Integrated Watershed Management, Autumn, 2024, 4(3), 83-104 **Article Type: Research**

doi: 10.22034/iwm.2024.2024112.1140 **Online ISSN: 2783-4581**

Waste disposal site location allocation using GIS and fuzzy overlay method (Case study: Birjand county)

Abbasali Rezapour[1*], Saeid Deymevar[2]

1- Department of Civil Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

2- Department of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

*** Corresponding author**: abbas.rezapoor@birjandut.ac.ir

(Received: 05 March 2024 Revised: 22 April 2024 Accepted: 06 Jun 2024)

Extended Abstract

Introduction: With the increase in population and the growth of industry and agriculture, the production of various types of human, industrial, and agricultural waste also increases. Improper disposal of waste can lead to environmental pollution and contamination of water resources. One common method of waste disposal is landfilling. A significant challenge of this method is finding a suitable location for the landfill, as the selection of an appropriate site depends on various criteria and factors. The use of Geographic Information Systems (GIS) and multi-criteria decision-making methods are effective and efficient tools for addressing this challenge. The aim of this study is to use GIS and fuzzy overlay methods to locate suitable landfill sites for municipal and industrial waste in Birjand. For the first time, this research uses spatial data layers for aquifer recharge areas, protective zones of drinking water wells, qanats, and springs in South Khorasan Province.

Materials and methods: This study combines GIS and fuzzy overlay functions to locate suitable landfill sites for municipal and industrial waste in Birjand County. The study area is Birjand, the capital of South Khorasan Province. The fuzzy overlay method utilizes a range of values between 0 and 1 to express the degree or value of set members. The study incorporates various criteria, including environmental, geological, infrastructural, and water resource factors, each comprising multiple sub-criteria. After preparing the necessary data in shapefile format, the Euclidean distance method in ArcMap software was used to create distance layers for each data point. These distance layers were then standardized using fuzzy logic through Python code. The fuzzy standardization of these layers was based on the technical evaluation guidelines for the disposal of ordinary and special waste provided by the Environmental Protection Organization. Finally, using the prepared fuzzy layers and fuzzy overlay functions including AND, OR, SUM, PRODUCT, and GAMMA, the final layer of suitable sites for municipal and industrial waste disposal was created.

Results and Discussion: The results of the overlay operation indicate that the OR and SUM functions did not yield satisfactory results for fuzzy decision-making. The results of the AND, PRODUCT, and GAMMA functions were classified into five categories based on the environmental and water resource risks associated with waste disposal in each area: very high, high, moderate, low, and very low risk. The results indicated that the area with very high risk for waste disposal was the same across all functions. The AND function provided the smallest area for low and very low-risk zones, whereas the GAMMA function provided the largest area for these zones. The results suggest that if the GAMMA function's power is chosen between 0 and 1, the results will be a combination of the AND and OR functions.

Conclusion: Considering the need to place landfill sites near waste production sources to mitigate costs and ownership challenges, it was found that the GAMMA function provides the most suitable results for locating landfill sites for ordinary and special waste in Birjand. According to the results of this function, 3535.982 km^2 of Birjand County's area (about 88%) is a prohibited zone for municipal and ordinary waste disposal, and 3670.934 km^2 (about 92%) is a prohibited zone for industrial and special waste disposal. The remaining area, 368.7 km^2 for municipal and ordinary waste and 233.7 km^2 for industrial and special waste, is suitable for landfill site selection. It was also found that the current municipal waste landfill site in Birjand County is located in a prohibited zone. Therefore it is necessary to relocate it and select a new site based on the results of this study as soon as possible.

Keywords: Landfill site selection, Ordinary and special waste, Geographic Information Systems, fuzzy logic, Birjand County.

Citation: Rezapour, A. & Deymevar, S. (2024). Waste Disposal Site Location Allocation Using Geographic Information System (GIS) and Fuzzy Overlay Method (Case Study: Birjand County). *Integrated Watershed Management*, 4(3), 83-104. doi= 10.22034/iwm.2024.2024112.1140

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳، صفحات (۱۰۴-۸۳) نوع مقاله: پژوهشی

شاپا الکترونیکی: ۴۵۸۱-۲۷۸۳ doi: 10.22034/iwm.2024.2024112.1140

مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی (مطالعه موردی: شهرستان بیرجند)

عباسعلی رضاپور [۱*]، سعید دیمه ور [۲]

۱- گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

***نویسنده مسئول:** abbas.rezapoor@birjandut.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۱۲/۱۵ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۲/۰۳ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۳/۱۷)

چکیده مبسوط

مقدمه: به موازات افزایش جمعیت و رشد صنعت و کشاورزی، میزان تولید انواع پسماندهای انسانی، صنعتی و کشاورزی نیز افزایش می‌یابد. در صورتی که پسماندها به درستی دفع نشود موجب آلودگی محیط‌زیست و منابع آب می‌شود. یکی از روش‌های متداول دفع پسماند دفن آن در زباله‌گاه است. ازجمله چالش‌های اساسی این روش پیدا کردن یک محل مناسب برای دفن پسماند است؛ زیرا انتخاب محل مناسب برای دفن پسماندها به معیارها و عوامل مختلفی وابسته است. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری ابزاری موثر و کارآمد برای مواجهه با این چالش است. هدف از انجام این پژوهش استفاده از GIS و روش همپوشانی فازی برای مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه شهرستان بیرجند است. در این پژوهش برای اولین بار از لایه‌های اطلاعاتی (داده‌های مکانی) مناطق تغذیه کننده آبخوان، حریم‌های نقطه‌ای چاه‌های آب شرب و مادر، مظهر و میله‌های قنات‌ها و چشمه‌ها در استان خراسان جنوبی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه با ترکیب GIS و توابع همپوشانی فازی پرداخته شد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی می‌باشد. در روش همپوشانی فازی، بازه‌ای از مقادیر بین صفر و یک می‌توانند برای بیان درجه یا میزان ارزش اعضای یک مجموعه مورد استفاده قرار گیرند. در این پژوهش از معیارهای محیط‌زیستی، زمین‌شناسی، زیرساختی و منابع آبی که هر کدام شامل چندین زیرمعیار است استفاده شد. پس از تهیه داده‌های موردنیاز در فرمت شیپ فایل، لایه فاصله از عارضه با استفاده از روش فاصله اقلیدوسی (Euclidean distance) در نرم‌افزار ArcMap برای هر یک از این داده‌ها ساخته شد. سپس با استفاده از کدنویسی در محیط پایتون، لایه‌های فاصله از عرضه به صورت فازی استانداردسازی شدند. مبنای فازی‌سازی این لایه‌ها قوانین و ضوابط مطرح شده در دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه سازمان محیط‌زیست بود. در نهایت با استفاده از لایه‌های فازی آماده شده و توابع همپوشانی فازی شامل AND،OR، SUM، PRODUCT و GAMMA لایه نهایی مکان‌های مناسب دفع پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه ساخته شد.

نتایج و بحث: عملیات همپوشانی نشان داد توابع OR و SUM نتایج مناسبی برای تصمیم‌گیری فازی ارائه نمی‌دهند. نتایج توابع AND، PRODUCT و GAMMA بر اساس میزان خطر دفن پسماند در هر منطقه برای محیط‌زیست و منابع آب به پنج طبقه شامل خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم تقسیم شد. بر این اساس مساحت مناطق با خطر دفن بسیار زیاد در همه توابع یکسان بود. تابع AND کمترین مساحت را برای مناطق با خطر دفن کم و خیلی‌کم داشت و در مقابل از تابع GAMMA بیشترین مساحت برای مناطق با خطر دفن کم و خیلی‌کم حاصل شد. با توجه به نتایج مشخص گردید اگر مقدار توان تابع GAMMA بین ۱ و صفر انتخاب شود، نتایج ترکیبی از توابع AND و OR خواهد بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج بدست آمده و با توجه به لزوم نزدیک بودن محل دفن پسماند، به محل تولید آن جهت کاهش هزینه و همچنین کمتر شدن چالش‌های مربوط به نوع مالکیت اراضی، مشخص گردید تابع GAMMA نتایج مناسب‌تری برای مکان‌یابی محل دفن پسماندهای عادی و ویژه شهرستان بیرجند ارائه می‌دهد. بر اساس نتایج این تابع ۳۵۳۵/۹۸۲ کیلومترمربع از مساحت شهرستان بیرجند (حدود ۸۸ درصد)، منطقه ممنوعه برای دفن پسماندهای شهری و عادی و ۳۶۷۰/۹۳۴ کیلومترمربع از مساحت شهرستان (حدود ۹۲ درصد)، منطقه ممنوعه برای دفن پسماندهای صنعتی و ویژه است. مابقی مساحت شهرستان یعنی ۳۶۸/۷ کیلومترمربع برای پسماندهای شهری و عادی و ۲۳۳/۷ کیلومترمربع برای پسماندهای صنعتی و ویژه جهت انتخاب محل دفن پسماند، مناسب است. همچنین مشخص گردید مکان فعلی دفن پسماندهای شهری و عادی شهرستان بیرجند در ناحیه ممنوعه قرار داشته و لازم است مطابق با نتایج این پژوهش در اسرع وقت جابجا و مکان جدیدی برای آن انتخاب شود.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی دفن پسماند، پسماند عادی و ویژه، سامانه اطلاعات جغرافیایی، منطق فازی، شهرستان بیرجند

استناد: رضاپور، ع؛ و دیمه‌ور، س. (۱۴۰۳). مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی (مطالعه موردی: شهرستان بیرجند). *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۴(۳)، ۱۰۴-۸۳.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وب‌سایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

یکی از فاکتورهای مهم و اساسی در توسعه و پیشرفت هر کشوری، داشتن جمعیت جوان و سالم در آن کشور است. از این‌رو کشورها برای رشد جمعیت خود برنامه‌های متنوعی را اجرا می‌کنند. در کشور ایران نیز به‌خصوص در مناطق مرزی که مسئله حفظ و امنیت مرزها مطرح است، رشد جمعیت از اهمیت بیشتری برخوردار است. توسعه زیرساخت‌ها به خصوص در بخش‌های اقتصادی، صنعتی، رفاهی و کشاورزی، تامین آب موردنیاز و حفظ محیط‌زیست ازجمله ملزومات اساسی و مهم برای رشد جمعیت می‌باشد (Godarzi & Hajiani, 2023). افزایش جمعیت و رشد صنعت و کشاورزی با همه مزایایی که دارد، همراه با مخاطراتی چون افزایش تولید پسماندهای انسانی و صنعتی و کشاورزی است که اگر به روش مناسبی دفع نگردد، می‌تواند منجر به آسیب جدی به محیط‌زیست به ویژه منابع آب فعلی کشور شود. با توجه به تنش‌های آبی موجود در کشور از قبیل، کاهش میزان بارندگی، کاهش کمی و کیفی آب در آبخوان‌ها، کاهش آب ذخیره سدها به خصوص در نواحی شرقی، اهمیت حفظ منابع آب موجود از نظر کمی و کیفی بیشتر احساس می‌شود.

یکی از روش‌های رایج برای دفع پسماندها، دفن در یک محل مناسب است. محلی که از یک‌سو با رعایت همه ضوابط و مقررات موجود کمترین خطر را برای محیط زیست انسانی و منابع آب داشته باشد و از طرف دیگر هزینه‌های حمل پسماندها به محل دفن به حداقل برسد. از این رو پیدا کردن یک مکان مناسب برای دفن پسماندها یکی از چالش‌های اساسی این روش به‌شمار می‌رود، چراکه یک مسئله چندمعیاری است و به عواملی چون محیط‌زیست، منابع آب، زمین‌شناسی، زیرساختی و غیره وابسته است. در صورتی که هر یک از معیارهای موثر در مکان‌یابی محل دفن پسماندها لحاظ نشود، می‌تواند منجر به آسیب جدی و جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست، منابع آب و سلامت انسان گردد. ترکیب سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی[1] (GIS) و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری، ابزاری مؤثر برای رفع مشکل انتخاب محل دفن پسماند است، زیرا GIS پردازش و ارائه کارآمد داده‌ها را ارائه می‌دهد و مدل‌های جغرافیایی، رتبه‌بندی هماهنگ مناطق دفن زباله آینده‌نگر را بر اساس انواع معیارها بیان می‌کنند (Karimi *et al.*, 2018). در این زمینه مطالعات متعددی در ایران و جهان صورت گرفته است.

Firoozee و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از سیستم GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی[2] (AHP) به مکان‌یابی مناطق مناسب برای دفن پسماندهای شهری در شهرستان لامرد پرداختند. آن‌ها از میان ۵ مکان پیشنهادی دفن بهداشتی پسماند شهری، بهترین مکان را انتخاب نمودند. Madadi و همکاران (۲۰۱۴) به مدل‌سازی مکان‌های مناسب دفن زباله شهر اردبیل با استفاده از روش‌های بولین، همپوشانی وزنی و سلسله مراتبی اقدام نمودند. نتایج آنها نشان داد روش بولین برای مکان‌یابی محل دفن پسماند مناسب نیست و از طرفی روش سلسله مراتبی بهترین نتایج را برای مکان‌یابی دفن پسماند ارائه می‌دهد.

Nasiri و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش‌های بولین و فازی به مکان‌یابی دفع پسماند در شهرستان ماکو پرداختند و مکان‌های مناسب دفن پسماندهای شهری ماکو را مشخص نمودند. Ildroumi و همکاران (۲۰۱۹) به مکان‌یابی جایگاه دفن زباله در شرق استان گیلان بر اساس روش غربال منطقه‌ای و محلی پرداختند. آنها با استفاده از GIS مناطق دارای محدودیت قانونی و همچنین مناطق مستعد جهت دفن پسماند را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که سه عامل اصلی همچون شرایط طبیعی، کاربری اراضی و عوامل اقتصادی در مقیاس محلی برای دفن پسماند مهم می‌باشند. Rezaei و Jamshidi-Zanjani (۲۰۱۷) با تلفیق روش عضویت‌دهی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مکان مناسب محل دفن پسماندهای

[1] Geographic Information System

[2] Analytical Hierarchy Process

شهری شهرستان اراک را شناسایی و نتایج حاصل را در چند طبقه با تناسب مکانی مختلف طبقه‌بندی نمودند. آنها نتیجه گرفتند بیشترین مساحت برای انتخاب مکان دفن پسماندهای شهری مربوط به مناطق با تناسب مکانی بالا می‌باشد. Vafadoost و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از GIS و مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای[1] (ANP) مکان مناسب دفع پسماند در نقاط شهری شهرستان گناباد را مورد بررسی و شناسایی قرار دادند. آن‌ها نقشه نهایی حاصل از مدل ANP را در چهار پهنه (کاملاً مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب) طبقه‌بندی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد مکان فعلی دفع پسماند شهرستان گناباد مناسب بوده و نیاز به جابجایی ندارد. Hailu و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد شهری در شهر ولکیت اتیوپی پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود از معیارهای زمین‌شناسی، رودخانه‌ها، چاه تامین آب زیرزمینی، جاده و تاسیسات عمومی استفاده نمودند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مکان فعلی دفن پسماندهای جامد شهری نامناسب بوده و مکان مناسب جدیدی برای دفن پسماندهای شهری پیشنهاد کردند. Hashemi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از ارزیابی چندمعیاره با رویکرد روی‌هم‌گذاری خطی در محیط IDRISI به مکانیابی محل دفن پسماندهای صنعتی شهرک شمس‌آباد استان تهران پرداختند. آنان در پژوهش خود از معیارهای فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، شیب، فاصله از جاده، زمین‌شناسی، فاصله از خطوط نیرو، اراضی کشاورزی، مناطق صنعتی، مناطق مسکونی استفاده نمودند. آنان برای استانداردسازی لایه‌ها از روش فازی و برای تعیین وزن معیارها از روش مقایسه زوجی استفاده نمودند. سپس با تلفیق لایه‌ها نقشه نهایی محل‌های مناسب دفن پسماند را ارائه نمودند.

Pouramraei و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه‌ای و ترکیب خطی وزنی[2] (ANP-WLC) و GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری شهر کوهدشت پرداختند. آنان از معیارهای فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، فاصله از خطوط ارتباطی، فاصله از چاه و چشمه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شیب استفاده و نتایج خود را به پنج طیف بسیار نامناسب، نامناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب تقسیم نمودند. نتایج نشان داد ۱۹ درصد از مساحت شهرستان مناطق مناسبی برای دفن پسماند می‌باشند.

Gholami و همکاران (۲۰۲۱) به مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری در شهر عسلویه پرداختند. آنها نتایج پژوهش خود را در ۴ کلاس کاملاً مناسب، مناسب، نامناسب و کاملاً نامناسب طبقه‌بندی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد پهنه‌های تعیین شده جهت دفن پسماند بیشتر منطبق بر زمین‌های بایر و مراتع فقیر است. Jalilian و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش‌های سوارا (SWARA) و کوپراس (COPRAS) و GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری در شهر کرمانشاه پرداختند. آنان در مطالعه خود از لایه‌های فرودگاه، جاده، شیب، مناطق حفاظت شده، خطوط ریلی، مراکز جمعیتی، زمین‌های کشاورزی، گسل، منابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده نمودند. آن‌ها در پژوهش خود عنوان کردند روش‌های سوارا و کوپراس با توجه به انعطاف بالا و دقت در ارائه نتایج از روش‌های معمول وزن‌دهی و رتبه‌بندی بهتر است.

Khademi Shiraz و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی و GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی شهر قزوین پرداختند. آنان در پژوهش خود از لایه‌های رودخانه، مناطق حفاظت شده، شیب، کاربری اراضی، خاک و زمین‌شناسی استفاده نمودند. نتایج پژوهش آنان نشان داد محدوده

[1] Analytic Network Process

[2] Network analysis process and weighted linear combination

شمال غربی قزوین به دلیل جنس خوب خاک، کاربری اراضی مناسب، فاصله از رودخانه‌ها و گسل‌ها و دسترسی به جاده‌ها و اقلیم خشک مناسب‌ترین مکان برای دفن پسماند ساختمانی می‌باشد.

Bagherabadi (۲۰۲۲) با استفاده از روش AHP در محیط GIS به مکان یابی محل دفن پسماندهای شهری شهرستان صحنه پرداخت. در این پژوهش از لایه‌های شیب فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و فاصله از گسل استفاده گردید. نتایج این پژوهش در پنج دسته بسیار نامناسب، نامناسب، متوسط، مناسب و بسیار مناسب طبقه‌بندی و نتیجه‌گیری گردید که محدوده‌های تعیین شده برای دفن مناسب پسماند مطلوبیت بالایی دارد. Tavakoli Naghme و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از روش توصیف تحلیلی در محیط GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای روستایی شهرستان قصرشیرین پرداختند. آنان در پژوهش خود از لایه‌های مناطق مسکونی، آبراهه‌ها، چاه‌های آب، کاربری زمین، مراتع، خاک، زمین شناسی، گسل و راه‌های ارتباطی استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد بخش عمده شهرستان قصرشیرین برای دفن پسماند مناسب نیست.

Kardan Moghaddam و Kardan Moghaddam (۲۰۲۱) به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری شهرستان بیرجند با روش‌های آنتروپی و ANP پرداختند. آن‌ها با در نظر گرفتن ۴ معیار اصلی شامل محیط‌زیست طبیعی، شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی، وضعیت عوامل اقتصادی و نحوه بهره‌برداری منطقه و ۱۵ زیرمعیار مشخص، ۵ نقطه مناسب را به عنوان محل دفن پسماندهای شهری ارائه دادند. آنها با آنالیز خطای انتخابی پراکنش مکانی این نقاط نتیجه گرفتند که روش ANP پراکنش فاصله‌ای بیشتری نسبت به روش آنتروپی دارد. Amiri و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از سیستم AHP-فازی و GIS به مکان یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری، شهر کنگان پرداختند. آنان در پژوهش خود از معیارهای زمین‌شناسی، شیب، گسل، فاصله از مناطق مسکونی، رودخانه، سد، چاه‌ها و فاصله از زیرساخت‌ها استفاده نمودند. آنان در نهایت نتایج خود را به پنج دسته نامناسب، کمترمناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب تقسیم‌بندی نمودند. Talebi (۲۰۲۳) در پژوهش خود با استفاده از مدل‌سازی تحلیلی چندمعیاره در محیط GIS به مکان یابی محل دفن پسماندهای شهری در شهر بم پرداخت. او در این پژوهش از ۸ معیار توپوگرافی، شیب، گسل، زمین‌شناسی، آبراهه‌ها، خطوط ارتباطی و فاصله از شهر استفاده و نتایج مطالعه خود را به چهار کلاس بسیار مناسب، مناسب، نامناسب و بسیار نامناسب طبقه‌بندی نمود. نتایج نشان داد بیشترین مکان بهینه برای دفن پسماند در جنوب شرق شهر بم وجود دارد. Kebede و Ayenew (۲۰۲۳) به مکان‌یابی پسماندهای شهر دزی در اتیوپی با استفاده از روش AHP پرداختند. آنها در پژوهش خود از پارامترهای زمین شناسی، زیرساختی و چاه‌های آب زیرزمینی استفاده و با دسته‌بندی محل‌های دفن زباله در پنج دسته نامناسب، کمتر مناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب، عنوان کردند، مکان فعلی دفن زباله در منطقه نامناسب قرار دارد و پیشنهاد کردند از دفن زباله در این مکان اجتناب شود.

شهرستان بیرجند با توجه به قرارگیری در نواحی خشک و کم آب، با چالش‌های متعددی در خصوص تامین آب مورد نیاز روبرو است. از این رو حفظ کیفیت منابع آب در این شهرستان به عنوان یک مسئله حیاتی و مورد تاکید در سند آمایش سرزمین از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از طرفی این شهرستان فاقد محل مشخصی برای دفن پسماندهای صنعتی و ویژه می‌باشد. همچنین در خصوص پسماندهای شهری نیز تنها شهر بیرجند دارای مکان مشخص برای دفن پسماند است و سایر شهرهای شهرستان بیرجند (حاجی‌آباد و القورات) فاقد محل مناسب برای دفن پسماندهای شهری است. این مسئله موجب دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه در شهرستان بیرجند در مکان‌هایی شده که منجر به آلودگی

محیط‌زیست و به خصوص منابع آب می‌شود. از این رو انجام یک مکان‌یابی جامع برای محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه در این شهرستان ضروری است.

علاوه بر این در اکثر پژوهش‌هایی که تاکنون در خصوص مکانیابی دفن پسماند صورت گرفته، معمولاً به تعداد کمی از معیارهای منابع آبی اکتفا شده و از منابعی که نقش مهمی در تامین نیازهای آبی به خصوص در شهرستان بیرجند دارد مانند چشمه‌ها و قنات‌ها، استفاده نشده است. همچنین تاکنون در قریب به اتفاق پژوهش‌های انجام شده، از لایه‌های مهمی چون مناطق تغذیه کننده آبخوان، حریم نقطه‌ای چاه‌های شرب و حریم تامین آب شرب که نقش اساسی در کیفیت منابع آب زیرزمینی دارند استفاده نشده است.

هدف از انجام این پژوهش استفاده از ترکیب GIS و روش همپوشانی فازی برای مکان‌یابی محل دفن مناسب پسماندهای شهری و صنعتیِ عادی و ویژه در شهرستان بیرجند می‌باشد. این امر منجر به یافتن مکان‌های مناسبی می‌شود که ضمن دفن صحیح و بهداشتی انواع پسماندها از آلودگی محیط‌زیست و منابع آب جلوگیری می‌نماید.

پسماندهای شهری و عادی با وجود آلودگی کمتر نسبت به پسماند صنعتی و ویژه، در حجم بیشتری تولید می‌گردند. پسماندهای صنعتی عمدتا به مواد شیمیایی آلوده‌اند و سمیت بیشتری نسبت به پسماندهای شهری دارند. پسماندهای ویژه نیز که می‌توانند از نوع شهری یا صنعتی باشند، مانند پسماندهای بیمارستانی، عمدتاً دارای آلودگی‌های عفونی و یا زیستی خطرناک هستند که برای محیط زیست و سلامت انسان بسیار مضراند.

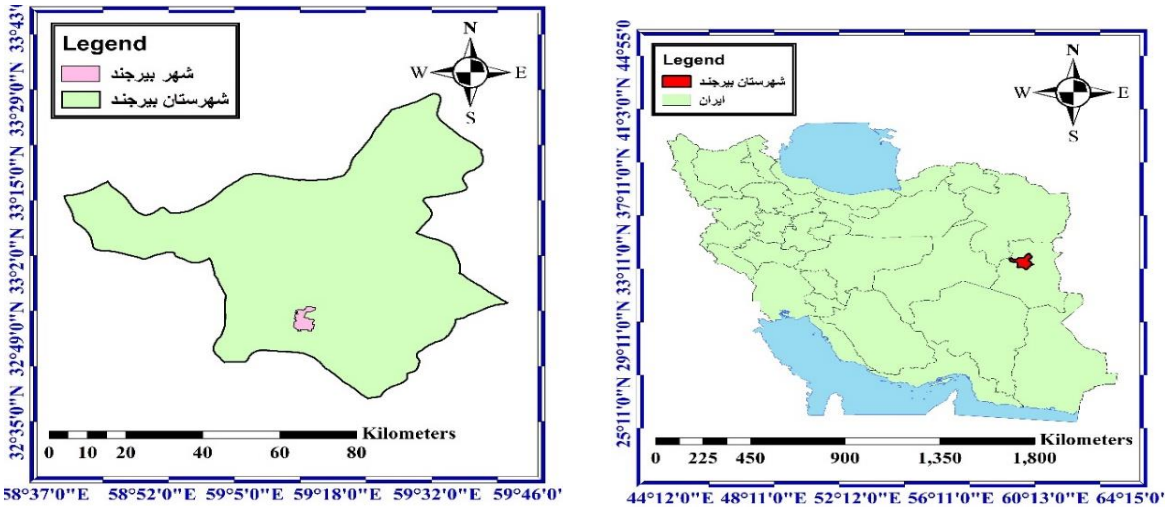
در این پژوهش برای اولین بار از لایه‌های کامل منابع آبی ازجمله مناطق تغذیه کننده آبخوان، حرایم نقطه ای چاه‌های آب شرب (Whaem) و مادر، مظهر و میله‌های قنات‌ها و چشمه‌ها در خراسان جنوبی استفاده شده است. همچنین در این تحقیق کلیه ضوابط مورد تاکید وزارت نیرو و سازمان محیط زیست به ویژه برای حفاظت از منابع آب با ذکر قوانین و مقررات مرتبط مورد تاکید قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی است و مرکز آن شهر بیرجند می‌باشد. وسعت این شهرستان ۳۹۴۸/۱۸ کیلومترمربع ا ست. شهر ستان بیرجند در زون ۴۰ (شمالی) جغرافیایی واقع شده و و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۷۰ متر است. جمعیت این شهرستان طبق آخرین سر شماری صورت گرفته در ایران یعنی سر شماری سال ۱۳۹۵ برابر با ۲۶۱۳۲۴ نفر برآورد شده است. شهرستان بیرجند شامل سه شهر بیرجند، حاجی‌آباد و القورات است که بر اساس اطلاعات دریافت شده از شهرداری بیرجند و سازمان محیط زیست میزان تولید روزانه پسماند خانگی در این شهرستان ۱۰۰ تن، پسماند بهداشتی ۱۰ تن و پسماند صنعتی ۲ تن است. شکل ۱ موقعیت شهرستان بیرجند را نشان می‌دهد. در حال حاضر شهر ستان بیرجند فاقد یک محل م شخص برای دفن پسماندهای صنعتی و ویژه است. همچنین برای پ سماندهای شهری نیز فقط شهر بیرجند دارای یک محل برای دفن پسماند است و سایر شهرها و مناطق شهرستان فاقد محل مشخصی برای دفن پسماندهای شهری است.

در این پژوهش از ترکیب سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی جهت مکان‌یابی محل دفن پسماندها استفاده گردید. در ادامه به معرفی روش همپوشانی فازی پرداخته می‌شود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان بیرجند

Figure 1: Location of Birjand city

روش همپوشانی فازی

روش فازی در اصل یک روش وزن‌دهی به لایه‌های مورد استفاده می‌باشد که قابل قبول‌ترین روش مکانیابی است. این روش، دارای ریسک‌پذیری پایین است (Nasiri *et al*., 2017). الگوریتم فازی برای اولین بار توسط دانشمند ایرانی پروفسور عسگر لطفی‌زاده استاد دانشگاه برکلی آمریکا برای مطالعه در شرایط عدم قطعیت ارائه شده است (PourAhmad *et al*., 2008). این نظریه قادر است که بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که فاقد اطلاعات کافی بوده و مبهم می‌باشند، مدل‌سازی ریاضی کرده و زمینه را برای استدلال و تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت فراهم آورد (PourAhmad *et al*., 2008). الگوریتم فازی ابزاری قدرتمند برای حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده به شمار می‌آید. مشکل عمده این مسائل وابستگی آن‌ها به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری است (Kooreh Pazan, 2008). از این رو، نظریهٔ مجموعه‌های فازی، یک نظریهٔ ریاضی طراحی شده، برای مدل کردن ابهامات موجود در فرآیندهای وابسته به دانش بشری می‌باشد (Lee *et al*., 2008). بر اساس تئوری مجموعهٔ فازی، درجه یا میزان ارزش اعضای یک مجموعه می‌توانند توسط بازه‌ای از مقادیر بین صفر و یک مورد بیان شود (Novriadi & Darijanto, 2006; Tangestani, 2009; de Gruijter *et al*., 2011). به عبارت دیگر در روش فازی قطعیت صفر و یکی موجود در منطق بولین وجود ندارد و هر لایه می‌تواند در مقیاسی بین صفر تا یک درجه‌بندی شود (Matkan *et al*., 2009). این روش عضویت هر عضو را برحسب ارزشی که دارد مورد ارزیابی قرار داده، نقاط دارای ارزش بالاتر را در نقشه، مکان مناسب و نقاط دارای ارزش پایین‌تر را نقاط نامناسب در نظر می‌گیرد. بدین ترتیب، مقدار صفر به معنای عدم عضویت کامل و مقدار یک به معنای عضویت کامل اعضای مجموعه می‌باشد (An *et al*., 1991). سایر اعضای مجموعه می‌توانند مقادیری را بین صفر تا یک و بر اساس درجه قطعیت عضویت به مجموعه و به خود، دریافت کند (Nasiri et al., 2017).

به منظور مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه مراحل ذیل انجام شد:

تهیه داده‌های موردنیاز

داده‌های خام معیارهای مورد استفاده در این تحقیق ازجمله معیارهای محیط‌زیستی، زمین‌شناسی، منابع آب و زیرساختی که هر کدام شامل چندین زیرمعیار می‌شوند به صورت لایه‌های (داده‌های مکانی) برداری

(وکتوری) از ارگان‌های مربوطه دولتی (محیط‌زیست، آب منطقه‌ای، راه و شهرسازی، منابع طبیعی و...) تهیه شدند.

تولید لایه‌های فاصله از عارضه

لایه‌های شیپ فایل تهیه شده مرحله قبل در نرم‌افزار ArcMap و با استفاده از تابع (Euclidean distance) به داده‌های رستری فاصله از عارضه تبدیل گردید.

فازی‌سازی لایه‌های فاصله از عارضه

فازی‌سازی لایه‌ها یکی از مراحل مهم در این روش است. جهت فازی‌سازی می‌توان از توابع مشهوری چون sigmodial و Linear و J-shape استفاده نمود یا کاربر بر اساس نیاز تابع خود را تعریف نماید (Matkan *et al*., 2009). با توجه به اینکه توابع ذکر شده حداقل نیاز به دو حد آستانه دارند، (Matkan *et al*., 2009) و در قوانین محیط‌زیست تنها یک حد آستانه (حداقل فاصله از عارضه) ذکر شده است، از این رو در این مطالعه از این توابع استفاده نگردید. در این پژوهش، لایه‌های رستری فاصله از عارضه با برنامه‌نویسی در محیط Python در نرم‌افزار ArcMap، و بر اساس قوانین زیست‌محیطی موجود به صورت فازی استانداردسازی شد. بدین صورت که فاصله‌های رستری به مقادیر بین صفر تا یک تبدیل گردید. در ادامه به بیان نحوه ارزش‌گذاری فازی لایه‌های رستری فاصله از عارضه هر یک از معیارهای مورد استفاده در این پژوهش، بر اساس مقررات و ضوابط زیست‌محیطی پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به اینکه در فازی‌سازی برخی لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده ازجمله شیب، فرسایش، کاربری اراضی مقادیر بین صفر و یک وجود دارد نتایج نهایی همپوشانی فازی دارای مقادیر بین صفر و یک است. از این رو روش مکانیابی مورد استفاده در این تحقیق از منطق بولین فاصله گرفته و منطبق بر منطق فازی است.

معیارهای محیط‌زیستی

در این بخش از زیرمعیارهای مناطق حفاظت شده و کاربری اراضی سازمان محیط‌زیست استفاده شد. مطابق با ضوابط دستورالعمل ارز یابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه حداقل فاصله محل دفن پسماندهای عادی و ویژه از مناطق حفاظت شده محیط‌زیستی ۱۰۰۰ متر می‌باشد. همچنین محل دفن پسماندها از نظر کاربری راضی باید دارای کمترین ارزش باشد. شکل‌های ۲ و ۳ این لایه‌ها را نشان می‌دهد. نحوه ا ستاندارد سازی این لایه‌ها در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- استانداردسازی فازی معیار مناطق حفاظت شده برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

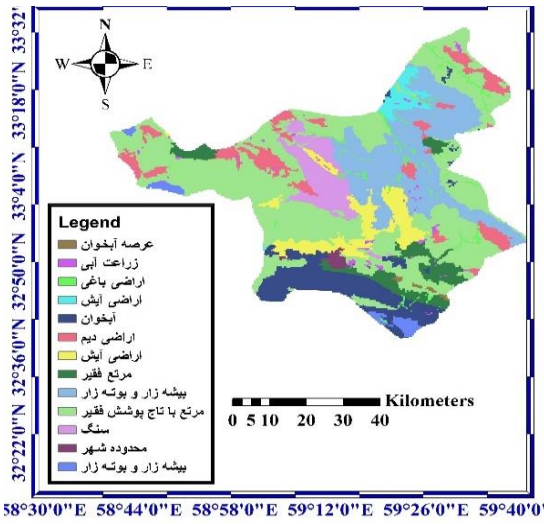
Table 1- Fuzzy standardization of protected areas criteria for normal and special urban and industrial wastes

معیار	کاملا نامناسب	کاملا مناسب
فاصله از مناطق حفاظت شده	فاصله 0 تا 1000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 1000 متر دارای ارزش یک

جدول ۲- استانداردسازی فازی معیار طبقه‌بندی کاربری اراضی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

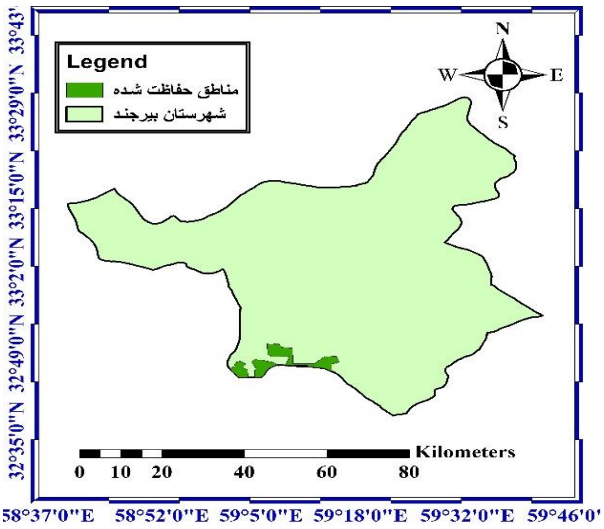
Table 2- Fuzzy standardization of land use criteria for normal and special urban and industrial wastes

معیار	ارزش فازی	معیار	ارزش فازی
سنگ، مرتع فقیر و شوره‌زار، بیشه‌زار، بوته‌زار و مرتع فقیر	کاملا مناسب (1)	اراضی آیش	نامناسب (0.25)
مرتع متوسط	مناسب (0.75)	اراضی باغی و زراعت آبی	کاملا نامناسب (0)
کشاورزی دیم	متوسط (0.5)		



شکل ۲: طبقه‌بندی کاربری اراضی شهرستان بیرجند

Figure 2: Classification of land use



شکل ۳: موقعیت مناطق حفاظت شده محیط زیست

Figure 3: The location of the protected areas of the environment

معیارهای زمین‌شناسی

در بخش زمین شنا سی از لایه‌های گسل، کلاس‌بندی شدت فرسایش خاک (تهیه شده با مدل EPM)، شیب و معادن که از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی تهیه شده است، استفاده شد. بر اساس دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه حداقل فاصله محل دفن پسماندهای عادی از گسل‌های فعال برابر ۲۰۰ متر و پسماندهایویژه برابر ۵۰۰ متر ا ست. حداقل فا صله محل دفن پسماندهای عادی و ویژه از معادن ۱۰۰۰ متر است. همچنین محل دفن زباله نباید در منطقی که فرسایش آن شدید است قرار گیرد. علاوه بر این، مناطقی که شیب آن زیاد است برای دفن پسماندها مناسب نیست. شکل های ۴ تا ۷ این لایه‌ها و جداول ۳ تا ۵ نحوه استانداردسازی آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- استانداردسازی فازی معیار شیب برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

Table 4- Fuzzy standardization of slope criteria for normal and special municipal and industrial wastes

معیار	کاملاً مناسب	مناسب	کاملاً نامناسب
شیب	3 تا 15 درجه دارای ارزش یک	15 تا 35 درجه دارای ارزش بین صفر تا یک	فاصله بیش از 35 درجه دارای ارزش صفر

جدول ۴- استانداردسازی فازی معیارهای گسل و محدوده معدنی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

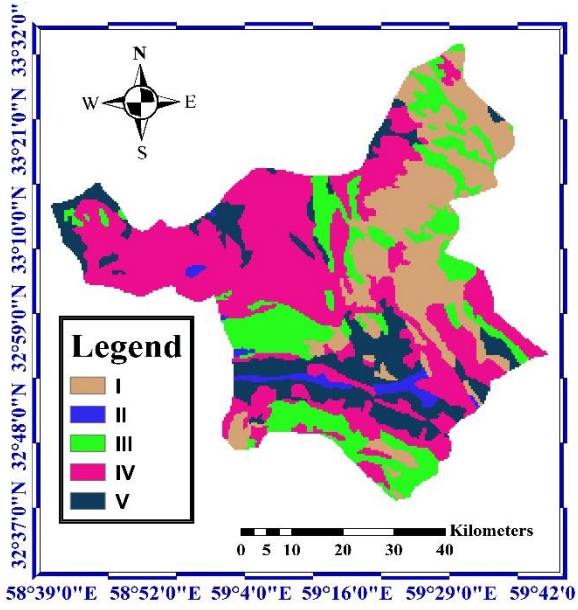
Table 3- Fuzzy standardization of fault and mines criteria for normal and special municipal and industrial waste

معیار	کاملا نامناسب	کاملا مناسب
فاصله از گسل برای پسماندهای عادی	فاصله 0 تا 200 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 200 متر دارای ارزش یک
فاصله از گسل برای پسماندهای ویژه	فاصله 0 تا 500 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 500 متر دارای ارزش یک
فاصله از محدوده معدنی برای پسماندهای عادی و ویژه	فاصله 0 تا 1000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 1000 متر دارای ارزش یک

جدول ۵- استانداردسازی فازی معیار کلاس‌بندی فرسایش خاک برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

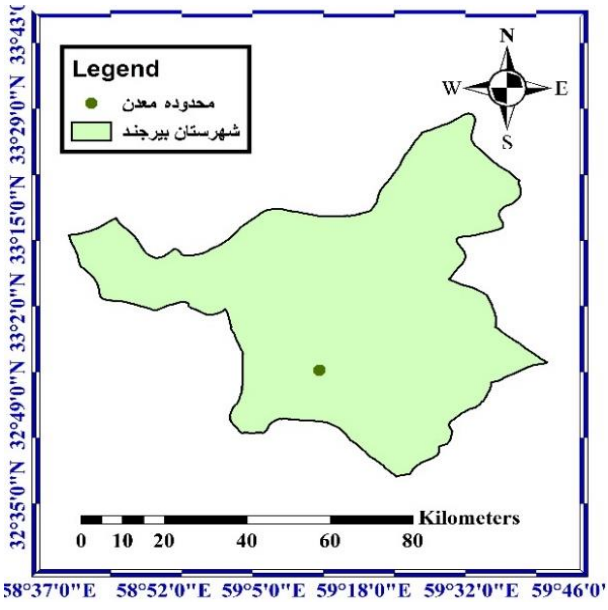
Table 5- Fuzzy standardization of soil erosion classification criteria for ordinary and special municipal and industrial wastes

کلاس فرسایش	ارزش فازی	کلاس فرسایش	ارزش فازی
کم و خیلی‌کم (I و II)	کاملاً مناسب (1)	شدید (IV)	نامناسب (0.25)
متوسط (III)	مناسب (0.75)	خیلی شدید (V)	کاملاً نامناسب (0)



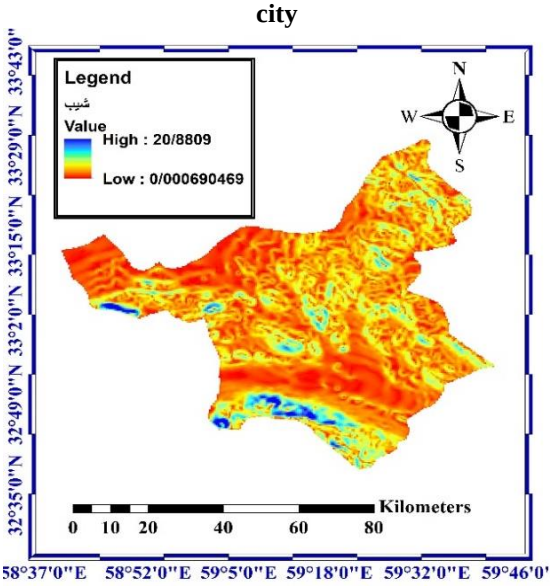
شکل ۴: لایه کلاس‌بندی فرسایش خاک در شهرستان بیرجند

Figure 4: Soil erosion classification layer in Birjand city



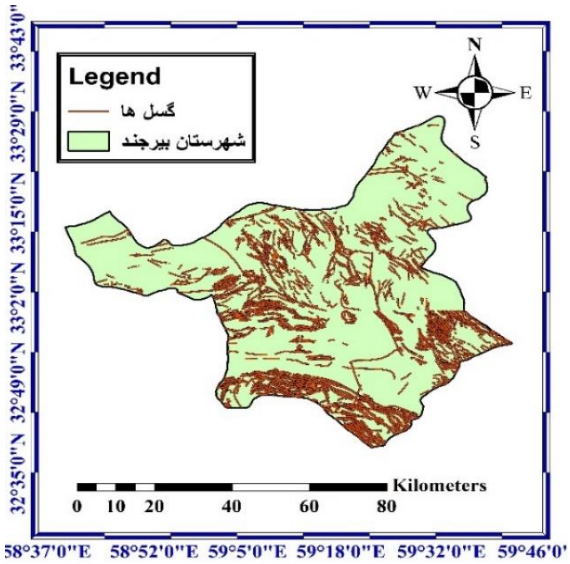
شکل ۵: محدوده معدنی شهرستان بیرجند

Figure 5: The mining area of Birjand city



شکل ۶: شیب زمین (بر حسب درجه)

Figure 6: Slope (in degrees)



شکل ۷: گسل‌های فعال شهرستان بیرجند

Figure 7: Active faults of Birjand city

معیارهای زیرساختی

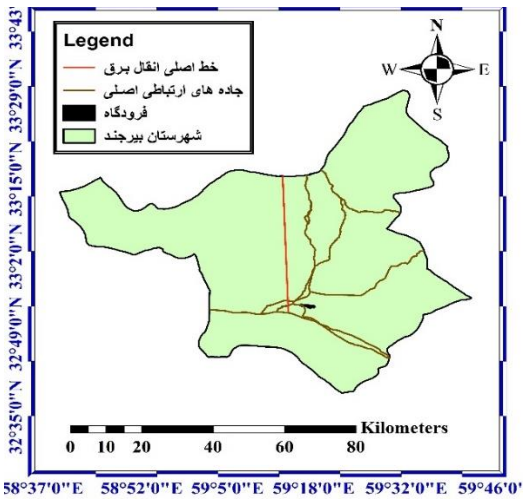
معیارهای زیرساختی شامل زیرمعیارهای مراکز جمعیتی ازجمله محدوده شهر و روستا و آبادی‌ها، فرودگاه بین‌المللی، راه‌های ارتباطی و خطوط انتقال نیرو است. مطابق دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه حداقل محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه از مراکز جمعیتی ۱۰۰۰ متر، فرودگاه بین‌المللی ۸۰۰۰ متر، جاده‌های اصلی، بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها ۳۰۰ متر و خطوط انتقال نیرو ۵۰۰ متر است.

شکل‌های ۸ و ۹ این لایه‌ها و جدول ۶ نحوه استانداردسازی آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۶- استانداردسازی فازی معیارهای زیرساختی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

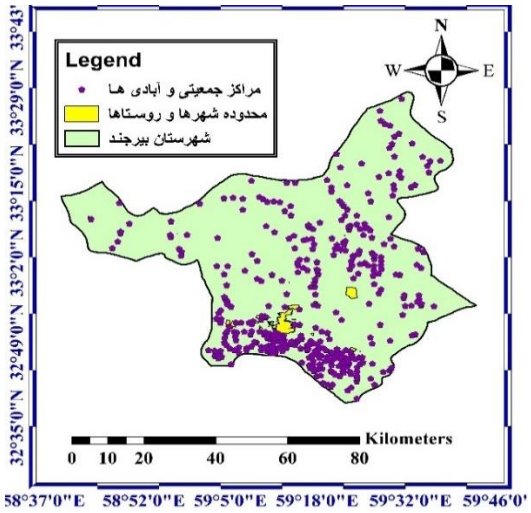
Table 6- Fuzzy standardization of infrastructure criteria for normal and special urban and industrial waste

معیار	کاملاً نامناسب	کاملاً مناسب
فاصله از مراکز جمعیتی	فاصله 0 تا 1000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 1000 متر دارای ارزش یک
فاصله از جاده‌ها	فاصله 0 تا 300 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 300 متر دارای ارزش یک
فاصله از خطوط انتقال برق	فاصله 0 تا 500 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 500 متر دارای ارزش یک
فاصله از فرودگاه بین المللی	فاصله 0 تا 8000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 8000 متر دارای ارزش یک



شکل ۸: جاده‌های مهم، فرودگاه و خط انتقال برق

Figure 8: Important roads, airport and power line



شکل ۹: محدوده‌ی شهر، روستاها، آبادی‌ها و مراکز جمعیتی

Figure 9: City, villages, and population centers

معیارهای منابع آب

معیارهای منابع آب شامل معیارهای هیدرولوژی و هیدروژئولوژی می‌شود. این معیارها از بابت حفظ کیفیت منابع آب دارای اهمیت بسیار زیادی است. از این رو قوانین و ضوابط مرتبط با معیارهای منابع آب باید با دقت و سختگیری بیشتری رعایت شود.

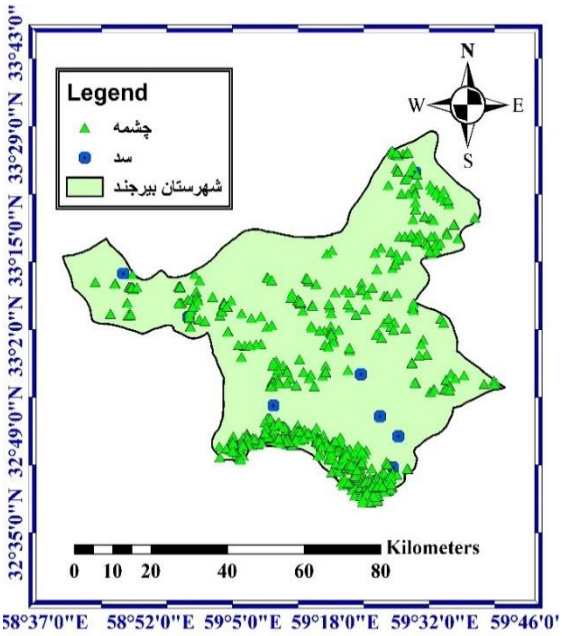
معیارهای هیدرولوژی

معیارهای هیدرولوژیکی شامل رودخانه‌ها، محدوده سدها، چشمه‌ها و پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله می‌باشد. مطابق با دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه، محل دفن پسماند باید حداقل یک کیلومتر از آب‌های جاری، محدوده سدها و پهنه سیلاب فاصله داشته باشد. همچنین، محل دفن پسماندها نباید در حرایم منابع آب سطحی و زیرزمینی باشد. مطابق ضوابط استقرار واحدهای خدماتی در حریم منابع آب، محل دفن پسماندهای شهری، کاربری رده پنج و محل دفن پسماندهای صنعتی و ویژه کاربری رده شش در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس حداقل فاصله استقرار کاربری‌های رده پنج از رودخانه‌ها ۲۵۰ متر و چشمه‌ها ۲۰۰ متر و حداقل فاصله استقرار کاربری‌های رده شش از رودخانه‌ها ۵۰۰ متر و چشمه‌ها ۲۵۰ متر است. با توجه به اینکه، محل دفن پسماند باید حداقل ۱ کیلومتر از آب های جاری فاصله داشته باشد، برای رودخانه‌ها نیز حریم ۱۰۰۰ متری برای کلیه کاربری‌ها در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ضوابط فوق استانداردسازی لایه ها انجام شد. شکل‌های ۱۰ و ۱۱معیارهای هیدرولوژی را در شهرستان بیرجند و جدول ۷ نحوه استانداردسازی لایه ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷- استانداردسازی فازی معیارهای هیدرولوژی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

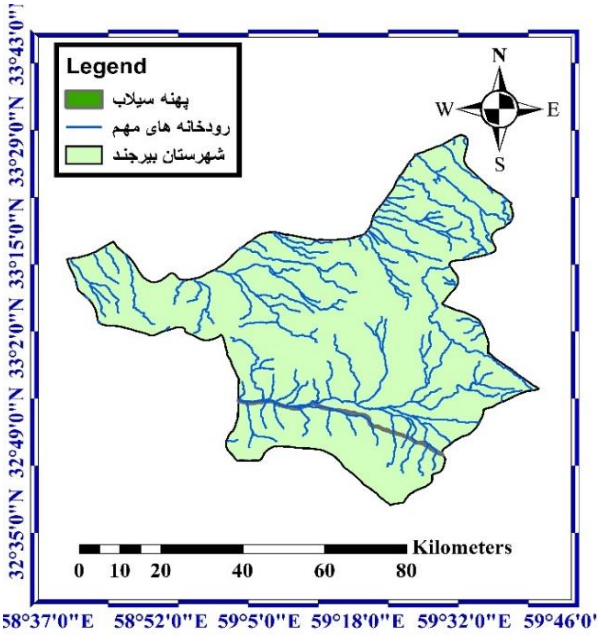
Table 7- Fussy standardization of hydrology criteria for normal and special urban and industrial wastes

معیار	کاملاً نامناسب	کاملاً مناسب
فاصله از رودخانه‌ها، پهنه سیلاب و سدها	فاصله 0 تا 1000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 1000 متر دارای ارزش یک
فاصله از چشمه (کاربری رده پنج)	فاصله 0 تا 200 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 200 متر دارای ارزش یک
فاصله از چشمه (کاربری رده شش)	فاصله 0 تا 250 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 250 متر دارای ارزش یک



شکل ۱۰: موقعیت سدها و چشمه‌های شهرستان بیرجند

Figure 10: Dams and springs



شکل ۱۱: موقعیت رودخانه‌های مهم و پهنه سیلاب

Figure 11: Important rivers and flood plain

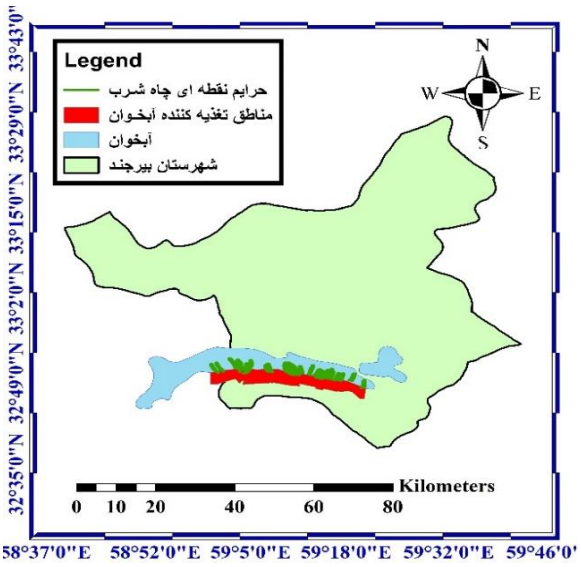
معیارهای هیدروژئولوژی

معیارهای هیدروژئولوژی شامل چاه‌های آب شرب و غیرشرب، قنات‌ها، آبخوان، ارتفاعات تغذیه کننده آبخوان، حریم شرب و حریم‌های نقطه‌ای چاه‌های آب شرب است. مطابق با دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه، محل دفن پسماند نباید در محدوده آبخوان، محل تغذیه کننده آبخوان و حریم شرب باشد. علاوه بر آن محل دفن پسماند نباید در مناطقی باشد که عمق آب زیرزمینی در ۱۰ ساله گذشته کمتر از ۵ متر بوده است. با توجه به اینکه در ۱۰ سال گذشته عمق آب زیرزمینی در آبخوان بیرجند همواره از ۵ متر بیشتر بوده، این معیار در تصمیم‌گیری فازی وارد نشد. همچنین حداقل فاصله محل دفن پسماندها از چاه‌های آب شرب ۴۰۰ متر است و این مکان نباید در بالادست چاه‌های شرب و روی حریم‌های نقطه‌ای چاه‌های آب شرب واقع شود. بر اساس دستورالعمل استقرار واحدهای خدماتی در حریم منابع آب زیرزمینی حداقل فاصله محل استقرار کاربری‌های رده پنج از چاه‌های غیرشرب و قنات‌ها ۲۰۰ متر، و کاربری‌های رده شش ۲۵۰ متر است. با توجه به ضوابط فوق استانداردسازی فازی لایه‌های هیدروژئولوژی انجام شد. شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ معیارهای هیدروژئولوژی و جدول ۸ نحوه استانداردسازی این معیارها را نشان می‌دهد.

جدول ۸- استانداردسازی فازی معیارهای هیدروژئولوژی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

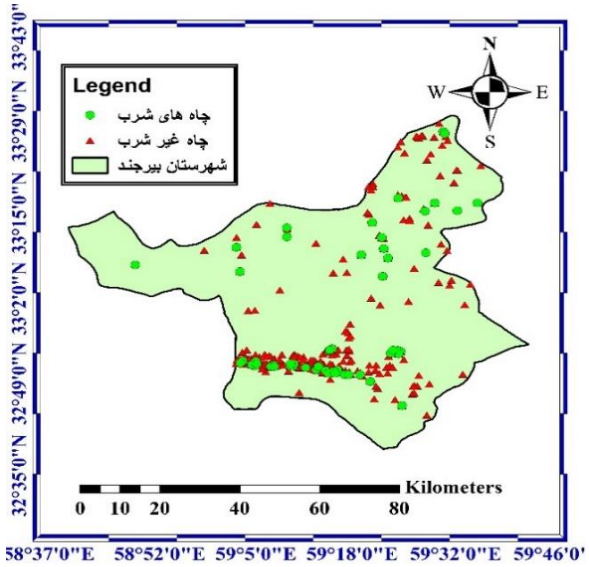
Table 8- Fussy standardization of hydrogeological criteria for normal and special municipal and industrial wastes

معیار	کاملاً نامناسب	کاملاً مناسب
فاصله از چاه شرب	فاصله 0 تا 400 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 400 متر دارای ارزش یک
فاصله از آبخوان، مناطق تغذیه کننده آبخوان و حریم‌های نقطه‌ای چاه شرب و حریم شرب	روی لایه‌ها دارای ارزش صفر	خارج از لایه‌ها دارای ارزش یک
فاصله از چاه های غیر شرب و قنات (کاربری رده پنج)	فاصله ۰ تا 200 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 200 متر دارای ارزش یک
فاصله از چاه های غیر شرب و قنات (کاربری رده شش)	فاصله 0 تا 250 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 250 متر دارای ارزش یک



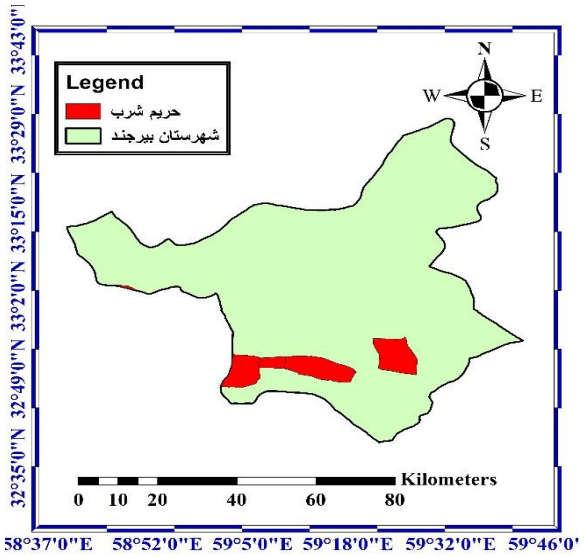
شکل ۱۲: آبخوان، نواحی تغذیه کننده آبخوان و حریم‌های نقطه‌ای چاه‌های شرب

Figure 12: Aquifer, feeding areas of the aquifer and point boundaries of drinking wells



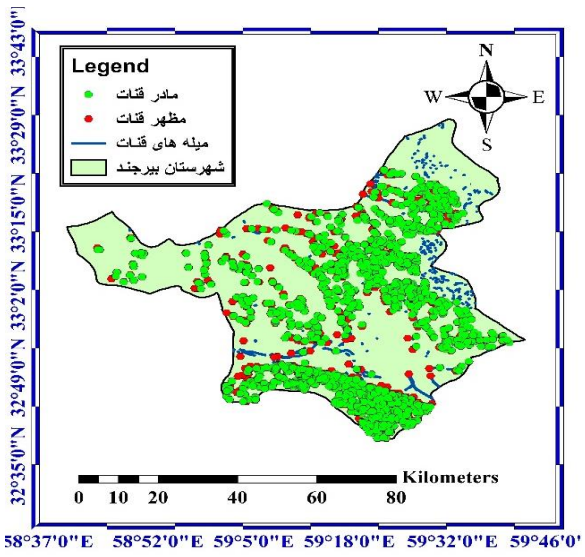
شکل ۱۳: موقعیت چاهای شرب و غیرشرب

Figure 13: Drinking and non-drinking wells



شکل ۱۴: حریم شرب

Figure 14: Drinking water boundary



شکل ۱۵: میله، مظهر و مادر قنات‌ها

Figure 15: The wells and spring of the aqueducts

همپوشانی فازی

توابع همپوشانی فازی مورد استفاده در این پژوهش AND, OR, SUM, PRODUCT, GAMMA بودند. روابط ۱ تا ۵ نحوه عمل توابع را نشان می‌دهد. در این روابط، arg مقادیر ورودی به تابع یا همان ارزش پیکسل هر یک از لایه‌های فازی است که عددی بین صفر تا یک خواهد بود. همچنین PRODUCT عملگر ضرب، max عملگر حداکثر و min نیز عملگر حداقل است. در رابطه ۵، Pow نمایانگر عملگر توان و GAMMA نیز مقدار توان است. در صورتی که مقدار توان ۱ انتخاب شود تابع GAMMA همان نتایج تابع SUM را ارائه می‌دهد. اگر برای توان مقدار صفر انتخاب شود نتایج تابع GAMMA مانند تابع PRODUCT می‌شود. برای مقادیر توان بین صفر تا یک نتایج حاصله ترکیبی از نتایج توابع AND و OR است. در این مطالعه برای توان تابع GAMMA مقدار ۰/۸۵ انتخاب شد.

$$Fuzzy_{OR} = \max(\arg_1, \arg_2, \dots, \arg_n) \quad (۱)$$

$$Fuzzy_{SUM} = 1 - \text{Product}(1 - \arg_1, 1 - \arg_2, \dots, 1 - \arg_n) \quad (۲)$$

$$Fuzzy_{AND} = \min(\arg_1, \arg_2, \dots, \arg_n) \quad (۳)$$

$$Fuzzy_{PRODUCT} = \text{Product}(\arg_1, \arg_2, \dots, \arg_n) \quad (۴)$$

$$Fuzzy_{GAMMA} = Pow(1 - ((1 - arg_1) \times (1 - arg_2) \times \dots \times (1 - arg_n), Gamma) \times Pow(arg_1 \times arg_2 \times \dots \times arg_n, Gamma) \quad (۵)$$

نتایج

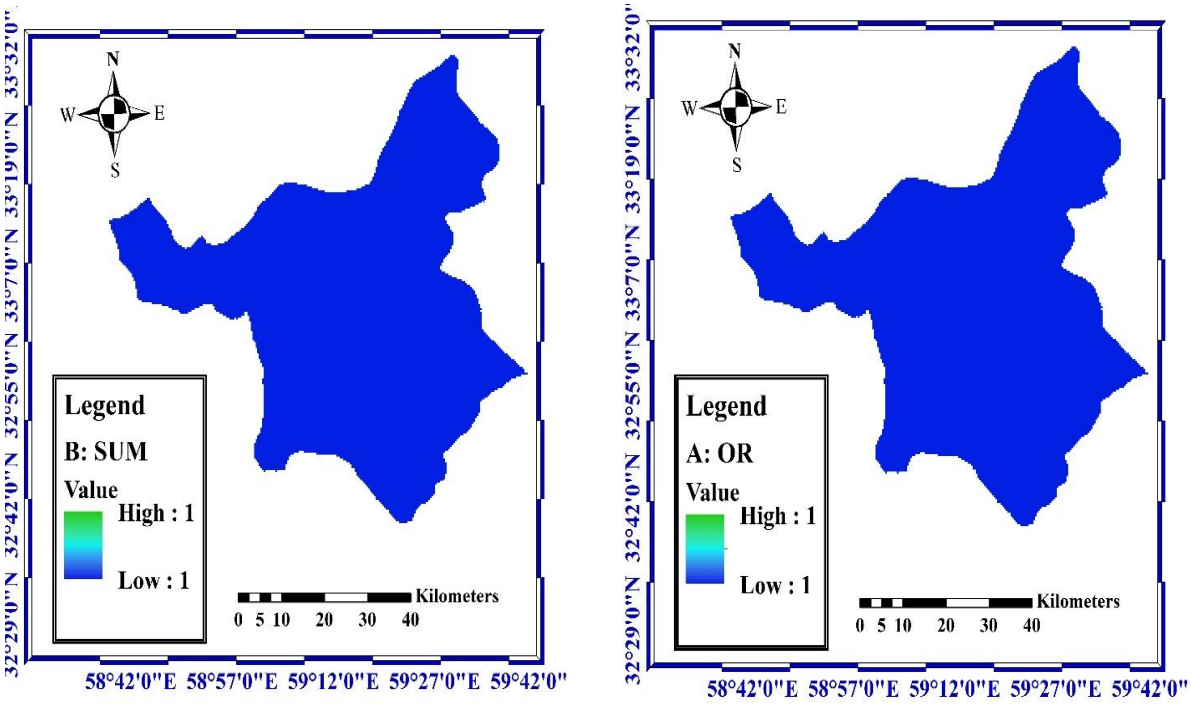
شکل ۱۶ نتیجه مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه، شهرستان بیرجند حاصل از توابع SUM، OR را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل مشخص است، این توابع برای تمام سلول‌ها ارزش فازی یک را به‌دست می‌دهد. در نتیجه توابع OR و SUM برای تصمیم‌گیری در خصوص مکان دفن پسماند مناسب نیستند. همچنین شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ نتیجه مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه، شهرستان بیرجند حاصل از توابع AND، PRODUCT، GAMMA را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها مناطق قرمزرنگ با ارزش فازی صفر نشان دهنده مناطق ممنوعه برای دفن پسماند است. دفن هر نوع پسماندی در این مناطق موجب نقض قوانین محیط‌زیست کشور شده و آلودگی محیط‌زیست و منابع آب را در پی دارد. هرچه به سمت آبی‌رنگ با ارزش فازی یک نزدیک می‌شویم، میزان خطر دفن پسماند برای محیط‌زیست و منابع آب کاهش می یابد به نحوی که مناطق آبی‌رنگ (ارزش فازی یک) بهترین مناطق برای دفن پسماند است. همان‌طور که از شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ مشخص است تعداد مناطق مناسب برای دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه بسیار کم است که با توجه به تعدد و پراکندگی منابع آبی شهرستان بیرجند همان‌طور که در بخش معیارهای منابع آب (شکل‌های ۱۰ تا ۱۵) مشاهد شد، طبیعی است. همچنین با توجه به اینکه در این شکل‌ها کل آبخوان و شهر بیرجند در نواحی ممنوعه (قرمزرنگ) برای دفن پسماند قرار دارد، نشان از صحت نتایج به‌دست آمده از این توابع است.

با توجه به نتایج حاصل از همپوشانی فازی با توابع AND, OR, SUM, PRODUCT, GAMMA که در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ نشان داده شد، توابع OR و SUM نتایج مناسبی برای تصمیم‌گیری فازی ارائه نمی‌دهند. از این رو، این توابع از ادامه روند تصمیم‌گیری فازی حذف شدند. نتایج توابع AND، PRODUCT و GAMMA بر اساس میزان خطری که دفن در هر منطقه برای محیط‌زیست و منابع آب به پنج طبقه تقسیم شد (Amiri *et al.*, 2023). این طبقات شامل خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم است. بر این اساس مناطق با ارزش فازی صفر در طبقه با خطر بسیار زیاد، مناطق با ارزش

فازی بین ۰ تا ۰/۲۵ در طبقه با خطر زیاد، مناطق با ارزش فازی ۰/۲۵ تا ۰/۵ در مناطق با خطر متوسط، مناطق با ارزش فازی ۰/۵ تا ۰/۷۵ در طبقه با خطر کم و مناطق با ارزش فازی ۰/۷۵ تا ۱ در طبقه با خطر بسیار کم تقسیم‌بندی شدند. جدول ۱۱ مساحت هر یک از طبقات در هر یک از توابع را برای پسماندهای شهری و عادی را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۱۱، مساحت مناطق با خطر دفن بسیار زیاد در همه توابع یکسان بوده و برابر ۳۵۳۵/۹۸۲ کیلومترمربع است. همچنین با توجه به داده‌های جدول فوق، تابع AND کمترین مساحت را برای مناطق با خطر دفن کم و بسیار کم (مجموعاً برابر ۱۴۸/۸۵۷۳ کیلومترمربع) به دست می‌دهد. درمقابل از تابع GAMMA بیشترین مساحت برای مناطق با خطر دفن کم و بسیار کم (مجموعاً برابر ۳۶۸/۷۰۳۴ کیلومترمربع) حاصل می‌شود. علاوه بر این برای تابع GAMMA مساحت نواحی با خطر زیاد و متوسط برابر صفر می‌باشد و هیچ ناحیه‌ای در این طبقات قرار نمی‌گیرد. جدول ۱۲ نیز مساحت هر یک از طبقات در هر یک از توابع را برای پسماندهای صنعتی و ویژه نشان می‌دهد. برای پسماندهای صنعتی و ویژه نیز بر اساس جدول ۱۲، مساحت مناطق با خطر دفن بسیار زیاد در همه توابع یکسان بوده و برابر ۳۶۷۰/۹۳۴ کیلومترمربع است. همچنین با توجه به داده‌های این جدول، توابع AND و PRODUCT کمترین مساحت را برای مناطق با خطر دفن کم و بسیار کم (مجموعاً برابر ۹۰/۳۰۹۶ کیلومترمربع) به دست می‌دهند. درمقابل از تابع GAMMA بیشترین مساحت برای مناطق با خطر دفن کم و بسیار کم (مجموعاً برابر ۲۳۳/۷۵۱۲ کیلومترمربع) حاصل می‌شود. علاوه بر این برای تابع GAMMA مساحت نواحی با خطر زیاد و متوسط برابر صفر است و هیچ ناحیه‌ای در این طبقات قرار نمی‌گیرد. شکل‌های ۲۰ تا ۲۲ نحوه طبقه‌بندی نتایج هر یک از توابع فازی را برای پسماندهای شهری و عادی و صنعتی و ویژه نشان می‌دهد. در این شکل‌ها مناطق قرمزرنگ (با خطر دفن بسیار زیاد) معادل نواحی قرمزرنگ در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ است. در این مناطق دفن پسماند ممنوع بوده و موجب آسیب به محیط‌زیست و منابع آب می‌شود. همچنین مناطق سبز رنگ در این شکل‌ها معادل مناطق آبی‌رنگ و متمایل به آبی در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ است. این مناطق مناسب‌ترین مکان‌ها برای دفن پسماند است. همچنین دفن انواع پسماند ها در نواحی با خطر کم ناقض قوانین محیط‌زیست نیست و می‌توان از این نواحی نیز جهت دفن پسماند استفاده نمود. اما در مناطق با خطر دفن زیاد و متوسط گرچه قوانین زیست‌محیطی نقض نمی‌شود ولی بهتر است جز در مواقع خاص که مکان‌های مناسب برای دفن در دسترس نیست مورد استفاده قرار نگیرد.

همچنین مختصات مکان فعلی دفن پسماندهای شهری و عادی شهر بیرجند از شهرداری بیرجند گرفته شد. شکل‌های ۲۰ تا ۲۲ موقعیت فعلی محل دفن پسماندهای شهری بیرجند را نشان می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها بر اساس نتایج توابع AND، PRODUCT و GAMMA محل فعلی دفن پسماندهای شهری بیرجند در ناحیه دفن با میزان خطر بسیار زیاد (قرمز رنگ) قرار دارد. علت این امر قرارگیری محل فعلی دفن پسماند شهری بیرجند بر روی منطقه‌ای با میزان فرسایش بسیار زیاد و همچنین فاصله کمتر از ۳۰۰ متر آن با جاده اصلی (نقض حریم جاده) است. از این رو بهتر است در خصوص جابجایی آن به یک محل مناسب‌تر تصمیم‌گیری شود.

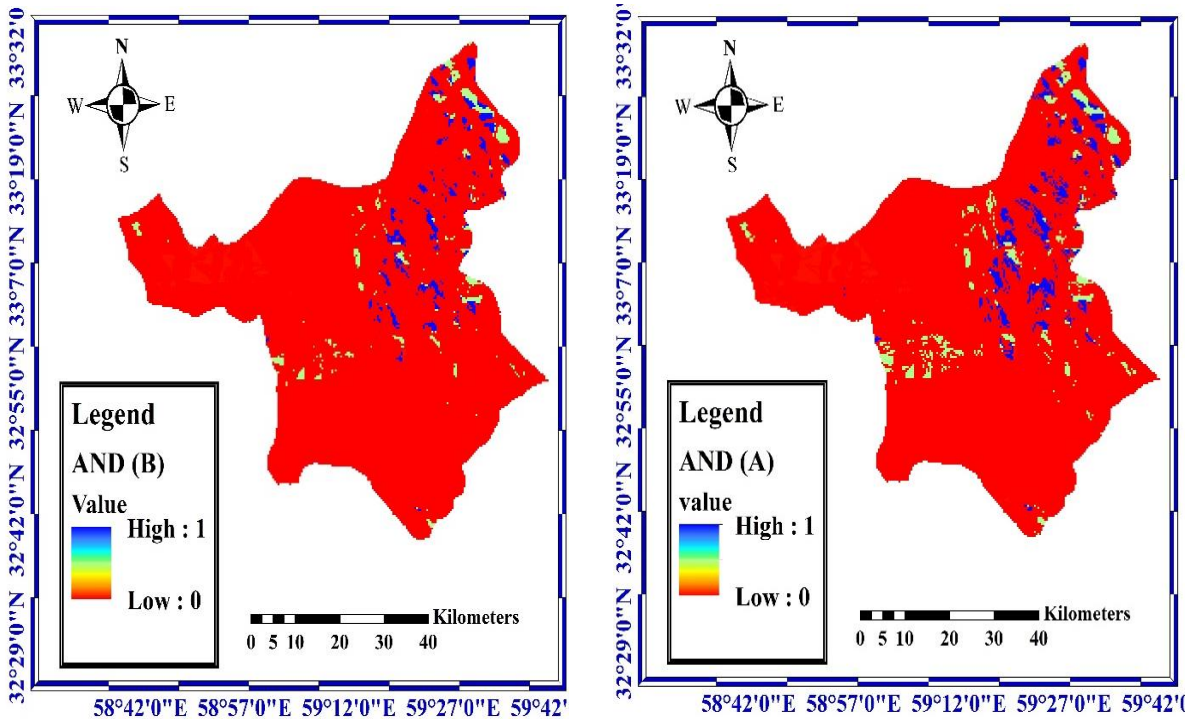


شکل ۱۶: لایه نهایی همپوشانی فازی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

(A: تابع OR، B: تابع SUM)

Figure 16: The final Fuzzy overlay Layer for normal and special urban and industrial waste

(A: OR Function, B: SUM Function)

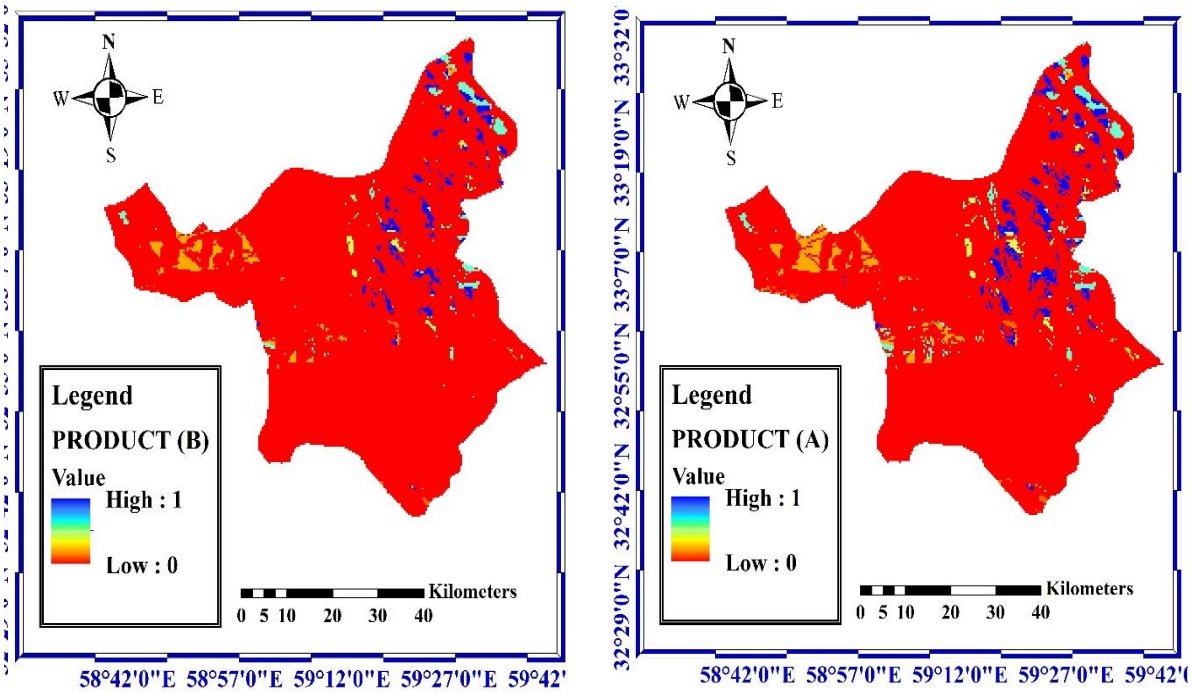


شکل۱۷: لایه نهایی همپوشانی فازی حاصل از تابع AND

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 17: The final layer of the fuzzy overlay, resulting from the AND function

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)

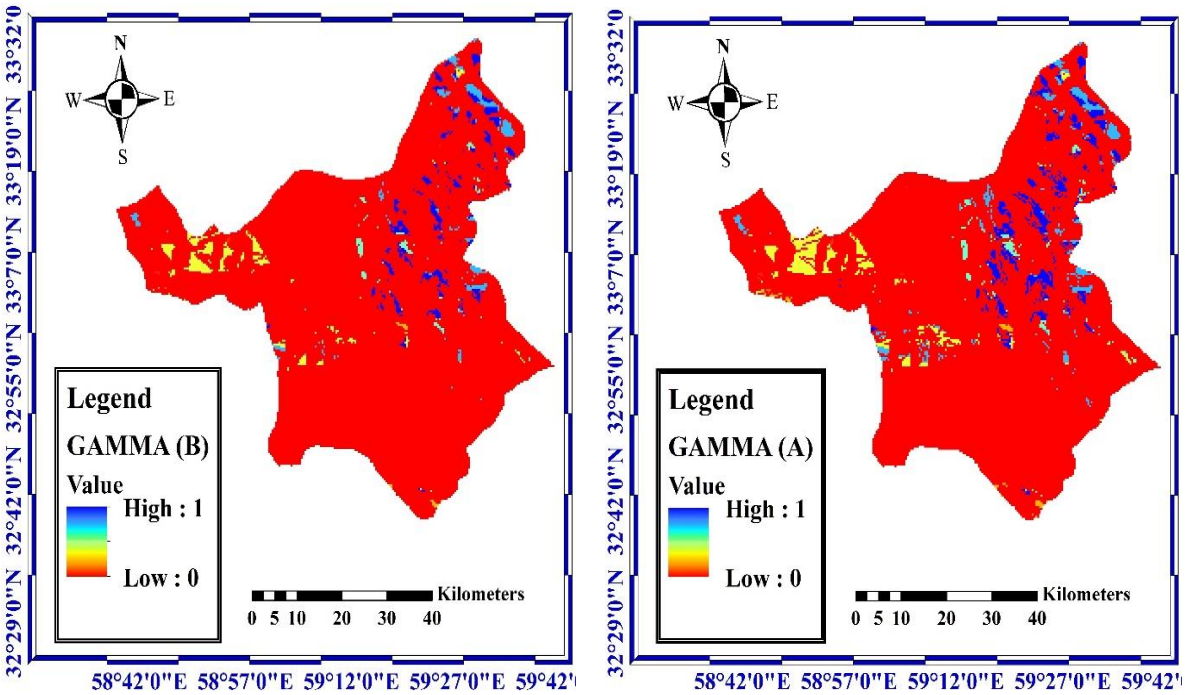


شکل۱۸: لایه نهایی همپوشانی فازی حاصل از تابع PRODUCT

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 18: The final layer of the fuzzy overlay, resulting from the PRODUCT function

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)



شکل۱۹: لایه نهایی همپوشانی فازی حاصل از تابع GAMMA

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 19: The final layer of the fuzzy overlay, resulting from the GAMMA function

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)

جدول ۱۱- طبقه‌بندی نتایج توابع AND، PRODUCT و GAMMA برای پسماندهای شهری و عادی

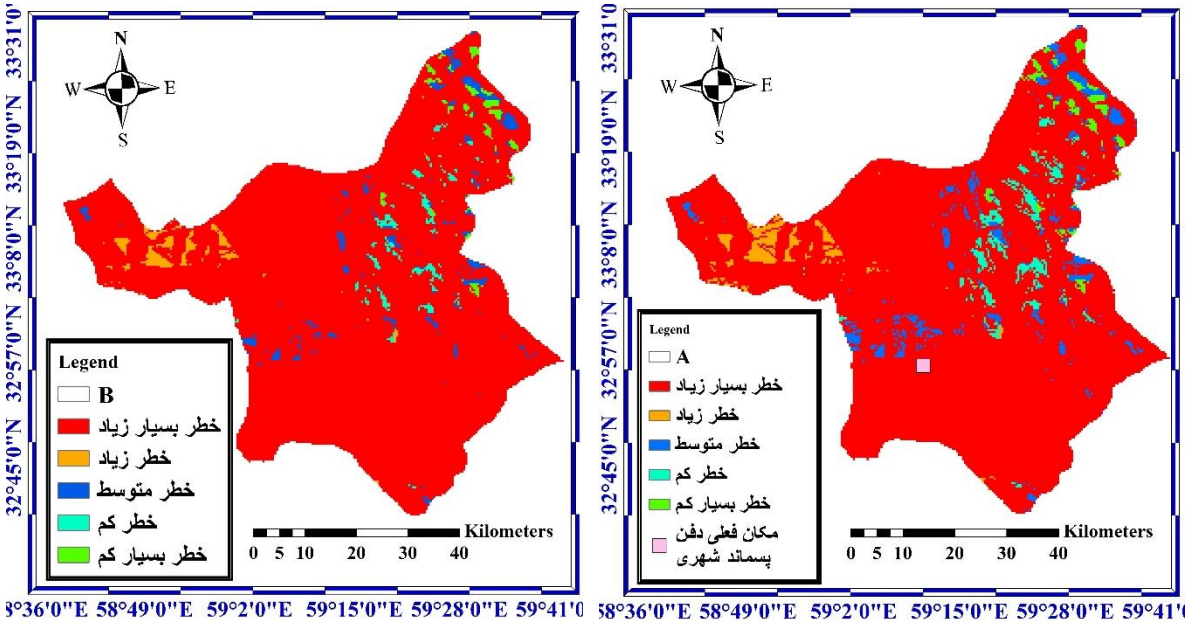
Table 11- Classification of AND, PRODUCT and GAMMA functions results for urban and normal waste

نام طبقات	دامنه تغییرات	مساحت طبقات (کیلومتر مربع)		
		AND	PRODUCT	GAMMA
میزان خطر بسیار زیاد	0	3535.982	3535.982	3535.982
میزان خطر زیاد	0-0.25	76.40461	107.8739	0
میزان خطر متوسط	0.25-0.5	143.4416	111.9723	0
میزان خطر کم	0.5-0.75	100.1164	100.1164	4.537438
میزان خطر بسیار کم	0.75-1	48.74087	48.74087	364.166

جدول ۱۲- طبقه‌بندی نتایج توابع AND، PRODUCT و GAMMA برای پسماندهای صنعتی و ویژه

Table 12- Classification of AND, PRODUCT and GAMMA functions results for industrial

نام طبقات	دامنه تغییرات	مساحت طبقات (کیلومتر مربع)		
		AND	PRODUCT	GAMMA
میزان خطر بسیار زیاد	0	3670.934	3670.934	3670.934
میزان خطر زیاد	0–0.25	53.57105	70.54985	0
میزان خطر متوسط	0.25–0.5	89.87056	72.89175	0
میزان خطر کم	0.5–0.75	52.25373	52.25373	3.512856
میزان خطر بسیار کم	0.75–1	38.05593	38.05593	230.2384

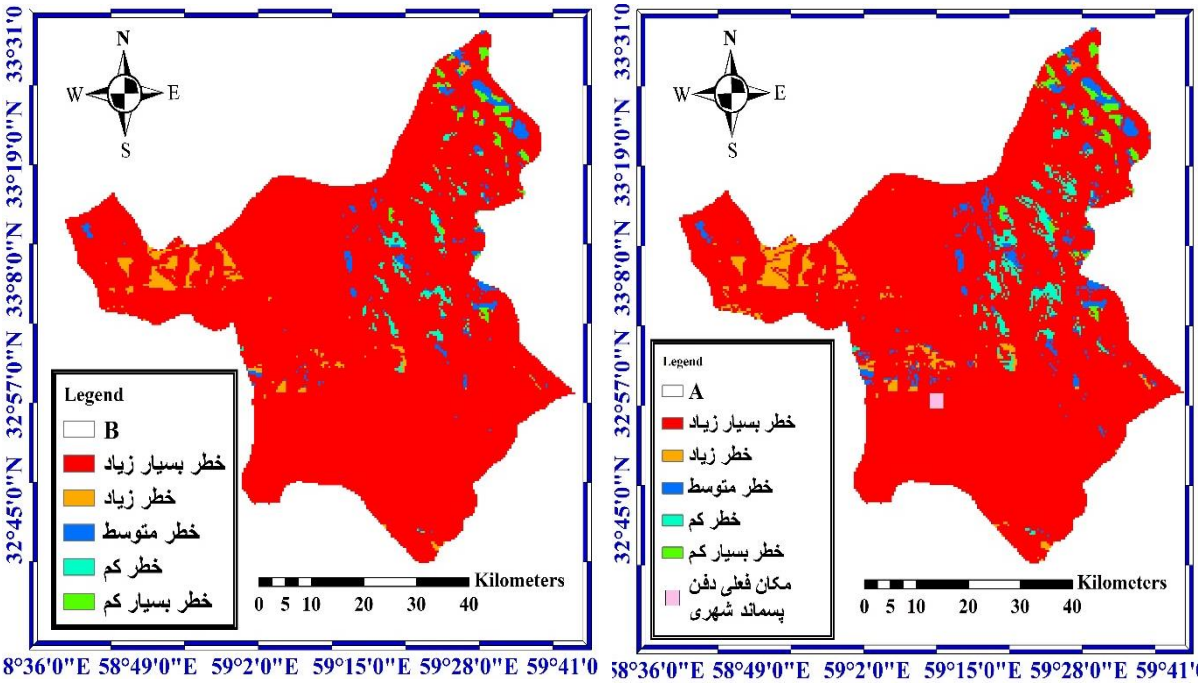


شکل ۲۰: طبقه‌بندی اراضی برای دفن پسماندهای شهرستان بیرجند بر اساس نتایج تابع AND

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 20: Land classification for waste burial in Birjand city based on AND function results

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)

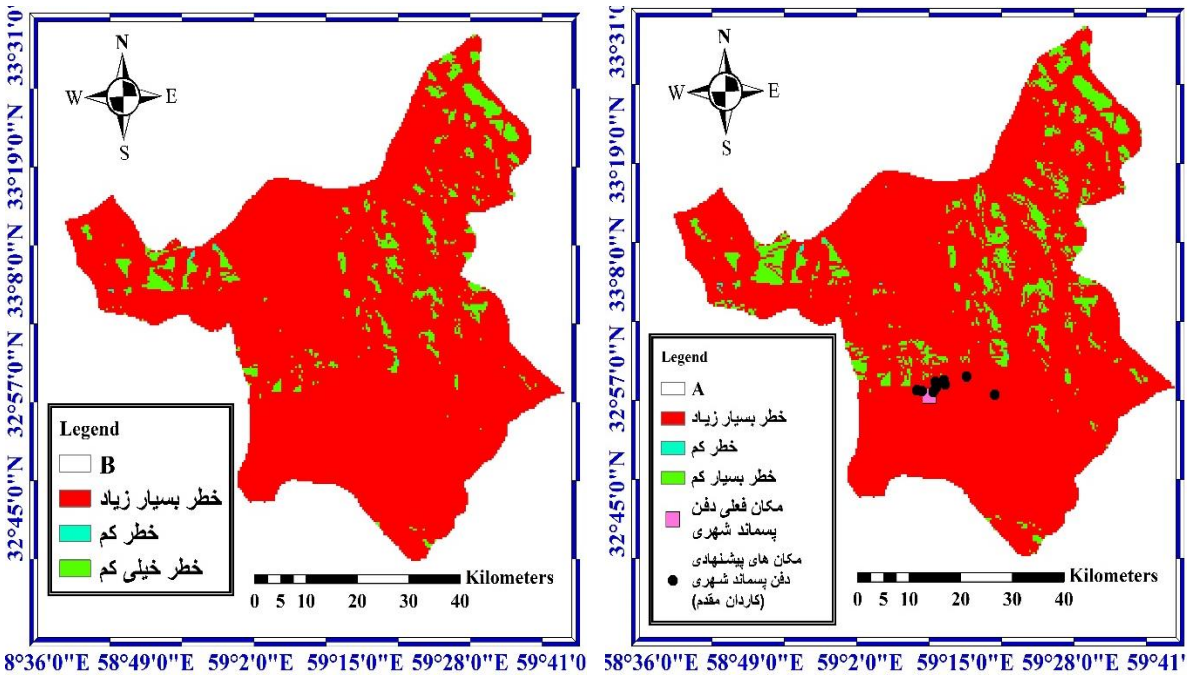


شکل ۲۱: طبقه‌بندی اراضی برای دفن پسماندهای شهرستان بیرجند بر اساس نتایج تابع PRODUCT

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 21: Land classification for waste burial in Birjand city based on PRODUCT function results

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)



شکل ۲۲: طبقه‌بندی اراضی برای دفن پسماندهای شهرستان بیرجند بر اساس نتایج تابع GAMMA

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 22: Land classification for waste burial in Birjand city based on GAMMA function results

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)

بحث

با توجه به نتایج جداول ۱۱ و ۱۲ این موضوع تایید می‌شود که اگر مقدار توان تابع GAMMA بین ۱ و صفر انتخاب شود، نتایج ترکیبی از توابع AND و OR خواهد بود؛ یعنی از یک طرف برای مناطق با خطر بسیار زیاد نتایج بدبینانه مانند تابع AND به‌دست آمده است ولی برای مناطق با خطر کم و بسیار کم حداکثر مساحت به‌دست آمده که مانند تابع OR حالت خوشبینانه‌تری است. با توجه به اینکه تابع GAMMA بیشترین مساحت مناطق مناسب برای دفن پسماند را نسبت به سایر توابع بدست می‌دهد و از طرفی مناطق ممنوعه محیط‌زیستی برای دفن پسماند را مانند سایر توابع حفظ می‌کند؛ در نتیجه نتایج آن (شکل ۲۲) به عنوان نتایج نهایی برای دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه انتخاب می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۲۲ بیشتر مناطق در طبقه‌بندی با خطر بسیار زیاد برای دفن پسماند قرار می‌گیرد و نامناسب می‌باشد که با نتایج Vafadoost و همکاران (۲۰۱۷) و Kebede و Ayenew (۲۰۲۳) همراستا است. همچنین نتایج با نتایج پژوهش Kardan Moghaddam و Kardan Moghaddam (۲۰۲۱) مطابقت دارد که عنوان نمودند موقعیت کنونی محل دفن پسماندهای شهرستان بیرجند در منطقه نامناسب قرار گرفته است، در نتیجه تغییر محل آن ضروری است. علاوه بر این Kardan Moghaddam و Kardan Moghaddam (۲۰۲۱) در پژوهش خود تنها به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری در شهر بیرجند اکتفا نمودند ولی محدوده پژوهش حاضر کل شهرستان بیرجند بوده و برای انواع پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه، مکان‌یابی صورت گرفته است. همچنین آنان در پژوهش خود تنها از چاه‌های آب، رودخانه‌ها و آبخوان برای معیارهای منابع آب استفاده نمودند. درحالی که سایر منابع آبی چون چشمه‌ها و قنات‌ها نقش اساسی در تامین آب شهرستان بیرجند دارد. در پژوهش حاضر از تمامی داده‌های منابع آبی در مکان‌یابی استفاده شده است. شکل A-۲۲ مقایسه بین نقاط معرفی شده توسط آنان برای محل دفن پسماندهای شهری عادی و نتایج این پژوهش برای پسماندهای شهری عادی است. همانطور که از شکل A-۲۲ مشخص است کلیه نقاط معرفی شده توسط Kardan Moghaddam و Kardan Moghaddam (۲۰۲۱) در مناطق ممنوعه با خطر بسیار زیاد (قرمزرنگ) قرار دارد. دلیل این امر عدم استفاده آنان از همه معیارهای منابع آبی است. علاوه بر این آنان حداقل فاصله مکان دفن پسماند تا منابع آبی را ۱۰۰ متر در نظر گرفتند که این مسئله ناقض قوانین محیط زیست (جداول ۷ و ۸) است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه جهت مشخص کردن دقیق محل دفن پسماندها نیاز به اطلاعات دیگری از قبیل نوع مالکیت اراضی (خصوصی یا دولتی) بوده، و این اطلاعات در حال حاضر در اختیار نگارندگان مقاله قرار ندارد، در پژوهش حاضر به طبقه‌بندی اراضی شهرستان بیرجند بر اساس میزان خطرات دفن پسماندها برای محیط‌زیست و منابع آب اکتفا شده و از مشخص نمودن دقیق محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه خودداری گردیده است.

نتیجه‌گیری

یافتن مکان مناسب جهت دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه یکی از چالش‌ها اساسی محیط‌زیست است. در این پژوهش، محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه شهرستان بیرجند با استفاده از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی مکان‌یابی شد. روش همپوشانی فازی امکان استفاده از توابع مختلف جهت همپوشانی لایه‌های فازی را به کاربر می‌دهد. مزیت این روش این است که کاربر می‌تواند با توجه به شرایط و خواسته خود از نتایج تابعی استفاده نماید، که بیشترین یا کمترین منطقه ممنوعه را در اختیار وی قرار می‌دهد. همچنین در روش فازی کاربر از قطعیت بود و نبود (صفر و یک) منطق بولین فاصله گرفته و طیف وسیعی

از احتمالات بین صفر و یک را در اختیار دارد. این مزیت در مسئله مکانیابی دفن پسماند مناطق بیشتری جهت دفن پسماند در اختیار کاربران قرار می‌دهد. همچنین در این پژوهش از تمامی معیارهای منابع آبی موثر در مکانیابی استفاده شد. این مسئله تاثیر به سزایی در مکانیابی محل‌های مناسب دفن پسماند گذاشت به نحوی که نتایج پژوهش پیشین در خصوص مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری بیرجند را رد نمود.

در این پژوهش پس از همپوشانی لایه‌ها با توابع مختلف، نتایج تابع GAMMA به عنوان نایج نهایی مکانیابی انتخاب شد. سپس نتایج نهایی بر اساس ارزش فازی در ۵ دسته شامل خطر بسیار زیاد، خطر زیاد، خطر متوسط، خطر کم و خطر بسیار کم طبقه‌بندی گردید. طبقه‌بندی نتایج نشان داد بیش‌تر مناطق جنوبی شهرستان بیرجند برای دفن انواع پسماندها نامناسب است و بیشترین مناطق مناسب برای دفن پسماند در شرق و شمال شرق شهرستان و برخی مناطق غربی قرار دارد. با توجه تمرکز عمده منابع آبی شهرستان بیرجند در مناطق جنوبی استان این مسئله نشان‌دهنده اهمیت استفاده از معیارهای کامل منابع آبی در مکانیابی است. همچنین طبقه‌بندی نتایج، نقشه‌هایی را در اختیار کاربران قرار داد که در هر زمان و برای هر منطقه از شهرستان می‌توان با استفاده از آن محلی مناسب برای دفن پسماند پیدا نمود.

References

An, P., Moon., W.M. & Rencz, A. (1991). Application of fuzzy set theory for integration of geological, geophysical and remote sensing data. *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, 27(1), 1-11.

Amiri, F., Babaei, F. & Tabatabaie, T. (2023). Site Selection of Kangan Municipal Solid Waste Landfill by Using a Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and GIS. *The Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 23(69), 343-362. (In Persian)

Bagherabadi, R. (2022). Locating the landfill in Sahneh county using GIS. *Management of Natural Ecosystems*, 2(1), 62-71. https://doi.org/10.22034/emj.2022.252721 (In Persian)

Firoozee, M., Amanpoor, S. & Mohammadi, A. (2011). Locating the landfill site of urban waste using geographic information system (GIS): a case study of Lamard city. *Journal of Advanced Applied Geology*,1(1), 104-112. (In Persian)

De Gruijter, J.J., Walvoort, D.J.J. & Bragato, G. (2011). Application of fuzzy logic to Boolean models for digital soil assessment. *Journal of Geoderma*, 166 (1), 15–33. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.06.003

Gholami, M., Nazari, V. & Reza Ali, M. (2021). Locating Urban landfills using GIS and AHP (Case Study: Asaluyeh Coastal-Industrial City). *Quarterly of New Attitudes in Human Geography*, 13(2), 193-210. (In Persian)

Godarzi, M. & Hajiani, E. (2023). Futurology of the implementation of National Land Use Document. *Town and Country Planning*, 15(1), 1-17. https://doi.org/10.22059/jtcp.2023.348562.670349 (In Persian)

Hashemi, Z., Rafiee, R. & Moeinaddini, M. (2020). Site selection of Industrial Wastes Landfill Case Study: Shams Abad Town, Tehran Province. *Journal of Environmental Science Studies*, 5(1), 2413-2419. (In Persian)

Hailu, Y., Hanchiso, T. & Bereta, A. (2019). Municipal Solid Waste Suitable Disposal Site Selection, Case Study, Wolkite Town, Ethiopia. *International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*. 20(4), 126-131. https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.20.556044

Ildroumi, A.R., Nouri, H., Mirzaei, R. & Diant, L. (2019). Locating the sanitary landfill site using geographic information system and hierarchical analysis process (case study:Zarindasht city of Shiraz). *Environmental Science and Bioengineering*, 7, 23-40. (In Persian)

Jalilian, S., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Monavari, S.M. & Lorestani, B. (2021). Landfill site selection for municipal solid waste with combining SWARA technique and COPRAS method using GIS (Case study: Kermanshah, Iran). *Journal of Environmental Health Engineering*, 9(1), 41-58. https://doi.org/10.52547/jehe.9.1.41 (In Persian)

Kardan Moghaddam, H. & Kardan Moghaddam, H. (2021). Using multi-criteria approaches to landfill location (Study area: Birjand City). *Adv. Appl. Geol.*, 11(2), 318-331. https://doi.org/10.22055/aag.2020.33092.2108 (In Persian)

Karimi, H., Amiri, S., Huang, J. & Karimi, A. (2018). Integrating GIS and multi-criter decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 7305-7318. https://doi.org/10.1007/s13762-018-2151-7

Kebede, H. & Ayenew, W.A. (2023). Solid waste disposal site selection analysis using geospatial technology in Dessie city Ethiopia. *Heliyon*, 9, e18865. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18865

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). https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17555.6599 (In Persian)

Kooreh Pazan, A. (2008). Dezfuli Principles of fuzzy set theory and its application in the modeling of water engineering problems. *Amirkabir University of Technology Academic Center of education*. (In Persian)

Lee, A.H.I., Chen, W.C. & Chang, C.J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan, *Expert Systems with Applications*, 34, 96–107. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.022

Matkan A. Shakiba A. Pourali H. & Nazmfar H. (2009). Urban Waste Landfill Site Selection by GIS (Case Study: Tabriz City). *Environmental Sciences*, 6(2), 65-76. (In Persian)

Madadi, A., Azadi, M. & Babayee, F. (2014). Modeling suitable landfill sites using AHP methods, fuzzy logic, weighted overlap index and Boolean logic (case study of Ardabil city). *Journal of Geography and Planning*, 17(45), 235-254. (In Persian)

Tavakoli Naghme, M., Jasem Nejad, F. & Mahmoudi Chenari, H. (2022). Site locating suitable areas for rural landfill (Study area: Qasr Shirin city). *Journal of Environmental Research and Technology*, 7(11), 79-91. (In Persian)

Nasiri, B., Yarmoradi, Z. & abbasnejan, J. (2017). Landfill location in Mako city by Fuzzy and Boulin method. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 7(24). (In Persian)

Novriadi, H.P.M. & Darijanto, T. (2006). Applying Fuzzy Logic Method in mineral potential mapping for epithermal gold mineralization in the Island of flores, East Nusa Tenggara using geographical information systems (GIS). *Proceeding of 9th International Symposium on Mineral Exploration*, 62- 68.

Pouramraei, R., Nesari, S. & Najmoddini, I. (2020). Site Selection of Koohdasht Municipal Solid Waste Landfill using ANP-WLC Integrated Model. *Environment and Water Engineering*, 6(2), 149-160. https://doi.org/10.22034/jewe.2020.233678.1368 (In persian)

PourAhmad, A., Habibi, K., MohammadZahraee, S. & Nazari Adli, S. (2007). Using Fuzzy Algorithms and GIS for Locating City Equipment (Case Study: Babolsar City Landfill). *Journal of Environmental Studies*, 33(42). (In persian)

Rezaei, M. & Jamshidi-Zanjani, M. (2017). Landfill Site Selection Using Combination of Fuzzy Logic and Multi Criteria Decision Making Method (Case Study: Arak, Iran). *Modares Civil Engineering Journal*, 17(2), 120-130 (In Persian)

Talebi, M. S. (2023). Locating the waste landfill site of Bam city using multi-criteria decision making modeling in GIS environment. *Town and Country Planning*.15 (2), 307-326. https://doi.org/10.22059/jtcp.2023.358604.670390 (In Persian)

Tangestani, M. (2009). A comparative study of Dempster–Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 35 (1), 66–73. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.01.002

Vafadoost, N., Mecanicee, J. & Ashrafee, A. (2017). Land zoning of Gonabad city for burying rural waste using network analysis method (ANP). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 5(1), 87-104. https://doi.org/10.22067/geo.v5i1.51067 (In Persian)