Journal of Geography and Planning
Online ISSN: 2717-3534 Print ISSN: 2008-8078
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

Landfill Site Selection of Urban Wastes Using Fuzzy Multi Criteria Decision Making Analysis (Case Study: Andimeshk City)

Sepeideh Raz [1], Hamid Reza Pourkhabbaz [2]✉, Shahram Yusefi Khanghah[3], Saeideh Javanmardi [4]

1- MSc Student of Evaluation and Land Use Planning, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. Email: sepideraz@gmail.com
2- Corresponding Author ,Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. Email: pourkhabbaz @yahoo.com
3- Instructor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. Email: yusefi@bkatu.ac.ir
4- Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. Email: sajavanmardi@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 25 November 2023

Revised: 3 July 2024

Accepted: 15 July 2024

Published: 22 August 2025

Keywords:

Landfill Location,

Weighted Linear Combination,

Chang's FAHP,

Multi-Criteria Decision Making,

Andimshek

ABSTRACT

Objective: Sanitary landfill is one of the most practical and major methods of urban waste disposal, which is mostly used in the urban waste management system to prevent negative environmental consequences. For this purpose, finding the right place to bury urban waste is very important. Therefore, considering the applicability of this research and the need to implement it for all cities that do not have a method of sanitary disposal of urban waste, the present research was carried out, and the use of membership functions and Chang's fuzzy method in this research can innovate the subject be in this regard. Therefore, the purpose of this research is to determine the optimal place for sanitary landfill of Andimeshk waste.

Methods: Multi-criteria decision-making methods were used to conduct the research, and the criteria related to the selection of sanitary landfill sites include slope percentage, distance from the river and surface water, and depth of underground water, soil texture, and geological structure. Distance from residential areas, distance from roads and highways, distance from protected areas, current land use and distance from faults. After preparing the information layers of the criteria in the ArcGIS environment, the layers were standardized and dimensionless using fuzzy membership functions and triangular fuzzy numbers, then the weighting of the criteria was done using Chang's FAHP method, and in the last step, the layers were combined using the WLC method.

Results:

The findings show that in the weighting stage using Chang's FAHP method and pairwise comparisons of experts, the most weight was assigned to the current land use criterion and the least weight was assigned to the slope criterion. In addition, the accuracy of the evaluation of the final map of the landfill location with the help of the Kappa coefficient showed a coefficient of 0.76, which shows the correctness of the classification of Chang's FAHP method. In the FAHP method, 23% of the studied area was identified as a suitable class with high desirability for the location of urban waste disposal.

Conclusions: According to the findings, it is concluded that the fuzzy multi-criteria decision analysis is a suitable technique for locating the urban waste landfill. According to the final map, a very suitable area with an area of 114 hectares was identified as the best place to bury Andimeshk's urban waste. It is concluded that considering the environmental criteria in this research, landfilling in this area has the least environmental consequences.

Cite this article: Raz, S., Pourkhabbaz, H.R., & Yusefi Khanghah, S, Javanmardi, S. (2025). Landfill Site Selection of urban wastes using Fuzzy Multi Criteria Decision Making Analysis (Case study: Andimeshk city). *Journal of Geography and Planning*, 30 (92), 93-110. https://doi.org/ 10.22034/gp.2024.59310.3206

© The Author(s).
Publisher: University of Tabriz.
DOI: https://doi.org/ 10.22034/gp.2024.59310.3206

Introduction

Sanitary landfill is one of the most practical and major methods of urban waste disposal, which is mostly used in the urban waste management system to prevent negative environmental consequences. For this purpose, finding the right place to bury urban waste is very important. Therefore, considering the applicability of this research and the need to implement it for all cities that do not have a method of sanitary disposal of urban waste, the present research was carried out, and the use of membership functions and Chang's fuzzy method in this research can innovate the subject be in this regard. Therefore, the purpose of this research is to determine the optimal place for sanitary landfill of Andimeshk waste. The city of Andimshek, with a population of 126,000 people, produces 130 tons of waste per day, which is collected from the four areas of the city in a traditional and non-mechanized way, and then sent to the permanent burial site, which is 8 kilometers north-east of the city, upstream of the broadcasting area. Jarme flood is located, they are transferred. The garbage disposal method of this city is unsanitary and dumping, and sometimes burning of garbage has also been observed. Currently, due to the high permeability of the landfill bed, the well water of the drinking water sources and agricultural irrigation water of the city are contaminated with nitrates, and the infiltration of the landfill leachate is effective in increasing the concentration of nitrates.

Materials and Methods

The current research is applied and descriptive-analytical. The method of collecting information has been done in two ways: documents (library) and field (survey). Multi-criteria decision-making methods were used to conduct the research. The criteria related to the selection of sanitary landfill sites include slope percentage, distance from the river, depth of underground water, soil texture, distance from urban areas, distance from roads and highways, distance from protected areas, current land use and distance from faults. After preparing the information layers of the criteria in the ArcGIS environment, the layers were standardized and dimensionless using fuzzy membership functions and triangular fuzzy numbers, then the weighting of the criteria was done using Chang's FAHP method, and in the last step, the layers were combined using the WLC method. Took After combining the layers, based on the histogram of the data and the distribution of the pixel values, the final map was classified into three suggested classes: suitable, relatively suitable and unsuitable. In this research, the Kappa coefficient was used to check the validity of the evaluation with the help of cross tables (Crosstab module) in Idrisi software.

Results

The findings show that the type of membership function of continuous criteria is linear and the form of all criteria is decreasing and increasing, except for the criterion of distance from the city, which has the shape of a trapezoidal function. In the weighting stage, using Chang's FAHP method and pairwise comparisons of experts, the highest weight was assigned to the current land use criterion and the lowest weight was assigned to the slope criterion. By multiplying the layers by their weight, the zoning map of the spatial desirability of Andimeshk landfill was obtained, and desirability was shown in this map with numbers between 0 and 255. In addition, the accuracy of the evaluation of the final map of the landfill location with the help of the Kappa coefficient showed a coefficient of 0.76, which shows the correctness of the classification of Chang's FAHP method. In the FAHP method, 23% of the studied area was identified as a suitable class with high desirability for the location of urban waste disposal. Also, an area equal to 38% of the area was found to be relatively suitable and an area equal to 39% of the area was found to be inappropriate in terms of the burial potential. As shown in the final map, the suitable landfill site with a slope of up to 10%, mostly in low-density to semi-dense pastures, in soil with low permeability, outside the protected area, underground water depth 40-50 meters, distance from The main road is 400-800 meters and the distance from drinking water wells is more than 2000 meters in 11 kilometers of Andimshek city and far from residential centers, Agriculture and gardens.

Conclusion

According to the findings, it is concluded that the fuzzy multi-criteria decision analysis is a suitable technique for locating the urban waste landfill. By using high-scale digital maps and spending relatively little time and money, it is possible to extract the power zoning map of an area for the intended uses, especially the landfill. According to the final map, a very suitable area with an area of 114 hectares was identified as the best place to bury Andimeshk's urban waste. It is concluded that considering the environmental criteria in this research, landfilling in this area has the least environmental consequences.

جغرافیا و برنامه ریزی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۸۰۷۸ شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۳۵۳۴
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

مکان‌یابی دفن زباله‌های شهری با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (مطالعه موردی: شهر اندیمشک)

سپیده راز [۱]، حمیدرضا پورخباز [۲]✉، شهرام یوسفی خانقاه [۳] سعیده جوانمردی [۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه: sepideraz@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.رایانامه: pourkhabbaz@yahoo.com

۳. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه: yusefi@bkatu.ac.ir

۴- مربی، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه:sajavanmardi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱

کلیدواژه‌ها:
مکان‌یابی دفن زباله،
ترکیب خطی وزنی،
FAHP چانگ،
تصمیم‌گیری چندمعیاره،
شهر اندیمشک

چکیده

هدف: دفن بهداشتی یکی از کاربردی‌ترین و عمده‌ترین روش‌های دفع زباله‌های شهری می‌باشد که اکثراً در سیستم مدیریت پسماندهای شهری برای جلوگیری از پیامدهای منفی زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور یافتن مکان صحیح جهت دفن زباله‌های شهری اهمیت بسزایی دارد. لذا با توجه به کاربردی بودن این پژوهش و لزوم اجرای آن برای کلیه شهرهایی که فاقد روش دفن بهداشتی زباله‌های شهری هستند، پژوهش حاضر اجرا گردید که استفاده از توابع عضویت و روش فازی چانگ در این تحقیق، می‌تواند نوآوری موضوع در این رابطه باشد. لذا هدف از این پژوهش تعیین مکان مطلوب جهت دفن بهداشتی زباله‌های شهر اندیمشک می‌باشد.

روش پژوهش: جهت انجام تحقیق از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد که معیارهای مربوط به انتخاب محل دفن بهداشتی زباله شامل درصد شیب، فاصله از رودخانه و چاه آب، فاصله از شهر، فاصله از جاده اصلی، عمق آب زیرزمینی، نفوذپذیری خاک، واحدهای کاربری اراضی، فاصله از مناطق حفاظت شده و فاصله از گسل می‌باشد. پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی معیارها در محیط ArcGIS، لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی و اعداد فازی مثلثی، استاندارد و بی‌بعد شدند، سپس عملیات وزن‌دهی معیارها به روش FAHP چانگ انجام و در گام آخر تلفیق لایه‌ها به روش WLC صورت گرفت.

نتایج: یافته‌ها نشان می‌دهد که در مرحله وزن‌دهی با استفاده از روش FAHP چانگ و مقایسات زوجی کارشناسان، بیشترین وزن به معیار واحدهای کاربری اراضی و کمترین وزن نیز به معیار درصد شیب اختصاص یافت. در ضمن، صحت ارزیابی نقشه نهایی مکان دفن زباله به کمک ضریب کاپا، ضریب ۰/۷۶ را نشان داد که نشان از صحت و درستی کلاسه‌بندی روش FAHP چانگ دارد. در روش FAHP ۲۳٪ منطقه مورد مطالعه بعنوان طبقه مناسب و دارای مطلوبیت بالا برای مکان‌یابی دفن زباله شهری شناسایی شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌ها نتیجه می‌شود که آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، تکنیک مناسبی برای مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری می‌باشد. با توجه به نقشه نهایی، منطقه‌ای با تناسب بسیار بالا با مساحتی بالغ بر ۱۱۴ هکتار به عنوان بهترین مکان برای دفن زباله‌های شهری اندیمشک مشخص گردید. نتیجه می‌شود که با توجه به در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی در این تحقیق، دفن زباله در این پهنه، کمترین پیامدهای زیست-محیطی را به‌دنبال دارد.

استناد: راز ، سپیده ؛ پورخباز ، حمیدرضا ؛ و یوسفی خانقاه ، شهرام؛ جوانمردی، سعیده (۱۴۰۴). مکان‌یابی دفن زباله‌های شهری با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (مطالعه موردی: شهر اندیمشک). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۳۰ (۹۲)، ۱۱۰-۹۳.

http//doi.org/10.22034/gp.2024.59310.3206

ناشر: دانشگاه تبریز.

© نویسندگان.

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت و گسترش شهرنشینی و به تبع آن افزایش زباله‌های شهری باعث بوجود آمدن مشکلات زیست محیطی فراوانی شده است. از این رو برای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و حفظ سلامت شهروندان ضروری است تا با بررسی‌های دقیق در جهت تعیین مکان‌های مناسب دفن زباله‌های شهری، بهترین و مناسب‌ترین مکان را برای دفن این‌گونه زباله‌ها انتخاب کرد (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۳). عدم مدیریت در دفع بهداشتی زباله نشانه‌ای از فقدان برنامه‌ریزی و عدم توجه به مسائل مختلف محیطزیست است (حجازی، ۱۳۹۴). تقریباً ۸۰ درصد از هزینه‌های مربوط به زباله‌ها، هزینه جمع-آوری زباله می‌باشد که هزینه سنگینی بر شهرداری‌ها تحمیل می‌کند (کیانی و همکاران، ۱۴۰۰). جمع‌آوری و دفع غیر اصولی زباله شهری بیش از آن که یک موضوع زیست محیطی باشد، مسئله‌ای بهداشتی است، زیرا از این طریق بیش از هر چیز سلامت و بهداشت جامعه به خطر می‌افتد. عدم کنترل زباله‌های شهری و روستایی به‌علت وجود مواد آلوده‌کننده و فسادپذیر و نیز رطوبت و حرارت مناسب، پناهگاهی مناسب برای انواع حشرات و جوندگان موذی می‌باشد. وقتی موضوع دفع زباله مطرح می‌شود، مسئله زباله علاوه بر ابعاد بهداشتی، جنبه اکولوژیک نیز می‌یابد، از این‌رو مکان‌یابی و مدیریت صحیح محل دفن زباله یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار محسوب می‌شود (پوراحمد و همکاران، ۱۳۸۶). فرآیند مکان‌یابی دفن بهداشتی زباله، با تکیه بر اطلاعات کاملی از سرزمین انجام می‌شود تا اطمینان حاصل شود که استقرار محل دفن به‌خوبی صورت گرفته است (حجازی و همتی، ۱۳۹۵). در حال حاضر، دفن بهداشتی زباله منطقی‌ترین و کم هزینه‌ترین روش دفع زباله‌های شهری محسوب می‌شود (Sharifi Teshnizi et al., 2022) و مانند هر پروژه مهندسی دیگر نیازمند مطالعات پایه و برنامه-ریزی دقیق است (Jalilian et al., 2022). بنابراین موضوع مدیریت زباله‌ها و یا فراتر از آن به عبارتی مدیریت چرخه مواد، یکی از محورهای اصلی و بسیار مهم توسعه پایدار است (پورخباز و همکاران، ۱۳۹۰). فاکتورهای بسیاری در مکان‌یابی دفن زباله می‌توانند موثر باشند اما با توجه به خصوصیات منطقه باید فاکتورهای مناسب تشخیص داده شده و مورد استفاده قرار گیرد. از جمله روش‌ها و ابزارهای مناسب در این خصوص، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و استفاده از نرم افزارهای ArcGIS و Idrisi است (اصغری کلجاهی و همکاران، ۱۳۹۷).

در تحقیق حاضر با تهیه نقشه‌های مورد نیاز و با در نظر گرفتن معیارهای مربوط به انتخاب محل دفن بهداشتی زباله، مکان دفن بهداشتی شهر اندیمشک تعیین گردید. بدین منظور اطلاعات پایه به دو دسته فاکتور و محدودیت تقسیم شدند که فاکتورها بصورت فازی و محدودیت‌ها بصورت بولین یا صفر و یک می‌باشند. در ابتدا به کمک روش چانگ به فاکتورها وزن-های فازی داده شد و سپس ترکیب خطی لایه‌ها صورت گرفت تا مکان مناسب برای دفن زباله‌های شهر اندیمشک مشخص گردد. با توجه به تحقیقات مشابه در رابطه با مکان‌یابی دفن زباله، در تحقیق حاضر وزن‌هی معیارها با روش چانگ و استانداردسازی با استفاده از توابع عضویت صورت گرفت که این وجه تمایز و نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود.

شهر اندیمشک با جمعیتی بالغ بر ۱۲۶۰۰۰ نفر، روزانه ۱۳۰ تن زباله تولید می‌کند، که زباله‌های مناطق چهارگانه شهر، به روش سنتی و غیرمکانیزه، جمع‌آوری و پس از آن به محل دفن دائم، که در ۸ کیلومتری شمال شرق شهر، در بالادست عرصه پخش سیلاب جارمه قرار دارد، منتقل می‌شوند. روش دفن زباله این شهر به‌صورت غیربهداشتی و تلنبارکردن است و بعضاً سوزاندن زباله‌ها نیز مشاهده شده است. در حال حاضر به‌علت نفوذپذیری زیاد بستر زباله‌دانی، آب چاه‌های منابع آب آشامیدنی و آب آبیاری کشاورزی شهر به نیترات آلوده بوده و نفوذ شیرابه محل دفن در افزایش غلظت نیترات موثر است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۹). لذا انجام پژوهش حاضر به منظور تعیین مکان مناسب جهت انجام دفن بهداشتی شهر اندیمشک، ضروری به نظر می‌رسد.

پیشینه پژوهش

علی رغم این که سال‌ها از عمر دفن بهداشتی زباله‌های شهری می‌گذرد، و روش‌های دیگر دفع مواد، مثل احیای زمین و غیره نیز سال‌هاست که مورد توجه قرار گرفته‌اند، ولی هنوز هم دفن مواد در زمین متداول‌ترین روش دفع زباله‌های شهری

در جهان است. به‌طور کلی عوامل مختلفی مانند عوامل اقتصادی، بافت شهری، کاربری‌های زمین، عوامل فرهنگی، تراکم واحد در سطح، فصول سال و عادات اجتماعی در کیفیت و کمیت پسماند موثر هستند. به همین دلیل طراحی سیستم برنامه-ریزی و مدیریت زباله‌های شهری از حساسیت و ویژگی‌های خاصی برخوردار است (پورخباز و همکاران، ۱۳۹۰).

مطالعات داخلی

غلامی و همکاران (۱۴۰۰) مکان‌یابی محل دفن پسماند شهر صنعتی عسلویه را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند. در این پژوهش جهت استخراج لایه‌های اطلاعاتی از نرم افزار ArcGIS و جهت وزن‌دهی معیارها از نرم افزار Expert Choice استفاده شد و به این نتیجه رسیدند که محل‌های دفن، بیشتر منطبق بر زمین‌های بایر و مراتع فقیر می-باشد.

احمدی و اردکانی (۱۴۰۱) مکان‌یابی دفن پسماند جامد شهرستان سقز را با فرآیند تصمیم‌گیری فازی انجام دادند. در این تحقیق از روش AHP و تکنیک TOPSIS کمک گرفتند. نتایج نشان داد که تکنیک‌های موردنظر در تعیین مکان مناسب دفن زباله عملکرد خوبی داشتند.

باقرآبادی (۱۴۰۱) طی پژوهشی مکان‌یابی دفن پسماند شهرستان صحنه را در سیستم GIS و با کمک مدل AHP انجام داد. برای تعیین محل دفن زباله از معیارهای شیب، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از جاده و فاصله از گسل استفاده شد و نتایج نشان داد که بالاترین امتیاز مربوط به فاصله از جاده است و با کمک مدل مربوطه بهترین مکان را جهت دفن پسماند تعیین نمود.

مطالعات خارجی

چلیکر[1] و همکاران (۲۰۱۹)، در تحقیقی به ارزیابی مکان‌یابی دفن زباله شهری با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهر الازیگ ترکیه پرداختند. در این پژوهش از ۹ معیار استفاده گردید و درجات اهمیت نسبی این معیارها از طریق تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین شد و سپس نقشه‌های شماتیک هر معیار تهیه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص مطلوبیت مکان‌های انتخابی دفن بین ۲/۶۴ تا ۶/۱۰ است.

عبدالاحد[2] و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور همراه با AHP به انتخاب سایت‌های مناسب دفن زباله شهری شهر ورزازات کشور مراکش پرداختند. در این تحقیق از معیارهایی همچون فاصله از نواحی حفاظت شده، جهت باد، بستر سنگ مادر، فاصله از آب‌های سطحی و غیره استفاده گردید. لایه‌های معیارها پس از هم‌پوشانی و وزن‌دهی، نشان دادند که ۵ سایت قابل بررسی می‌باشد.

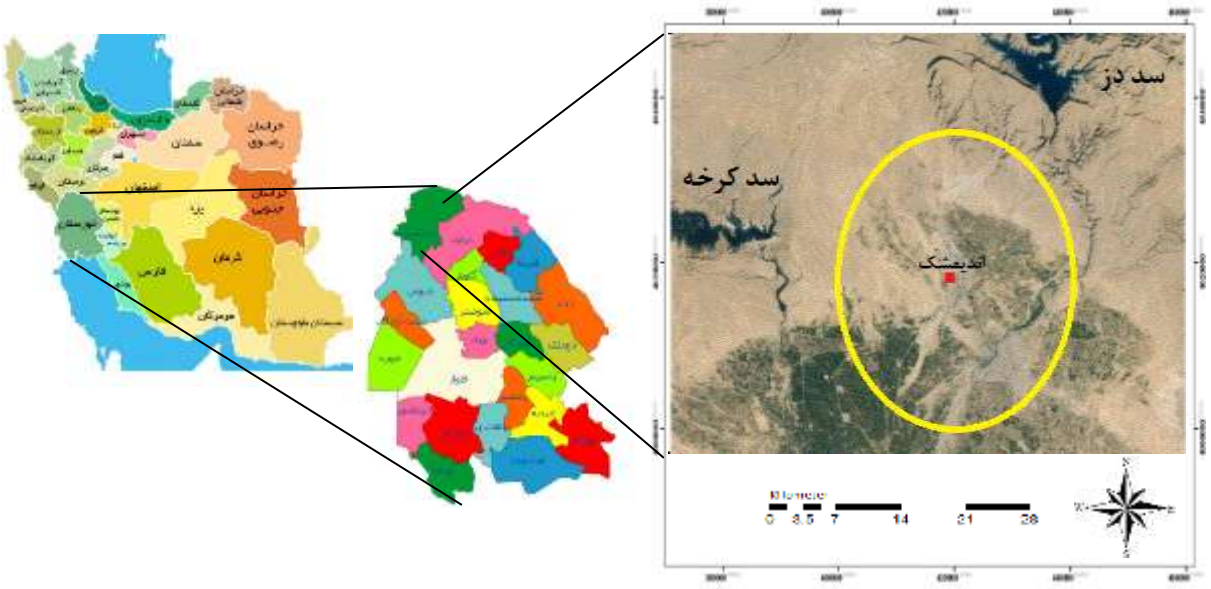
آسوری[3] و همکاران (۲۰۲۲) با روش فازی و AHP و به کمک GIS مناسب‌ترین مکان دفن برای زباله‌های شهری منطقه آشانتی کشور غنا را تعیین نمودند. در این تحقیق از ۱۶ متغیر شامل سرعت باد، هدایت الکتریکی و غیره استفاده شد و وزن‌دهی گردیدند. پنج زیر مدل برای مدل نهایی مطلوبیت تهیه شد و در نهایت مکان جدید دفن زباله مشخص گردید.

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر اندیمشک با مساحت حدود ۱۴۰ کیلومتر مربع و با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و یک دقیقه عرض شمالی، در پایین دست سد مخزنی دز و در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شمال شهر اهواز، در شمال غربی استان خوزستان واقع گردیده است. شیب عمومی منطقه از شرق و شمال‌شرق به سمت جنوب می‌باشد. این منطقه از نظر زمین‌شناسی در زون زمین‌ساختی زاگرس چین خورده قرار گرفته و ساخت زمین‌شناسی این منطقه ساده، ملایم و شامل مجموعه‌ای از رسوبات دانه درشت حاصل از فرسایش سازند بختیاری در ناودیس مانندی با روند

1 - Çeliker
2 - Abdelouhed
3 - Asori

شمال ـ جنوب شرقی است. میانگین بارش منطقه ۳۰۸ میلی‌متر و میانگین دمای آن ۲۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۹). شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و به شیوه توصیفی – تحلیلی می باشد. روش جمع‌آوری اطلاعات به دو صورت اسنادی (کتابخانه‌ای) و میدانی (پیمایشی) انجام گرفته است، ضمناً از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جهت انجام تحقیق استفاده شده که معیارهای مربوط به انتخاب محل دفن بهداشتی زباله تهیه شده از سازمان‌های مختلف شامل درصد شیب (سازمان نقشه‌برداری کشور)، فاصله از چاه آب، فاصله از رودخانه و عمق آب زیرزمینی (سازمان مدیریت منابع آب ایران)، فاصله از شهر و فاصله از جاده اصلی (اداره کل راه و شهرسازی استان خوزستان)، نفوذپذیری خاک (مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور)، واحدهای کاربری اراضی (سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان) فاصله از مناطق حفاظت شده (اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان خوزستان) و فاصله از گسل (سازمان زمین‌شناسی کشور) می‌باشد که لایه‌های این معیارها با توجه به میزان تأثیرگذاری بر مکان دفن زباله، امتیازبندی شدند که امتیازات بیشتر نشان‌دهنده اهمیت بیشتر معیارها است (جدول ۱). در اینجا از روش مقیاس‌گذاری خطی با استفاده از مقادیر کمینه و بیشینه به عنوان نقاط مقیاس‌گذاری، استفاده شد و برای هم‌مقیاس‌سازی فاکتورهای مثبت و منفی، به ترتیب از روابط زیر استفاده گردید (عطائی، ۱۳۸۹):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{(max)}}$$ رابطه (۱).

x_{ij}: مقدار اولیه گزینه i در رابطه با معیار j $x_j^{(max)}$: بالاترین مقدار معیار j r_{ij}: عناصر ماتریس تصمیم بی‌مقیاس برای معیارهای مثبت

$$r_{ij} = \frac{x_j^{(min)}}{x_{ij}}$$ رابطه (۲).

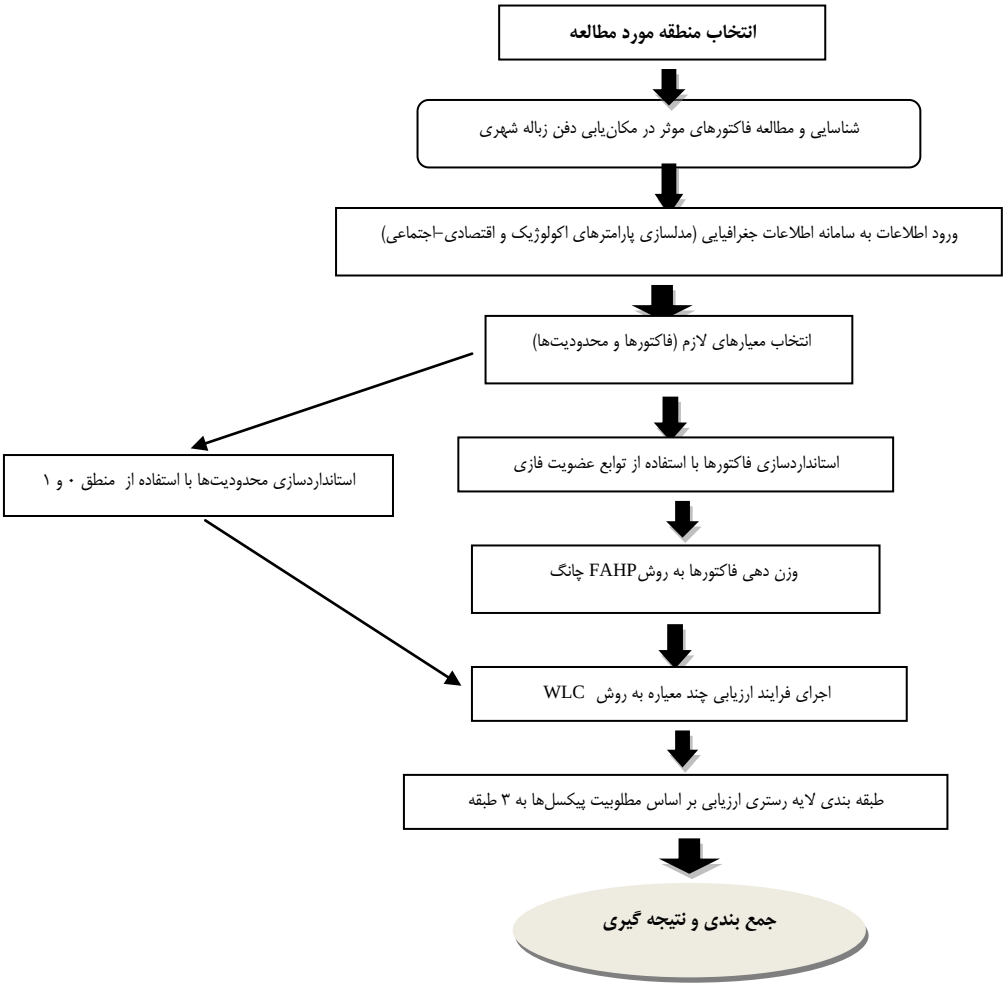
x_{ij}: مقدار اولیه گزینه i در رابطه با معیار j $x_j^{(min)}$: پایین‌ترین مقدار معیار j r_{ij}: عناصر ماتریس تصمیم بی‌مقیاس برای معیارهای منفی

جدول ۱. طبقه‌بندی توصیفی پارامترهای موثر بر مکان‌یابی دفن زباله (منبع: محمدی و همکاران،۱۳۹۲، Wang et al., 2009)

امتیازات ← / معیارها ↓	صفر	یک	دو	سه	چهار	پنج
شیب (درصد)	بالاتر از ۵۰	۴۰–۵۰	۳۰–۴۰	۲۰–۳۰	۱۰–۲۰	۰–۱۰
فاصله از چاه آب (m)	۰–۳۰۰	۳۰۰–۱۰۰۰	۱۰۰۰–۱۵۰۰	۱۵۰۰–۲۰۰۰	۲۰۰۰–۲۵۰۰	>۲۵۰۰
فاصله از رودخانه (m)	۰–۵۰۰	۵۰۰–۱۰۰۰	۱۰۰۰–۱۵۰۰	۱۵۰۰–۲۰۰۰	۲۰۰۰–۲۵۰۰	>۲۵۰۰
فاصله از شهر (Km)	۳> و ۱۸<	۳–۶	۶–۹	۹–۱۲	۱۲–۱۵	۱۵–۱۸
فاصله از جاده اصلی (درجه ۱) (m)	۴۰۰<	۲۰۰۰>	۱۶۰۰–۲۰۰۰	۱۲۰۰–۱۶۰۰	۸۰۰–۱۲۰۰	۴۰۰–۸۰۰
عمق آب زیرزمینی (m)	۱–۱۰	۱۰–۲۰	۲۰–۳۰	۳۰–۴۰	۴۰–۵۰	>۵۰
نفوذپذیری خاک	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	غیرقابل نفوذ
واحدهای کاربری اراضی	مسکونی، صنعتی و معدنی	کشاورزی آبی و باغات	کشاورزی دیم	مرتع متراکم	مرتع نیمه متراکم	مرتع کم تراکم
فاصله از مناطق حفاظت شده (m)	درون منطقه حفاظت شده	۰ – ۲۰۰۰	۲۰۰۰ – ۴۰۰۰	۴۰۰۰ – ۶۰۰۰	۶۰۰۰ – ۸۰۰۰	>۸۰۰۰
فاصله از گسل (m)	۰ – ۳۰۰	۳۰۰ – ۸۰۰	۸۰۰ – ۱۳۰۰	۱۳۰۰ – ۱۸۰۰	۱۸۰۰ – ۲۳۰۰	>۲۳۰۰

آماده‌سازی معیارها

در تحقیق حاضر که بر پایهٔ پارامترهای زیست‌محیطی صورت گرفته، ابتدا پارامترهای اکولوژیک (فیزیکی و زیستی) لازم برای مکان‌یابی دفن زباله شهری مطالعه و شناسایی و سپس آماده‌سازی معیارها با عملیات ژئورفرنس، تصحیح و ویرایش، رقومی سازی، تعریف سیستم مختصات (UTM-39N) و با کمک توابع ادغام (Merge)، برش (Clip) و حاشیه (ضربه‌گیر) (Buffer) انجام گرفت. بعد از آماده‌سازی لایه‌های رقومی در محیط نرم افزار ArcGIS و استانداردسازی لایه‌ها با کمک اعداد فازی مثلثی و توابع عضویت، ابتدا به کمک روش فازیAHP به فاکتورها، وزن‌های فازی داده می‌شود و سپس ترکیب خطی لایه‌ها صورت می‌گیرد تا مکان مناسب برای دفن زباله شهری مشخص گردد. توابع عضویت خطی، جهت استانداردسازی لایه‌ها بر اساس کار کارشناسی و منابع علمی موجود و نیز روش آزمون و خطا تهیه می‌گردد. مراحل مختلف تحقیق در فلوچارت انجام تحقیق ذکر شده است (شکل ۲).



شکل ۲. فلوچارت اجرای تحقیق

استانداردسازی معیارها با منطق فازی

پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ تئوری فازی را به منظور لحاظ کردن عدم اطمینان و ابهام در حل مسائل مختلف بیان کردند (Rostamzadeh & Sofian, 2011). در واقع در فرایند فازی‌سازی یک سری ورودی‌ها وارد می‌شود و با استفاده از توابع عضویت، درجه‌ی مناسبی به هر یک از پارامترها نسبت داده شود. در این مطالعه پس از آماده‌سازی و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی براساس روندنما، به منظور استانداردسازی (بی بعد کردن) لایه‌های کمی از توابع عضویت خطی در محیط Idrisi و برای لایه‌های کیفی از اعداد فازی مثلثی (جدول ۲) در محیط ArcGIS و سپس دی‌فازی کردن توسط رابطه (۳) استفاده گردید.

رابطه (۳).
$$m = X + (b - a)/4$$

در مرحله دی‌فازی کردن از عدد فازی مثلثی که به صورت ($\tilde{A}$,a,b) = m بیان می‌شود استفاده می‌گردد (جدول ۳)، که m: راس مثلث بر روی محور X (X: عدد قطعی)، a: دامنه سمت چپ m و a: دامنه سمت راست m می باشد.

جدول ۲. اعداد فازی مثلثی چانگ (منبع: Chang, 1996)

تعریف	مقیاس فازی مثلثی	اعداد قطعی
اهمیت مطلق	(۷،۹،۹)	۰/۹۳۷۵
اهمیت خیلی قوی	(۵،۷،۹)	۰/۷۵
اهمیت قوی	(۳،۵،۷)	۰/۵
اهمیت ضعیف	(۱،۳،۵)	۰/۲۵
اهمیت یکسان	(۱،۱،۳)	۰/۰۶۲۵
دقیقا مساوی	(۱،۱،۱)	۱

روش سلسله مراتبی فازی چانگ

ون‌لارهون و پدریز برای اولین بار در سال ۱۹۸۳ فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی را مورد توجه قرار دادند (Van Laarhoven and Pedrycz, 1983). اما در سال ۱۹۹۶ روش تحلیل سلسله مراتبی فازی مبتنی بر اعداد فازی مثلثی و مقایسه‌های زوجی از بین روش‌های تحلیل چندمعیاره فازی، توسط چانگ توسعه یافت (Chang, 1996). در این روش بعد از تشکیل سلسله مراتب تصمیم‌گیری با توجه به میزان اهمیت هر پارامتر، عدد فازی مثلثی به آن پارامتر اختصاص می‌یابد و ماتریس‌های مقایسه زوجی برای هر سطح از سلسله مراتب ایجاد می‌گردد. عدد فازی مثلثی نوعی از اعداد فازی است که به شکل (l, m, u) و رابطه تعریف می‌گردد. در هر عدد فازی مثلثی l حد پایینی، u حد بالای و m میانگین است (Zadeh, 1965). مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ به شرح زیر است:

مرحله ۱: رسم نمودار سلسله مراتبی

مرحله۲: تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

مرحله ۳: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی ($\tilde{A}$) با به کارگیری اعداد (رابطه ۴)

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \tilde{a}_{2n} \\ . & . & . \\ . & . & . \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & 1 \end{bmatrix}$$

رابطه (۴).

$\tilde{a}_{21}$: عدد فازی مثلثی

مرحله ۴: محاسبه S_i

برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

رابطه (۵).

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \times \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1}$$

که در این رابطه S_i نشان‌دهنده عدد فازی مثلثی (ضریب ماتریس هر سطر)، i بیانگر شماره سطر و j بیانگر شماره ستون می باشد. $M^j g_i$ اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی است.

رابطه (۶).

$$\Sigma\Sigma M^j g_i = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i , \sum_{i=1}^{n} m_i , \sum_{i=1}^{n} u_i\right)$$

$M^j g_i$: اعداد فازی مثلثی l_i، m_i، u_i: مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی

رابطه (۷).

$$[\Sigma\Sigma M^{j}g_{i}]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right)$$

مرحله ۵: محاسبه درجه بزرگی S_i نسبت به همدیگر

در مجموع درجه بزرگی S_i نسبت به S_j از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt\,(M_1 \cap M_2) = \begin{cases} m_2 > m_1 & 1 \\ l_1 > u_2 & 0 \\ \text{Otherwise} & \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \end{cases}$$

رابطه (۸).

M_1 و M_2: دو عدد فازی مثلثی m_1 و m_2: مولفه‌های دو عدد فازی $hgt\,(M_1 \cap M_2)$: درجه عضویت

مرحله ۶: محاسبه وزن غیربهنجار شده معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی

بدین منظور از رابطه (۹) استفاده می‌شود:

$$d\,(A_i) = MinV\,(S_i \geq S_k) \quad k=1,\ldots, n, k\#i$$

رابطه (۹).

$MinV\,(S_i \geq S_k)$: می‌نیمم درجات بزرگی سطرها نسبت به‌هم S_k و S_i: ضریب ماتریس هر سطر k: شماره عدد فازی مثلثی

$d\,(A_i)$: وزن غیربهنجار شده معیارها و گزینه‌ها

مرحله ۷: محاسبه بردار وزن نهایی

برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالیزه کرد، بنابراین:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n))^{T}$$

رابطه (۱۰).

A: معیارها W': وزن نرمالیزه نشده

وزن نرمال از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$W_i = W'_1 / (\Sigma W'_i)$$

رابطه (۱۱).

W_i: وزن نرمال نهایی

برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی به شکل زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۱۲).

$$S_i = \min S_1 / \max S_2$$

S_i: ضریب ماتریس هر سطر S_1: ضریب ماتریس سطر اول S_1: ضریب ماتریس سطر دوم

مقدار حداقل هر سطر به عنوان وزن نابهنجار می‌باشد، در نهایت مقدار وزن بهنجار شده از تقسیم وزن نابهنجار هر معیار به مجموع وزن‌های نابهنجار محاسبه می‌گردد.

$$W = S_i / \Sigma S_i$$

رابطه (۱۳).

ترکیب خطی لایه‌ها

پس از بی‌بعد کردن لایه‌ها در محیط ادریسی به کمک توابع فازی و تعیین بردار وزن، جهت تلفیق لایه‌ها، از روش ترکیب طی وزنی (WLC)، رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاره، استفاده شد. در این روش، با ضرب نمره معیارها در وزن‌شان، نقشه معیارها با استفاده از رابطه زیر با هم ترکیب می‌شوند (عطایی، ۱۳۸۹).

رابطه $A_i = \sum_{j=1}^{n} W_j \times X_{ij}$ (۱۴).

که در آن: A_i: مطلوبیت، W_j: وزن معیار j، X_{ij}: عملکرد گزینه i در رابطه با معیار j، می باشد. بدین ترتیب، حاصل ضرب‌ها به صورت برداری، جمع شده تا مجموع امتیازات هر پیکسل حاصل شود (Voogd, 1983). این روش جز روش‌های پرکاربرد در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی است (پرهیزکار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵).

تعیین صحت روش‌های ارزیابی

ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. به این معنی که مقدار کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی شود محاسبه می‌کند که در رابطه (۱۵) نشان داده شده است. برای نمونه یک کاپا معادل ۷۵ درصد یعنی اینکه نتایج طبقه‌بندی ۷۵ درصد بهتر از موقعی است که پیکسل‌ها به طور تصادفی برچسب‌دهی شوند. مقادیر بین ۰ تا ۱۰۰ درصد، هر یک سطح معینی را به نسبت این طبقه‌بندی (کاملاً صحیح) نشان می‌دهند و مقادیر منفی مؤید نتایج بسیار بد طبقه‌بندی است.

رابطه (۱۵).

$$K = \frac{\text{obsaerved accuracy} - change\ agreement}{1 - change\ agreement}$$

رابطه محاسبه این ضریب به صورت زیر است:

رابطه (۱۶).

$$\hat{k} = \frac{N\sum_{i=1}^{r} Xij - \sum X_{+i}X_{+j}}{N^2 - \sum_{i=1}^{r} X_{+i}X_{+j}}$$

K: ضریب کاپا N: تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی X_{+i}: مجموع عناصر سطر i X_{+j}: مجموع عناصر ستون j

در این تحقیق ضریب کاپا در نرم افزار IDRISI 16.3 محاسبه شد.

بحث و بررسی

آماده‌سازی و استانداردسازی نقشه‌های اکولوژیکی

از آن‌جا که نقشه‌های معیارها در واحدهای متفاوتی اندازه‌گیری شدند، و از این حیث با یکدیگر قابل مقایسه نیستند، از این رو پس از آماده‌سازی لایه‌های اولیه، از توابع عضویت فازی در محیط IDRISI برای استانداردسازی لایه‌های معیارها استفاده شد (جدول ۳). لذا با توجه به مقادیر هر معیار و تأثیر آن بر مکان‌یابی دفن زباله شهری، نقاط کنترلی تعریف و نوع و شکل تابع عضویت مشخص گردید. به‌عنوان مثال برای معیار فاصله از شهر، نقطه کنترل a به عنوان حداقل فاصله یعنی ۳ کیلومتر در نظر گرفته شد و همان‌طور که می‌دانیم هر چه فاصله به سمت ۶ کیلومتر پیش برود، روند مطلوبیت معیار افزایش و از ۶ کیلومتر (نقطه کنترلی b) تا ۹ کیلومتر (نقطه کنترلی c) این مطلوبیت ثابت و تغییری نمی‌کند و در اینجا بالاترین مطلوبیت یا عدد فازی را دارد، اما بیشتر از فاصله ۹ کیلومتر به شهر، بنا به دلایلی همچون افزایش هزینه حمل‌ونقل،

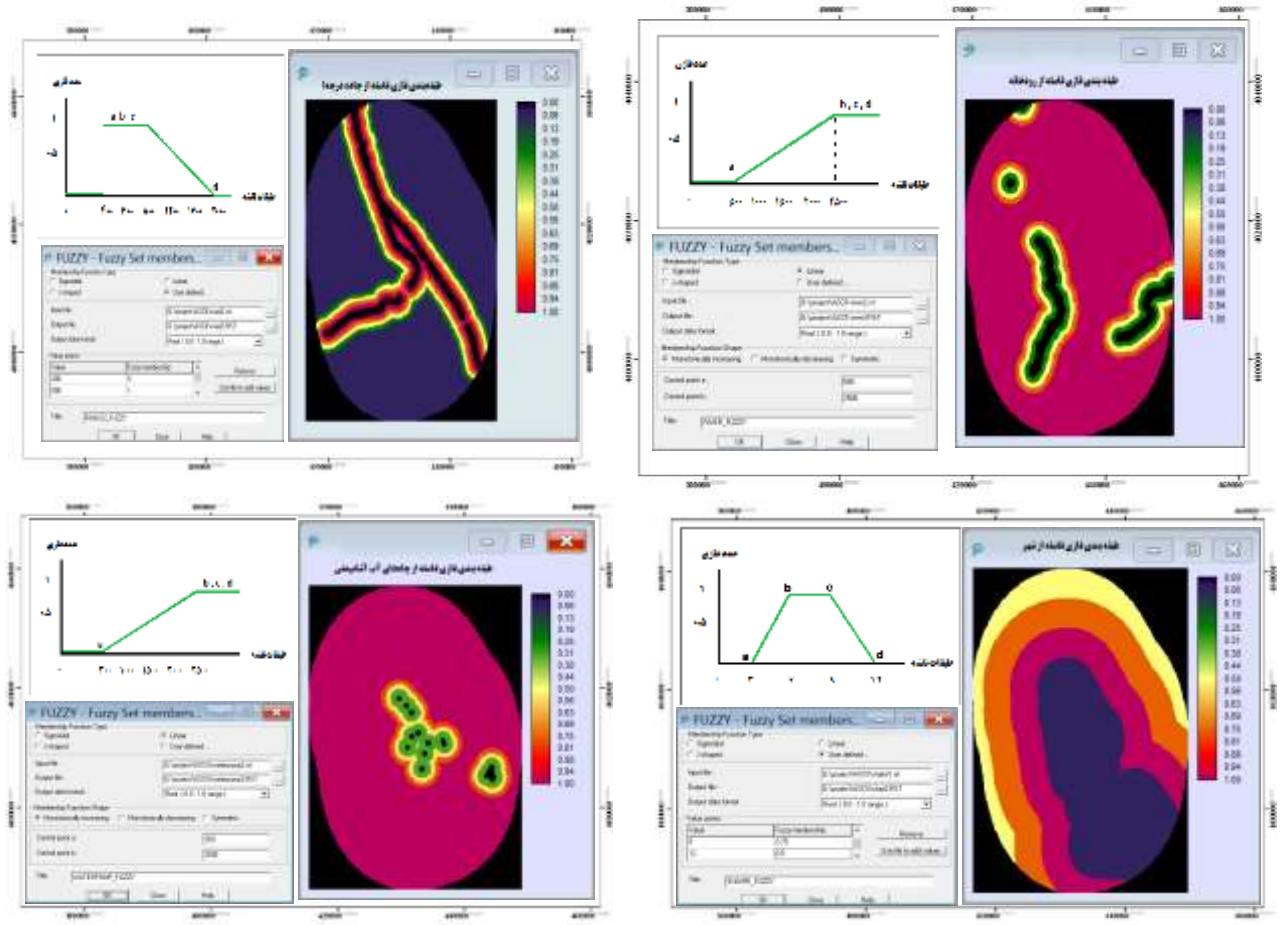
مطلوبیت این معیار کم می‌شود تا اینکه در فاصله ۱۲ کیلومتری (نقطه کنترلی d) این مطلوبیت ناچیز و عدد فازی معیار مربوطه صفر می‌باشد. با توجه به این روند تغییرات معیار فاصله از شهر، نوع تابع آن خطی و شکل آن ذوزنقه تعریف گردید. برای سایر معیارها نیز همین روند تأثیر بر مکان‌یابی دفن زباله شهری بررسی گردید.

جدول ۳. استانداردسازی معیارهای پیوسته به روش فازی

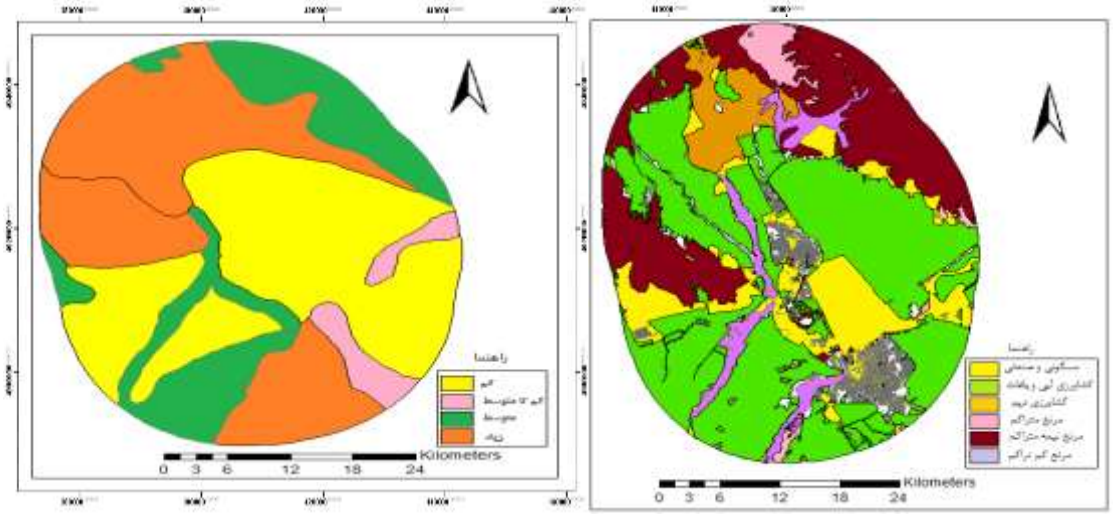
معیار	نوع تابع	شکل تابع	نقاط کنترلی			
			a	b	c	d
شیب	خطی	کاهشی	۵	۱۰	۱۵	۱۰۰
فاصله از جاده اصلی	خطی	کاهشی	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۲۰۰۰
فاصله از شهر	خطی	ذوزنقه‌ای	۳	۶	۹	۱۲
فاصله از رودخانه	خطی	افزایشی	۵۰۰	۲۵۰۰		
عمق آب زیرزمینی	خطی	افزایشی	۱	۵۰		
فاصله از چاه آب	خطی	افزایشی	۳۰۰	۲۵۰۰		

دی فازی‌سازی معیارهای گسسته

برای هر یک از معیارهای گسسته نیز از اعداد فازی مثلثی استفاده گردید. پس از تعیین درجه اهمیت کیفی طبقات درونی معیارهای گسسته، با استفاده از رابطه مینکووسکی (رابطه ۳)، اعداد فازی مثلثی به اعداد قطعی تبدیل شدند و عمل دی‌فازی-سازی انجام شد (جدول ۲). بدین ترتیب لایه‌های اکولوژیک فازی معیارها به همراه توابع عضویت آن‌ها، که در شکل‌های ۳ و ۴ چند نمونه از نقشه‌های تهیه شده نشان داده شده‌اند، حاصل گردید.



شکل ۳. نقشه اکولوژیکی فازی معیارهای پیوسته



نقشه فازی نفوذپذیری خاک

نقشه فازی کاربری فعلی اراضی

شکل ٤. نقشه اکولوژیکی فازی معیارهای گسسته

وزن‌دهی به روش *FAHP* چانگ

با استفاده از مدل FAHP و مقایسات زوجی که کارشناسان انجام دادند (جدول ۴)، وزن‌های هر یک از فاکتورها و معیارهای موثر در مکان‌یابی دفن زباله محاسبه شدند. مطابق نتایج جدول (۵)، بیشترین وزن در روش FAHP چانگ به معیار کاربری اراضی فعلی و کمترین وزن نیز به معیار شیب اختصاص یافت.

جدول ٤. ماتریس مقایسات زوجی

فاکتورها	اقتصادی اجتماعی	اکولوژیک	معیارها	فاصله از جاده	فاصله از شهر	کاربری اراضی	نفوذپذیری خاک	عمق آب زیرزمینی	فاصله از چاه آب درصد شیب	فاصله از رودخانه	
اقتصادی اجتماعی	۱	۲	فاصله از جاده	۱	۱/۲	۱/۲	–	–	–	–	–
			فاصله از شهر	۲	۱	۱/۳	–	–	–	–	–
			کاربری اراضی	۲	۳	۱	–	–	–	–	–
اکولوژیک	۱/۲	۱	نفوذپذیری خاک	–	–	–	۱	۳	۱/۲	۱/۳	۱
			عمق آب زیرزمینی	–	–	–	۱/۳	۱	۱/۴	۱/۳	۳
			درصد شیب	–	–	–	۲	۴	۱	۱	۳
			فاصله از رودخانه	–	–	–	۳	۴	۱	۱	۲
			فاصله از چاه آب	–	–	–	۱	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱

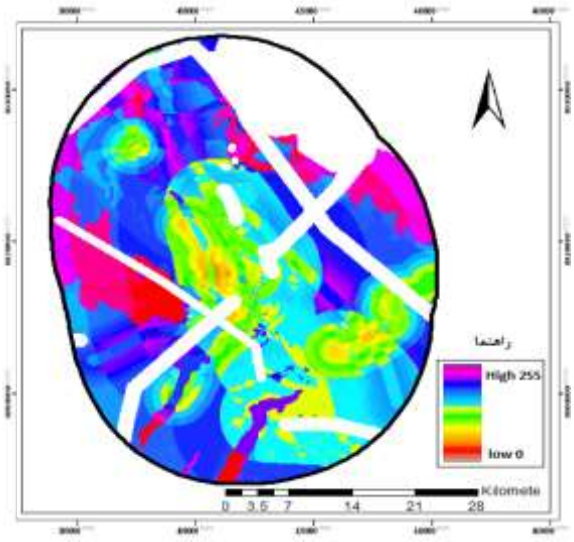
جدول ۵. وزن معیارها با روش FAHP چانگ

معیار	وزن
فاصله از جاده	۰/۰۷۵
فاصله از شهر	۰/۱۷
کاربری فعلی اراضی	۰/۲۳۵
شیب	۰/۰۰۱۵
فاصله از رودخانه	۰/۲۲۱
فاصله از چاه آب آشامیدنی	۰/۱۱۲
عمق آب زیرزمینی	۰/۰۷۵
نفوذپذیری خاک	۰/۰۴۵
مجموع وزن‌ها	۱

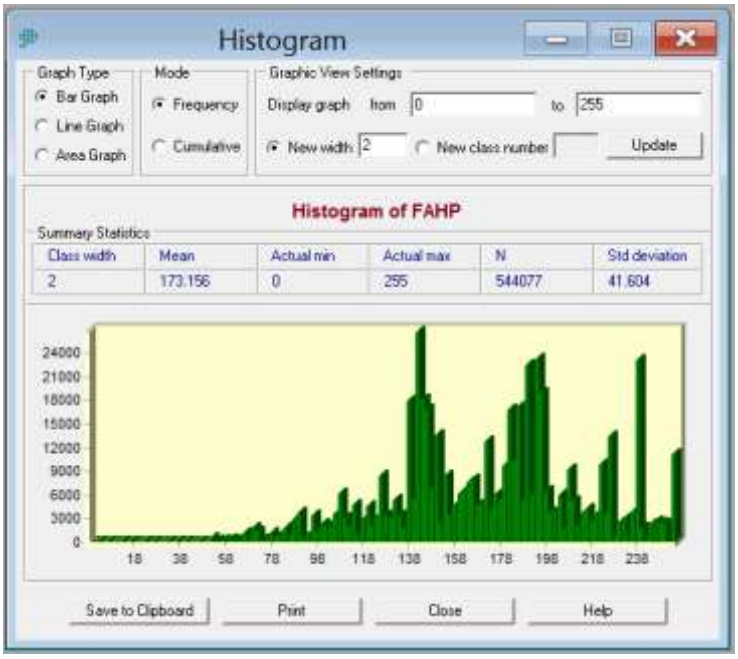
ارزیابی با اعمال وزن‌های *FAHP* چانگ

مطالعه محدودیت‌ها

بر اساس معیارهای بررسی شده در میان لایه‌های اطلاعاتی برگزیده، لایه‌هایی را می‌توان به صورت لایه محدودیت مشخص نمود. لایه‌های محدودیت شامل: فاصله از گسل (برگرفته از نقشه زمین شناسی)، منطقه حفاظت شده چهل‌پا، معادن، ایستگاه راه آهن، فرودگاه، اراضی کشت آبی، باغات، مراتع عالی و خوب و نقاط شهری- روستایی (برگرفته از نقشه کاربری اراضی). در محدوده مورد بررسی، آن اراضی که در حیطه موارد فوق قرار گرفتند، بدون انجام بررسی‌های اضافی از نقشه‌ها حذف شدند. در پایان مرحله آماده‌سازی معیارها و استخراج محدودیت‌ها و فاکتورها، محدودیت‌ها با استفاده از منطق اشتراک (AND) در محیط ArcGIS، روی‌هم‌گذاری شدند و حاصلضرب محدودیت‌ها، تحت عنوان لایه Constraint، تولید گردید. سپس نقشه استاندارد شده هر فاکتور در وزن آن ضرب و مجموع آن برای تمام فاکتورها، مجدداً در نقشه محدودیت ضرب گردید. این نقشه (شکل ۵) نمایانگر لایه‌ای با طیفی از مطلوبیت‌های متفاوت پیکسل‌ها می‌باشد، که مطلوبیت بیشتر نشان دهنده درجه توان بالاتر و مطلوبیت کمتر بیانگر درجه توان پایین‌تر برای دفن زباله‌های جامد شهری است. میزان مطلوبیت هر پیکسل تجلی‌بخش میزان مطلوبیت فاکتورها و نیز وزن‌های اختصاص داده شده به آنها است. از روی هیستوگرام این نقشه (شکل ۶)، نقاط شکست، میانگین و انحراف معیار مقادیر مطلوبیت نقشه، اقدام به طبقه‌بندی طبقات مکان‌یابی دفن زباله‌های شهری شد. در این مرحله لایه‌های فازی شده در نرم‌افزار IDRISI در گزینه WLC وارد می‌شوند و هر لایه در وزنی که از روش FAHP بدست آمده است، ضرب می‌شود. مطلوبیت در این نقشه با اعداد بین ۰ تا ۲۵۵ نشان داده شده است.

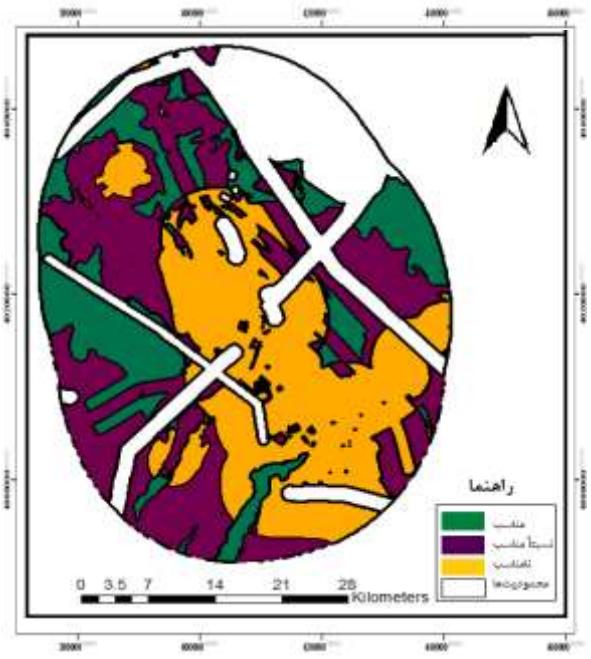


شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی مطلوبیت مکانی با روش FAHP چانگ-WLC



شکل ٦. هیستوگرام FAHP

بر اساس هیستوگرام داده‌ها و نحوه پراکندگی ارزش پیکسل‌ها، نقشه نهایی به سه کلاس مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب طبقه‌بندی شد (شکل ۷).



شکل ۷. طبقه‌بندی پیشنهادی روش FAHP برای محل دفن زباله‌های شهری

مطابق جدول (۶) نتایج ارزیابی به روش FAHP چانگ نشان می‌دهد که ۲۳٪ مساحت منطقه دارای مطلوبیت بالا برای مکان دفن زباله‌های شهری می‌باشد. همچنین مساحتی معادل ۳۸٪ منطقه نسبتاً مناسب و مساحتی معادل ۳۹٪ منطقه از نظر پتانسیل مکان‌یابی دفن زباله، نامناسب می‌باشد.

جدول ٦. مساحت طبقات مختلف مکان‌یابی با روشFAHP چانگ

طبقات	مساحت با روش FAHP چانگ (هکتار)	در صد
مناسب	۱۱۴	۲۳
نسبتاً مناسب	۱۸۰	۳۸
نامناسب	۱۹۰	۳۹
جمع کل	۴۸۴	۱۰۰

غلامی و همکاران (۱۴۰۰) و باقرآبادی (۱۴۰۱) در مطالعات‌شان ضمن تاکید بر کارایی روش FAHP در مکان‌یابی دفن پسماند و ترکیب خطی لایه‌های منطقه مورد مطالعه، به نتایجی مشابه تحقیق حاضر دست یافتند، چراکه فرضیه همه این تحقیقات بر این سوال متکی بود که آیا مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در مکان‌یابی هر چه بهتر زباله‌های شهری موثرند، که نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه این فرضیه را تأیید نمود، البته تفاوت این تحقیقات با یکدیگر با توجه به وزن معیارها، تاثیر متفاوت معیارها در مکان‌یابی زباله شهری بود. به‌عنوان مثال در تحقیق حاضر معیار درصد شیب کمترین تاثیر را داشته در صورتی که در تحقیق غلامی و همکاران (۱۴۰۰)، درصد شیب بالاترین تاثیر را به‌خود اختصاص داده است که این امر به خاطر شرایط متفاوت زیست محیطی مناطق می‌باشد. در گام آخر اقدام به صحت‌سنجی نتایج با استفاده از ضرایب کاپا شد.

بررسی ضرایب کاپا

همان‌طور که اشاره گردید در این تحقیق برای بررسی صحت ارزیابی از ضریب کاپا به کمک جداول متقاطع (ماژول Crosstab) در نرم‌افزار Idrisi استفاده شد. ضریب کاپا نشان دهنده همخوانی کلی نقشه تهیه شده با واقعیت زمینی یا نقشه دیگر است که هرچه این ضریب به عدد یک نزدیک‌تر باشد همخوانی و مطابقت آن بیشتر است (Donevska et al., 2012). در این تحقیق از مقایسه نقشه کاربری فعلی اراضی با نقشه پیشنهادی مکان دفن زباله (شکل ۷) و سپس مشاهدات میدانی صحت ارزیابی مورد بررسی قرار گرفت، که برای نقشه نهایی مکان دفن زباله میزان این ضریب ۰/۷۶ بدست آمد. این عدد صحت و درستی کلاسه‌بندی روش FAHP چانگ را نشان می‌دهد، چراکه اعداد در این روش از حالت قطعیت خارج شده و بصورت فازی درآمده‌اند و با شرایط واقعی نزدیک‌تر است.

نتیجه‌گیری

آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، تکنیک مناسبی برای مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری می‌باشد. با استفاده از نقشه‌های رقومی با مقیاس بالا و صرف زمان و هزینه‌ی نسبتاً کم، می‌توان نقشه پهنه‌بندی توان یک منطقه را برای کاربری‌های مورد نظر، بالاخص محل دفن زباله را استخراج کرد. مدل ترکیب خطی وزنی لایه‌ها (WLC) تکنیک مناسبی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در این خصوص می‌باشد. با عنایت به این‌که مدیریت نادرست دفن زباله‌های شهری و فقدان مکان مناسب دفن زباله‌ها در شهر اندیمشک موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی شده است، لذا با توجه به پارامترهای مهم و تأثیرگذار در این خصوص و با استفاده از مدل‌های فازی و ترکیب خطی وزنی، مکان مناسب برای دفن زباله‌های این شهر مشخص گردید. همان‌طور که در نقشه نهایی حاصل شد مکان دفن مناسب زباله با شیب تا ۱۰ درصد،

بیشتر در مراتع کم تراکم تا نیمه متراکم، در خاکی با نفوذپذیری کم، خارج از منطقه حفاظت شده، عمق آب زیرزمینی ۵۰-۴۰ متر، فاصله از جاده اصلی ۸۰۰-۴۰۰ متر و فاصله از چاه‌های آب آشامیدنی بیشتر از ۲۰۰۰ متر در ۱۱ کیلومتر شهر اندیمشک و دور از مراکز مسکونی، کشاورزی و باغات در نظر گرفته شد. با توجه به نقشه نهایی، منطقه‌ای با تناسب بسیار بالا با مساحتی بالغ بر ۱۱۴ هکتار به عنوان بهترین مکان برای دفن زباله‌های شهری اندیمشک مشخص گردید. نتیجه می‌شود که با توجه به در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی در این تحقیق، دفن زباله در این پهنه، کمترین پیامدهای زیست‌محیطی را به‌دنبال دارد.

منابع

احمدی، مریم، سبحان اردکانی، سهیل. (۱۴۰۱). مقایسه فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک تاپسیس در مکان‌یابی مح دفن پسماند جامد شهرستان سقز. *مجله مهندسی بهداشت محیط*، ۹ (۴): ۴۴۱-۴۳۱.

اصغری کلجاهی، ابراهیم، برزگری، قدرت، آذرمی عربشاه، رباب، شهبازی، آزاده. (۱۳۹۷). مکان‌یابی دفن پسماندهی جامد شهری شهرستان شاهین دژ با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و GIS. *نشریه علمی – پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲ (۴۴): ۴۴-۲۳.

باقرآبادی، رسول. (۱۴۰۱). مکان‌یابی محل دفن پسماند شهرستان صحنه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی*، ۲ (۱): ۷۱-۶۲.

پرهیزکار، اکبر، غفاری گیلانده، عطا. (۱۳۸۵). ***سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم گیری چندمعیاری***، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).

پوراحمد، احمد، حبیبی، کیومرث، محمد زهرایی، سجاد، نظری عدلی، سعید. (۱۳۸۶). استفاده از الگوریتم‌های فازی و GIS برای مکان‌یابی تجهیزات شهری (مطالعه موردی: محل دفن زباله شهر بابلسر). *مجله محیط شناسی*، ۳۳ (۴۲): ۴۲-۳۱.

پورخباز، حمیدرضا، پورخباز، علی‌رضا، جوانمردی، سعیده. (۱۳۹۰). ***ارزیابی و مکان یابی دفن بهداشتی مواد زاید جامد شهری***، تهران: انتشارات شهرداری‌ها.

حجازی، سید اسداله. (۱۳۹۴). مکان‌یابی دفن زباله‌های شهری با استفاده از تکنیک‌های اطلاعات مکانی و تحلیل سلسله مراتبی: مطالعه موردی شهرستان مراغه. *نشریه علمی – پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹ (۵۴): ۱۲۵-۱۰۵.

حجازی، سید اسداله، همتی، فریبا. (۱۳۹۵). مکان‌یابی بهینه دفن زباله روستای لیقوان با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه (ANP). *نشریه علمی – پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۰ (۵۶): ۸۸-۷۳.

رنجبر، ابوالفضل، ترابی، سیدعلی، حکیم‌پور، فرهاد. (۱۳۹۳). مکان‌یابی دفن پسماندهای شهری بر اساس روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و پرامتی V به همراه برنامه‌ریزی صفر و یک (مطالعه موردی: شهرستان تبریز). *نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری*، ۴ (۲): ۲۳۰-۲۱۷.

علیجانی، فرشاد، عطایی‌زاده، سمیه، استادهاشمی، زهره، میرزایی، لیلا. (۱۳۹۹). "بدترین محل دفن پسماندهای شهری ایران، شبیه‌سازی تاثیر زباله‌دانی اندیمشک بر کیفیت آب‌های زیرزمینی با MT3D"، همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاوردهای نوین، ۲۹ اسفند ۱۳۹۹.

کیانی، سجاد، کیانی، واحد، قدیمی، مهرنوش. (۱۴۰۰). مکان‌یابی مناطق مناسب دفع پسماند بر اساس ویژگی‌های هیرولوژیکی و ژئواقلیمی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کیان نهاوند). *مجله مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۱ (۱): ۹۹-۸۱.

عطایی، محمد.(۱۳۸۹). ***تصمیم‌گیری چندمعیاره***، شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

غلامی، محمد، نظری، ولی‌الله، رضاعلی، منصور. (۱۴۰۰). مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری با استفاده از GIS و AHP (مطالعه موردی: شهر ساحلی–صنعتی عسلویه)، *فصلنامه علمی پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، ۱۳ (۲): ۲۱۰-۱۹۳.

محمدی، محمود، مالکی پور، احسان، صاحبقرانی، علی‌رضا. (۱۳۹۲). مدل‌سازی گسترش شهر در اراضی پیرامونی با استفاده از سلول های خودکار (CA) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: منطقه ۷ اصفهان). *مجله مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، ۵ (۱۷): ۱۹۲ -۱۷۵.

Abdelouhed, F., Ahmed, A., Abdellah, A., Yassine, B., and Mohammed, I. (2022). **GIS and remote sensing coupled with Analytical Hierarchy Process (AHP) for the selection of appropriate sites for landfills: a case study in the province of Ouarzazate, Morocco.** Journal of Engineering and Applied Science, 69 (19): 1-23.

Asori, M., Dogbey, E., Morgan, A.K., Ampofo, S.T., Mpobi, R.K.J., and Katey, D. (2022). **Application of GIS-based multi-criteria Decision-making analysis (GIS-MCDA) in selecting locations most suitable for siting engineered landfills–the case of Ashanti Region, Ghana**. Management of Environmental Quality: An International Journal, 33 (3): 800-826.

Çeliker, M., Yildiz, O., and Koçer, N.N. (2019). **Evaluating solid waste landfill site selection using multi-criteria decision analysis and geographic information systems in the city of Elazığ, Turkey**. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 25 (6): 683-691.

Chang, D.Y. (1996). **Applicaions of the extent analysis method on fuzzy AHP**. European Journal of Operational, 95 (3): 649-655.

Donevska, K.R., Grosevski, P.V., Jovanovsky, m., and Pesevski, I. (2012). **Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems**. Envoronmental Earth Science, 67: 121-131.

Jalilian, S., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M. (2022). **Landfill site suitability analysis for solid waste disposal using SWARA and MULTIMOORA methods, a case study in Kermanshah, West of Iran**. Arab J Geosci, 15: 1175.

Rostamzadeh, R., Sofian, S. (2011**). Prioritizing effective 7Ms to improve production systems performance using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS (case study)**. Expert Systems with Applications, 38 (2011): 5166-5177.

Sharifi Teshnizi, E., Golian, M., Sadeghi, S. (2022). **Application of analytical hierarchy process (AHP). in landslide susceptibility mapping for Qazvin province**. Comput Earth Environ Sci, 55-95.

Van Laarhoven, P.J.M. and Pedrycz, W. (1983). **A fuzzy extension of Saatys priority theory**. Fuzzy Sets and Systems, 11: 229-241.

oogd. H. (1983). **Multi-criteria evaluation for urban and regional planning**, Pion, Ltd. London.

Wang, G., Qin, L., Li, C., and 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.

Zadeh L.A. (1965). **Fuzzy sets**. Information and Control, 8 (3): 338-353.