Vol. 9, No. 2, Autumn and Winter 2024, pp. 250 - 276 ISSN (Print): 2538-449X ISSN(Online): 2981-1619

Research Article
OPEN ACCESS
Kharazmi Journal of Earth Sciences
Journal homepage https://gnf.khu.ac.ir

Landfill site selection of Sari city using analytic network process model

Marzieh Alikhani[1], Ebrahim Rahimi[2]*, Houshang Khairy[3]

1. MSc graduate, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran
2. Assistant Professor, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran;
   Assistant Professor, Department of Earth Sciences, School of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran
3. Assistant Professor, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

Article info

Article history
Received: 17 February 2024
Accepted: 09 March 2024

Keywords:
landfill site, analytic network process (ANP), geographic information system, Sari city.

Abstract

The existing landfill site for Sari city is situated in an unhygienic manner in a village, at the southernmost point of the provincial capital. Unfortunately, this location has led to numerous environmental incidents affecting the local residents. In this study, a multi-criteria approach was employed using analytic network analysis (ANP) to identify the optimal waste landfill site. The evaluation process involved considering 24 layers of information, including geology, engineering geology (such as erosion, lithology, soil science, and seismicity), hydrology, hydrogeology (including rivers, dams, and well depths), topography (elevation and slope), socio-economic factors (distance from urban areas, villages, main roads, side roads, mines, and airports), climate (rainfall), and environmental aspects (protected areas and land use). Based on the findings, we selected five potential locations, with 'Site 1' in the southeast of Sari city receiving the highest average score and being recommended as the most suitable landfill site.

Introduction

Suitable sites for the location of municipal solid waste (MSW) landfills are associated with the land crisis problem, which requires planning based on a set of environmental, social and technical factors (Geneletti, 2010). In the last few decades, among the methods used for landfill location, multi-criteria decision-making methods have gained more accuracy and ease of use due to their high capability in modeling real-world problems.

As a decision-making support tool, geographic information systems play an important role in controlling and simulating economic, environmental and political constraints in locating the optimal waste burial site. ArcGIS software is a successful and essential tool for spatial studies, especially for determining landfill sites (Zamorano et al., 2008). The current landfill site of the city of Sari is located in the southernmost point of the provincial center in Guiche Waluyeh, a village 29 km southeast of Kiasar and 140 km from Sari. The high annual transportation cost, unhygienic burial and environmental accidents for the residents and the pristine nature of this area are the main problems of this site.

In order to prevent the aforementioned negative environmental consequences and also to achieve goals such as protecting the environment of the region (water, soil and air) in the direction of sustainable development, creating a suitable solution for recycling,

DOI http://doi.org/10.22034/KJES.2024.9.2.107071
***Corresponding author**: Ebrahim Rahimi; **E-mail:** rahimi_e@shirazu.ac.ir
How to cite this article: Alikhani, M., Rahimi, E., Khairy, H., 2024. Landfill site selection of Sari city using analytic network process model. Kharazmi Journal of Earth Sciences 9(2), 250-276.
http://doi.org/10.22034/KJES.2024.9.2.107071

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

landfilling engineering and sanitary waste and optimal use of facilities and existing potentials, the current research has presented a multi-criteria approach for finding the landfill of Sari city.

Materials and Methods

In this research, the various effective parameters in locating the waste landfill, according to the experts, include criteria and sub-criteria such as geological and engineering geological factors (erosion, lithology, soil science, seismicity, etc.), hydrology and hydrogeology (distance from the river, dam, check-dams, depth of groundwater, etc.), topography (altitude and slope), socio-economic (distance from urban areas, village, main road, secondary road, mine, airport), climate (rainfall) and environmental factors (protected areas and land use) were selected (Fig. 1). Their scoring and weighting were done in the SuperDecisions 2.8 software based on the ANP method. These layers were converted into raster layers in ArcGIS 10.5 software. After applying the weight of each of these layers, their final maps were obtained and from the algebraic sum of these maps, the final map was prepared to determine the most suitable sites for sanitary landfill in Sari city.

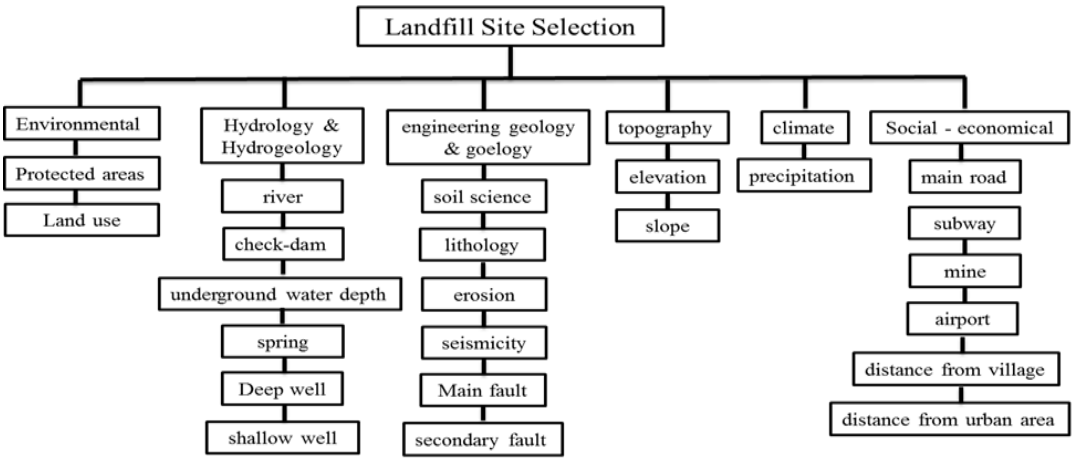


Fig. 1. Effective criteria and sub-criteria for landfill site selection

Results and Discussion

The parameters used in this study include 6 criteria and 24 sub-criteria. These parameters and the way they were scored are briefly described and their maps are finally described.

Hydrology and hydrogeology

These parameters include the distance of the landfill from rivers, springs, wetlands, shallow and deep-water wells, dams, and groundwater levels from the landfill floor.

Distance from water wells: Most of the wells in the study area are located in the plain. Scores 1, 2, 3, 4, and 5 were considered for distances of 500 to 1000 m, 1000 to 1500 m, 1500 to 2000 m, 2000 to 2500, and values greater than 2500 m, respectively. For distances of 300 m, 300 to 600 m, 600 to 900 m, 900 to 1200 m, 1200 to 1500 m, and more than 1500 m, scores 0, 1, 2, 3, 4, and 5 are assigned, respectively (Fig. 2a, b).

Distance from the river: According to Guiqin et al. (2009) and Sener et al. (2010), river buffer zones are categorized as follows: a score of 0 for the 500-meter restricted area, 1 for distances up to 1000 meters, 2 for distances up to 1500 meters, 3 for distances up

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

to 2000 meters, 4 for distances up to 2500 meters, and 5 for distances greater than 2500 meters. In Figure 2c, the zoning results are presented based on the criteria mentioned.

Groundwater depth: Since the groundwater level in the study area is high, the depth of the landfill and sub-base at least 10 m to groundwater level was selected as the restricted area. The zoning results based on the mentioned criteria are presented in Figure 2d.

Topography

Elevation: There is a risk of contamination due to leachate leakage in areas close to sea level, so the most suitable sites for landfilling municipal waste are areas above sea level. The best areas for landfilling are those at intermediate altitudes (Domesuka et al., 2016; Fig. 2e).

Slope: The slope map was extracted from the topographic map and classified into 6 classes. According to the classification of Guiqin et al. (2009) and Kontos et al. (2005), the highest and zero scores are assigned to areas with slopes of 0-10% and > 40%, respectively. Thus, scores 1, 2, and 3 are assigned to areas with slopes of 10 to 15%, 15 to 20%, and 20 to 40%, respectively (Fig. 2f).

Geology and Engineering Geology

A landfill site should be located on low permeability geological layers to prevent leachate from migrating into the underground aquifer.

Lithology: Score 5 was assigned to shale, marl, clay, and shale and marl sequences, score 4 to clay tuff, fine-grained clay and loess zones, score 3 to igneous and metamorphic rocks with low fracture, alternation of marl with weak rocks (conglomerate, sandstone, limestone), alternation of marl, sandstone, and shale, score 2 to evaporative rocks, score 1 to dolomite, sandstone, limestone, conglomerate, igneous, and metamorphic rocks with low strength and fracture, and score 0 to coast, river alluvium, old and new alluvium. The zoning results are presented in Figure 2g based on the mentioned criteria.

Soil science: The soils of the study area were classified as follows: Alfisols (0), Mollisols (1), Coastal sands (2), Inceptisols (3), Rock outcrops/Entisols (4), and Rock outcrops/Inceptisols (5). The zoning results based on these criteria are presented in Figure 2h.

Distance from major faults: The main faults of the area are classified according to World Bank (1999), and the area of 500 m from the fault is considered a restricted area. The classification of distance from the main faults is shown in Figure 2i.

Socio-economic considerations

Economic considerations are one of the important criteria that always play a pivotal role in identifying landfill sites. Access routes must be chosen in a way that is economically justifiable. Public acceptance should be considered regarding social criteria, and places that face strong opposition should be avoided (Abdoli and Samiei Zafarghandi, 2010).

Distance from urban areas: Score 1 is assigned to distances over 15 km, score 2 to 2-5 km, score 3 to 5-8 km, score 4 to 8-10 km, and score 4 to 10-15 km (Fig. 2j).

Distance from the road: Based on Guiqin et al. (2009), landfill is not suitable for up to 100 m. According to the width of the main and secondary roads and the restricted area, the most suitable distances for construction are 150 and 120 m, respectively (Fig. 2k, 2l). Roads, after correction in Google Earth, were entered into the ArcGIS software. Again, according to Guiqin et al. (2009) and Article 17 of the Road and Railway Reform, for main roads, a distance of at least 100 m was

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

considered as a restricted area, a distance of 150 m was considered very appropriate. Also, side roads up to 100 m were considered a restricted area, and those up to 120 m were considered the most appropriate distance for landfilling.

Distance from the airport: In this research, the distance classification from the airport is presented in Figure 3m. According to this classification, score 0 was assigned to distance 0-3 km, score 1 to 3-4 km, score 2 to 4-5 km, score 3 to 5-6 km, score 4 to 6-7 km, score 5 to more than 7 km (Fig. 2m).

Environmental conditions

According to the landfill construction guidelines in the health, safety, and environment system, the landfill should not be built in densely populated areas.

Landuse: According to the large area of agricultural lands and forests in the study area, score 0 was assigned to the urban areas as restricted areas, score 5 to pastures, score 4 to dry agricultural lands, score 3 to degraded forests, score 2 to dunes, and score 1 to agricultural lands and forests (Fig. 2n).

Protected areas: According to the standards, scores 0 and 5 were assigned to protected and non-protected areas, respectively (Fig. 2o).

Determining the area required for landfilling

In order to find a suitable site for landfilling waste in Sari city, the area of the required locations must first be calculated. To determine the area, first, the population growth rate was calculated as 0.8%, considering that the population was 296,417 in 1990 and 309,820 in 1395. Then, according to the growth rate, the population in 1396 was estimated to be 312,298 people. The per capita daily production of waste and its density based on the information obtained from the Sari Waste Management Organization is 0.92 kg and 200 kg/m^3. Therefore, the per capita daily and annual production of the population in 1396 is equal to 287314.6 and 104869836.3 kg.

Using equation 1, the amount of waste produced in 1396 will be 393261.25 cm^3 and using equation 2, the amount of waste produced in the next 20 years, V_{20}, will be equal to 8490510.38 cm^3. If the height of the landfill, r, site is considered to be 4 m, the area required is 212 hectares.

$$V= R/(D)(1- P/100)C_V \quad (1)$$

$$V_{20}=V\times((1+r)^{20}-1)/r \quad (2)$$

where, V is the volume required to bury the waste per person per year in cm^3, R is the weight of the waste produced per person per year in kg, D is the average density of the waste in kg per cm^3, P is the percentage volume reduction of the waste due to compaction and C_V is the volume of cover soil required in cm^3.

Introduction of suitable sites

According to what has been said, areas with a score of 5 and an area of more than 212 hectares are selected as the best sites for waste landfill, which include 5 locations in the southeast of Sari city. By averaging the scores, their prioritization is shown in Table 1 and Figure 3.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

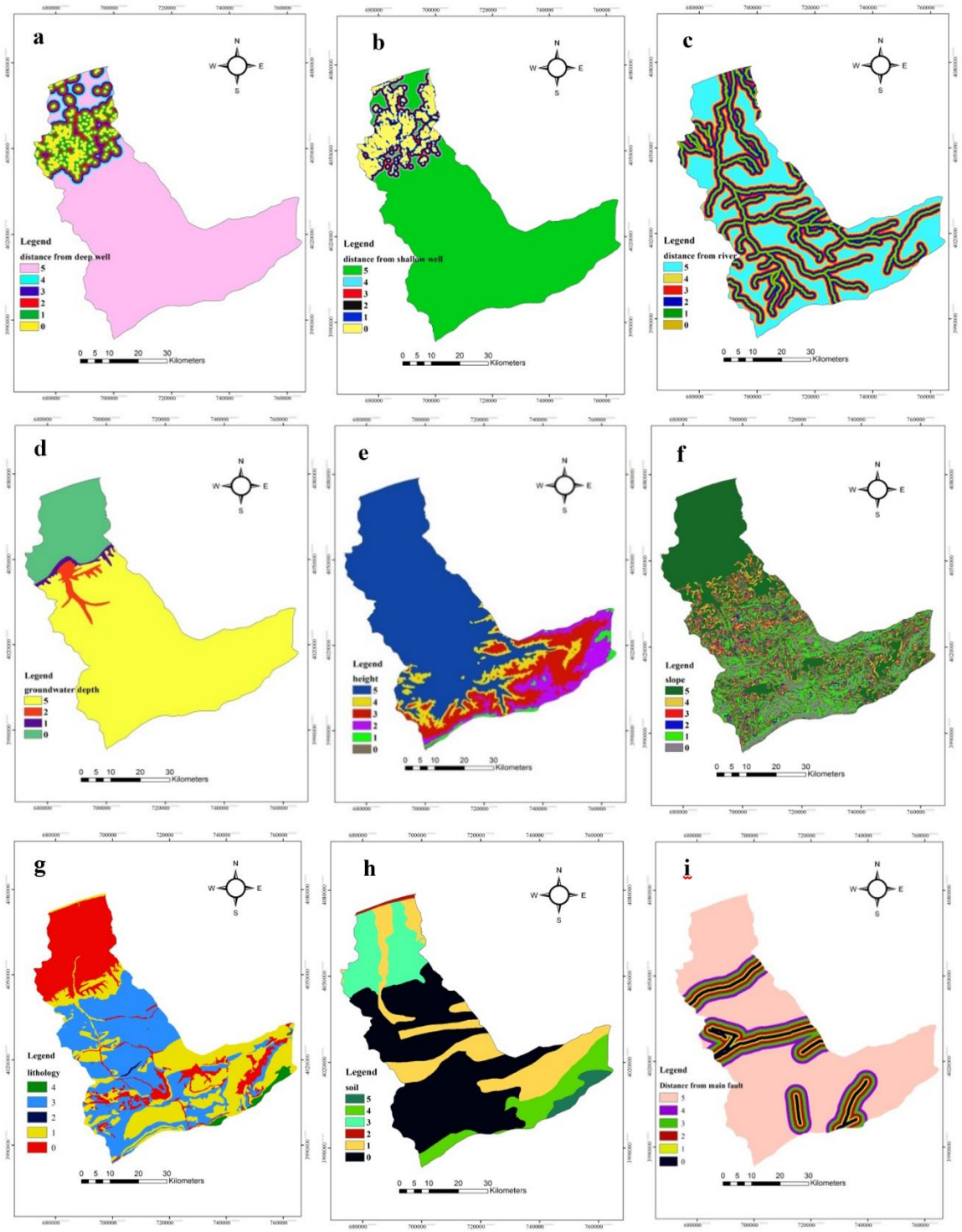


Fig. 2. Weighted maps. a) Distance from drinkable and deep wells. b) Distance from non-drinkable and shallow wells. c) Distance from the river. d) Groundwater depth. e) Altitude. f) Slope. g) Lithology. h) Soil type. i) Distance from major faults. j) Distance from urban areas. k) Distance from main roads. l) Distance from side roads. m) distance from airport. n) Landuse. o) Distance from environmental protected areas.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

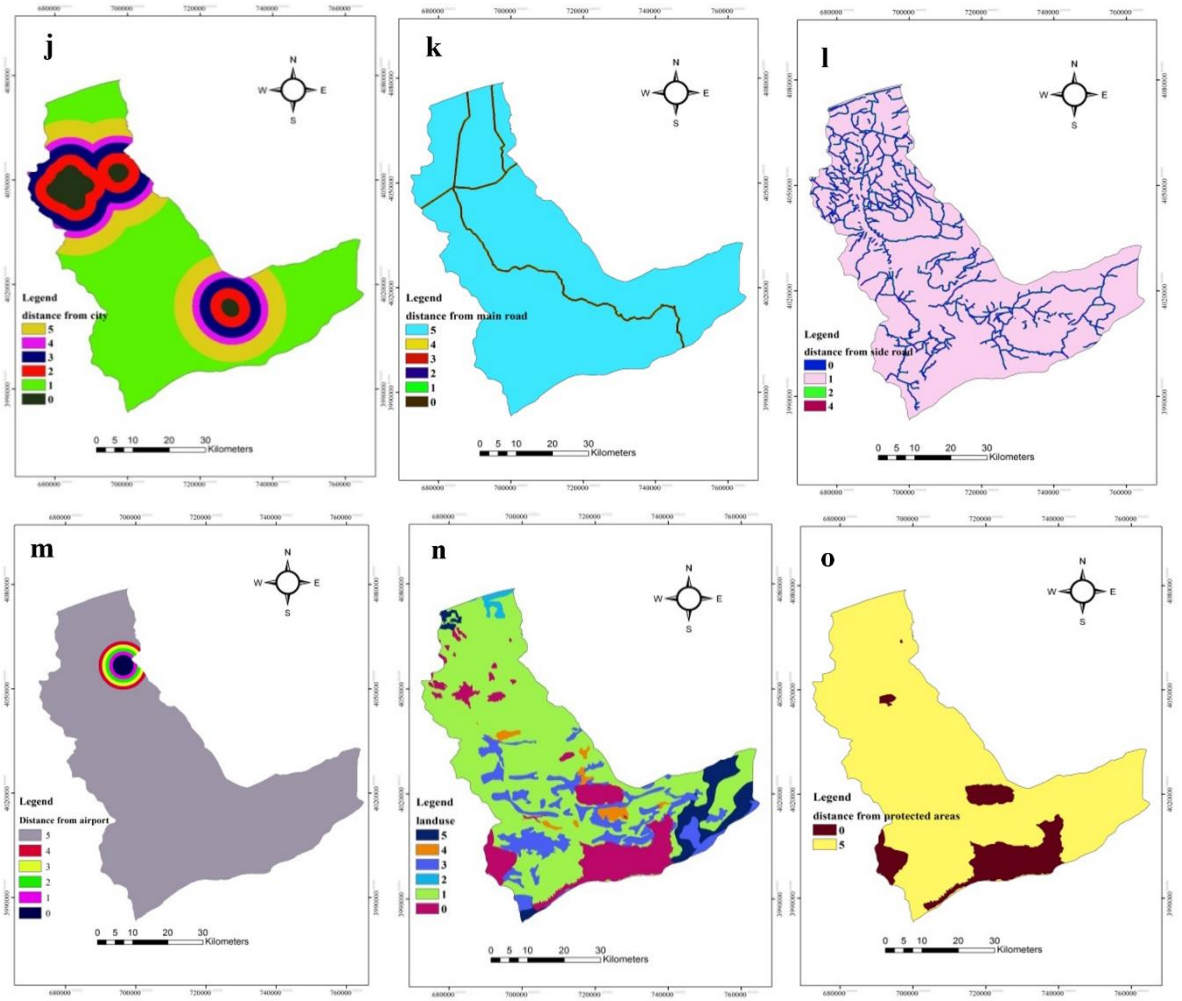


Fig. 2. Continued.

Conclusion

According to the suitable area obtained for waste landfilling for the next 20 years and removing the prohibited areas, 5 suitable areas for waste landfilling were obtained and the areas were prioritized from the average of the 5 selected sites. These sites are located in the far east and southeast of the city, where the site 1 has the highest average score and is located in the southeast of Sari city. Although this area has good features, it is not suitable in terms of height. It is also in a relatively suitable area in terms of the height and density of the sub-fault. Site 2 also has good characteristics such as access to main and secondary roads, some parts of the region have unfavorable characteristics such as a slope of more than 40%, high density of secondary faults and a large part of the region has unsuitable lithology. Site 3 has some characteristics such as slope and suitable land use, but it is unsuitable in terms of soil science and access to main and secondary roads. In terms of lithology, site 4 gets a low score because it is located in an inappropriate area of the spring and has a high density of sub-faults and a high altitude. Site 5, having the lowest average score, is located in an inappropriate range in

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

terms of major and minor roads, soil science and petrology. The prioritization of the selected areas for waste landfill is shown in Table 1 and Figure 3.

Table 1. Prioritization of selected locations for waste landfill

Sites	Score (average)	Area (hectares)	Geographic location
Site 1	4.251	257	36°08´N, 53° 45´ E
Site 2	4.245	1008	36°09´N, 53° 43´ E
Site 3	4.236	4907	36°15´N, 53° 53´ E
Site 4	4.189	758	36°09´N, 53° 46´ E
Site 5	4.152	509	36°22´N, 53° 51´ E

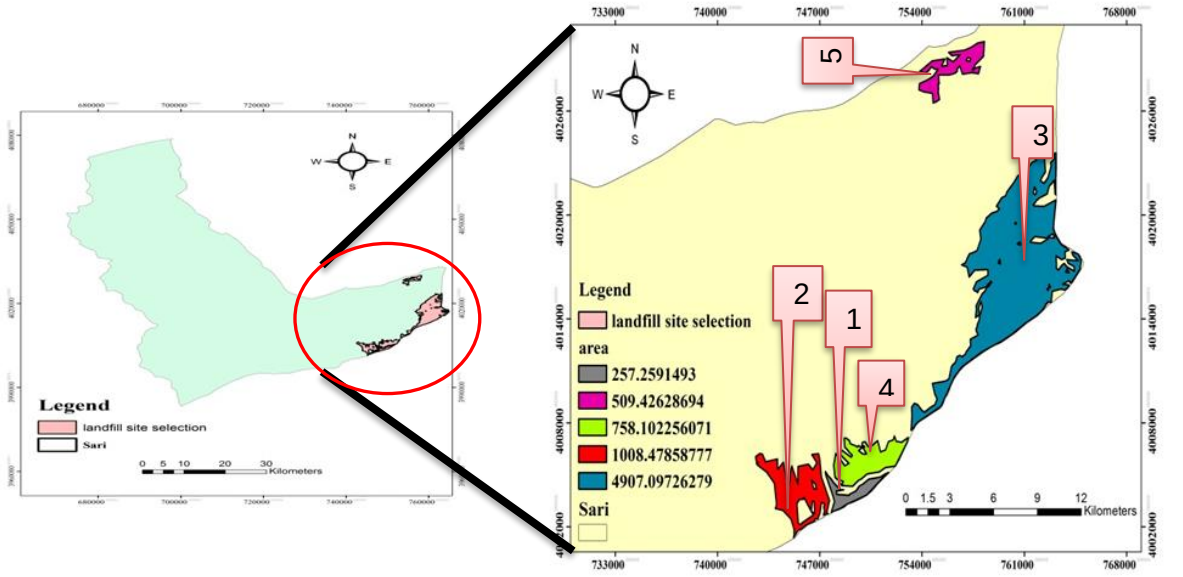


Fig. 3. The location of suitable landfill sites for Sari city

References

Abdoli M., Samiei Zafarghandi, R., 2010. Landfill site selection criteria. The 6th National Congress on Civil Engineering, Semnan, Iran. (in Persian)

Demesouka, O.E., Vavatsikos, A.P., Anagnostopoulos, K.P,. 2016. Using MACBETH Multicriteria Technique for GIS Based Landfill Suitability Analysis, Environmental Engineering, 142(10). 04016042.

Geneletti, D., 2010. Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites. Waste Manage, 30(2), 328–337.

Guiqin, W., Li, Q., Guoxue, L., Lijun, C., 2009. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China, Environmental Management, 90, 2414–2421.

Kontos, T. D., Komilis, D. P., Halvadakis, C.P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. Waste Management 25, 818–832.

Sener, S., Sener, E., Nas, B., Karagüzel, R., 2010. Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). Waste management, 30(11), 2037-2046.

World Bank, 1999. Solid Waste Landfills in Middle and Lower-income Countries. A Technical Guide to Planning Design and Operation By Philip Rushbrook & Michael Pugh: Washington DC, USA: The International Bank for Reconstruction and Development.

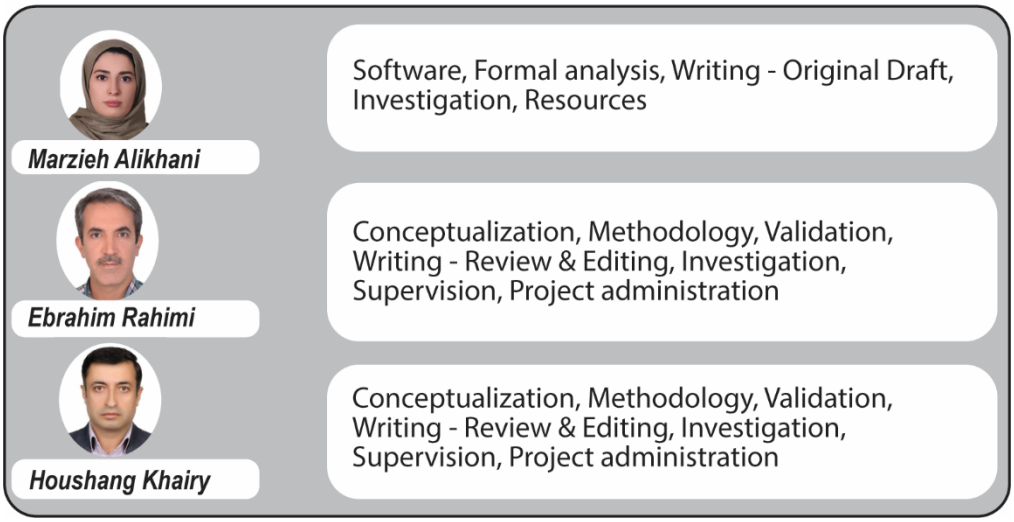
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

World Bank Technical Paper No. 426 (ISBN-8213-4457-9), 248 pp

Zamorano, M., Molero, E., Hurtado, A., Grindlay, A., Ramos, A., 2008. Evaluation of a Municipal Landfill Site in Southern Spain with GIS-Aided Methodology. Journal of Hazardous Materials, 160(2-3), 473–481. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.03.02.

CRediT authorship contribution statement



[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

جلد ۹، شماره ۲، پائیز و زمستان۱۴۰۲، صفحه ۲۵۰ تا ۲۷۶ شاپا چاپی: ۴۴۹x- ۲۵۳۸ شاپا الکترونیکی: ۱۶۱۹-۲۹۸۱

مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد
مجله علوم زمین خوارزمی
Journal homepage https://gnf.khu.ac.ir

مکان‌یابی محل دفن زباله شهر ساری با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای

مرضیه علیخانی[۱]، ابراهیم رحیمی[۲*]، هوشنگ خیری[۳]

۱. کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان
۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران
استادیار، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز
۳. استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

واژه های کلیدی
مکان‌یابی دفن زباله، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شهر ساری.

چکیده

پسماندها و خطرات زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها به ویژه در شهرهای شمالی کشور به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، تراکم جمعیتی بالا، تراکم بالای پوشش گیاهی، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و وفور آب‌های سطحی در بیشتر فصول سال مشکلات زیادی را ایجاد می‌کنند. ساماندهی و به ویژه مکان‌یابی دفن مواد زائد جامد شهری در این شهرها نیازمند برنامه‌ریزی جدی است. در تحقیق حاضر، از بین مدل‌ها و معیارهایی که برای مکان‌یابی دفن پسماند وجود دارد، با بهره‌گیری از رویکرد چند معیارهٔ فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، به انتخاب مناسب‌ترین مکان دفن پسماند شهر ساری پرداخته شده است. فرآیند تحلیل شبکه‌ای، با در نظر گرفتن وابستگی متقابل بین معیارها، روشی کارآمد برای رسیدن به تصمیمات بهتر ارائه می‌دهد. در فرآیند ارزیابی به این روش، از ۲۴ لایه اطلاعاتی شامل زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی (فرسایش، لیتولوژی، خاک‌شناسی، لرزه‌خیزی و ...)، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی (رودخانه، آب‌بندان، سد، عمق آب زیرزمینی، چاه‌های کم‌عمق و عمیق)، توپوگرافی (ارتفاع، شیب)، اجتماعی ـ اقتصادی (فاصله از مناطق شهری، فاصله از روستا، راه اصلی، راه فرعی، معدن، فرودگاه)، اقلیم (بارش) و زیست‌محیطی (مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی) بهره گرفته شده است. متأسفانه محل کنونی دفن زباله شهر ساری به شکل غیربهداشتی در دهکده‌ای به نام گویچه ولویه، در جنوبی‌ترین نقطه مرکز استان قرار دارد که حوادث زیست‌محیطی بسیاری را برای ساکنان این منطقه به دنبال داشته است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، ۵ منطقه انتخاب و از بین آن‌ها، منطقه ۱ واقع در جنوب شرقی شهرستان ساری با کسب بالاترین میانگین امتیاز، مناسب‌ترین مکان برای دفن زباله شناسایی و معرفی شده است.

مقدمه

برنامه مدیریت پسماند جامد (SWMP)[۱] به معنی مدیریت پسماند زباله‌های جامد شهری و مواد قابل بازیافت است[۲] (British Columbia Ministry of Environment, 2016). روش‌های متفاوتی برای

[1] Solid Waste Management Project
[2] British Columbia

DOI http://doi.org/10.22034/KJES.2024.9.2.107071

*نویسنده مسئول: ابراهیم رحیمی : rahimi_e@shirazu.ac.ir

استناد به این مقاله: علیخانی، م.، رحیمی، ا.، خیری، ه. (۱۴۰۲) مکان‌یابی محل دفن زباله شهر ساری با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای. مجله علوم زمین خوارزمی. جلد ۹، شماره ۲، صفحه ۲۵۰ تا ۲۷۶. http://doi.org/10.22034/KJES.2024.9.2.107071

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

کنترل مواد زائد وجود داشته که از جمله آن‌ها می‌توان به دفن بهداشتی یا دفن در لندفیل[1]، سوزاندن، بازیافت و کنترل بیولوژیکی اشاره نمود (Kontos et al., 2005). در بیشتر کشورها دفن در لندفیل متداول‌ترین روش کنترل مواد زائد جامد شهری می‌باشد (Yesilnacar and Cetin, 2005). اولین و مهم‌ترین نکته در برنامه‌ریزی برای دفن پسماندها، درنظرگرفتن مکانی مناسب برای آن است.

در رابطه با مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری، پژوهش‌های متعددی در ایران و جهان صورت‌گرفته است. از سال ۱۹۶۰ مطالعات زیادی مربوط به مدل‌سازی از مشکلات مدیریت مواد زائد جامد توسعه یافته‌اند. اولین برنامه‌های کاربردی با اشاره به مدل‌های کاربری زمین و هدف بهینه‌سازی مسیرهای موجود و امکانات برای انتخاب یک محل، تنها بر معیارهای مالی متمرکز بود (Truitt et al., 1969). در دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ نظرات زیست‌محیطی دفن زباله با توجه به پتانسیل آلودگی مورد توجه قرار گرفت که منجر به مقررات محدود کننده زیست‌محیطی و افزایش تأکید بر روند امکانات نامطلوب محل و وضع معیارهای دیگر گردید (Bottero and Ferreti, 2011).

انتخاب سایت، یک مسئله مهم و ضروری در مدیریت پسماند در مناطقی با رشد سریع است. به دلیل پیچیدگی‌های سیستم مدیریت زباله، انتخاب مناسب محل دفن زباله جامد نیاز به بررسی راه‌حل‌های جایگزین و معیارهای ارزیابی دارد (Guiqin et al., 2009). انتخاب محل دفن زباله با توجه به دلایل مختلف از جمله افزایش در مقادیر زباله، جمعیت انسانی، عوامل خطر زیست‌محیطی و بهداشت عمومی و کاهش در دسترس‌بودن زمین برای مکان‌های دفع زباله یک کار چالش‌برانگیز است (Srivastava and Nema, 2012).

مکان‌های مناسب برای مکان‌یابی محل‌های دفن مواد زائد جامد شهری (MSW)[2] با مشکل بحران زمین همراه است که این مسئله نیازمند برنامه‌ریزی بر اساس مجموعه‌ای از عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی و فنی است (Geneletti, 2010). روند تصمیم‌گیری محل دفن زباله شامل شناسایی، تحلیل، ارزیابی و انتخاب میان گزینه‌های مختلف است (Liu et al., 2014). ازاین‌رو، تصمیم‌گیرندگان باید محلی را انتخاب کنند که نه‌تنها دارای یک عملکرد خوب، بلکه به‌اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشد، به طوری که قابلیت تطبیق با تغییرات آینده در سیاست‌های منطقه‌ای را داشته باشد. در این راستا، راه‌حل‌هایی مانند بازسازی مکان‌های قدیمی زباله مناسب نیست. این زیرساخت‌ها نمی‌تواند نیازهای دفن زباله منطقه‌ای را باتوجه به بی‌ثباتی و یا عدم کفایت آن‌ها برآورده کند (Demesouka et al., 2013).

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[3] یک ابزار مدل‌سازی و روش‌شناسی برای مقابله با مشکلات مهندسی پیچیده است (Kahraman, 2008). تلفیق

[4] Landfill
[3] Municipal solid waste

[3] Multiple Criteria Decision Making

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] برای حل مسائل انتخاب محل دفن زباله مورداستفاده قرار می‌گیرند (Sener et al., 2006). در چند دهه اخیر، در میان روش‌های مورداستفاده برای مکان‌یابی دفن زباله، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به دلیل قابلیت بالا در مدل‌سازی مسائل واقعی، دقت و سهولت کاربرد بیشتری پیدا کرده‌اند. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری نقش مهمی را در قابلیت کنترل و شبیه‌سازی محدودیت‌های اقتصادی، محیطی و سیاسی در مکان‌یابی محل دفن بهینه پسماند ایفا می‌کنند. GIS، داده‌های مکانی (نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای) را با پایگاه‌های اطلاعاتی کمی، کیفی و توصیفی ترکیب می‌کند که می‌تواند دامنه وسیعی از جستجوهای فضایی را پشتیبانی کند. همه این عوامل، ArcGIS را ابزار ضروری برای مطالعات مکانی، به‌ویژه برای محل‌های دفن زباله، ساخته‌اند (Zamorano et al., 2008).

محل کنونی دفن زباله شهر ساری در جنوبی‌ترین نقطه مرکز استان در گویچه ولویه، دهکده‌ای در ۲۹ کیلومتری جنوب شرقی کیاسر و ۱۴۰ کیلومتری ساری، با هزینهٔ حمل سالانه بالا به‌صورت دفن غیربهداشتی است که حوادث زیست‌محیطی بسیاری را برای ساکنان و طبیعت بکر این منطقه به دنبال داشته است. به منظور جلوگیری از پیامدهای منفی زیست‌محیطی فوق‌الذکر و همچنین نیل به اهدافی نظیر حفاظت محیط‌زیست منطقه (آب، خاک و هوا) در جهت توسعه پایدار، ایجاد راه حل مناسب برای بازیافت، دفن مهندسی و بهداشتی زباله و استفاده بهینه از امکانات و پتانسیل‌های موجود، پژوهش حاضر یک رویکرد چند معیاره را برای دفن زباله شهر ساری ارائه داده است.

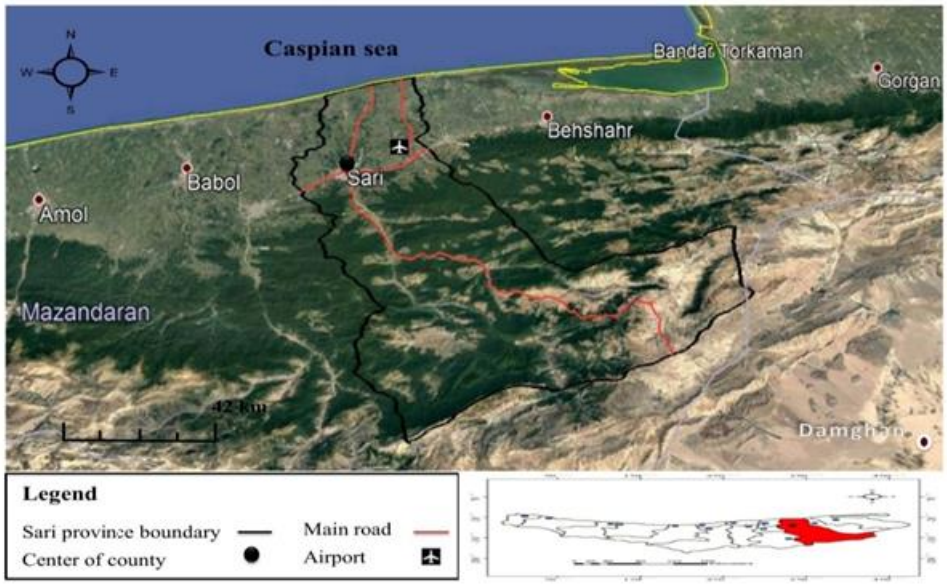
منطقه مطالعاتی

به‌منظور مکان‌یابی محل دفن پسماند شهر ساری، محدودهٔ موردمطالعه، شهرستان ساری با مرکزیت این شهر انتخاب گردید. ساری مرکز استان مازندران و از شهرهای شمال ایران است. شهرستان ساری در کوهپایه‌های شمالی رشته‌کوه البرز واقع شده و دارای دو بخش کوهستانی و دشت است که با وسعت ۳۹۲۳ کیلومتر مربع، در جنوب دریای مازندران، درطول جغرافیایی۵۲ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی قرارگرفته است. جمعیت شهر ساری براساس برآورد مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ برابر با ۳۰۹۸۲۰ نفر بوده است. ارتفاع شهرستان ساری مابین ۲۶- متر زیر سطح آزاد دریا در کناره ساحلی دریای خزر تا ۳۳۰۰ متر در جنوب باختری منطقه متغیر است. از نظر ریخت‌شناسی، این منطقه دارای توپوگرافی کم و بیش ملایمی است. بخش شمالی آن دشت گسترده همواری است که توسط رسوبات آبرفتی پوشده شده است و از شمال به

[1] Geographic Information System

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

سمت کوهپایه بلندی‌ها افزایش می‌یابد. موقعیت منطقهٔ مطالعاتی در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

Fig. 1. Location of the study area

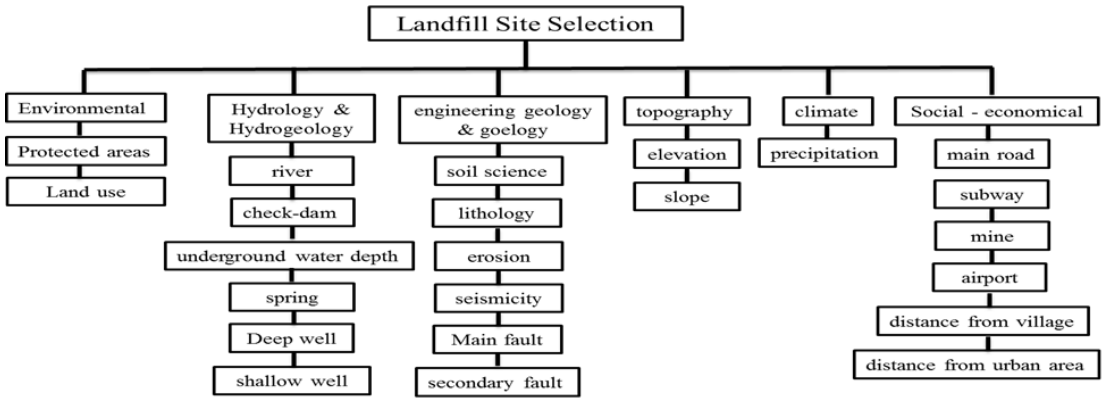
مواد و روش‌ها

اولین گام در ارزیابی تأثیرات محیطی، اجتماعی و فنی مکان‌های دفن زباله، شناسایی معیارهایی است که اثر حساس نسبت به این رکن‌های تعیین‌کننده داشته باشند. در این پژوهش، باتوجه‌به نظرات کارشناسان، استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست و تجربیات سایر پژوهش‌ها ابتدا پارامترهای مختلف مؤثر در مکان‌یابی دفن پسماند، انتخاب شدند. این پارامترها شامل معیارها و زیرمعیارهایی چون عوامل زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی (فرسایش، لیتولوژی، خاک‌شناسی، لرزه‌خیزی و...)، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی (فاصله از رودخانه، آب‌بندان، سد، عمق آب زیرزمینی و...)، توپوگرافی (ارتفاع، شیب)، اجتماعی ـ اقتصادی (فاصله از مناطق شهری، روستا، راه اصلی، راه فرعی، معدن، فرودگاه)، اقلیم (بارش) و زیست‌محیطی (مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی) هستند (شکل ۲). سپس امتیازدهی و وزن‌دهی در محیط نرم‌افزار SuperDecisions 2.8 بر مبنای روش ANP[1] صورت گرفت. این لایه‌ها وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 شده و به لایه‌های رستری تبدیل شدند. پس از اعمال وزن هرکدام از این لایه‌ها، نقشه‌های وزنی هر لایه به دست آمد و از جمع جبری این نقشه‌ها، نقشه نهایی جهت تعیین مناسب‌ترین

[1] Analytic Network Process

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

مکان جهت دفن بهداشتی پسماند شهر ساری تهیه گردید.



شکل ۲- معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مکان‌یابی دفن پسماند

Fig. 2. Criteria and sub-criteria affecting the landfill site selection

فرایند تحلیل شبکه‌ای

تصمیم‌گیری چندمعیاره یک ابزار مدل‌سازی و روش‌شناسی برای مقابله با مشکلات مهندسی پیچیده است (Kahraman, 2008). تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل چندین معیار اصلی و زیرمعیار است که برخی از آن‌ها ملموس و برخی ناملموس هستند. این معیارها را می‌توان با یک ساختار سلسله‌مراتبی نشان داد که روابط بین آن‌ها را نشان می‌دهد (Karasan et al., 2019).

رویکردهای مختلفی برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره گسترش یافته‌اند که بسته به مسائل مختلف می‌توانند موفق عمل کنند (Gemitzi et al., 2007). در این پژوهش به‌منظور مکان‌یابی محل دفن زباله در شهر ساری از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. فرایند تحلیل شبکه‌ای یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است و در مجموعه مدل‌های جبرانی[1] قرار می‌گیرد. این مدل بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده و شبکه را جایگزین سلسله مراتب کرده است. به طور کلی مراحل لازم برای اولویت‌بندی گزینه‌ها بر اساس روش ANP را می‌توان شامل ۴ مرحله اصلی دانست (Chung et al., 2005; Saaty, 1996):

۱. ساخت مدل و ساختار مشکل

۲. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی ساختار تصمیم و بردارهای اولویت

۳. تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد

۴. انتخاب بهترین گزینه‌ها

ANP اولین نظریه ریاضی است که این امکان را فراهم می‌کند تا به طور سیستماتیک مورد بررسی قرار گیرد. موفقیت این روش به این دلیل است که قضاوت‌ها را استخراج کرده و از اندازه‌گیری برای

[1] Compensatory Method

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

به‌دست‌آوردن مقیاس‌های نسبی استفاده می‌کند. ساختار پایه شبکه‌ای از کلاسترها[1] (خوشه‌ها) و گره‌های[2] درون کلاسترها است. اولویت‌بندی در ANP به همان شکلی ایجاد می‌شود که در AHP[3] (با استفاده از مقایسه دوتایی و قضاوت) انجام می‌شود (Saaty, 1980). بنابراین ANP را می‌توان متشکل از دو قسمت دانست: سلسله مراتب کنترلی و ارتباط شبکه‌ای. سلسله مراتب کنترلی ارتباط بین هدف، معیارها و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط درونی سیستم تأثیرگذار است و ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها را شامل می‌شود (Zebardast, 2010). دو سطح از مقایسه جفتی در ANP وجود دارد: سطح خوشه که استراتژیک‌تر و سطح گره که تخصصی‌تر است. مقایسه، اهمیت نسبی عناصر بر اساس مقیاس ۱ تا ۹ (Saaty, 1990) صورت می‌گیرد (مشابه روش AHP). مقیاس‌های بنیادین مورداستفاده برای قضاوت در جدول ۱ آورده شده که در آن امتیاز ۱ نشان‌دهندهٔ اهمیت برابر دو عنصر و امتیاز ۹ نشان‌دهنده اهمیت زیاد یک عنصر است (Bottero and Ferreti, 2011).

آگاهی از اهمیت نسبی شاخص‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری، فرایند تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی گزینه‌ها را ساده می‌سازد. اهمیت نسبی شاخص‌ها، با مشخص‌کردن وزن نسبی آن‌ها (نسبت به هدف اصلی تصمیم‌گیری)، به دست می‌آید. یکی از روش‌های تعیین وزن شاخص‌ها، روش مقایسه زوجی است. در این روش شاخص‌ها دوبه‌دو با هم مقایسه شده و وزن نسبی آن‌ها (نسبت به هدف اصلی تصمیم‌گیری) مشخص می‌شود (Saaty, 1996).

جدول ۱- مقیاس اهمیت نسبی برای مقایسات زوجی (Saaty, 1990)

Table 1. Relative importance scale for paired comparisons (Saaty, 1990)

Definition	Intensity of importance
1	Equally Preferred
3	Moderately to strongly
5	Strongly Preferred
7	Very strongly Preferred
9	Extremely Preferred
2,4,6,8	Preferences among above intervals

بعد از انجام مقایسات زوجی، وزن عناصر بر اساس روش بردار ویژه تعیین می‌شود. بردار ویژه هر ماتریس مقایسه جفتی، آنالیز قضاوت‌های عددی ایجاد شده در هر سطح شبکه را نشان می‌دهد (Bottero and Ferreti, 2011). وزن می‌تواند به‌عنوان یک مقدار معین شده برای یک معیار ارزیابی تعریف شود که نشان‌دهنده اهمیت آن معیار نسبت به معیارهای دیگرِ مورد بررسی است (Sener, 2004). در این مرحله، ترجیحات تصمیم‌گیرنده باتوجه‌به معیارهای ارزیابی در مدل تصمیم‌گیری گنجانده شده‌اند. این ترجیحات یا همان وزن‌ها، اهمیت نسبی اختصاص‌داده‌شده به معیارهای ارزیابی در نظر گرفته می‌شوند. به‌دست‌آوردن وزن‌ها یک گام میانی برای استخراج ترجیحات تصمیم‌گیرنده است. با توجه به مجموعه‌ای از متغیرها، ویژگی‌ها و وزن‌های مرتبط، داده‌های ورودی می‌تواند به شکل یک ماتریس یا جدول

[1] Cluster
[2] Node
[3] Analytic Hierarchical Process

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

تصمیم‌گیری سازماندهی شود (Malczewski, 1999). مقایسه جفتی در ANP مانند AHP در قالب یک ماتریس انجام می‌شود. هنگامی که مقایسه‌های زوجی کامل شد، یک بردار اولویت محلی برای همهٔ ماتریس‌های مقایسه استخراج می‌شود، که به عنوان تخمینی از تسلط نسبی مرتبط با عناصرِ (یا خوشه‌های) در حال مقایسه می‌باشد:

$$A \times W = \lambda_{max} \times W \qquad (۱)$$

در این رابطه، A ماتریس مقایسه دوتایی، W بردار ویژه و λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه A است (Chung et al., 2005).

مرحله بعد، تشکیل سوپرماتریس یا ماتریس تصمیم است. برای به دست آوردن اولویت‌بندی کلی در یک سیستم با تأثیرات وابسته، بردارهای اولویت محلی وارد ستون‌های مناسب یک ماتریس می گردند که به‌عنوان سوپرماتریس[1] شناخته می‌شود.

سوپرماتریس در واقع یک ماتریس تقسیم‌بندی شده است که در آن هر بخش ماتریس نشان‌دهنده یک رابطه بین دو گره (اجزا یا خوشه‌ها) در یک سیستم است. در این جا ۳ نوع سوپرماتریس ساخته می‌شود: سوپرماتریس غیر وزنی، سوپرماتریس وزنی و سوپرماتریس حددار. در نهایت ارزش نهایی عناصر به صورت سوپرماتریس وزنی، سوپرماتریس غیروزنی و سوپرماتریس حد مشخص می‌گردد. سوپرماتریس غیروزنی شامل همه بردارهای ویژه‌ای است که از ماتریس‌های مقایسه زوجی مشتق شده‌اند. بردار ویژه به دست آمده از مقایسه سطح خوشه با توجه به معیار کنترل، برای سوپرماتریس اولیه به عنوان وزن خوشه به کار می‌رود که نتیجه آن سوپرماتریس وزنی می‌باشد (Bottero and Ferretti, 2011). در واقع، از ضرب عناصر ستون سوپرماتریس غیروزنی در بردارهای اهمیت نسبی آن‌ها سوپرماتریس وزنی به دست می‌آید که جمع عناصر ستونی آن برابر ۱ است. در مرحله نهایی، سوپرماتریس حد[2] با به توان رساندن تمامی عناصر سوپرماتریس وزنی تا زمانی که واگرایی[3] حاصل شود (از طریق تکرار[4])، یا به عبارت دیگر تمامی عناصر سوپرماتریس همانند شوند، محاسبه می‌شود (Zebardast, 2010):

$$\lim_{k\to\infty} W^n \qquad (۲)$$

در رابطه ۲ مقادیر هر سطر با هم برابر است. وزن‌های نهایی به‌دست آمده زیرمعیارها برای سوپر ماتریس وزنی، در جدول ۲ ارائه شده است.

از جمله شرایط تعیین مکان دفن مناسب برای دفن بهداشتی پسماندها، این است که بتواند برای حداقل ۱۵ تا ۲۰ سال، قابلیت دفن پسماند را داشته باشد (Fazelnejad, 2017). برای ارزیابی شرایط زمین برای دفن زباله، عواملی چون نرخ تولید زباله، جمعیت و دانسیته مواد فشرده شده در محل دفن مورد نیاز می‌باشند (Mcbean et al., 1995). همچنین باید عواملی چون نرخ رشد جمعیت، میزان تولید زباله، ارتفاع و شکل محل دفن توجه نمود (Madadi et al., 2013).

[1] Supermatrix
[2] Limit Supermatrix
[3] Convergence
[4] Iteration

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

جدول ۲- وزن‌های نهایی به‌دست آمده برای سوپرماتریس وزنی

Table 2. Final weights obtained from weighted supermatrix

Score	Sub-criteria	Score	Sub-criteria
0.024	Distance from village	0.064	Land use
0.041	Distance from spring	0.12	Protected areas
0.042	Distance from shallow well	0.040	Height
0.041	Distance from deep well	0.080	Slope
0.036	Distance from check-dam	0.064	Precipitation
0.043	Distance from dam	0.015	Soil science
0.081	Underground water depth	0.030	Lithology
0.052	Distance from river	0.015	Erosion
0.005	Distance from airport	0.022	Seismicity
0.005	Distance from mine	0.081	Distance from main fault
0.015	Distance from main road	0.025	Distance from secondary fault
0.011	Distance from subway	0.033	Distance from urban area

لذا برای به‌دست آوردن مساحت مورد نیاز از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود. میزان رشد جمعیت از رابطه ۳ حاصل می‌شود:

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \quad (۳)$$

در رابطه ۳، P_t جمعیت در سال ۱۳۹۵، P_0 جمعیت در سال ۱۳۹۰ و r میزان رشد جمعیت برای ۵ سال در شهر ساری است. با در نظر گرفتن دوره ۲۰ ساله برای دفن پسماندها و با توجه به این که میزان رشد پسماند معادل رشد جمعیت در نظر گرفته شد، طبق تحقیقات انجمن علمی آمریکا (APA)، حجم مورد نیاز برای دفن بهداشتی از رابطه ۴ محاسبه می‌شود (Krizek and Power, 1996):

$$V = \frac{R}{D}\left(1 - \frac{P}{100}\right) C_V \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، V حجم مورد نیاز برای دفن پسماند هر نفر در یک سال بر حسب متر مکعب، R وزن زباله تولیدی برای هر نفر در سال بر حسب کیلوگرم، D چگالی متوسط پسماند بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، P درصد کاهش حجم زباله بر اثر فشردگی و C_V حجم خاک پوششی مورد نیاز بر حسب مترمکعب است. اگر ارتفاع محل دفن پسماند به طور متوسط ۴ متر (Pourahmad et al., 2007) و چگالی متوسط پسماند شهر ساری ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شود، با قرار دادن مقادیر حجم پسماند یک سال در رابطه زیر، حجم پسماند برای ۲۰ سال آینده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$V_{20} = V \times \frac{(1+r)^{20}-1}{r} \quad (۵)$$

نتایج و بحث

پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش شامل ۶ معیار و ۲۴ زیرمعیار هستند. شرح موارد اصلی این پارامترها، نحوه امتیازدهی و نقشهٔ هر کدام ارائه می‌گردند.

هیدرولوژی و هیدروژئولوژی

این پارامتر شامل فاصله محل دفن از رودخانه‌ها، چشمه‌ها، آب‌بندان‌ها، چاه‌های آب کم‌عمق و عمیق، سد و تراز آب زیرزمینی از کف لندفیل می‌باشد. طبق استانداردهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، حداقل فاصله از دریاچه، آب‌بندان و سد ۳۰۰ متر و طبق

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست فاصله از آب‌های سطحی حداقل ۲۰۰ متر است.

فاصله از چاه‌های آب: بیشترین تمرکز چاه‌های منطقهٔ مطالعاتی در محدوده دشت است و در این مطالعه با توجه به اهمیت آن‌ها، به دو گروه چاه‌های شرب و عمیق و چاه‌های غیرشرب و کم‌عمق تقسیم‌بندی شده است. این فاصله برای چاه‌های شرب و عمیق طبق استاندارد سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و حداقل ۵۰۰ متر و برای فاصله‌های ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر امتیاز ۱، ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ امتیاز ۲، ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر امتیاز ۳، ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ امتیاز ۴، و مقادیر بیشتر از ۲۵۰۰ متر امتیاز ۵ در نظر گرفته شد. همچنین برای چاه‌های غیرشرب و کم‌عمق طبق حداقل فاصله ۳۰۰ متر امتیاز ۰، ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر امتیاز ۱، ۶۰۰ تا ۹۰۰ متر امتیاز ۲، ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ متر امتیاز ۳، ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر امتیاز ۴ و بیش از ۱۵۰۰ متر امتیاز ۵ اختصاص داده شده است (Elkhrachy, 2023). نتایج زون‌بندی بر اساس معیارهای ذکر شده به ترتیب در شکل ۳-a و ۳-b ارائه شده است.

فاصله از رودخانه: طبق مطالعات قبلی (Guiqin et al., 2009; Sener et al., 2010) تا حریم ۵۰۰ متری رودخانه‌ها به عنوان منطقه ممنوعه امتیاز ۰ و بقیه فواصل به ترتیب تا ۱۰۰۰ متر امتیاز ۱، ۱۵۰۰ متر امتیاز ۲، ۲۰۰۰ متر امتیاز ۳، ۲۵۰۰ متر امتیاز ۴ و بیش از ۲۵۰۰ متر امتیاز ۵ اختصاص داده شده است. نتایج زون‌بندی بر اساس معیارهای ذکر شده در شکل ۳-c ارائه شده است.

عمق آب زیرزمینی: آلودگی آب‌های زیرزمینی در مکان‌های دفن زباله می‌تواند به چندین عامل مانند هدایت هیدرولیکی لایه‌های زیرین محل دفن (سازند کارستی، خاک رس)، عمق منطقه وادوز، نوع خاک در منطقه وادوز، گرادیان هیدرولیکی آبخوان و نوع لندفیل (کنترل نشده، بهداشتی) بستگی داشته باشد (Kontos et al., 2005). طبق پیشنهاد سازمان حفاظت محیط‌زیست در مناطقی که سطح ایستابی آب بالا است، لازم است یک‌لایه به عمق ۲ متر از جنس سیلت و رس در کف لندفیل تعبیه شود به‌طوری‌که فاصله بین کف این لایه و سطح ایستابی کمتر از ۵ متر نباشد. باتوجه‌به بالابودن تراز آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه، عمق لندفیل و خاک زیراساس، حداقل عمق ۱۰ متر تا تراز آب زیرزمینی به‌عنوان منطقه ممنوعه انتخاب گردید. نتایج زون‌بندی بر اساس معیارهای ذکر شده به ترتیب در ۳-d ارائه شده است.

توپوگرافی

توپوگرافی به عنوان پهنه شیب سطح زمین و تغییرات آن عامل کنترل‌کننده در نفوذ آلاینده‌ها و تشکیل رواناب است. مکان‌هایی با شیب بیشتر یا ارتفاع بالاتر سبب افزایش انتشار آلودگی از محل دفن زباله شده و محیط وسیع‌تری را آلوده می‌کنند (Gmitzi et al., 2007; Lin and Kao, 1999).

ارتفاع: ارتفاع نقش مهمی در فرایندهای سطحی زمین و ویژگی‌های آن همچون شیب، منظر، حوضه آبریز و طرح و انحناهای پروفایل ایفا می‌کند. در مناطق ساحلی، به دلیل خطر آلودگی ناشی از نشت

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

شیرابه، مناسب‌ترین مکان‌ها برای دفن زباله‌های شهری در مناطق بالای سطح دریا در نظر گرفته می‌شوند (Nicholls et al., 2021). بهترین مناطق دفن زباله مناطقی با ارتفاع متوسط هستند (Donevska et al., 2012). سنر و همکاران (Sener et al., 2010) مناطقی تا ارتفاع ۱۲۵۰ متر بالای سطح دریا را به عنوان مناسب‌ترین مکان در نظر می‌گیرند و مناطقی با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر را نامناسب می‌دانند. در حالی که شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2009) مناطق با ارتفاع بیش از ۲۱۰۰ متر را مناسب نمی‌دانند. ارتفاع منطقه مورد مطالعه در ۶ کلاس طبقه‌بندی شد. طبق پیشنهاد سنر و همکاران (Sener et al., 2010) مناطقی تا ارتفاع ۱۲۵۰ متر به عنوان مناسب‌ترین مکان، بیشترین امتیاز را گرفتند و مناطق بالای ۳۰۰۰ متر طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست به عنوان مناطق ممنوعه پیشنهاد شدند (شکل ۳ـ e).

شیب: از نظر اقتصادی، شیب عامل بسیار مهمی است چرا که شیب زیاد به هزینه‌های حفاری بالا جهت تسطیح محل دفن نیاز دارد (Guiqin et al., 2009). از طرفی، شیب زیاد باعث افزایش هزینه‌های ساخت و نگهداری محل دفن می‌شود (Lin and Kao, 1999). نقشه شیب از روی نقشه توپوگرافی استخراج و در ۶ کلاس طبقه‌بندی شد. طبق طبقه‌بندی گینکین و همکاران (Guiqin et al., 2009) و کنتوس و همکاران (Kontos et al., 2005) مناطقی با شیب ۰ تا ۱۰ درصد بیشترین امتیاز و مناطقی با شیب بالای ۴۰ درصد امتیاز صفر را گرفتند. به این ترتیب مناطق با شیب ۱۰ تا ۱۵ درصد امتیاز ۱، ۱۵ تا ۲۰ درصد امتیاز ۲، ۲۰ تا ۴۰ درصد امتیاز ۳ (شکل ۳ـ f) اختصاص داده شد.

زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی

زمین‌شناسی منطقه به طور مستقیم، انواع خاک ایجاد شده از سنگ مادر، ظرفیت باربری خاک پی محل دفن و مهاجرت شیرابه را کنترل می‌کند. سنگ و نوع ساختار آن، ماهیت خاک و نفوذپذیری سنگ‌بستر را تعیین خواهد کرد. ساختارهای زمین‌شناسی بر حرکت شیرابه و گسیختگی دامنه‌ای در امتداد درزه‌ها و صفحات لایه‌بندی تأثیر خواهد گذاشت (Sener, 2004). برای جلوگیری از مهاجرت شیرابه به داخل آبخوان زیرزمینی، محل دفن زباله باید بر روی لایه‌های زمین‌شناسی با نفوذپذیری کم قرار داشته باشد. در صورت عدم وجود این شرایط با اضافه کردن مواد اضافی، نفوذپذیری زمین را کاهش می‌دهند. این مواد حرکت شیرابه ناشی از زباله به آب‌های زیرزمینی و لایه‌های مجاور را کنترل می‌کند (Rushbrook and Pugh, 1999).

سنگ‌شناسی: عوامل زمین‌شناسی محل دفن به جنس واحدهای سنگی و ساختارهای موجود در محل بستگی دارد و به طور مستقیم کنترل‌کننده سنگ‌بستر و تیپ خاکی است که از آن ایجاد می‌شود (Basak, 2004). جنس سنگ‌بستر و زمین‌شناسی عاملی بسیار مهم و تعیین‌کننده برای در دسترس قرارگرفتن زباله در معرض آب زیرزمینی است. پتانسیل طبیعی سنگ‌ها باعث جلوگیری از گسترش آلودگی و انتقال آن به آب‌های زیرزمینی می‌شود. این

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

موانع زمین‌شناسی باید دارای ویژگی‌هایی همچون نفوذپذیری پایین، تخلخل کم، ضخامت زیاد و ظرفیت نگهداری طبیعی بالا باشند. از جمله سنگ‌هایی که می‌توانند به‌عنوان موانع زمین‌شناسی مناسب باشند، تنها سنگ‌های چسبنده و رسی دارای ویژگی‌های مطلوب هستند (Doerhoefer and Siebert, 1998). طبقه‌بندی سنگ‌شناسی طبق پیشنهاد کنتوس و همکاران (Kontos et al., 2005) امتیازدهی گردید. شیل، مارن، رس و تناوب شیل و مارن امتیاز ۵، توف رسی، پهنه‌های رس و لس ریزدانه امتیاز ۴، سنگ‌های آذرین و دگرگون با شکستگی کم، تناوب مارن با سنگ‌های ضعیف (کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک)، تناوب مارن، ماسه‌سنگ و شیل امتیاز ۳، سنگ‌های تبخیری امتیاز ۲، دولومیت، ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک، کنگلومرا، سنگ‌های آذرین و دگرگونی با مقاومت پایین و دارای شکستگی امتیاز ۱، ساحل، آبرفت‌های کنار رودخانه‌ای، آبرفت‌های قدیم و جدید امتیاز ۰ اختصاص داده شد. نتایج زون‌بندی بر اساس معیارهای ذکر شده در شکل ۳-g ارائه شده است.

خاک‌شناسی: بافت خاک یک عامل مهم در انتخاب محل دفن زباله محسوب می‌شود، زیرا تشکیل خاک به طور مستقیم بر هزینه‌های حفاری و آماده‌سازی زمین محل انتخاب شده تأثیر می‌گذارد (Demesouka et al., 2016). دانه بندی و نفوذپذیری خاک نقش مهمی در انتخاب محل دفن زباله دارد. خاک‌های با نفوذپذیری بالا مانند سازندهای کارستی و خاک‌های ماسه‌ای به عنوان مکان‌های نامطلوب و خاک‌های با نفوذپذیری پایین مانند خاک‌های رسی و شیل‌ها به عنوان مکان بهینه برای دفن زباله در نظر گرفته می‌شوند (Kontos et al., 2005). خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش بر اساس پیشنهاد خسروی و اشجعی (Khosravi and Ashjaei, 2018) به انواع خاک‌های Alfisols، Mollisols، Inceptisols، Rock outcrops/Inceptisols، Coastal sands، Rock outcrops/Entisols تقسیم شده‌اند که خاک‌های Alfisols امتیاز ۰، خاک‌های Molisols امتیاز ۱، خاک‌های Coastal sands امتیاز ۲، خاک‌های Inceptisols امتیاز ۳، خاک‌های Rock outcrops/Entisols و خاک‌های Rock outcrops/Inceptisols امتیاز ۵ را گرفتند. نتایج زون‌بندی بر اساس معیارهای ذکر شده در شکل ۳-h ارائه شده است.

فاصله از گسل‌های اصلی: هیچ خطر لرزه‌ای قابل‌توجهی نباید در منطقه محل دفن وجود داشته باشد چرا که منجر به تخریب زهکش‌ها، تراس‌ها و دیگر سازه‌های عمرانی و یا نیاز به اقدامات پرهزینه مهندسی می‌شود. همچنین هیچ‌گونه خطوط گسل و یا ساختار زمین‌شناسی دارای شکستگی‌ای که اجازه حرکت غیرقابل‌پیش‌بینی گاز یا شیرابه را می‌دهد نباید در فاصله کمتر از ۰/۵ کیلومتر از محل دفن زباله وجود داشته باشد (Rushbrook and Pugh, 1999). طبق تعریف آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده United States Environmental Protection Agency (2010)، هیچ بخشی از محل دفن زباله، نباید در منطقه تأثیر لرزه‌ای قرار بگیرد، مگر این که برای مقاومت در برابر فشار مربوطه

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

طراحی شده باشد. گسل‌های اصلی منطقه بر اساس Cointreau S. (1996) طبقه‌بندی شده و حریم ۵۰۰ متری از گسل به عنوان منطقه ممنوعه در نظر گرفته شده است. طبقه‌بندی فاصله از گسل‌های اصلی در شکل ۳-i ارائه شده است.

معیار اجتماعی - اقتصادی

ملاحظات اقتصادی یکی از معیارهای مهم است که همواره نقش محوری را در شناسایی محل‌های دفن زباله ایفا می‌کند. در میان بسیاری از معیارها، فاصله از مرکز تولید پسماند به دلیل هزینه‌های انتقال زباله به محل، عامل تعیین‌کننده در انتخاب محل دفن زباله محسوب می‌شود (Gbanie et al., 2013). هزینه اولیه زمین یک عامل بسیار مهم برای تعیین محل دفن مناسب زباله است (Karasan et al., 2019).

مسیرهای دسترسی و راه‌های ارتباطی باید به‌گونه‌ای انتخاب گردند که توجیه اقتصادی داشته باشد. در خصوص معیارهای اجتماعی نیز باید مقبولیت عام موردتوجه قرار گیرد و از مکان‌هایی که با مخالفت شدید مواجه‌اند اجتناب نمود (Abdoli and Samiei Zafarghandi, 2010)

فاصله از مناطق شهری: مکان‌های دفن زباله باید از مناطق شهری دور باشد، ولی از طرفی زیاد بودن این فاصله باعث هزینه‌های حمل‌ونقل بالا می‌شود. در این پژوهش فاصله از مناطق شهری بر طبق استاندارد سازمان محیط‌زیست و امتیازدهی گردید. مناطق شهری به لایه پلیگونی تبدیل شده و تا فواصل ۲ کیلومتر به‌عنوان منطقه ممنوعه تعیین گردید و فواصل بیش از ۱۵ کیلومتر امتیاز ۱، ۲ تا ۵ کیلومتر امتیاز ۲، ۵ تا ۸ کیلومتر امتیاز ۳، ۸ تا ۱۰ کیلومتر امتیاز ۴ و ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر اختصاص داده شد (شکل ۳-j).

فاصله از جاده: دور بودن مکان دفن از جاده‌ها باعث هزینه‌های اضافی برای ساخت‌وساز مسیر دسترسی است (Guiqin et al., 2009). کاهش فاصله انتقال و کاهش فاصله از جاده سایت، هزینه‌های ساخت و عملیاتی لندفیل را به حداقل می‌رساند (McNally, 2003). محل دفن زباله باید جهت تسهیل در حمل‌ونقل و کاهش هزینه‌های نسبی، به شبکه راه‌ها نزدیک باشد (Donevska et al, 2012; Lin & Kao, 1999; Nas et al., 2009).

طبق ماده ۱۷ اصلاح راه‌ها و راه‌آهن، ساخت و ساز و تأسیسات تا شعاع ۱۰۰ متری از انتهای حریم قانونی راه‌ها بدون مجوز وزارت راه و ترابری ممنوع است. بنابراین تا حریم ۱۰۰ متر برای دفن زباله مناسب نیست (Guiqin et al., 2009). با توجه به عرض راه‌های اصلی و فرعی و حریم ممنوعه برای ساخت‌وساز مناسب‌ترین فواصل به ترتیب ۱۵۰ و ۱۲۰ متر (شکل ۳- k، l) می‌باشد. راه‌ها پس از تصحیح در گوگل ارث، وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS شد. برای راه‌های اصلی، طبق پیشنهاد گینکین و همکاران (Guiqin et al. 2009) و قانون ماده ۱۷ اصلاح راه‌ها و راه‌آهن، حداقل فاصله ۱۰۰ متر به عنوان منطقه ممنوعه، و فاصله ۱۵۰ متری طبق استانداردهای محیطی تحت عنوان بسیار مناسب در نظر گرفته شد (Elkhrachy, 2023). همچنین برای راه‌های فرعی نیز تا حریم ۱۰۰ متری به عنوان منطقه

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

ممنوعه و تا فاصله ۱۲۰ متری با توجه به عرض جاده‌های فرعی به عنوان مناسب‌ترین فاصله برای دفن زباله اختصاص داده شد.

فاصله از فرودگاه: حضور پرنده‌ها یک خطر واقعی برای هواپیما است، زیرا پرندگان به خصوص توسط زباله‌های ارگانیک جذب می‌شوند. بنابراین محل‌های دفن زباله باید در فاصله مناسبی از فرودگاه قرار گیرند (Sener et al., 2004). طبق طبقه‌بندی British Columbia Ministry of Environment (2016) فاصله فرودگاه از محل دفن زباله به دلیل جلوگیری از جذب پرندگان، باید حداقل ۸ کیلومتر باشد. برای ایمنی یک منطقه حائل ۳ کیلومتری در اطراف فرودگاه‌ها در نظر گرفته شده است (Guiqin et al., 2009).

حداقل فاصله ۳ کیلومتری از فرودگاه طبق پیشنهادهای Guiqin et al. (2009) و United States Environmental Protection Agency (2010) تعیین گردید. در این تحقیق طبقه‌بندی فاصله از فرودگاه در شکل ۳ـm ارائه شده است. براساس این طبقه‌بندی فاصله ۰ تا ۳ کیلومتر امتیاز ۰، از ۳ تا ۴ کیلومتر امتیاز ۱، از ۴ تا ۵ کیلومتر امتیاز ۲، از ۵ تا ۶ کیلومتر امتیاز ۳، از ۶ تا ۷ کیلومتر امتیاز ۴، و بیشتر از ۷ کیلومتر بالاترین امتیاز را کسب می‌کنند.

شرایط زیست‌محیطی

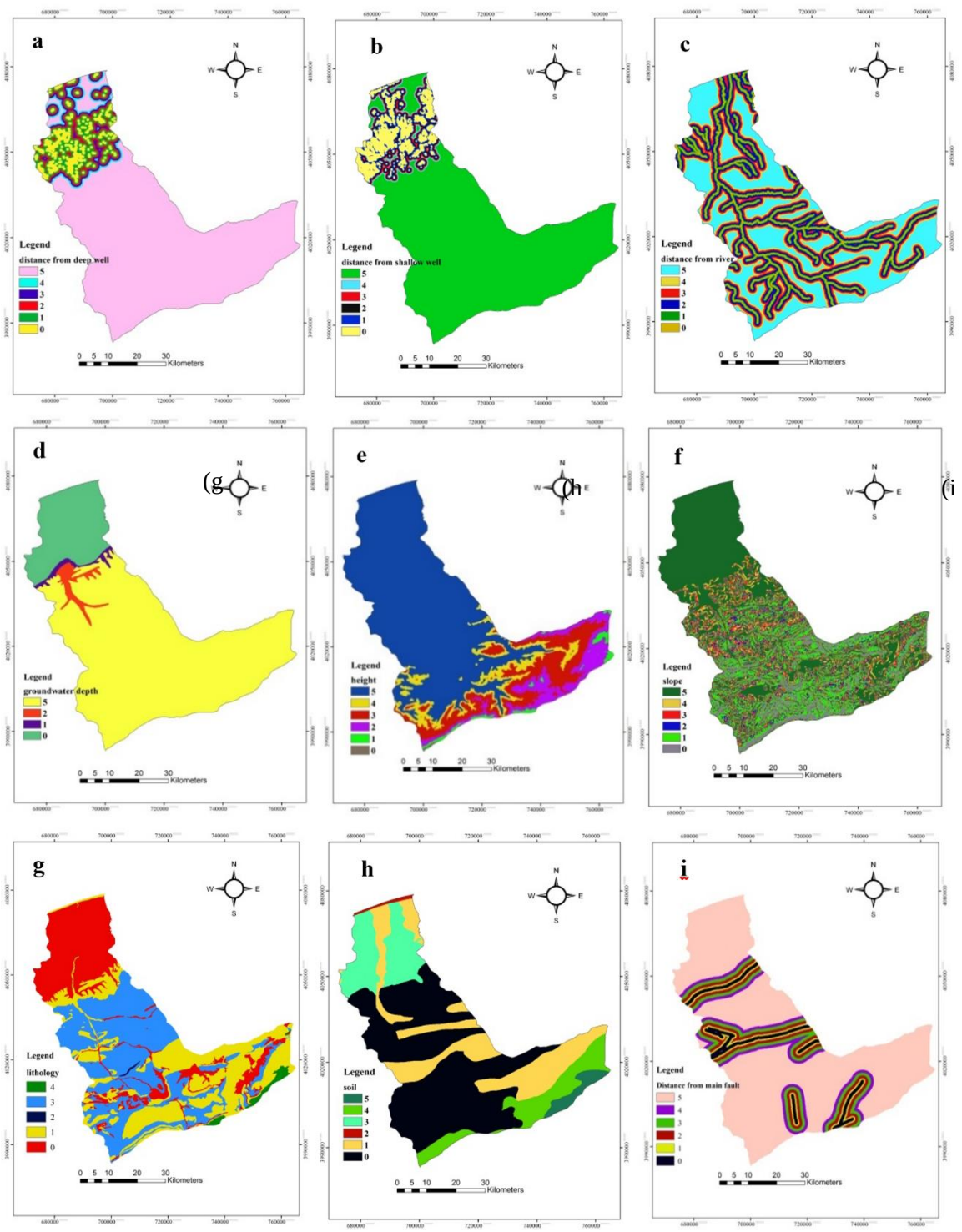
طبق راهنمای احداث محل دفن در سیستم بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، لندفیل نباید در مراکز پر جمعیت باشد. همچنین نباید عمل دفن با کاربری دیگری در تضاد باشد و از احداث محل دفن در زیستگاه‌های منحصربه‌فرد حیات‌وحش اجتناب شود.

کاربری زمین: این معیار بر اساس محدودیت‌های قانونی نیست و متناسب با حوزهٔ در حال مطالعه، متفاوت است (Kontos et al., 2005). باتوجه به وسعت زیاد زمین‌های کشاورزی و جنگل‌ها در منطقه موردمطالعه، مناطق شهری به‌عنوان مناطق ممنوعه امتیاز ۰ و مراتع امتیاز ۵، زمین‌های کشاورزی دیم امتیاز ۴، جنگل‌های تخریب شده امتیاز ۳، تپه‌های ماسه‌ای امتیاز ۲ و زمین‌های کشاورزی و جنگل امتیاز ۱ (شکل ۳) در نظرگرفته شد.

مناطق حفاظت شده: طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، محل دفن باید دور از جنگل‌ها قرار گیرد و در این مکان‌ها توصیه نمی‌شود. پارک‌های ملی، مناطق حفاظت شده محیط‌زیست برای دفن زباله مناسب نیستند (Sener, 2004). بر طبق این پیشنهادها به مناطق حفاظت شده امتیاز ۰ و مناطق غیر حفاظتی امتیاز ۵ (شکل ۳ـ o) اختصاص داده شده است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]



شکل ۳ـ نقشه‌های وزن‌دهی شده. a) فاصله از چاه شرب و عمیق. b) فاصله از چاه غیرشرب و کم‌عمق. c) فاصله از رودخانه. d) عمق آب زیرزمینی. e) ارتفاع. f) شیب. g) سنگ‌شناسی. h) نوع خاک. i) فاصله از گسل اصلی. j) فاصله از مناطق شهری. k) فاصله از راه اصلی. l) فاصله از راه فرعی. m) فاصله از فرودگاه. n) کاربری اراضی. o) فاصله از مناطق حفاظت شده محیط‌زیستی

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

Fig. 3. Weighted maps. a) Distance from drinkable and deep wells. b) Distance from Non-drinkable and shallow wells. c) Distance from the river. d) Groundwater depth. e) Altitude. f) Slope. g) Lithology. h) Soil type. i) Distance from major faults. j) Distance from urban areas. k) Distance from main roads. l) Distance from minor roads. m) Distance from airport. n) Landuse. o) Distance from environmental protected areas

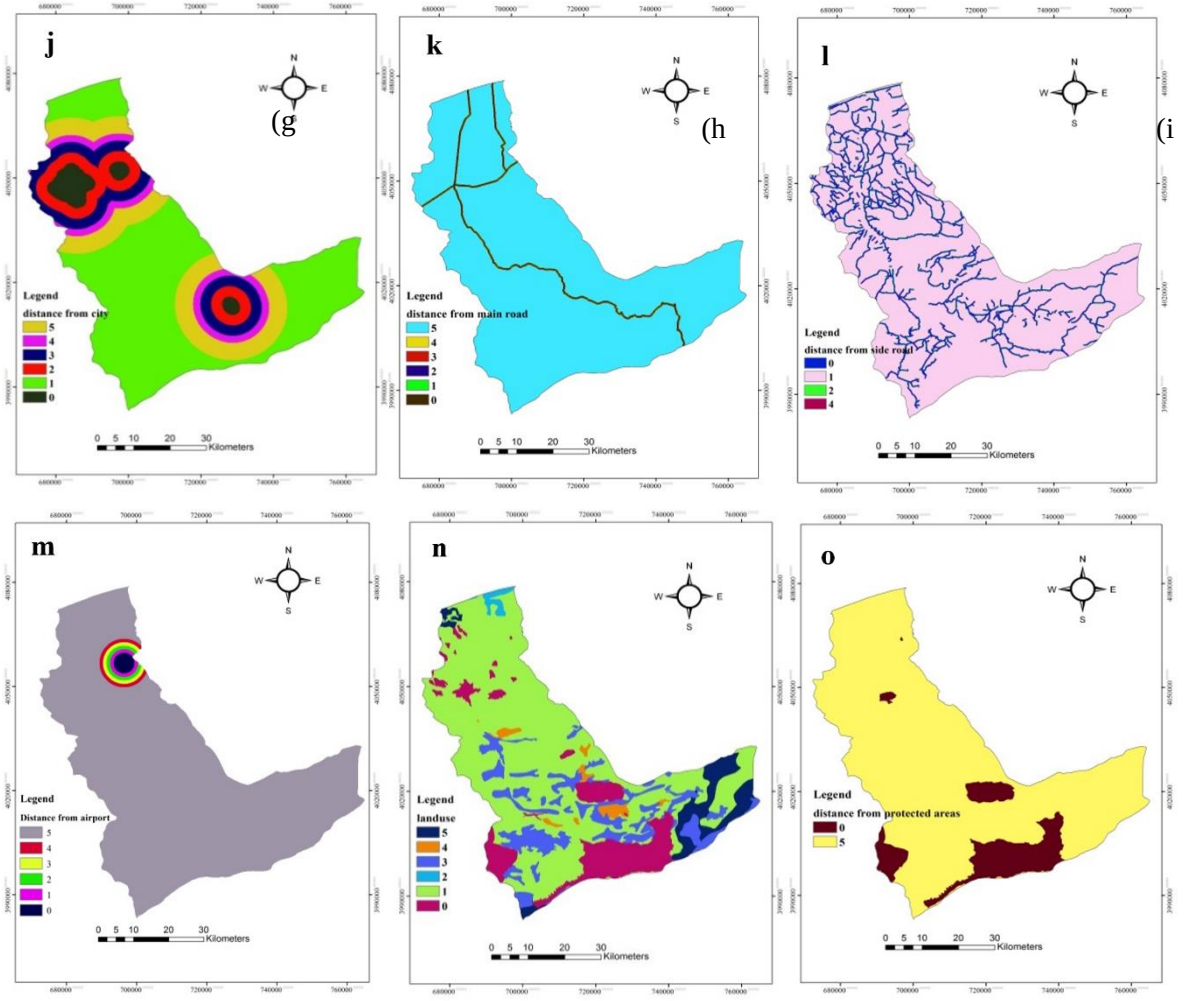


Fig. 3. Continued

شکل ۳ـ ادامه

تعیین مساحت موردنیاز برای دفن

به‌منظور یافتن مکان مناسب برای دفن زباله شهر ساری نخست باید مساحت محدودهٔ موردنیاز محاسبه شود. برای تعیین مساحت ابتدا نرخ رشد جمعیت باتوجه‌به جمعیت در سال ۹۰ معادل ۲۹۶۴۱۷ نفر و در سال ۹۵ معادل ۳۰۹۸۲۰ نفر، ۰/۸ درصد محاسبه شد. سپس با توجه به نرخ رشد، جمعیت در سال ۹۶ معادل ۳۱۲۲۹۸ نفر تخمین زده شد. سرانه تولید روزانه زباله و چگالی آن براساس اطلاعات به‌دست آمده از سازمان مدیریت پسماند ساری ۰/۹۲ کیلوگرم و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. بنابراین سرانه تولید روزانه و سالانه جمعیت سال ۹۶ معادل ۲۸۷۳۱۴/۶ و ۱۰۴۸۶۹۸۳۶/۳ کیلوگرم می‌باشد. با استفاده از رابطه ۳، حجم زباله تولیدی در سال ۹۶،

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

۳۹۳۲۶۱/۲۵ مترمکعب و با استفاده از رابطه ۴، حجم زباله تولیدی در ۲۰ سال آینده معادل ۸۴۹۰۵۱۰/۳۸ مترمکعب خواهد بود. اگر ارتفاع محل دفن ۴ متر در نظر گرفته شود، مساحت مورد نیاز معادل ۲۱۲ هکتار خواهد بود.

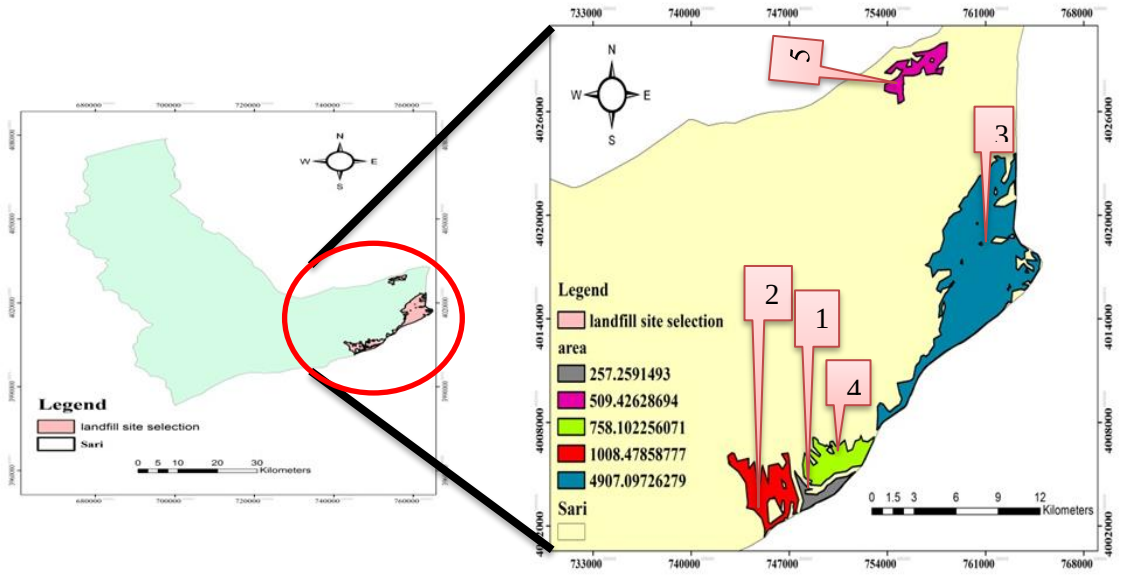
معرفی سایت‌های مناسب

باتوجه‌به آنچه گفته شد، مناطقی با امتیاز ۵ و مساحت بیشتر از ۲۱۲ هکتار به عنوان بهترین مکان برای دفن پسماند هستند که شامل ۵ منطقه در جنوب شرقی شهرستان ساری است. با میانگین‌گیری از امتیازها، اولویت‌بندی آن‌ها در جدول ۳ و شکل ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۳- اولویت‌بندی مناطق انتخاب شده جهت دفن پسماند

Table 3. Prioritization of selected locations for waste disposal

Sites	Score (average)	Area (hectares)	Geographic location
Site 1	4.251	257	36°08′N, 53° 45′ E
Site 2	4.245	1008	36°09′N, 53° 43′ E
Site 3	4.236	4907	36°15′N, 53° 53′ E
Site 4	4.189	758	36°09′N, 53° 46′ E
Site 5	4.152	509	36°22′N, 53° 51′ E



شکل ۴- موقعیت مکان‌های مناسب دفن پسماند شهرستان ساری

Fig. 4. The location of suitable landfill sites for Sari city

نتیجه‌گیری

با توجه به مساحت مناسب به‌دست‌آمده برای دفن پسماند تا ۲۰ سال آینده و حذف مناطق ممنوعه، ۵ منطقه مناسب برای دفن پسماند به دست آمد و از میانگین‌گیری از بین ۵ منطقه انتخاب شده، مناطق اولویت‌بندی شدند. این مناطق در منتهی‌الیه شرق و جنوب شرقی شهرستان واقع شده‌اند. منطقه ۱، بالاترین میانگین امتیاز را کسب نموده و در جنوب شرقی شهرستان ساری قرار دارد. اگرچه این منطقه دارای ویژگی‌های مناسبی هست اما از نظر ارتفاع

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

نامناسب است. همچنین از نظر ارتفاع و تراکم گسل فرعی در محدوده نسبتاً مناسب قرار دارد. منطقه ۲ نیز با وجود داشتن ویژگی‌های مناسبی همچون دسترسی به جاده‌های اصلی و فرعی، بخش‌هایی از منطقه دارای ویژگی‌های نامناسبی چون شیب بیش از ۴۰ درصد، تراکم بالای گسل‌های فرعی و لیتولوژی نامناسب است. منطقه ۳ دارای برخی ویژگی‌ها مانند شیب و کاربری اراضی مناسب اما از نظر خاک‌شناسی و دسترسی به جاده‌های اصلی و فرعی نامناسب است. از طرفی، منطقه ۴ از نظر سنگ‌شناسی، قرار گرفتن در حریم نامناسب چشمه و تراکم بالای گسل‌های فرعی و ارتفاع زیاد امتیاز پایینی می‌گیرد. منطقه ۵ با داشتن کمترین میانگین امتیاز، در محدوده نامناسب از نظر دسترسی راه اصلی و فرعی، خاک‌شناسی و سنگ‌شناسی قرار دارد. اولویت‌بندی مناطق انتخاب شده جهت دفن پسماند در جدول ۳ و شکل ۴ نمایش داده شده است.

قدردانی

این پژوهش تحت حمایت و مساعدت دانشگاه دامغان انجام شده که شایسته قدردانی است.

References

Abdoli M., Samiei Zafarghandi R., 2010. Landfill site selection criteria. The 6th National Congress on Civil Engineering, Semnan, Iran. (in Persian)

Başak, S., 2004. Landfill site selection by using geographic information systems. A thesis submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Turkey.

Bottero, M, Ferretti, V., 2011. An Analytic Network Process based approach for location problems: the case of a waste incinerator plant in the Province of Torino (Italy). Journal of Multicriteria Decision Analysis 17, 63–84.

British Columbia Ministry of Environment, 2016. Guide to Solid Waste Management Planning. Retrieved from https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/waste-management/garbage/swmp.pdf

Chung, S.H., Lee, A. H. I., Pearn, W. L., 2005. Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator. International Journal of Production Economics, 96, 15-36.

Cointreau S., 1996. Sanitary Landfill Design and Siting Criteria, Urban Infrastructure Note, Guidance published by World Bank, updated November 2004.

Demesouka, O.E., Vavatsikos, A.P., Anagnostopoulos, K. P., 2013. Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. Waste Management, 33(5), 1190–1206.

Demesouka, O.E., Vavatsikos, A.P., Anagnostopoulos, K.P., 2016. Using MACBETH Multicriteria Technique for GIS Based Landfill Suitability Analysis. Environmental Engineering, 142(10), 1-11.

Doerhoefer, G., Siebert, H., 1998. Search for landfill sites – requirements and implementation in Lower Saxony, Germany. Environmental Geology, 35(1), 55-65.

Donevska, K.R., Gorsevski, P.V., Jovanovski, M., Peshevski G., 2012. Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems. Environmental Earth Sciences, 67(1), 121-131, 10.1007/s12665-011-1485-y

Elkhrachy, I., Alhamami A., Alyami, S.H., 2023. Landfill Site Selection Using Multi-Criteria Decision Analysis, Remote Sensing Data, and Geographic Information System Tools in Najran City, Saudi Arabia. Remote Sensing

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

15(15), 3754. https://doi.org/10.3390/rs15153754.

Fazelnejad, N., Mirzaei, R., Heidary Soreshjani, R. 2017. Application of electre model in locating of municipal solid waste landfill (case study: the city of Khorramabad). Iranian Journal of Research in Environmental Health. 3(1), 56-66. (in Persian).

Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., Kabba, V.T.S., 2013. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. Applied Geography, 36, 3-12.

Gemitzi, A., Tsihrintzis, V.A., Voudrias, E., Petalas, C., Stravodimos, G., 2007. "Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills", Environmental Geology, 51, 797- 811.

Geneletti, D., 2010. Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites. Waste Manage, 30(2), 328–337.

Guiqin, W., Li, Q., Guoxue, L., Lijun, C., 2009. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China, Environmental Management, 90, 2414–2421.

Kahraman, C., 2008. Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Springer Optimization and Its Applications with recent developments, Electronice Book, New York, Springer, 591 p.

Karasan, A., Ilbahar, E., Kahraman, C., 2019. A novel pythagorean fuzzy ahp and its application to landfill site selection problem. Soft Computing, 23, 1–16, 10953–10968. DOI: 10.1007/s00500-018-3649-0.

Khosravi, Y., Ashjaei, H. 2018. Investigation of location for Qazvin municipal waste landfill using AHP method in ArcGIS software. Human and Environment, 15(4), 63-51. (in Persian)

Kontos, T. D., Komilis, D. P., Halvadakis, C.P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. Waste Management 25, 818–832.

Krizek, K. J., Power, J., 1996, A Planner's Guide to Sustainable Development, American Planning Association (APA).

Lin, H., Kao, J.J., 1999. "Enhanced spatial model for landfill siting analysis". Journal of Environmental Engineering, 125(9), 845-851.

Liu H.C., You, J.X., Fan X.J., Chen, Y.Z., 2014. Site selection in waste management by the VIKOR method using linguistic assessment. Applied Soft Computing, 21, 453–461.

Madadi, A., Azadi Mobaraki, M., Babaee Aghdam, F., 2013. Modeling the Appropriate Location for Landfilling Using AHP, Fuzzy Logic, Weight Overlay Index and Boolean Logic Methods (Case Study: Ardebil City). Geography and Planning, 17(45), 235-254. (in Persian).

Malczewski, J., 1999. GIS and multicriteria decision analysis, Wiley and Sons, 392 p.

Mcbean, E.A., Rovers, F.A., Farquhar, G.J., 1995. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall PTR, New Jersey, USA.

McNally, L., 2003. Protection of Water Resources in Landfill Siting in Vietnam, A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Engineering Graduate Department of Civil Engineering University of Toronto 16.

Nas, B., Cay, T., Iscan, F., Berktay, A., 2009. Selection of MSW Landfill Site for Konya, Turkey Using GIS and Multi-Criteria Evaluation. Environmental Monitoring and Assessment, 160, 491-500.

Nicholls, R.J., Beaven, R.P., Stringfellow, A., Monfort, D., Le Cozannet, G., Wahl, T., Gebert. J., Wadey, M., Arns, A., Spencer, K.L., Reinhart, D., Heimovaara, T., Santos, V.M., Enríquez, A.R., Cope, S., 2021. Coastal Landfills and Rising Sea Levels: A Challenge for the 21st Century. Frontiers in Marine Science, 8, 710342. doi: 10.3389/fmars.2021.710342

Pourahmad, A., Habibi, K., Mohammad Zahraei, S., Nazari Adli, S., 2007. Site selection for urban facility in Babolsar using GIS& fuzzy logic. Environmental Studies, 33(42), 31–42.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]

Rushbrook, P., Pugh, M., 1999. Solid Waste Landfill in Middle and Lower Income Countries, A Technical Guide to Planning, Design and Operation, Word Bank Technical Paper, NO. 426.

Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, 84 p.

Saaty, T.L., 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 48(1), 9-26.

Saaty, T.L., 1996. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, RWS Publications, Pittsburgh.

Sener, B., 2004. Landfill site selection by using geographic information system METU, Master's Dissertation, Middle East Technical University.

Sener, B., Suzen, M.L., Doyuran, V., 2006. Landfill site selection by using geographic information systems. Environmental geology 49(3), 376- 388.

Sener, S., Sener, E., Nas, B., Karagüzel, R., 2010. Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). Waste management, 30(11), 2037-2046.

Sharifi, M., Hadidi, M., Vessali, E., Mosstafakhani, P., Taheri, K., Shahoie, S., Khodamoradpour, M., 2009. Integrating multi-criteria decision analysis for a GIS-based hazardous waste landfill sitting in Kurdistan Province, Western Iran. Waste Management, 29(10), 2740–2758.

Srivastava, A.K., Nema, A.K., 2012. Fuzzy parametric programming model for multi-objective integrated solid waste man- agement under uncertainty. Expert Systems With Applications, 39(5), 4657–4678.

Truitt, M., Liebnman, J., Kruse, C., 1969. Simulation model of urban refuse collection. Journal of the Sanitary Engineering Division, 82–98, 289–298.

United States Environmental Protection Agency, 2010. 40 CFR Part 258: Criteria for Municipal Solid Waste Landfills. Retrieved from https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?

World Bank, 1999. Solid Waste Landfills in Middle and Lower-income Countries. A Technical Guide to Planning Design and Operation By Philip Rushbrook & Michael Pugh: Washington DC, USA: The International Bank for Reconstruction and Development. World Bank Technical Paper No. 426 (ISBN-8213-4457-9), 248 p.

Yesilnacar, M.I., Cetin, H., 2005. Site selection for hazardous wastes: A case study from the GAP area, Turkey. Engineering Geology, 81, 371–388.

Zamorano, M., Molero, E., Hurtado, A., Grindlay, A., Ramos, A., 2008. Evaluation of a Municipal Landfill Site in Southern Spain with GIS-Aided Methodology. Journal of Hazardous Materials, 160(2-3), 473–481. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.03.02.

Zebardast, E., 2010. The Application of Analytic Network Process (ANP) In Urban And Regional Planning, HONAR-HA-YE-ZIBA-MEMARI-VA-SHAHRSAZI, No.41, 79-90. (in Persian).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.22034/KJES.2024.9.2.107071]