ASPI | Afarand Scholarly Publishing Institute; Turkey
ISSN: 2538-4384; Geographical Researches. 2025;40(4):339-346 10.58209/geores.40.4.339

Optimal Site Selection of Natural Gas Fuel Supply Stations in Mahabad City

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Lak A.R.[1] *BSc*
Meihami F.[2]* *BSc*

How to cite this article
Lak AR, Meihami F. Optimal Site Selection of Natural Gas Fuel Supply Stations in Mahabad City. Geographical Researches. 2025;40(4):339-346.

[1]Department of Industrial Engineering, School of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
[2]Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

***Correspondence**
Address: Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Pasdaran Boulevard, Sanandaj, Kurdistan, Iran. Postal Code: 66177-1517
Phone: +98 (87) 33664600-8
fatemeh.meihami97@gmail.com

Article History
Received: October 28, 2025
Accepted: December 7, 2025
ePublished: December 18, 2025

ABSTRACT

Aims The balanced distribution of urban services and infrastructure is one of the prerequisites for efficient urban management. In recent years, the proper siting of CNG fueling stations has gained increasing importance due to their role in enhancing transportation safety and efficiency and reducing environmental hazards. The present study aims to identify suitable zones for the establishment of Compressed Natural Gas stations within the city.

Methodology This study was an applied-descriptive study conductred in 2024 in Mahabad. In this study, Geographic Information System was used to prepare layers related to criteria affecting site selection, including topography, land use, soil type, distance from roads, faults, fire stations, and rivers. Subsequently, pairwise comparisons of the criteria were conducted using the Analytical Hierarchy Process, and the weight of each criterion was calculated using Expert Choice software. Weighted layers were then integrated within the GIS environment to produce the final site suitability map.

Findings The distance from urban roads and distance from fire stations had the highest importance in locating Compressed Natural Gas stations in Mahabad city, while criteria such as elevation, distance from green spaces, and rivers had the least impact. The final spatial suitability map indicated that about 60% of the urban area has moderate to high suitability. Moreover, matching the existing stations with the suitability map showed that all four active Compressed Natural Gas stations in Mahabad city were located in suitable and highly suitable zones.

Conclusion Mahabad city has a good capacity for the development of Compressed Natural Gas stations.

Keywords Compressed Natural Gas Station; Site Selection; Geographic Information System; West Azerbaijan; Mahabad

CITATION LINKS

[Abdi *et al.*, 2013] Allocation of CNG stations in urban street networks based on GIS approach and prioritization with AHP and Topsis methods (case study: Rasht city); [Akbari & Kavian, 2017] Land suitability analysis for physical urban expansion of Sabzevar City using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP); [Alavi *et al.*, 2016] Location CNG fuel stations by using fusion techniques of fuzzy operators and gis spatial analysis, case study: Mashhad District 7; [Aleisa *et al.*, 2014] A metaheuristic approach for location of gas stations in a metropolitan area; [Amini *et al.*, 2019] Analysis and evaluation of optimal directions of spatial-physical development of Mahabad city; [Arabameri, 2014] Application of the analytic hierarchy process (AHP) for locating fire stations: Case study Maku City; [Bahadori *et al.*, 2017] Optimal site selection for temporary housing after earthquakes (case study: Mahabad city); [Chinese *et al.*, 2014] A service station location model to explore prospects and policies for alternative transport fuels: A case of CNG distribution in Italy; [Ghamrawi & Maoh, 2024] Modeling the feasibility of fueling CNG heavy-duty trucks in Toronto, Canada; [Hosseinzadeh *et al.*, 2018] Optimum location of fuel stations (CNG) using fuzzy and AHP (case study: Zanjan); [Kar & Hodgson, 2008] A GIS-based model to determine site suitability of emergency evacuation shelters; [Mahmood *et al.*, 2015] Optimal spatial distribution of gasoline stations in Baghdad province utilizing GIS techniques; [Modiri *et al.*, 2016] Spatial organizing and distribution of gas stations following urban passive defense approach (case study: Gas stations of Mashhad Metropolis); [Mohammadi *et al.*, 2016] Spatial analysis and site selection fueling stations in Kazeroon; [Mohammadi & Rezaei, 2012] Spatial analysis and site selection of CNG Fuel station in Shiraz city; [Mohammed *et al.*, 2014] GIS-based analysis of the location of filling stations in metropolitan Kano against the physical planning standards; [Nasirihendekhaleh *et al.*, 2020] Spatial analysis and optimization of urban fuel planning (CNG), case study of west regions of Tehran; [Nowbakht & Mostafavi, 2011] Optimized location of gas stations using mathematical programming and geographic information systems (GIS), case study of city of Mashhad; [Salmani Moghadam *et al.*, 2018] Optimal location of natural gas refueling stations using geographic information system and AHP model (case study: District 4 of Tehran); [Shabani & Dashti, 2024] Site selection of optimum positions of CNG fuel supply using analytical hierarchy process and geographic information system in line with sustainable urban development policy (case study: Ahvaz City); [Wang *et al.*, 2016] A multicriteria approach for the optimal location of gasoline stations being transformed as self-service in Taiwan;

Copyright© 2025, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های عرضه سوخت گاز طبیعی شهرستان مهاباد

امیررضا لک BSc
گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم، پردیس دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
فاطمه میهمی* BSc
گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

چکیده

اهداف: توزیع متعادل خدمات و زیرساخت‌های شهری یکی از الزامات مدیریت کارآمد فضاهای شهری است. در سال‌های اخیر، مکان‌یابی صحیح جایگاه‌های عرضه سوخت گاز طبیعی فشرده به دلیل نقش آنها در ارتقای ایمنی، کارآیی حمل و نقل و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، اهمیت بیشتری یافته است. هدف پژوهش حاضر، شناسایی پهنه‌های مناسب برای احداث جایگاه‌های عرضه سوخت گاز طبیعی فشرده در محدوده شهر مهاباد است.

روش‌شناسی: پژوهش حاضر از نوع کاربردی-توصیفی بوده و در سال ۱۴۰۳ در شهر مهاباد انجام شد. در این پژوهش ابتدا با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، لایه‌های مرتبط با معیارهای موثر در مکان‌یابی شامل توپوگرافی، کاربری زمین، نوع خاک، فاصله از معابر، گسل‌ها، مراکز آتش‌نشانی و رودخانه تهیه شد. سپس با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، مقایسات زوجی معیارها انجام شد و وزن هر یک با به‌کارگیری نرم‌افزار Expert Choice (ورژن ۱۱) محاسبه گردید. در ادامه، لایه‌های وزن‌دهی‌شده در محیط GIS تلفیق و نقشه نهایی مطلوبیت مکانی تولید شد.

یافته‌ها: فاصله از معابر شهری و فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی بیشترین اهمیت را در مکان‌یابی جایگاه‌های CNG شهر مهاباد داشتند، در حالی که معیارهایی نظیر ارتفاع، فاصله از فضای سبز و رودخانه کمترین تاثیر را داشتند. نقشه نهایی مطلوبیت مکانی نشان داد که در مجموع حدود ۶۰٪ از محدوده شهری دارای توان مناسب تا کاملاً مناسب است. همچنین تطبیق جایگاه‌های موجود با نقشه مطلوبیت مکانی نشان داد که هر چهار جایگاه فعال CNG شهر مهاباد در پهنه‌های مناسب و کاملاً مناسب قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: شهر مهاباد ظرفیت مناسبی برای توسعه جایگاه‌های CNG دارد.

کلیدواژگان: جایگاه سوخت گاز طبیعی فشرده، مکان‌یابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، آذربایجان غربی، مهاباد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۶

*نویسنده مسئول: fatemeh.meihami97@gmail.com

مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد سریع شهرنشینی، تمرکز جمعیت در شهرها و گسترش وابستگی سامانه‌های حمل و نقل به انرژی فسیلی، مدیریت زیرساخت‌های عرضه سوخت را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های برنامه‌ریزی شهری تبدیل کرده است. توسعه ناموزن خدمات شهری، به‌ویژه کاربری‌های حساس مانند جایگاه‌های عرضه سوخت، می‌تواند موجب تشدید مشکلاتی نظیر تراکم ترافیک، کاهش دسترسی عادلانه و افزایش ریسک‌های ایمنی و زیست‌محیطی شود [Nasirihendekhaleh *et al.*, 2020]. از این رو، تعیین مکان بهینه چنین کاربری‌هایی به عنوان بخشی حیاتی از مدیریت شهری پایدار و کارآمد شناخته می‌شود.

بررسی مکان‌یابی علمی خدمات شهری در مطالعات متعدد نشان داده‌اند که مکان‌یابی صحیح خدمات شهری، از جمله ایستگاه‌های سوخت، نقشی کلیدی در ارتقای کارآیی شبکه حمل و نقل، حمایت از عدالت فضایی و بهبود کیفیت زندگی دارد [Salmani Moghadam *et al.*, 2018]. مکان‌یابی مناسب این کاربری‌ها باید بر مبنای معیارهای فنّی، کالبدی، زیست‌محیطی، ایمنی و کارکردی انجام گیرد، زیرا عدم توجه به این اصول می‌تواند موجب افزایش هزینه‌های زمانی و اقتصادی، شکل‌گیری گره‌های ترافیکی، کاهش امنیت و غیریکنواختی دسترسی شود [Abdi *et al.*, 2013]. مساله در مقیاس منطقه‌ای و ارتباط آن با شهرهای متوسط ایران، از جمله شهر مهاباد است چرا که این شهرها طی سال‌های اخیر با رشد جمعیت، توسعه فضایی و افزایش تقاضای حمل و نقل مواجه بوده‌اند. مهاباد به دلیل موقعیت جغرافیایی و نقش ارتباطی در جنوب آذربایجان غربی، با بار بالایی از سفرهای درون‌شهری و برون‌شهری روبه‌رو است. این وضعیت، لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای مکان‌یابی خدمات حیاتی مانند جایگاه‌های عرضه سوخت را دوچندان می‌کند؛ زیرا توزیع نامناسب این کاربری‌ها می‌تواند به اختلال در جریان حمل و نقل، افزایش نابرابری فضایی و مخاطرات ایمنی منجر شود [Akbari & Kavian, 2017].

مطالعه مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت در ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که مکان‌یابی جایگاه‌های عرضه سوخت (به‌ویژه CNG) در جهان و ایران مورد توجه گسترده محققان قرار گرفته است. پژوهش‌های رویکردهای شبکه‌ای و مدل‌های پوشش، بهینه‌سازی را برای مکان‌یابی این نوع کاربری‌ها مطرح کرده‌اند [Aleisa *et al.*, 2014; Kar & Hodgson, 2008; Wang *et al.*, 2016]. در ایران نیز مطالعاتی در مشهد، زنجان، تهران، اهواز به بررسی وضعیت توزیع و بهینه‌سازی مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت پرداخته‌اند [Abdi *et al.*, 2013; Alavi *et al.*, 2016; Hosseinzadeh *et al.*, 2018; Modiri *et al.*, 2016; Nasirihendekhaleh *et al.*, 2020; Salmani Moghadam *et al.*, 2018; Shabani & Dashti, 2024]. به عنوان نمونه در سطح ملّی، *سلمانی مقدم* و همکاران با استفاده از AHP در منطقه ۴ تهران نشان داده‌اند که تراکم جمعیت، معابر، شیب و کاربری‌های ناسازگار مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در مکان‌یابی جایگاه CNG بوده‌اند [Salmani Moghadam *et al.*, 2018]. همچنین *نصیری* و همکاران با به‌کارگیری GIS-AHP در مناطق غرب تهران دریافته‌اند که تنها ۲۹٪ جایگاه‌های موجود در مناطق مناسب قرار دارند و بخش قابل توجهی در نواحی با پتانسیل متوسط یا نامناسب واقع شده‌اند [Nasirihendekhaleh *et al.*, 2020]. *عبدی* و همکاران نیز با تحلیل GIS در شهر رشت نشان دادند که عدم وجود طرح کارشناسی، موجب کمبود یا تراکم بیش از حد جایگاه‌ها در برخی نواحی شده است [Abdi *et al.*, 2013].

اگرچه پژوهش‌های متعددی در سطح کشور انجام شده، اما اغلب آنها بر کلانشهرها تمرکز داشته‌اند و مطالعات اندکی به شهرهای متوسط با ویژگی‌های کالبدی و جمعیتی کوچک، مانند مهاباد اختصاص یافته است. ویژگی‌هایی نظیر توپوگرافی خاص، الگوی توسعه خطی-شعاعی شهر، تقسیمات محله‌ای متراکم و نقش پایانه‌های حمل و نقل در مهاباد، ضرورت انجام مطالعه‌ای اختصاصی برای شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های مکان‌یابی جایگاه‌های عرضه سوخت را برجسته می‌کند. از این رو، بررسی علمی مکان‌یابی جایگاه‌های عرضه سوخت در این شهر، بر پایه معیارهای فنّی (دسترسی، تراکم جمعیت، معابر، شیب، کاربری‌ها و ایمنی) می‌تواند به تصمیم‌سازی دقیق مدیریت شهری کمک کند.

هدف پژوهش حاضر، مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های عرضه سوخت CNG در شهر مهاباد، با بهره‌گیری از محیط GIS و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP-MCE) است.

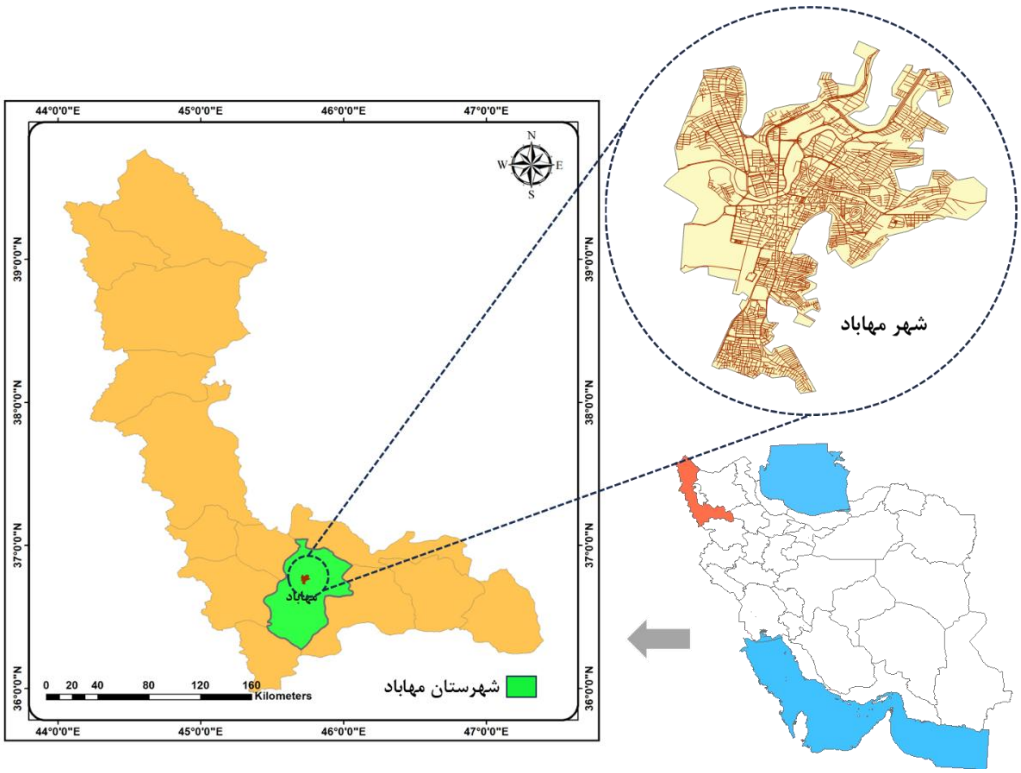
روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع کاربردی-توصیفی بوده و در سال ۱۴۰۳ در شهر مهاباد انجام شد.

منطقه مورد مطالعه

شهر مهاباد به عنوان مرکز شهرستان مهاباد، یکی از مهم‌ترین شهرهای کردنشین استان آذربایجان غربی است که در جنوب این استان و در مختصات جغرافیایی حدود '۴۵°۴۳ طول شرقی و '۳۶°۴۶ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). این شهر در دامنه رشته‌کوه‌های لندشیخان و در حاشیه شرقی رودخانه مهاباد شکل گرفته و به واسطه قرارگیری در نقطه اتصال سه استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان از موقعیت ارتباطی، خدماتی و راهبردی ویژه‌ای برخوردار است [Amini *et al.*, 2019]. مهاباد دارای اقلیم کوهستانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل بوده و گذر رودخانه مهاباد از مرکز شهر علاوه بر ایجاد چشم‌اندازهای طبیعی، نقش مهمی در سامان‌دهی کالبدی و فعالیت‌های شهری دارد. وجود سد مهاباد در شمال شهر نیز ضمن تامین بخش مهمی از آب شرب، بر توسعه فضایی و کشاورزی دشت‌های پیرامونی تاثیرگذار است. براساس نتایج سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر مهاباد ۱۶۸,۳۹۳ نفر و جمعیت شهرستان مهاباد ۲۳۶,۸۴۹ نفر گزارش شده است که مهاباد را به یکی از شهرهای پرجمعیت و اثرگذار جنوب استان تبدیل می‌کند. موقعیت جغرافیایی ممتاز، تمرکز خدمات شهری و نقش منطقه‌ای، این شهر را به یکی از قطب‌های تجاری، ارتباطی و خدماتی شمال غرب کشور بدل کرده است [Bahadori *et al.*, 2017].

در این پژوهش، روند انجام کار براساس یک فرآیند نظام‌مند شامل جمع‌آوری داده‌ها، پردازش اطلاعات، وزن‌دهی معیارها و تلفیق لایه‌ها برای تولید نقشه نهایی مناسب‌سازی انجام شده است. ابتدا داده‌های مورد نیاز از منابع میدانی و مطالعات اسنادی گردآوری و در محیط GIS آماده‌سازی شد. سپس لایه‌های کاربری زمین، عوامل طبیعی و معیارهای مرتبط با مکان‌یابی جایگاه‌های CNG استخراج، رستری‌سازی و در قالب یک بانک اطلاعاتی مکانی سازمان‌دهی گردید. در ادامه با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، وزن معیارها تعیین و پس از استانداردسازی و تلفیق لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی مطلوبیت مکانی تولید شد.



شکل ۱) منطقه مورد مطالعه

تهیه پایگاه داده مکانی

پایگاه داده‌های مکانی یکی از الزامات اساسی در تحلیل، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری فضایی محسوب می‌شود. در این پژوهش، به منظور تشکیل پایگاه داده مورد نیاز برای مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های عرضه سوخت CNG در شهر مهاباد، لایه‌های رقومی مرتبط از جمله توپوگرافی، کاربری اراضی، شبکه معابر، لایه گسل‌ها، لایه رودخانه‌ها و محدوده‌های خدماتی مراکز آتش‌نشانی از طریق سازمان نقشه‌برداری کشور، اداره گاز، شهرداری مهاباد و سایر منابع رسمی گردآوری شد. بخشی از داده‌ها نیز از مطالعات اسنادی، داده‌های کتابخانه‌ای و تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آمد. پس از گردآوری داده‌ها، فرآیندهایی مانند رقومی‌سازی، تصحیح هندسی، یکسان‌سازی سیستم مختصات، یکسان‌سازی ابعاد سلول‌ها و برش محدوده مطالعه انجام گرفت تا لایه‌ها برای اجرای مدل در محیط GIS آماده شوند. معیارهای مورد استفاده شامل دو مجموعه محدودیت‌ها (Constraints) و فاکتورها (Factors) بودند و مقیاس پایه تمامی لایه‌ها ۱:۲۵۰۰۰ در نظر گرفته شد. در تحلیل فاکتورها، معیارهای مختلفی با زیرمعیارهای مشخص مورد ارزیابی قرار گرفتند که منابع اصلی آنها براساس پژوهش‌های پیشین انتخاب شدند. این معیارها در سه دسته کلی فیزیکی، فنّی و عملیاتی و محیط زیستی دسته‌بندی شدند. معیارهای فیزیکی شامل ارتفاع، شیب، سازند زمین‌شناسی و نوع خاک بودند. معیارهای فنّی و عملیاتی که جنبه‌های دسترسی و زیرساختی را پوشش می‌دادند، عبارتند از فاصله از مراکز اداری و تجاری، فاصله از گسل، فاصله از معابر، فاصله از ایستگاه‌های CNG موجود و فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی و همچنین نوع کاربری/پوشش اراضی. در نهایت، معیارهای محیط زیستی شامل فاصله از پارک و فضای سبز و فاصله از رودخانه هستند.

استانداردسازی (Fuzzy) معیارها

به دلیل متفاوت‌بودن واحدهای اندازه‌گیری در معیارهای انتخابی، استانداردسازی لایه‌ها پیش از تلفیق ضروری است. در این پژوهش از توابع عضویت فازی برای تبدیل معیارها به مقیاس پیوسته مطلوبیت استفاده شد. انتخاب نوع تابع عضویت برای هر معیار براساس ماهیت آن و میزان مطلوبیت فاصله یا مقدار آن در مکان‌یابی جایگاه‌های CNG تعیین گردید. فاکتورها به مقیاس فازی ۰ تا ۱ استاندارد شدند و محدودیت‌ها نیز در قالب دو طبقه مطلوب (۱) و نامطلوب (۰) تعریف گردید [Hosseinzadeh *et al.*, 2018].

وزن‌دهی معیارها با روش AHP

برای تعیین اهمیت نسبی هر معیار، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در نرم‌افزار Expert choice (ورژن ۱۱) استفاده شد. در ابتدا براساس دانش کارشناسان حوزه ایمنی، ترافیک، شهرسازی و محیط زیست، معیارهای موثر تعیین و سپس با انجام مقایسات زوجی، وزن هر معیار محاسبه گردید. مقیاس ساعتی (۱ تا ۹) برای امتیازدهی اهمیت‌ها به کار رفت؛ به گونه‌ای که عدد ۱ بیانگر اهمیت برابر دو معیار و عدد ۹ بیانگر اهمیت بسیار زیاد یک معیار نسبت به دیگری است. در نهایت، سازگاری ماتریس مقایسات زوجی بررسی و وزن نهایی معیارها استخراج شد [Akbari & Kavian, 2017].

مدل‌سازی ارزیابی چندمعیاره (MCE)

در مرحله تلفیق لایه‌ها، از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده شد که رایج‌ترین مدل در تحلیل‌های چندمعیاره مکانی است. در این روش، ابتدا هر معیار در وزن متناظر خود ضرب شد و سپس نتایج با اعمال لایه‌های محدودیت ترکیب گردید. رابطه کلی مدل به صورت زیر است:

$$S = \sum(W_i \times X_i \times C_i)$$ رابطه ۱)

که در آن، S میزان مطلوبیت، Wi وزن معیار و Xi مقدار استانداردشده معیار و Ci محدودیت‌ها را نشان می‌دهد. خروجی نهایی این مرحله نقشه مطلوبیت مکانی برای احداث جایگاه‌های CNG است که پهنه‌های مختلف را براساس درجه تناسب نشان می‌دهد [Mohammadi & Rezaei, 2012; Salmani Moghadam *et al.*, 2018].

یافته‌ها

فازی‌سازی معیارها

فازی‌سازی معیارها انجام شد و تصاویر خروجی فازی‌سازی‌شده تهیه شد (شکل ۲).

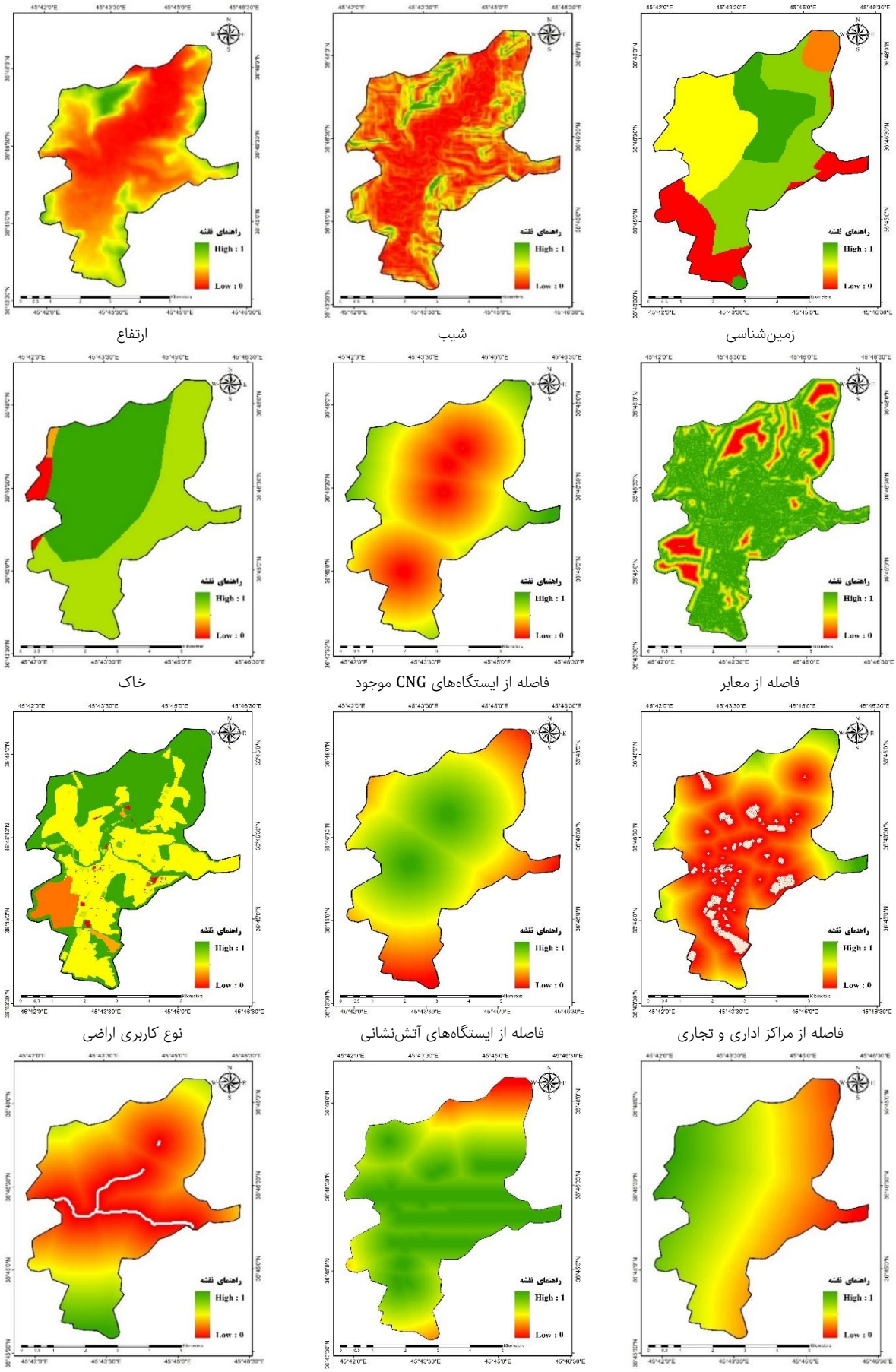
وزن‌دهی معیارها

به منظور ارزیابی با استفاده از روش WLC ابتدا وزن هر یک از معیارها براساس نظر کارشناسی تعیین شد، سپس وزن هر یک از معیارها به روش AHP در نرم‌افزار Arcmap 10.3 تعیین شد (شکل ۳). در نهایت نتیجه نرخ ناسازگاری‌ها (CR) مقایسه‌های زوجی مقدار ۰/۰۷ به‌دست آمد که قابل قبول و مطلوب است.

بر این اساس، فاصله از معابر (۰/۰۲) بیشترین اهمیت را در مکان‌یابی جایگاه CNG به خود اختصاص داد. پس از آن، فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی (۰/۱۶) و نوع کاربری اراضی (۰/۱۳) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در مقابل، معیارهای فاصله از پارک و فضای سبز (۰/۰۳) و ارتفاع (۰/۰۲) کمترین وزن را کسب کردند. این ترتیب وزن‌ها نشان می‌دهد که در مکان‌یابی ایستگاه‌های CNG، دسترسی، ایمنی و کاربری زمین سه ستون اصلی تعیین‌کننده مکان بهینه محسوب می‌شوند.

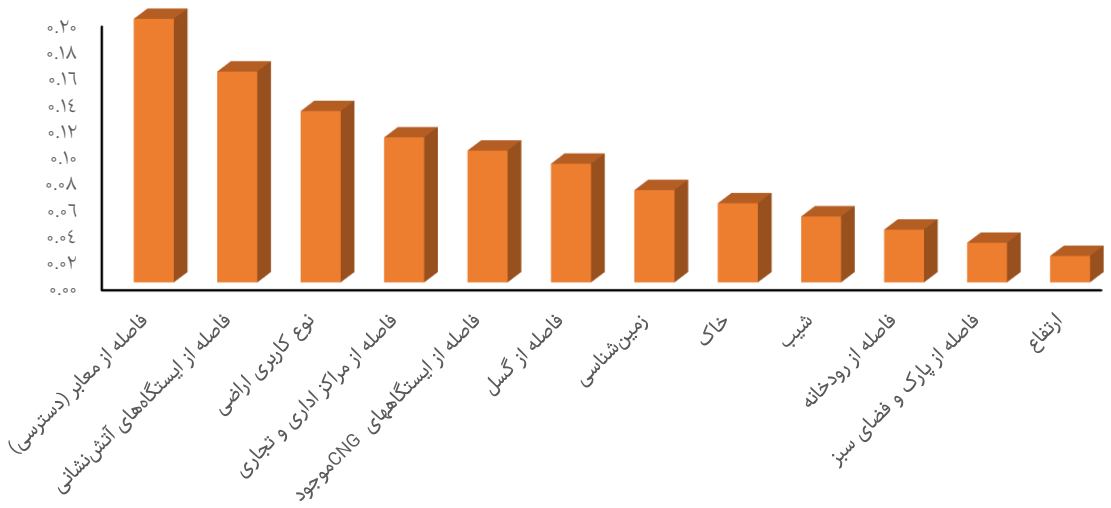
نقشه نهایی مکان‌یابی جایگاه عرضه سوخت CNG

در نهایت پس از وزن‌دهی لایه‌های موثر براساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) از قابلیت‌های نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور تلفیق و همپوشانی نقشه‌های استاندارد وزن‌دهی استفاده شد. نقشه و مکان‌های مناسب برای احداث جایگاه سوخت CNG تهیه گردید. نقشه خروجی نهایی پهنه‌بندی‌شده به منظور مکان‌یابی جایگاه CNG با استفاده از روش WLC به صورت درجاتی از مطلوبیت از ۰ تا ۱ تهیه شد (شکل ٤). مناطق دارای بیشترین پتانسیل برای ایجاد جایگاه سوخت CNG با رنگ سبز مشخص شد.

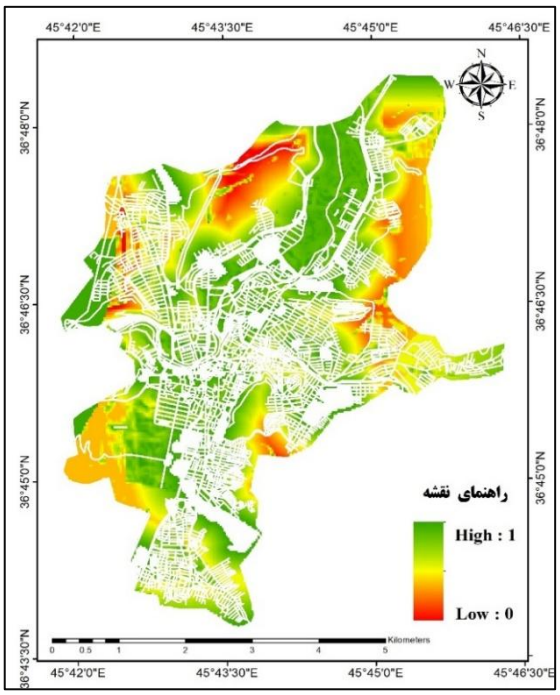


زمین‌شناسی
شیب
ارتفاع
فاصله از معابر
فاصله از ایستگاه‌های CNG موجود
خاک
فاصله از مراکز اداری و تجاری
فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی
نوع کاربری اراضی
فاصله از گسل
فاصله از پارک و فضای سبز
فاصله از رودخانه

شکل ۲) تصاویر خروجی فازی معیارهای مورد نظر در پژوهش

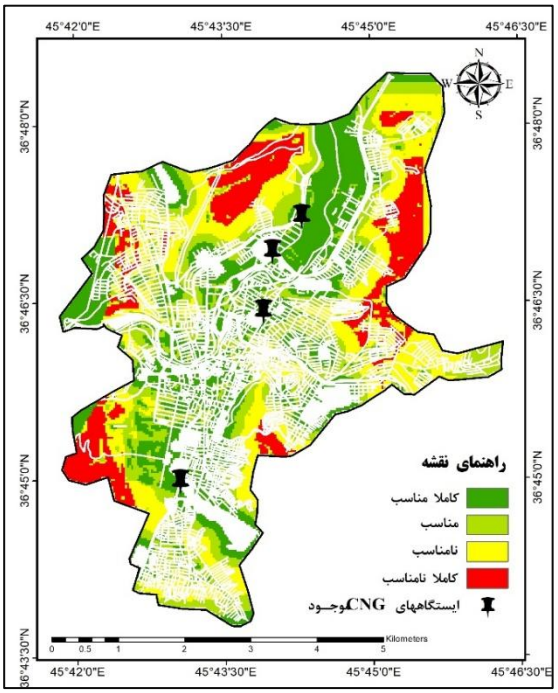


شکل ۳) وزن تعیین‌شده برای هر معیار از طریق روش AHP



شکل ۴) نقشه نهایی مکان‌یابی جایگاه عرضه سوخت CNG

نقشه به‌دست‌آمده در این پژوهش در چهار طبقه کاملاً نامناسب، نامناسب، مناسب و کاملاً مناسب طبقه‌بندی شد (شکل ۵). براساس نتایج، بیشترین سهم از سطح شهر مهاباد به طبقه کاملاً مناسب اختصاص گرفت که با مساحت ۸۸۵ هکتار معادل ۳۳/۳٪ از کل محدوده شهری بود. پس از آن، طبقه مناسب با ۷۱۶ هکتار و ۲۷٪ در رتبه دوم قرار گرفت. در مقابل، پهنه‌های نامناسب و کاملاً نامناسب به‌ترتیب با مساحت ۷۰۲ هکتار (۲۶/٤٪) و ۳۵۷/۷ هکتار (۱۳/٤٥٪) بخش قابل توجهی از سطح شهر را شامل شدند که بیانگر وجود محدودیت‌های مکانی، ایمنی و ناسازگاری‌های کاربری در این نواحی است. به طور کلی، نتایج نشان داد که حدود ٦۰٪ از محدوده شهر مهاباد دارای توان مناسب تا کاملاً مناسب برای استقرار جایگاه‌های CNG بود. همچنین، با تلفیق نقشه نهایی مطلوبیت مکانی با لایه جایگاه‌های موجود، مشخص شد که هر چهار جایگاه فعال CNG شهر مهاباد در پهنه‌های مناسب و کاملاً مناسب قرار گرفتند که این موضوع حاکی از انطباق نسبی مکان‌یابی فعلی با معیارهای علمی و مکانی مورد استفاده در این پژوهش است.



شکل ۵) نقشه طبقه‌بندی‌شده مکان‌یابی جایگاه عرضه سوخت CNG

بحث

هدف پژوهش حاضر، مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های عرضه سوخت CNG در شهر مهاباد بود. مکان‌یابی بهینه زیرساخت‌های سوخت‌رسانی شهری، به‌ویژه جایگاه‌های گاز طبیعی فشرده (CNG)، به عنوان یکی از ارکان اساسی مدیریت پایدار حمل و نقل شهری، مستلزم اتخاذ رویکردی یکپارچه و مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره است. ماهیت چندبُعدی این مساله، که همزمان ابعاد

فنّی، ایمنی، زیست‌محیطی، کالبدی و اجتماعی را دربر می‌گیرد، موجب شده است که در دهه‌های اخیر استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به عنوان ابزارهای کارآمد در پژوهش‌های مکان‌یابی مورد توجه گسترده قرار گیرد [Kar & Hodgson, 2008; Wang *et al.*, 2016]. پژوهش حاضر نیز با تکیه بر این رویکرد تلفیقی، تلاش کرده است الگوی مکانی بهینه‌ای برای استقرار جایگاه‌های CNG در شهر مهاباد ارایه دهد. یافته‌های به‌دست‌آمده نشان داد که حدود ٦٠٪ از محدوده شهر مهاباد در پهنه‌های «مناسب» و «کاملاً مناسب» برای احداث جایگاه‌های CNG قرار دارد. این نتیجه بیانگر آن است که اگرچه بخش قابل توجهی از شهر دارای توان مکانی مطلوب برای توسعه زیرساخت‌های سوخت پاک است، اما همزمان محدودیت‌های فضایی، ایمنی و کاربری نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش سطح پهنه‌های بسیار مناسب ایفا کرده‌اند. نتایج مشابهی در مطالعات انجام‌شده در شهرهای شیراز، رشت، زنجان، اهواز و مناطق غربی تهران مشاهده شده است؛ به طوری که در این پژوهش‌ها نیز سهم پهنه‌های مناسب معمولاً بین ٥٥٪ تا ٧٠٪ از سطح شهر گزارش شده است [Abdi *et al.*, 2013; Mohammadi & Rezaei, 2012; Nasirihendekhaleh *et al.*, 2020; Shabani & Dashti, 2024].

کاهش سهم پهنه‌های «کاملاً مناسب» در نتایج جدید (٢٧/٣٣٪) نسبت به برخی مطالعات مشابه را می‌توان ناشی از اعمال همزمان و سخت‌گیرانه‌تر معیارهای ایمنی، فاصله از گسل‌ها، رودخانه‌ها و کاربری‌های حساس دانست. این موضوع نشان می‌دهد که ساختار کالبدی شهر مهاباد، اگرچه از نظر دسترسی و شبکه معابر وضعیت نسبتاً مطلوبی دارد، اما در برخی نواحی به دلیل تداخل کاربری‌ها و محدودیت‌های طبیعی، امکان استقرار ایمن جایگاه‌های CNG را کاهش می‌دهد. یافته‌های پژوهش *علوی* و همکاران در مشهد و *سلمانی مقدم* و همکاران در تهران نیز تایید می‌کند که با افزایش تعداد معیارهای محدودکننده، سهم پهنه‌های کاملاً مناسب کاهش یافته و دقت مکانی مدل افزایش می‌یابد [Alavi *et al.*, 2016; Salmani Moghadam *et al.*, 2018].

تحلیل وزن معیارها در پژوهش حاضر نشان داد که فاصله از معابر شهری بیشترین اهمیت را در مکان‌یابی جایگاه‌های CNG به خود اختصاص داده است. این نتیجه با ادبیات موضوع همخوانی کامل دارد؛ چرا که دسترسی مناسب به شبکه معابر، ضمن افزایش کارآیی عملکردی جایگاه‌ها، موجب کاهش زمان سفر، جلوگیری از ایجاد گره‌های ترافیکی و افزایش رضایت کاربران می‌شود [Aleisa *et al.*, 2014; Mahmood *et al.*, 2015; Mohammed *et al.*, 2014]. همچنین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی ارایه‌شده توسط *نوبخت* و *مصطفوی* نشان می‌دهد که معیار دسترسی در مقیاس شهری، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در بهینه‌سازی مکان ایستگاه‌های سوخت است [Nowbakht & Mostafavi, 2011]. پس از معیار دسترسی، فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی به عنوان دومین عامل موثر شناسایی شد که بیانگر اهمیت بالای ملاحظات ایمنی در مکان‌یابی جایگاه‌های CNG بود. این یافته با نتایج پژوهش *عرب‌عامری* در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و *مدیری* و همکاران در تحلیل جایگاه‌های سوخت با رویکرد پدافند غیرعامل همراستا بوده و نشان می‌دهد که نزدیکی به مراکز امدادی می‌تواند نقش مهمی در کاهش ریسک‌های بالقوه و افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری ایفا کند [Arabameri, 2014; Modiri *et al.*, 2016]. در مطالعات بین‌المللی نیز ایمنی به عنوان یکی از مولفه‌های اصلی سیاست‌گذاری مکانی جایگاه‌های سوخت جایگزین مورد تاکید قرار گرفته است [Chinese *et al.*, 2014].

اهمیت نسبتاً بالای معیار کاربری اراضی و فاصله از مراکز اداری-تجاری در این پژوهش نشان داد که مکان‌یابی جایگاه‌های CNG در مهاباد باید همزمان پاسخ‌گوی تقاضای عملکردی شهر و الزامات اجتماعی و زیست‌محیطی باشد. این یافته با نتایج *غمروی* و *مواه* [Ghamrawi & Maoh, 2024] همخوانی دارد که تاکید می‌کنند هم‌جواری مناسب با مراکز فعالیت شهری می‌تواند بهره‌وری شبکه سوخت‌رسانی را افزایش داده و استفاده از سوخت‌های پاک را تسهیل کند.

در مقابل، معیارهای طبیعی نظیر شیب، ارتفاع، نوع خاک و فاصله از رودخانه‌ها وزن کمتری در فرآیند تصمیم‌گیری به خود اختصاص دادند. این موضوع نشان می‌دهد که در مقیاس شهر مهاباد، عوامل انسان‌ساخت نسبت به محدودیت‌های طبیعی نقش پررنگ‌تری در مکان‌یابی جایگاه‌های CNG ایفا می‌کنند؛ نتیجه‌ای که با پژوهش‌های *اکبری* و *کاویان* و *امینی* و همکاران [Akbari & Kavian, 2017; Amini *et al.*, 2019] در زمینه توسعه فضایی شهرهای متوسط ایران همراستا است. با این حال، حضور این معیارها در مدل، بیانگر رویکرد جامع پژوهش نسبت به ملاحظات زیست‌محیطی و ایمنی است.

از سوی دیگر، تطبیق مکانی چهار جایگاه فعال CNG شهر مهاباد با پهنه‌های «مناسب» و «کاملاً مناسب» نشان داد که الگوی استقرار فعلی، هرچند مبتنی بر رویکردی تجربی بوده، تا حد قابل قبولی با منطق مکانی سازگار است. نتایج مشابهی در مطالعات *محمدی* و همکاران و *نصیری‌هنده‌خاله* و همکاران گزارش شده است که بیان می‌کند بسیاری از مکان‌یابی‌های موجود به طور ناخودآگاه در پهنه‌های دارای توان بالاتر انجام شده‌اند؛ با این تفاوت که استفاده از مدل‌های GIS-MCE می‌تواند این فرآیند را نظام‌مند، شفاف و قابل دفاع‌تر سازد [Mohammadi *et al.*, 2016; Nasirihendekhaleh *et al.*, 2020].

در مجموع، مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهد که به‌کارگیری تلفیقی GIS، AHP و ارزیابی چندمعیاره، رویکردی معتبر و کارآمد برای مکان‌یابی جایگاه‌های CNG در شهرهای متوسط ایران است. با توجه به ویژگی‌های جمعیتی، موقعیت منطقه‌ای و نقش خدماتی شهر مهاباد، نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری مدیران شهری در راستای توسعه زیرساخت‌های سوخت پاک، کاهش مخاطرات

زیست‌محیطی و ارتقای ایمنی و کارآیی سیستم حمل و نقل شهری مورد استفاده قرار گیرد؛ موضوعی که در ادبیات نوین برنامه‌ریزی شهری و انرژی به طور گسترده مورد تاکید قرار گرفته است.

از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به کمبود داده‌های به‌روز و دقیق شهری، وابستگی نتایج به قضاوت خبرگان در تعیین وزن معیارها و عدم لحاظ برخی شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی و ترافیکی اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

فاصله از معابر شهری و فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی بیشترین اهمیت را در مکان‌یابی جایگاه‌های CNG شهر مهاباد دارند، در حالی که معیارهای ارتفاع و فاصله از فضای سبز و رودخانه کمترین تاثیر را دارند. در مجموع حدود ٦٠٪ از محدوده شهری دارای توان مناسب تا کاملاً مناسب است.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مقاله از همکاری مدیران شهرداری مهاباد، جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز، کمال سپاس و قدردانی را دارند.

تاییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: این مقاله حاصل یک پژوهش مستقل نویسندگان است و از پایان‌نامه یا رساله استخراج نشده است.

سهم نویسندگان: امیررضا لک (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (٧٥٪)؛ فاطمه میهمی (نویسنده دوم)، روش‌شناس/نگارنده مقدمه (٢٥٪)

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- Abdi A, Alavi MPN, Mobasheri H (2013). Allocation of CNG stations in urban street networks based on GIS approach and prioritization with AHP and Topsis methods (case study: Rasht city). Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 5(12):3262-3272.
- Akbari E, Kavian F (2017). Land suitability analysis for physical urban expansion of Sabzevar City using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). Geographical Planning of Space Quarterly Journal. 7(25):89-102. [Persian]
- Alavi SA, Moazezbarabadi M, Divsalar A, Jafari B (2016). Location CNG fuel stations by using fusion techniques of fuzzy operators and gis spatial analysis, case study: Mashhad District 7. Urban Ecology Researches. 7(13):9-18. [Persian]
- Aleisa E, Savsar M, Al-Mashaan MM, Al-Jadi A, Al-Sabah SA (2014). A metaheuristic approach for location of gas stations in a metropolitan area. International Journal of Operational Research. 21(2):172-200. [Persian]
- Amini J, Azizi M, Faramarziasl M (2019). Analysis and evaluation of optimal directions of spatial-physical development of Mahabad city. Journal of Geography and Planning. 22(66):45-66. [Persian]
- Arabameri A (2014). Application of the analytic hierarchy process (AHP) for locating fire stations: Case study Maku City. Merit Research Journal of Art, Social Science and Humanities. 2(1):1-10.
- Bahadori H, Hasheminezhad A, Borrani M, Karimi A (2017). Optimal site selection for temporary housing after earthquakes (case study: Mahabad city). Journal of Natural Environmental Hazards. 6(13):109-142. [Persian]
- Chinese D, Patrizio P, Bonotto M (2014). A service station location model to explore prospects and policies for alternative transport fuels: A case of CNG distribution in Italy. In: Computer-based modelling and optimization in transportation. Cham: Springer. p. 71-84.
- Ghamrawi A, Maoh H (2024). Modeling the feasibility of fueling CNG heavy-duty trucks in Toronto, Canada. Sydney: Findings Press.
- Hosseinzadeh A, Ahmadi M, Mofrad SM, Ghasemi M (2018). Optimum location of fuel stations (CNG) using fuzzy and AHP (case study: Zanjan). Journal of Geography and Environmental Studies. 6(24):7-20. [Persian]
- Kar B, Hodgson ME (2008). A GIS-based model to determine site suitability of emergency evacuation shelters. Transactions in GIS. 12(2):227-248.
- Mahmood FH, Shaban AH, Numan SA (2015). Optimal spatial distribution of gasoline stations in Baghdad province utilizing GIS techniques. Iraqi Journal of Science. 56(1C):853-865.
- Modiri M, Mohammad A, Moghaddam AR (2016). Spatial organizing and distribution of gas stations following urban passive defense approach (case study: Gas stations of Mashhad Metropolis). Urban and Rural Management. 15(44):39-52.
- Mohammadi J, Poorghayoomi H, Ghanbari M (2016). Spatial analysis and site selection fueling stations in Kazeroon. Journal of Research and Urban Planning. 7(1):105-120. [Persian]
- Mohammadi J, Rezaei M (2012). Spatial analysis and site selection of CNG Fuel station in Shiraz city. Spatial Planning. 1(4):111-132. [Persian]
- Mohammed M, Musa I, Jeb D (2014). GIS-based analysis of the location of filling stations in metropolitan Kano against the physical planning standards. American Journal of Engineering Research. 3(9):147-158.
- Nasirihendekhaleh ES, Golmehr E, Hashemi S (2020). Spatial analysis and optimization of urban fuel planning (CNG), case study of west regions of Tehran. Journal of Urban Ecology Researches. 11(22):47-60. [Persian]
- Nowbakht S, Mostafavi MA (2011). Optimized location of gas stations using mathematical programming and geographic information systems (GIS), case study of city of Mashhad. Journal of Transportation Engineering. 2(2):171-180. [Persian]
- Salmani Moghadam M, Khodabandehlo H, Yousefi F, Samadi M (2018). Optimal location of natural gas refueling stations using geographic information system and AHP model (case study: District 4 of Tehran). Geography and Human Relationships. 1(2):417-438. [Persian]
- Shabani P, Dashti S (2024). Site selection of optimum positions of CNG fuel supply using analytical hierarchy process and geographic information system in line with sustainable urban development policy (case study: Ahvaz City). Journal of Urban and Regional Policy. 3(9):21-34. [Persian]
- Wang SP, Lee HC, Hsieh YK (2016). A multicriteria approach for the optimal location of gasoline stations being transformed as self-service in Taiwan. Mathematical Problems in Engineering. (1):8341617.