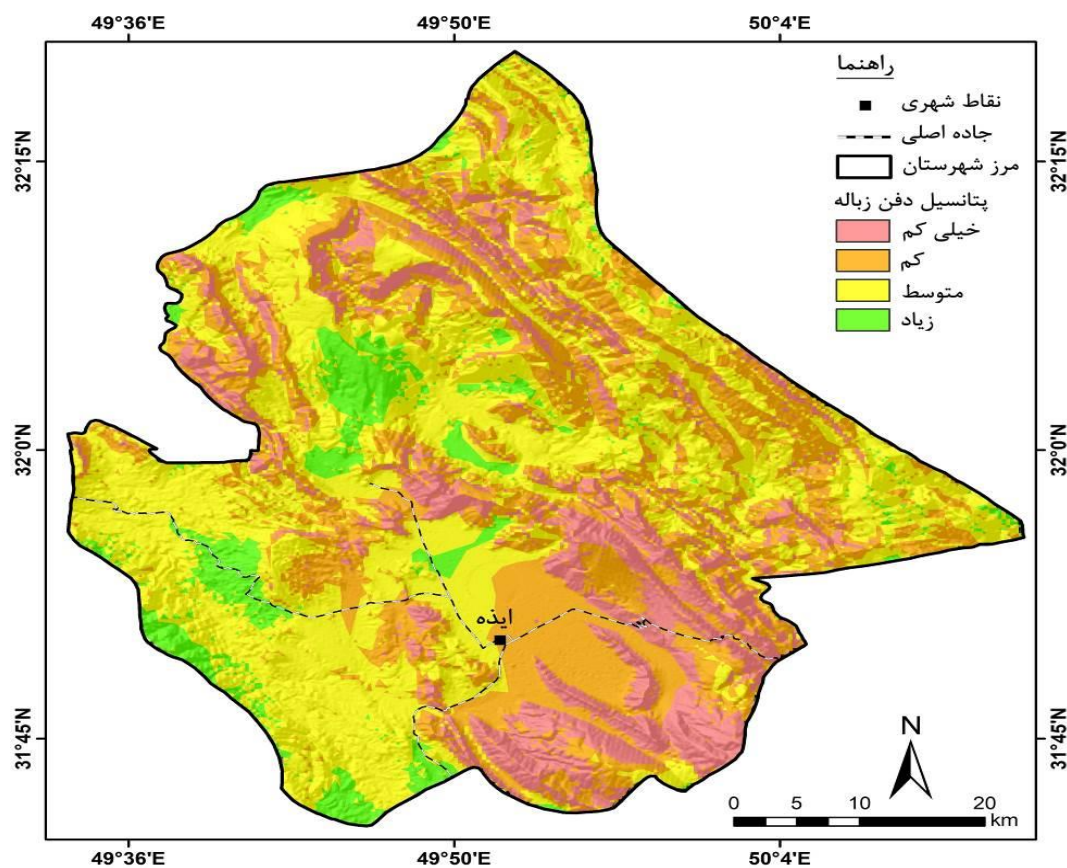
جدول ۳: وزن نسبی پارامترها

Table 3: Relative weights of parameters

ردیف	پارامتر	وزن نسبی	وزن نرمال شده
۱	فاصله از دریاچه	۲	۰/۱۲۱
۲	فاصله از رودخانه	۱/۹	۰/۱۱۵
۳	پوشش گیاهی	۱/۸	۰/۱۰۹
۴	فاصله از سکونتگاه	۱/۷	۰/۱۰۳
۵	لیتولوژی	۱/۶	۰/۰۹۷
۶	ارتفاع	۱/۵	۰/۰۹۱
۷	شیب	۱/۴	۰/۰۸۵
۸	فاصله از جاده اصلی	۱/۳	۰/۰۷۹
۹	میانگین بارش	۱/۲	۰/۰۷۳
۱۰	فاصله از گسل	۱/۱	۰/۰۶۷
۱۱	جهت شیب	۱	۰/۰۶۱

شناسایی مناطق مستعد دفن یا دپوی زباله

پس از شناسایی و وزندهی لایه‌های اطلاعاتی، مقادیر وزن بر روی هر لایه اعمال شد. سپس، با استفاده از عملگر گامای فازی، لایه‌ها با یکدیگر ترکیب شدند تا اثرات متقابل و هم‌پوشانی اطلاعات به درستی در نظر گرفته شود. در این فرآیند از مدل ترکیبی ضریب وزنی نسبی (RWR) و منطق فازی بهره گرفته شد تا دقت و قابلیت اعتماد تحلیل افزایش یابد. در نهایت، براساس این تحلیل‌ها، نقشه نهایی مناطق مستعد دفن یا دپوی زباله در شهرستان ایزه تهیه شد (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه اولیه مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایذه

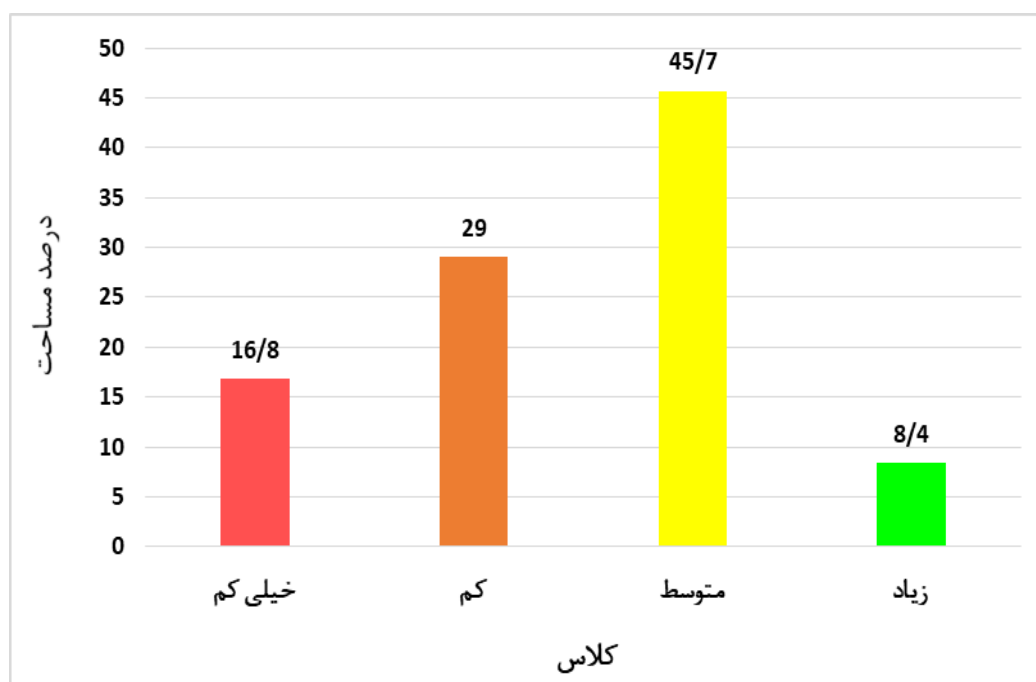
Figure 3: Initial map of areas suitable for landfill in Izeh County

بررسی وضعیت مساحت و درصد مساحت هر طبقه نشان می‌دهد که تنها بخش محدودی از شهرستان ایذه برای دفن یا دیپوی زباله مستعد است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، ۱۱۴۳ کیلومتر مربع معادل ۴۵/۸ درصد (جدول ۴ و شکل ۴) به دلیل تراکم زیاد پوشش گیاهی، ارتفاع و شیب زیاد و نزدیکی به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، در طبقات پتانسیل کم و خیلی کم قرار دارند. این مناطق به دلیل شرایط نامناسب طبیعی و زیست‌محیطی، گزینه‌های نامطلوبی برای ایجاد سایت دفن زباله محسوب می‌شوند و استفاده از آنها می‌تواند خطرات زیست‌محیطی و مدیریتی قابل توجهی ایجاد کند. در طرف مقابل، تنها ۲۱۰ کیلومتر مربع، معادل ۸/۴ درصد از وسعت این شهرستان که شامل بخش‌های پراکنده‌ای از مناطق مرکزی و غربی شهرستان ایذه است، به دلیل اینکه از نظر بیشتر پارامترها، وضعیت نسبتاً مناسبی دارد، مستعد ایجاد سایت دفن یا دیپوی زباله هستند.

جدول ۴: مساحت و درصد مساحت طبقات

Table 4: Area and percentage of class areas

طبقات	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد
مساحت	۴۲۰	۷۲۳	۱۱۴۰	۲۱۰
درصد مساحت	۱۶/۸	۲۹	۴۵/۷	۸/۴



شکل ۴: نمودار درصد مساحت طبقات

Figure 4: Chart of percentage of class areas

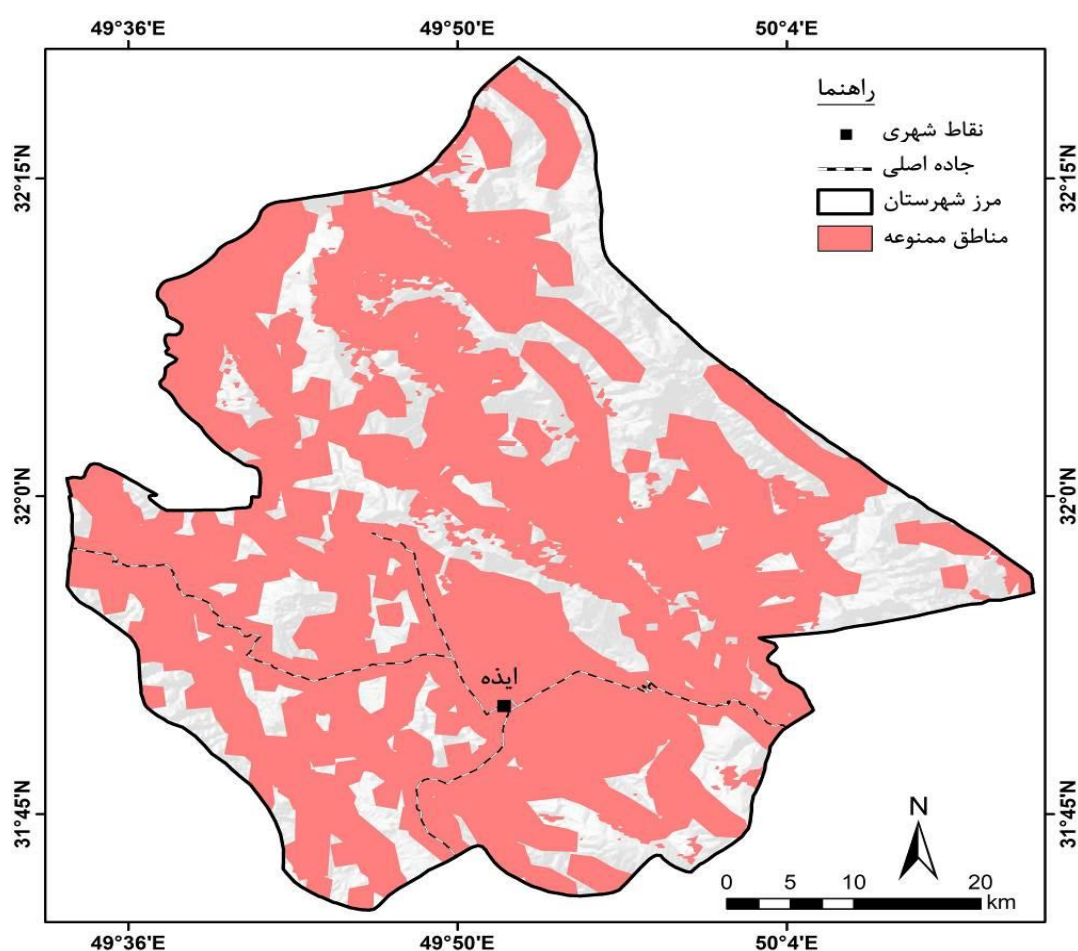
اعمال مناطق ممنوعه

در این پژوهش، به‌منظور شناسایی دقیق و علمی مناطق مستعد دفن یا دپوی پسماند، ابتدا نواحی دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری زیست‌محیطی و انسانی به‌عنوان مناطق ممنوعه در نظر گرفته شدند. تعیین این مناطق با هدف جلوگیری از بروز پیامدهای منفی زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی ناشی از دفن غیراصولی زباله انجام شده است. به‌منظور شناسایی و تعیین مناطق ممنوعه، از تلفیق نظرات کارشناسان حوزه محیط‌زیست و مدیریت پسماند، بررسی مطالعات و پژوهش‌های پیشین مرتبط (Ebrahimi et al, 2025; Hossein et al, 2026)، ضوابط و معیارهای استاندارد و همچنین ارزیابی وضعیت زیست‌محیطی و جغرافیایی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این رویکرد تلفیقی موجب افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج حاصل شد. در نهایت، براساس مجموعه‌ای از پارامترهای مؤثر شامل فاصله از دریاچه، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از شهر ایزه، فاصله از نقاط روستایی، فاصله از جاده‌های اصلی و وضعیت پوشش گیاهی، نقشه مناطق ممنوعه شهرستان ایزه برای دفن یا دپوی زباله تهیه و ترسیم شد (جدول ۵ و شکل ۵). هر یک از این معیارها به‌دلیل نقش مهمی که در حفظ منابع آب سطحی، کاهش آلودگی زیست‌محیطی، جلوگیری از تهدید سلامت ساکنان و حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی دارند، در فرآیند مکانیابی مورد توجه قرار گرفته‌اند.

جدول ۵: مناطق ممنوعه در نظر گرفته شده (گنجاآیان و همکاران، ۱۴۰۴)

Table 5: Considered prohibited areas (Ganjaeian et al, 2025)

ردیف	پارامتر	مناطق ممنوعه
۱	دریاچه	حریم ۳ کیلومتری از دریاچه
۲	رودخانه	حریم ۱ کیلومتری از رودخانه
۳	شهر ایذه	حریم ۳ کیلومتری از شهر ایذه
۴	نقاط روستایی	حریم ۱ کیلومتری از نقاط روستایی
۵	جاده اصلی	حریم ۱ کیلومتری از جاده اصلی
۶	پوشش گیاهی	مناطق دارای ضریب DNVİ بیش از ۰/۲



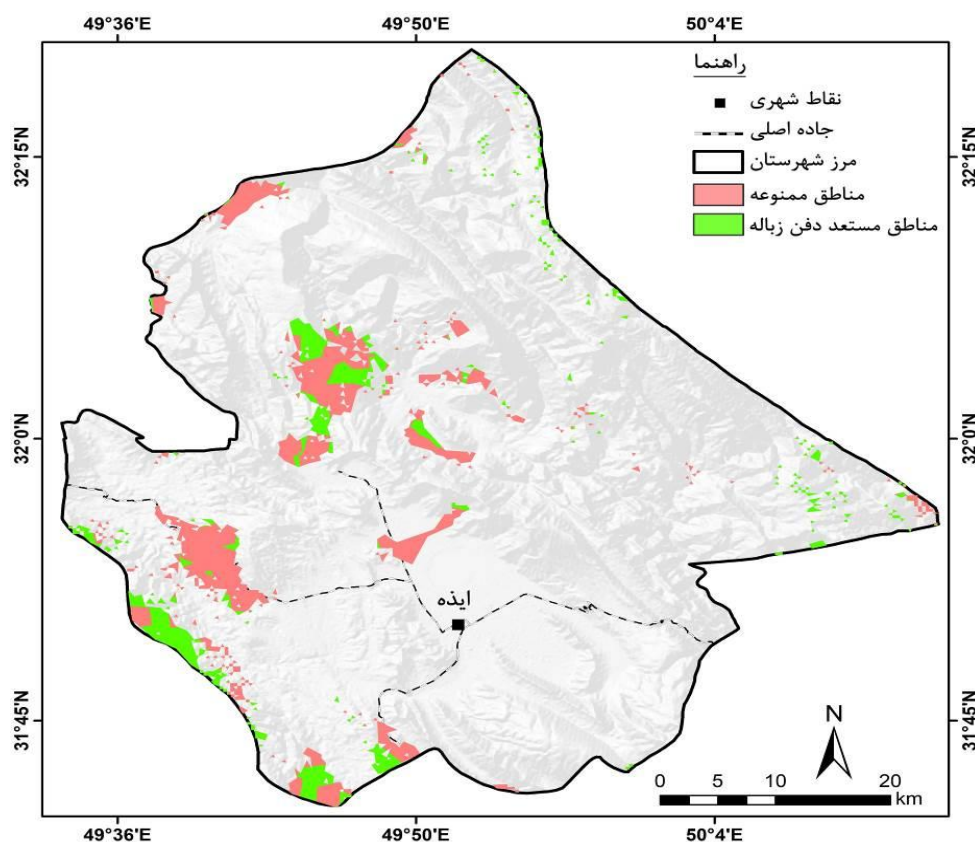
شکل ۵: نقشه مناطق ممنوعه شهرستان ایذه برای دفن یا دیوی زباله

Figure 5: Map of prohibited areas in Izeh County for landfill or dumping

پس از تهیه نقشه مناطق ممنوعه شهرستان ایذه، این نقشه به‌عنوان یکی از لایه‌های محدودکننده اصلی، بر نقشه نهایی پتانسیل دفن یا دیوی زباله اعمال شد. در این مرحله، با همپوشانی نقشه مناطق ممنوعه و نقشه پهنه‌بندی پتانسیل، مناطقی که در طبقه پتانسیل زیاد برای دفن زباله قرار داشتند و در عین حال خارج از محدوده‌های ممنوعه

واقع شده بودند، به عنوان مناطق مستعد نهایی دفن یا دپوی زباله شناسایی شدند (شکل ۶). به این ترتیب، مناطق نهایی انتخاب شده علاوه بر برخورداری از تناسب اولیه براساس پارامترهای محیطی و مکانی مؤثر در فرآیند مکانیابی، از نظر ملاحظات زیست‌محیطی، انسانی و حفاظتی نیز واجد شرایط لازم‌اند و هیچ‌گونه تداخل یا همپوشانی با مناطق ممنوعه ندارند. این رویکرد موجب افزایش قابلیت اطمینان نتایج و کاهش مخاطرات احتمالی ناشی از انتخاب مکان‌های نامناسب برای دفن پسماند می‌شود. براساس نتایج به دست آمده، مجموع مساحت مناطق مستعد نهایی برای دفن یا دپوی زباله در شهرستان ایذه حدود ۷۶ کیلومتر مربع برآورد شده که معادل حدود ۳ درصد از کل مساحت شهرستان ایذه است. این مناطق به صورت پراکنده و عمدتاً در بخش‌های مرکزی و غربی شهرستان ایذه واقع شده‌اند که نشان‌دهنده محدودیت شدید فضاهای مناسب در سطح منطقه است.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان بیان کرد که شهرستان ایذه به دلیل شرایط خاص زیست‌محیطی، وجود منابع آب سطحی، پوشش گیاهی نسبتاً متراکم و استقرار سکونتگاه‌های انسانی، با محدودیت‌های درخور توجهی در زمینه مکانیابی دفن یا دپوی زباله مواجه است؛ از این رو، انتخاب محل دفن زباله در این شهرستان نیازمند دقت بالا، رعایت سخت‌گیرانه معیارهای زیست‌محیطی و استفاده از رویکردهای علمی و سیستماتیک نظیر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است تا از بروز آثار منفی بلندمدت بر محیط‌زیست و سلامت ساکنان جلوگیری شود.



شکل ۶: نقشه نهایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایذه

Figure 6: Final map of areas suitable for landfill in Izeh County

تحلیل نتایج و محدودیت‌های تحقیق

یافته اصلی این پژوهش، نقشه نهایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایزه (شکل ۶) است که نشان می‌دهد پس از اعمال لایه‌های محدودکننده (مناطق ممنوعه شامل حریم دریاچه، رودخانه، سکونتگاه‌ها، جاده‌ها و پوشش گیاهی متراکم)، تنها ۷۶ کیلومتر مربع، معادل حدود ۳ درصد از کل مساحت شهرستان، برای احداث سایت دفن زباله مناسب باقی می‌ماند. این میزان بسیار محدود، حاکی از حساسیت شدید زیست‌محیطی منطقه است. دلایل اصلی این حساسیت عبارتند از: (۱) تراکم بالای پوشش گیاهی در نواحی مرکزی، (۲) وجود دریاچه میانگران و شبکه زهکشی نسبتاً متراکم، (۳) لیتولوژی عمدتاً کارستی با نفوذپذیری بالا، (۴) استقرار سکونتگاه‌های انسانی در بخش‌های وسیع، و (۵) میانگین بارش سالانه بیش از ۶۰۰ میلی‌متر که پتانسیل تولید و نفوذ شیرابه را افزایش می‌دهد. از نظر مدیریتی، این یافته به مدیران محلی هشدار می‌دهد که ۹۷ درصد از مساحت ایزه برای دفن زباله مناسب نیست و هرگونه انتخاب مکان بدون مطالعات علمی دقیق، با ریسک بالای آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی، تخریب خاک و تهدید سلامت ساکنان همراه خواهد بود.

مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات مشابه نشان می‌دهد که درصد مساحت نهایی مناسب برای دفن زباله در ایزه (۳٪) به طور درخور توجهی کمتر از مقادیر گزارش‌شده برای دالاهو (۸٪؛ حجازی و زنگنه‌تبار، ۱۴۰۴)، قزوین (حدود ۲۰٪؛ خادمی شیراز و همکاران، ۱۴۰۰) و شهر ابهای عربستان (حدود ۲۰٪؛ (Al Awadh & Mallick, 2024) است. این تفاوت عمدتاً ناشی از شرایط خاص هیدروژئومورفولوژیکی ایزه شامل وجود پهنه‌های آبی وسیع (دریاچه میانگران و بخشی از دریاچه سد کارون ۱)، میانگین بارش سالانه بالا (بیش از ۶۰۰ میلی‌متر)، شیب‌های تند زاگرسی و لیتولوژی کارستی است که همگی حساسیت منطقه را نسبت به مطالعات یادشده افزایش داده‌اند. در مقابل، نتایج این پژوهش با یافته‌های گنجائیان و همکاران (۱۴۰۴) در شهرستان کامیاران (۲/۷٪) مشابهت نسبتاً نزدیکی دارد که نشان می‌دهد مناطق زاگرسی با شرایط توپوگرافی و هیدرولوژیکی پیچیده، به‌طور سیستماتیک دارای محدودیت شدید اراضی مناسب برای دفن زباله هستند. این مقایسه همچنین نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های ساده‌تر مانند AHP یا WLC بدون عملگرهای فازی پیشرفته (در مناطق حساس، ممکن است منجر به برآورد بیش از حد اراضی مناسب شود؛ در حالی که مدل تلفیقی RWR و گامای فازی در این پژوهش، برآورد واقع‌بینانه‌تری ارائه کرده است.

این پژوهش با وجود نتایجی که داشته است، با محدودیت‌هایی همراه است که باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد: عدم دسترسی به داده‌های میدانی دقیق از کیفیت آب زیرزمینی و نرخ واقعی نفوذپذیری خاک، ذهنی‌گرایی ذاتی روش وزن‌دهی مبتنی بر نظر کارشناسان، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به یک بازه زمانی خاص که ممکن است تغییرات فصلی را به‌طور کامل منعکس نکند و در نهایت اینکه نقشه نهایی در مقیاس شهرستان تهیه شده و برای انتخاب نقطه دقیق محل دفن، انجام مطالعات تکمیلی ژئوتکنیک و هیدروژئولوژیک در مقیاس بزرگ‌تر (۱:۵۰۰۰) الزامی است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف شناسایی مناطق مستعد دفن زباله در شهرستان ایزه و با بهره‌گیری از مدل تلفیقی ضریب وزنی نسبی (RWR) و عملگر گامای فازی در محیط GIS انجام شد. یافته‌های پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که شهرستان ایزه به دلیل شرایط خاص هیدروژئومورفولوژیکی خود شامل توپوگرافی پیچیده زاگرسی، وجود پهنه‌های آبی حساس (دریاچه میانگران و بخشی از دریاچه سد کارون ۱)، لیتولوژی عمدتاً کارستی با نفوذپذیری بالا، تراکم نسبتاً زیاد پوشش گیاهی در نواحی مرکزی، میانگین بارش سالانه بیش از ۶۰۰ میلی‌متر و استقرار سکونتگاه‌های انسانی در بخش‌های وسیع با محدودیت شدید اراضی مناسب برای دفن زباله مواجه است. این محدودیت به حدی است که پس از اعمال مناطق ممنوعه (شامل حریم منابع آب، سکونتگاه‌ها، جاده‌های اصلی و پوشش گیاهی متراکم)، تنها بخش ناچیزی از مساحت شهرستان برای این منظور قابل توصیه است. از نظر روش‌شناختی، نتایج این پژوهش نشان داد که مدل تلفیقی RWR و گامای فازی نسبت به روش‌های مرسوم (مانند WLC و AHP) از کارآمدی بالاتری برخوردار است. مزیت اصلی این روش، قابلیت تنظیم پارامتر ۷ (بین صفر و یک) در عملگر گامای فازی است که به محقق امکان می‌دهد تعادل بین شرایط خوش‌بینانه و بدبینانه را در ترکیب لایه‌ها، کنترل و عدم قطعیت‌های ذاتی در داده‌های محیطی را به‌طور واقع‌بینانه‌تری مدلسازی کند. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان الگویی برای مطالعات مشابه در سایر مناطق کوهستانی و با حساسیت زیست‌محیطی بالا (مانند زاگرس، البرز و سایر مناطق کوهستانی ایران) استفاده شود.

با توجه به محدود بودن اراضی مناسب برای دفن یا دپوی زباله در شهرستان ایزه، پیشنهاد می‌شود مدیران شهری و متولیان مدیریت پسماند، علاوه بر استفاده از نتایج این پژوهش در انتخاب مکان‌های مناسب، رویکردهای مکملی همچون کاهش تولید پسماند، تفکیک از مبدأ، بازیافت و استفاده مجدد از مواد را به‌صورت جدی دنبال کنند. همچنین، انجام مطالعات تکمیلی شامل بررسی‌های ژئوتکنیکی، هیدروژئولوژیکی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پیش از احداث هرگونه سایت دفن، ضروری است. به‌روزرسانی مستمر داده‌های مکانی، پایش تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی و مشارکت کارشناسان محلی می‌تواند دقت تصمیم‌گیری را افزایش دهد. از سوی دیگر، آموزش و آگاهی‌بخشی به شهروندان در زمینه مدیریت صحیح پسماند و جلب مشارکت جوامع محلی، نقش مهمی در کاهش فشار بر محیط‌زیست و افزایش پذیرش اجتماعی پروژه‌های مدیریت پسماند خواهد داشت.

منابع

اقصایی، هلن، و سوری، بابک (۱۳۹۶). مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری با استفاده از تکنیک‌های اطلاعاتی مکانی مطالعه موردی: شهر سمنان. *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۱(۱۵)، ۲۱۵-۲۲۹.

https://www.iraneiap.ir/article_52200.html

تاج‌الدینی، عباس، سبزی، زهرا، و ظریف، لادن (۱۴۰۱). امکان‌سنجی انتخاب محل مناسب دفن زباله‌های شهر کرج با رویکرد توسعه پایدار با استفاده از تلفیق GIS و روش AHP فازی. *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*

«سپهر»، ۳۱(۱۲۳)، ۱۷۷-۱۵۵. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.699920>

حجازی، سیداسداله، و زنگنه‌تبار، زهرا (۱۴۰۴). شناسایی مناطق مستعد دفن زباله بر مبنای پارامترهای محیطی و اعمال مناطق ممنوعه (مطالعه موردی: شهرستان دالاهو). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۴ (۳)، ۲۳۵-۲۵۱.

<https://doi.org/10.22067/geoh.2025.93006.1564>

خادمی شیراز، مظفر، روانشادینا، مهدی، خشنند، افشین، و عباسیان جهرمی، حمیدرضا (۱۴۰۰). مکان‌یابی محل دفن پسماند ساختمانی با استفاده از ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FUZZY AHP) و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) (مطالعه موردی: شهر قزوین). *نشریه مهندسی عمران/میرکبیر*، ۵۳ (۷)، ۲۹۰۹-۲۹۲۰.

<https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17555.6599>

عباس‌نژاد، جواد، یارمرادی، زهرا، و سرافروزه، فاطمه (۱۳۹۶). مکان‌یابی دفن زباله در شهر هاکوبه روش فازی و بولین. *آمایش جغرافیایی فضا*، ۷ (۲۴)، ۸۷-۹۸.

https://gps.gu.ac.ir/article_50831.html

گنجائیان، حمید، شاه‌جمالی، مینا، ابراهیمی، اعظم، و اکبریان، مرتضی (۱۴۰۴). شناسایی مناطق مستعد دفن و دفن زباله در شهرستان کامیاران با اعمال مناطق ممنوعه. *محیط زیست و توسعه فرابخشی*، ۱۰ (۸۷)، ۱-۱۵.

<https://doi.org/10.22034/envj.2025.500751.1458>

مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). *گزارش جمعیتی استان خوزستان، شهرستان ایذه*. <https://amar.org.ir>

ناصرترابی، عرفان، مطهری، سعید، صمدیار، حسن، و آزادبخت، بیتا (۱۴۰۱). شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی مکان دفن زباله و نیروگاه زباله‌سوز و تأثیر آن بر محیط زیست شهری با روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP). *جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۱۲ (۴۶)، ۷۷۴-۷۹۴.

<https://doi.org/10.22034/jgeoq.2022.146944>

References

- Abbas-Nejad, J., Yarmoradi, Z., & Sarafrouzeh, F. (2017). Locating landfills in Maku city using fuzzy and Boolean methods. *Geographical Planning of Space*, 7(24), 87-98.
https://gps.gu.ac.ir/article_50831.html [In Persian]
- Ajibade, F.O., Olajire, O., Ajibade, T., Nwogwu, N., Alo, A., Owolabi, T.A & Adewumi, J.R. (2019). Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian state. *Environmental and Sustainability Indicators*, 3, 100010.
<https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100010>
- Al Awadh, M., & Mallick, J. (2024). A decision-making framework for landfill site selection in Saudi Arabia using explainable artificial intelligence and multi-criteria analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103464. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103464>
- Aqsaei, H., & Babak, S. (2017). Locating urban waste landfills using spatial information techniques- case study: Sanandaj city. *Environmental Research*, 8(15), 215-229.
https://www.iraneiap.ir/article_52200.html [In Persian]
- Arabeyyat, O.S., Shatnawi, N., Shbool, M.A., & 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*, 12, 102591. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102591>
- Ebrahimi, A., De Azeredo, G.A., Safari Namivandi, M., Gholami, A., & Akbarian. M. (2025). Identification of suitable landfill sites based on environmental parameters in Sahneh County, Western Iran. *Asian Journal of Geographical Research*, 8(4), 416-430.
<https://doi.org/10.9734/ajgr/2025/v8i4346>

- Ganjaeian, H., Shahjamali, M., Ebrahimi, A., & Akbarian, M. (2025). Identifying areas prone to landfill and waste depots in Kamyaran County by implementing prohibited areas. *Environment and Interdisciplinary Development*, 10(87), 1–15. <https://doi.org/10.22034/envj.2025.500751.1458> [In Persian]
- Hejazi, S. A., & Zanganeh Tabar, Z. (2025). Landfill suitability site selection using environmental parameters and exclusion zones (Case Study: Dalahu County). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(3), 235-251. <https://doi.org/10.22067/geoh.2025.93006.1564> [In Persian]
- Hosseini, S.J., Ganjaeian, H., Shahjamali, M., Ebrahimi, A., & Hamidi Kermanshahi, H. (2026). Identification of areas suitable for landfilling and waste disposal considering natural and human constraints in Zanjan County Iran. *Discover Hazards*, 2(1), 22. <https://doi.org/10.1007/s44475-026-00023-6>
- Khademi Shiraz, M., Ravanshadnia, M., Khoshand, A., & Abbasianjahromi, H. (2021). Site selection of construction waste landfill based on combination of fuzzy AHP and Geospatial Information System (GIS) (Case Study: Qazvin, Iran). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(7), 2909-2920. <https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17555.6599> [In Persian]
- Mallick, J. (2021). Municipal solid waste landfill site selection based on fuzzy-AHP and geoinformation techniques in Asir Region Saudi Arabia. *Sustainability*, 13(3), 1538. <https://doi.org/10.3390/su13031538>
- Moumane, A., Al Karkouri, J., & Batchi, M. (2025). Utilizing GIS, remote sensing, and AHP-multi-criteria decision analysis for optimal landfill site selection in Kenitra Province, Morocco: A step towards sustainable development goals. *Discover Environment*, 3(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00183-0>
- Nasertorabi, E., Mottahari, S., Samdyar, H., & Azadbakht, B. (2022). Identification and prioritization of environmental risks of landfills and waste incineration plants and their impact on the urban environment using the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). *Geography (Regional Planning)*, 12(46), 794-774. <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2022.146944> [In Persian]
- Nguyen, N. T., Hoa, N., & Lien, N. T. (2024). Innovative multi-criteria risk assessment framework for unsanitary, closed landfills: Integrating the fuzzy analytic hierarchy process with a weighted geometric mean approach. *Science of The Total Environment*, 959, 178245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178245>
- Papale, L. G., Guerri, G., De Santis, D., Schiavon, G., & Del Frate, F. (2023). Satellite data potentialities in solid waste landfill monitoring: Review and case studies. *Sensors*, 23(8), 3917. <https://doi.org/10.3390/s23083917>
- Powell, J. T., Chertow, M. R., & Esty, D. C. (2018). Where is global waste management heading? An analysis of solid waste sector commitments from nationally-determined contributions. *Waste Management*, 80, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.008>
- Soyaslan, I. I. (2025). Landfill site suitability analysis for sustainable solid waste management using AHP and GIS in Burdur Lake Basin, Türkiye. *MethodsX*, 103555. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103555>
- Spigolon, L. M., Giannotti, M., Larocca, A. P., Russo, M. A., & Souza, N. d. C. (2018). Landfill siting based on optimisation, multiple decision analysis, and geographic information system analyses. *Waste Management Research*, 36, 606–615. <https://doi.org/10.1177/0734242X18773538>
- Statistical Center of Iran. (2016). *Population report of Khuzestan Province: Izeh County*. <https://amar.org.ir> [In Persian]
- Tajaldini, A., Sabzi, Z., & Zarif, Z. (2022). Feasibility study of selecting a suitable landfill site in Karaj city with a sustainable development approach using a combination of GIS and fuzzy AHP method. "Sephehr" *Geographic Information Research Quarterly Journal*, 31(123), 177-155. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.699920> [In Persian]

- Torres, R. N., & Fraternali, P. (2021). Learning to identify illegal landfills through scene classification in aerial images. *Remote Sensing*, 13, 4520. <https://doi.org/10.3390/rs13224520>
- Wang, G., Qin, L., Li, G., & Chen, L. (2009). Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 90, 2414–2421. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.008>
- Wanore, T.D., Angello, Z.A., & Fetanu, Z.M. (2023). Optimized landfill site selection for municipal solid waste by integrating GIS and multicriteria decision analysis (MCDA) technique, Hossana town, southern Ethiopia. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21257>
- Yan, W.Y., Mahendrarajah, P., Shaker, A., Faisal, K., Luong, R., & Al-Ahmad, M. (2014). Analysis of multi-temporal landsat satellite images for monitoring land surface temperature of municipal solid landfill sites. *Environmental monitoring and assessment*, 186(12), 8161-8173. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3995-z>
- Zhang, S., Lv, Y., Yang, H., Han, Y., Peng, J., Lan, J., Zhan, L., Chen, Y., Bate, B. (2021). Monitoring and quantitative human risk assessment of municipal solid waste landfill using integrated Satellite–UAV–Ground survey approach. *Remote Sensing*, 13(22), 4496. <https://doi.org/10.3390/rs13224496>