https://gep.ui.ac.ir/?lang=en
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 34, Issue 4, No.92, Winter 2023, pp. 1- 4
Received: 08/11/2022 Accepted: 28/02/2023

Land Suitability Assessment for Construction of a Hospital: An Integrated Modeling Approach based on MCDM and GIS (A Case Study: The Second District of Tehran)

Iman Zandi [1], Parham Pahlavani [*2], Behnaz Bigdeli [3]

1- MA, Department of GIS, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
imanzandi.dgh@ut.ac.ir

2- Associate Professor, Department of GIS, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
pahlavani@ut.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Geomatics Engineering, School of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
bigdeli@shahroodut.ac.ir

Abstract

Determining the optimal location for the construction of the hospital will increase citizens' satisfaction with health services and increase their quality of life. The aim of the present study is to determine the optimal location for the construction of a hospital in the second district of ee aaasss rrrr iiiii ii Frr iii s ooooooo an ttt egaaddd ggggggggggg ggggggggdI S, SWAAAÚ weighting method, and COPRAS ranking method has been presented. SWARA and COPRAS multi-criteria decision-making methods are among the best methods and have received less attention in the field of determining the optimal location of the hospital in combination with the GIS. The results of the weighting method showed that the criteria of distance to existing hospitals and the geospatial distribution of PM2.5 particles are the most and least important

*Corresponding Author
Zandi, I., Pahlavani, P., & Bigdeli, B. (2023). Land Suitability Assessment for Construction of a Hospital: An Integrated modeling approach based on MCDM and GIS (A Case Study: The District 2nd of Tehran). *Geography and Environmental Planning*, 34 (4), 1 -4.

2252-0910 © University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

10.22108/GEP.2023.135663.1555 20.1001.1.20085362.1402.34.4.5.6

criteria in the decision-making process of the optimal location of the hospital, respectively. The results of geospatial modeling showed that the southwestern parts of the district have a very high potential for hospital construction and almost 48% of the region has the potential to build a hospital. In other words, there is no spatial justice for the citizens of half of the region in using the medical services of the hospitals. The results of ranking candidate sites showed that sites 5 and 6 were the most suitable places to build a new hospital in the second district. According to the research results, the weighting method used has the same accuracy as the fashionable weighting method of the analytic hierarchical process, despite the executive and computational complexity.

Keywords: Optimal Hospital Location Selection, Geospatial Modeling, SWARA, COPRAS, Geographic Information Systems (GIS).

Introduction

The construction of a hospital in a suitable and optimal place by decision-makers leads to the efficient allocation of health services and paves the way for the development of spatial justice and favorable access of all citizens to health services. Determining the optimal location of a hospital can be considered and analyzed in the form of a multi-criteria decision-making problem. Multi-criteria decision-making is one of the tools used in the difficult and complex decision-making process. Complex decision-making problems usually involve evaluating a large number of alternatives based on a large number of criteria, which may be conflicting or related. On the other hand, the process of determining the optimal location and modeling of susceptible areas is a spatial decision, and spatial analysis is an indispensable component. For this reason, problems such as determining the optimal location of a hospital are usually considered in the form of spatial multi-criteria decision-making and by combining multi-criteria decision-making and Geographic Information Systems (GIS). GIS has a critical role in solving such problems; therefore, the use of multi-criteria decision-making based on GIS is increasing. The purpose of the present study is to determine the optimal location of the hospital using efficient and modern methods.

The present study was conducted to determine the optimal location for the construction of a hospital in the second district of Tehran. The focus of the present study was on the application of new weighting and decision-making methods, and their combination with GIS for geospatial modeling and ranking of hospital locations. Previous research has focused mainly on weighting methods based on pairwise comparisons of experts as well as the method of the Analytic Hierarchical Process (AHP). However, despite the introduction of new methods that are accurate and have less computational and implementation complexity, they are less used in geospatial decision-making processes. Therefore, the present study proposed a hybrid methodology to determine the optimal location of the hospital. This methodology includes GIS (for spatial analysis, spatial modeling, display, and management of spatial information), the new Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) weighting method (to determine the weights of criteria based on prioritization by experts and the elimination of complexity and time-consuming process of pairwise comparisons and its calculations) and complex proportional assessment of alternatives (COPRAS) multi-criteria decision-making method (in order to rank candidate sites and provide a complete evaluation of the alternatives).

Materials and Methods

The present study was conducted to determine the optimal location for the construction of a new hospital in the second district of Tehran. In order to achieve this goal, in the present study, multi-criteria decision-making methods in combination with GIS have been used. In order to reduce computational complexity, increase the quality and accuracy of decision-making, and ease of implementation, a hybrid methodology including spatial information systems and multi-criteria decision-making is proposed. The high capability of GIS has been used for spatial analysis, spatial modeling, management, and display of decision criteria. In order to determine the criteria weights, the new SWARA method has been used. SWARA determines the criteria weights based on the prioritization of experts. Although the SWARA is in the category of subjective weighting methods, it does not use the pairwise comparison matrix and has been less used in spatial research. Finally, in order to rank the candidate sites, COPRAS has been used. The COPRAS is one of the most powerful and widely used multi-criteria decision-making methods that can simultaneously use criteria that should be minimized and maximized in accordance with the decision-making goal. This method also provides a comprehensive evaluation of the alternatives.

Research Findings

The results of the weighting method showed that the criterion of distance to the existing hospitals had the highest weight. This criterion was selected by all 50 experts as one of the important criteria for determining the optimal location of the hospital. Also, the criterion of the geospatial distribution of Fine particulate matter (PM2.5) has the lowest weight. The results of geospatial modeling showed that the southwestern parts of the study area have a very high potential for hospital construction and 47.75% of the study area has a relatively high, and high potential for hospital construction. In other words, 47.75% of the study area does not have proper access to the existing hospitals and there is no spatial justice for the citizens of these areas in using the medical services of hospitals. Considering the realities of the study area, the lack of hospitals, and the improper access of the citizens of the western and southwestern parts to the existing hospitals, the results of geospatial modeling are in line with the realities. The results of ranking candidate sites showed that sites No. 5 and 6 are the most suitable places to build a new hospital in the second district.

Discussion of Results and Conclusion

The present study, by providing an integrated methodology of geospatial modeling and ranking, has led to accurate decision-making and reduced computational and implementation complexities. Previous research has largely not followed an integrated approach to geospatial modeling and ranking. An integrated approach by identifying potential areas prevents inappropriate alternatives from entering the ranking process and consequently reduces time and cost. Previous research has mainly used the subjective weighting methods of the AHP to determine the optimal location of the hospital. In the process of AHP, increasing the number of criteria or alternatives increases the pairwise comparison matrixes and consequently increases the decision-making time and incompatibility of the pairwise comparison matrixes (decreases accuracy). However, this method does not take into account the internal

relationships between criteria and options. Regardless of the difficulty and complexity of real-world modeling with this method, repeating the pairwise comparison process if the incompatibility rate will high, adds to the problems of this method. New subjective weighting methods, such as the SWARA, are a good alternative to AHP. As can be deduced from the results of the present study, the outputs of geospatial modeling have been completely consistent with reality, and this is evidence of the high ability of the SWARA to be used in spatial decisions.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی
سال ۳٤، پیاپی ۹۲، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۸۸- ٦۹
وصـول: ۱٤۰۱/۸/۱۷ پـذیرش: ۱٤۰۱/۱۲/۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی تناسب زمین برای احداث کاربری بیمارستانی: رویکرد مدل‌سازی یکپارچه مبتنی بر تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۲ شهر تهران)

ایمان زندی، کارشناسی ارشد گروه مهندسی سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
imanzandi.dgh@ut.ac.ir
پرهام پهلوانی *، دانشیار گروه مهندسی سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
pahlavani@ut.ac.ir
بهناز بیگدلی، استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
bigdeli@shahroodut.ac.ir

چکیده

تعیین مکان بهینه برای احداث بیمارستان موجب افزایش رضایت شهروندان از خدمات بهداشتی و درمانی و کیفیت زندگی‌شان می‌شود. هدف پژوهش حاضر، تعیین مکان بهینه برای احداث بیمارستان در منطقهٔ ۲ کلان‌شهر تهران است که بدین منظور یک روش ترکیبی شامل سیستم اطلاعات جغرافیایی، وزن‌دهی سوارا و رتبه‌بندی کوپراس ارائه شده است. روش ارائه‌شده، مدل‌سازی مکانی و رتبه‌بندی بهینهٔ مکان احداث بیمارستان را به‌طور یکپارچه انجام داده است و موجب افزایش دقت، سهولت پیاده‌سازی و کاهش پیچیدگی‌های معمول می‌شود. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارهٔ سوارا و کوپراس جزو بهترین روش‌های تصمیم‌گیری هستند و در زمینهٔ تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان و در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی کمتر موردتوجه قرار گرفته‌اند. نتایج روش وزن‌دهی نشان‌دهندهٔ آن بود که معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود و توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$ به‌ترتیب مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیارها در فرایند تصمیم‌گیری تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان هستند. نتایج مدل‌سازی مکانی نشان‌دهندهٔ آن بود که قسمت‌های جنوب غربی منطقه از پتانسیل بسیار زیادی برای احداث بیمارستان برخوردارند و به‌طور تقریبی ٤۸ درصد از منطقه دارای پتانسیل احداث بیمارستان است. به‌عبارتی، عدالت فضایی برای شهروندان نیمی از منطقه در استفاده از خدمات درمانی بیمارستان‌ها برقرار نیست. نتایج رتبه‌بندی سایت‌های کاندید نشان‌دهندهٔ آن بود که دو سایت ۵ و ٦ مناسب‌ترین مکان برای احداث بیمارستان جدید در منطقهٔ ۲ بوده‌اند. براساس نتایج تحقیق، روش وزن‌دهی مورداستفاده با وجود پیچیدگی اجرایی و محاسباتی بسیار کمتر نسبت‌به روش وزن‌دهی رایج فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی دقتی مشابه دارد؛ همچنین رویکرد یکپارچهٔ مدل‌سازی مکانی و رتبه‌بندی نسبت‌به حالت‌های مستقل موجب افزایش دقت و سهولت تصمیم‌گیری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی بهینهٔ بیمارستان، مدل‌سازی مکانی، سوارا، کوپراس، سیستم اطلاعات جغرافیایی

---

*نویسنده مسؤول

زندی، ایمان، پهلوانی، پرهام، بیگدلی، بهناز. (۱٤۰۲). ارزیابی تناسب زمین جهت احداث کاربری بیمارستانی: رویکرد مدلسازی یکپارچه مبتنی بر تصمیم گیری چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه ۲ شهر تهران). *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳٤ (٤)، ۸۸- ٦۹ .

2252-0910 © University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

10.22108/GEP.2023.135663.1555 20.1001.1.20085362.1402.34.4.5.6

مقدمه

بیمارستان به مهم‌ترین مرکز برای درمان مسائل مرتبط با سلامت مردم و بهبود زندگی سالم و استاندارد تبدیل شده است (Halder et al., 2020). تعیین مکان مناسب برای احداث بیمارستان، تصمیمی بسیار مهم برای سازمان‌های بهداشتی و درمانی است. این تصمیم به‌منظور رسیدن به یک زیرساخت عمومی پایدار بسیار حیاتی است؛ زیرا بیمارستان‌ها حتی در شرایط اضطراری و وقوع حوادث و بحران‌ها باید خدمات بهداشتی و درمانی را ارائه کنند (Yılmaz & Atan, 2021). اگر کشوری دارای خدمات بهداشتی و درمانی توسعه‌یافته باشد، امید به زندگی شهروندان را افزایش داده است (Halder et al., 2020)؛ بنابراین احداث بیمارستان در مکان مناسب و بهینه از سوی تصمیم‌گیران موجب تخصیص کارآمد خدمات بهداشتی و درمانی شده و زمینه‌ساز توسعهٔ عدالت فضایی و دسترسی مطلوب تمامی شهروندان به خدمات بهداشتی و درمانی می‌شود. از دیدگاه شهروندان، ساخت بیمارستان در مکان مناسب موجب بهبود دسترسی به خدمات بهداشتی و درمانی، به حداقل رسیدن زمان دریافت خدمات اضطراری، افزایش رضایت شهروندان از خدمات و افزایش کیفیت زندگی شهروندان می‌شود (Almansi, et al., 2021). براساس تحقیقات پیشین (Dell'Ovo et al., 2018; Lin & Tsai, 2010; Vahidnia et al., 2009) تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان در قالب یک مسئلهٔ تصمیم گیری چند معیاره بررسی و تحلیل می‌شود. تصمیم‌گیری چند معیاره ازجمله ابزارهای مورداستفاده در فرایند تصمیم‌گیری‌های دشوار و پیچیده است. مسائل تصمیم‌گیری پیچیده به‌طور معمول شامل بررسی تعداد زیادی گزینه براساس تعداد زیادی معیار است که امکان دارد، با هم در تضاد یا ارتباط باشند. از طرفی، فرایند تعیین مکان بهینه و مدل‌سازی مناطق مستعد یک تصمیم‌گیری مکانی و تجزیه‌وتحلیل‌های فضایی جزء بسیار مهم و غیرقابل چشم‌پوشی آن است؛ به همین دلیل مسائلی همانند تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان اغلب در قالب تصمیم‌گیری چند معیارهٔ مکانی و با تلفیق تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی می‌شوند (Boyacı & Şişman, 2022). سیستم اطلاعات جغرافیایی در حل چنین مسائلی دارای نقشی کاربردی است و به همین دلیل استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی رو به افزایش است (Malczewski, 2006). در ادامه، تعدادی از تحقیقات پیشین انجام‌شده در زمینهٔ مکان‌یابی بیمارستان به‌اختصار تشریح شده است.

زندی و همکاران (۱٤۰۱) به‌منظور تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان در منطقهٔ ۵ کلان‌شهر تهران به تلفیق روش‌های وزن‌دهی عینی با روش تصمیم‌گیری چند معیارهٔ کوداس توجه کردند. در این پژوهش از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تجزیه‌وتحلیل فضایی و تهیهٔ لایهٔ مکانی معیارهای تصمیم‌گیری، از وزن‌دهی عینی کریتیک[1] و آنتروپی شانون[2] برای محاسبهٔ وزن عینی معیارها و از تصمیم‌گیری چند معیارهٔ کوداس[3] برای رتبه‌بندی سایت‌های کاندید استفاده شده است. زندی و همکاران (۱۳۹۹) برای تعیین مکان بهینهٔ احداث بیمارستان در تهران، از سیستم‌های اطلاعات مکانی به‌منظور تهیهٔ اطلاعات و از وزن‌دهی عینی کریتیک برای وزن‌دهی معیارهای تصمیم‌گیری استفاده کردند. درنهایت سایت‌های کاندید با استفاده از دو روش کوداس و ویکور رتبه‌بندی شدند. رتبه‌بندی انجام‌شده با روش کوداس در

1. Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC)
2. Shannon's entropy
3. Combinative Distance-based Assessment (CODAS)

مقایسه با روش ویکور به نتایج صحیح‌تری انجامید. نتایج پژوهش نشان‌دهندهٔ آن بود که تعیین وزن معیارهای مکان‌یابی بیمارستان با استفاده از روش وزن‌دهی عینی کریتیک به نتایج صحیح و منطبق بر واقعیات منطقه منجر شده است. امتحانی و همکاران (۱۳۹۹) برای مکان‌یابی بیمارستان در منطقهٔ ۱۰ شهر شیراز از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کرده‌اند. لایه‌های مکانی معیارها براساس وزن به‌دست‌آمده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با هم تلفیق شده و نقشهٔ تناسب اراضی برای احداث بیمارستان تهیه شده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۸)، روشی ترکیبی برای تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان در منطقهٔ ۱ کلان‌شهر تهران ارائه دادند. در این پژوهش وزن معیارهای مکان‌یابی از تلفیق نتایج دو روش وزن‌دهی مدل بهترین–بدترین و دیماتیل–ANP[1] تعیین شده است و رتبه‌بندی سایت‌های کاندید با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری چند معیارهٔ ویکور[2] و کوپراس[3] صورت گرفته است. علوی و همکاران (۱۳۹۲) به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ تناسب اراضی برای احداث بیمارستان در تهران ابتدا، با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی وزن معیارها را محاسبه کرده و سپس لایهٔ مکانی هر معیار را تهیه کردند. درنهایت با استفاده از ابزار جبر نقشه‌ای، لایه‌های مکانی به روش تاپسیس با هم تلفیق و نقشهٔ تناسب اراضی احداث بیمارستان تهیه شده است. Boyacı و Şişman (2022) از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی فیثاغورثی[4] برای تعیین وزن و از سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور تهیهٔ لایهٔ معیارهای مکان‌یابی استفاده و نقشهٔ تناسب اراضی را برای احداث بیمارستان با همپوشانی لایه‌های مکانی تهیه کردند. درنهایت با روش تاپسیس به رتبه‌بندی ۱۳ سایت کاندید توجه کردند. Beshr و همکاران (2022) به‌منظور مکان‌یابی بیمارستان برای بیماران کرونایی در مصر ترکیب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی را به کار بردند. Fang-yu و همکاران (2022) به‌منظور تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان در شهر آمل از روش وزن‌دهی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، منطق فازی و تاپسیس استفاده کردند. براساس نتایج این تحقیق، منطق فازی نسبت‌به روش تاپسیس در مکان‌یابی بیمارستان عملکرد و کارایی بیشتری دارد. Halder و همکاران (2020) به‌منظور مکان‌یابی بیمارستان در هند، از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. آنها با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی وزن معیارها را محاسبه و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی لایهٔ مکانی معیارها را باهم تلفیق کردند. Zandi و Delavar (2021) با هدف مدل‌سازی عدم قطعیت تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان در تهران، روش وزن‌دهی عینی آنتروپی شانون را به کار بردند. آنها اطلاعات مکانی سایت‌های کاندید را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و آنها را با روش تاپسیس رتبه‌بندی کردند. نتایج پژوهش نشان‌دهندهٔ صحت رتبه‌بندی انجام‌شده و تخصیص وزن معیارها بوده است. تحقیقات (Dell'Ovo et al. 2018; Dutta et al., 2021; Sahin et al., 2019; Soltani et al. 2019; Rahimi et al. 2017) به‌منظور مکان‌یابی بیمارستان از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی با فرایند تحلیل سلسله مراتبی و Vahidnia و همکاران (2009) برای تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی با فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

1. DEMATEL-based Analytic Network Process (DANP)
2. vlsekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje (VIKOR)
3. complex proportional assessment of alternatives (COPRAS)
4. Pythagorean fuzzy Analytic Hierarchy Process

استفاده کردند.

انتخاب مکان برای احداث بیمارستان جدید یکی از چالش‌های مهم تصمیم‌گیران است (Zolekar & Bhagat, 201425). ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی با سیستم اطلاعات جغرافیایی برای فرآیندهای مختلف مکان‌یابی ازجمله بیمارستان بسیار استفاده شده است. تحقیقات پیشین اغلب از روش وزن‌دهی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌منظور تعیین وزن معیارها استفاده کردند (Gul & Guneri, 2021). هرچند درک و محاسبات روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی آسان است، چشم‌پوشی از روابط درونی میان معیارها، تعداد مقایسات زوجی بالا و ناسازگاری احتمالی میان نظرات کارشناسان نیز از معایب آن است. استفاده از سایر روش‌های وزن‌دهی مبتنی بر نظرات خبرگان، به‌ویژه روش‌های نوین همانند روش وزن‌دهی سوارا[1] در تحقیقات پیشین موردتوجه قرار نگرفته است. روش سوارا بر مبنای اولویت‌بندی انجام‌شده از سوی خبرگان وزن معیارها را تعیین می‌کند. این روش پیچیدگی مقایسات زوجی، ناسازگاری و تعدد ماتریس‌های مقایسات زوجی روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی را ندارد. فرایند مکان‌یابی بهینهٔ بیمارستان در تحقیقات پیشین اغلب به مدل‌سازی مکانی و ارائهٔ نقشهٔ تناسب اراضی محدود شده و انتخاب یک یا چند مکان به‌خصوص برای احداث بیمارستان جدید انجام نشده است. تهیهٔ نقشهٔ تناسب اراضی گامی مهم و اساسی در مکان‌یابی بهینهٔ بیمارستان است؛ ولی چالش مهمی، که مطرح می‌شود، این است که بیمارستان جدید در کدام پارسل از مناطق مستعد شناسایی‌شده باید احداث شود؛ بنابراین رتبه‌بندی سایت‌های کاندید در مناطق مستعد احداث بیمارستان بر دقت و کارایی فرایند مدل‌سازی مکانی می‌افزاید. رتبه‌بندی باید گزینه‌ها را به‌طور جامع بررسی و ارزیابی و نتایج قابل‌اطمینانی ارائه کند. روش رتبه‌بندی کوپراس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارهٔ بسیار پرکاربرد و قابل‌اطمینان است که به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها یک ارزیابی جامع و مقایسهٔ کامل میان گزینه‌ها انجام می‌دهد که باعث درک کامل و صحیح تناسب گزینه‌ها می‌شود. با توجه به آنچه گفته شد، به‌منظور تعیین مکان بهینهٔ احداث بیمارستان در منطقهٔ ۲ شهر تهران، یک روش ترکیبی شامل سیستم اطلاعات جغرافیایی، وزن‌دهی سوارا و رتبه‌بندی کوپراس تحقیق حاضر ارائه کرده است. در این پژوهش به‌منظور تهیهٔ لایهٔ مکانی معیارهای تصمیم‌گیری و انجام فرایند مدل سازی مکانی از قدرت تجزیه‌وتحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای کاهش پیچیدگی و افزایش دقت تصمیم‌گیری ابتدا، مدل‌سازی مکانی مناطق مستعد احداث بیمارستان را بررسی و سپس به رتبه‌بندی سایت‌های کاندید موجود در مناطق دارای پتانسیل زیاد توجه کرده است. فرضیهٔ پژوهش حاضر به این صورت است که روش وزن‌دهی نوین سوارا با وجود پیچیدگی اجرایی و محاسباتی کمتر، دقتی مشابه با روش رایج فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی دارد. نوآوری اصلی پژوهش حاضر ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی، وزن‌دهی سوارا و رتبه‌بندی کوپراس در مسئلهٔ مکانی تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان است. در ادامه، بخش ۲، روش‌شناسی پژوهش در بخش ۳، یافته‌های تحقیق و درنهایت نتیجه‌گیری تحقیق در بخش ٤ تشریح شده است.

روش‌شناسی پژوهش

در این بخش منطقهٔ موردمطالعه، معیارهای تصمیم‌گیری، داده‌های مورداستفاده، روش پیشنهادی برای تعیین مکان

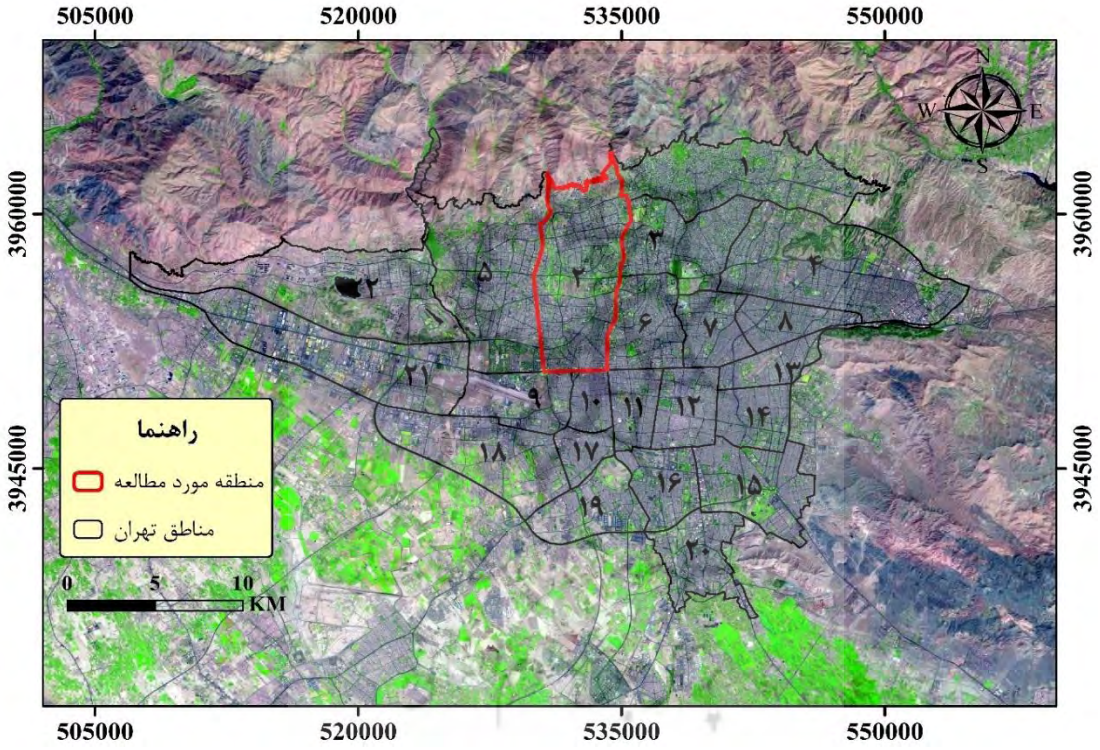
1. Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)

بهینهٔ بیمارستان و مبانی نظری روش‌های مورداستفاده تشریح شده است.

منطقهٔ موردمطالعه و داده‌های مورداستفاده در پژوهش

منطقهٔ موردمطالعه

منطقهٔ ۲، از مناطق شمالی کلان‌شهر تهران است که از شمال به ارتفاعات البرز، از جنوب به خیابان آزادی، از شرق به بزرگراه شهید چمران و خیابان توحید و از غرب به بزرگراه آیت‌الله اشرفی اصفهانی و محمدعلی جناح محدود شده است (شکل ۱). این منطقه با مساحتی بالغ بر ٤٧ کیلومترمربع یکی از مناطق بزرگ کلان‌شهر تهران است. بیشتر از ٦٩٢ هزار نفر در این منطقه سکونت دارد و تراکم جمعیت آن ١٤٤ نفر در هکتار است. این منطقه ۱۰ بیمارستان دارد که ازنظر مکانی در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی توزیع شده‌اند و مناطق غربی و جنوب غربی آن فاقد امکانات بیمارستانی هستند (Kaveh et al., 2020).



شکل (۱) منطقهٔ موردمطالعه

Figure (1) The Study Area

معیارهای مورداستفاده در پژوهش

همان‌گونه که در مقدمه اشاره شد، یکی از دلایل پیچیدگی و دشواری تصمیم‌گیری دربارهٔ مکان احداث بیمارستان، تعداد زیاد معیارهای مؤثر بر این تصمیم است. این پیچیدگی زمانی که مدل‌سازی مکانی انجام شود، به دلیل لزوم انجام تجزیه‌وتحلیل فضایی معیارها دوچندان می‌شود؛ بنابراین در این مسئله باید سعی شود، معیارهای مهم‌تر موردتوجه قرار گیرند و استفاده از تمامی معیارهای ممکن به تناسب میان کیفیت، زمان و هزینه صدمه وارد می‌کند. تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان در تحقیقات پیشین با در نظر گرفتن معیارهای بسیاری انجام شده است. معیارهای

مورداستفاده در پژوهش حاضر در جدول (۱) آورده شده است. همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، در این پژوهش تعداد ۸ معیار به‌منظور مدل‌سازی مکانی و رتبه‌بندی براساس تحقیقات پیشین انتخاب شده است. بنا بر نتایج تحقیقات متعدد مبنی بر قرارگرفتن در معرض ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) آلودگی هوا با بیماری‌های مختلف توزیع مکانی این ذرات به‌عنوان یکی از معیارهای تصمیم‌گیری انتخاب شده است.

جدول (۱): معیارهای مورداستفاده در پژوهش

Table (1): The used Criteria In Research

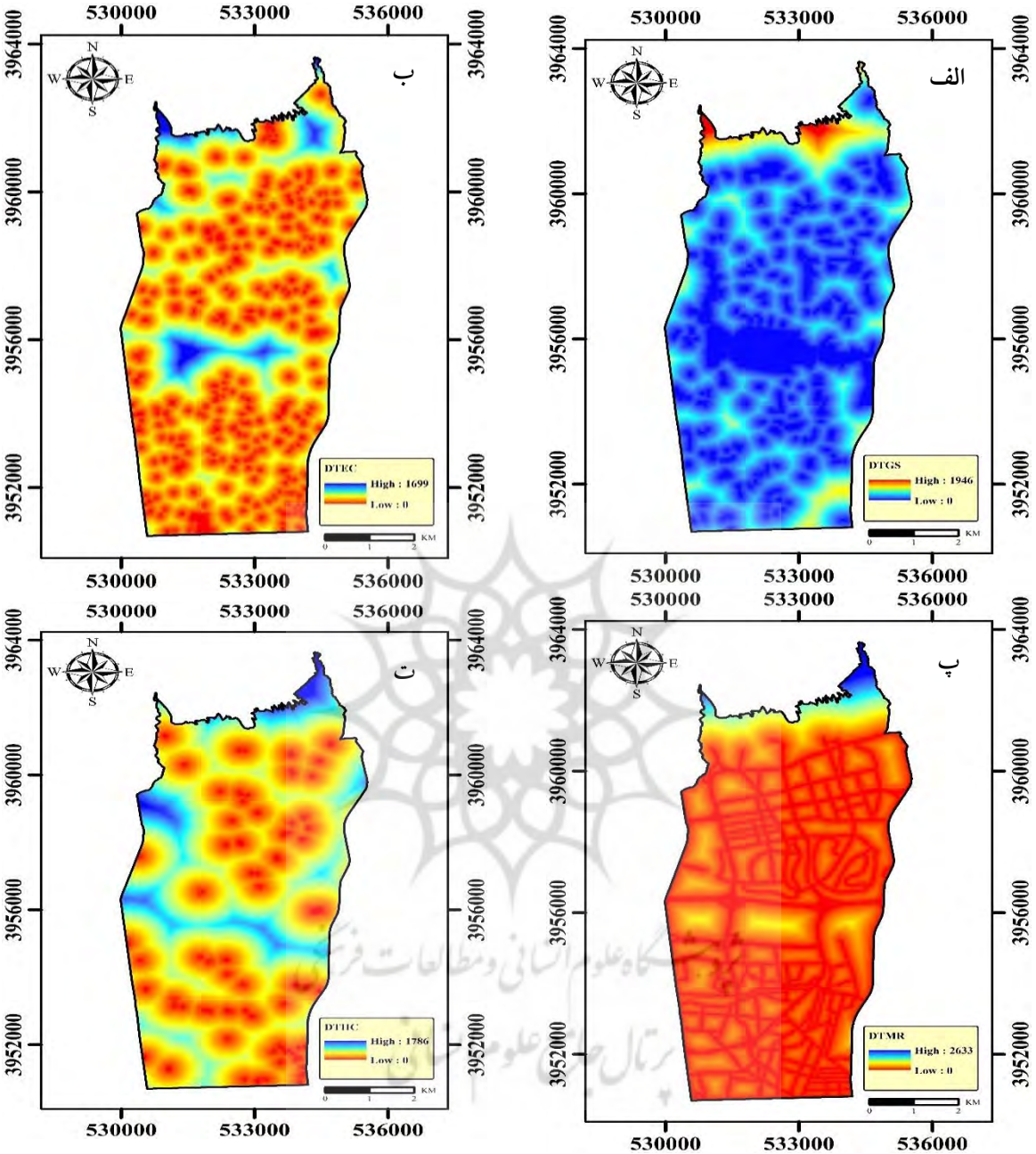
معیار	مرجع
فاصله از فضاهای سبز	(زندی و همکاران، ۱٤۰۱؛ علوی و همکاران، ۱۳۹۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Dell'Ovo et al., 2018; Kaveh et al. 2020; Soltani et al., 2019)
فاصله از مراکز آموزشی	(محمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Chatterjee & Mukherjee, 2013)
فاصله از راه‌های اصلی	(امتحانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ علوی و همکاران، ۱۳۹۲؛محمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Dutta et al., 2021; Kaveh et al., 2020; Nsaif et al., 2020; Rahimi et al., 2017; Rezayee, 2020; Soltani & Marandi, 2011; Vahidnia et al., 2009)
فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی	(زندی و همکاران، ۱٤۰۱؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۸)
فاصله از بیمارستان‌های موجود	(امتحانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Duttta et al., 2021; Kaveh et al., 2020; Nsaif et al., 2020; Rezayee, 2020; Soltani et al., 2019; Soltani & Marandi, 2011)
فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی	(محمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Kaveh et al., 2020; Rahimi et al., 2017; Soltani et al., 2019)
تراکم جمعیت	(امتحانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ زندی و همکاران، ۱٤۰۱؛ Chatterjee & Mukherjee, 2013; Dutta et al., 2021; Nsaif et al., 2020; Rahimi et al., 2017; Şahin et al., 2019; Soltani & Marandi, 2011; Soltani et al., 2019; Vahidnia et al., 2009)
توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$	(Dell'Ovo et al., 2018; Şahin et al., 2019)

تهیهٔ لایهٔ مکانی معیارهای تصمیم‌گیری

در فرایند مدل‌سازی مکانی یکی از عناصر مهم، تهیهٔ لایهٔ مکانی معیارهای مدنظر است. لایه‌های مکانی با تجزیه‌وتحلیل فضایی اطلاعات مکانی تهیه می‌شوند. اطلاعات مکانی مورداستفاده در پژوهش حاضر شامل: نقشهٔ رقومی کاربری اراضی منطقهٔ ۲ شهر تهران (تکمیل‌شده با استفاده از اطلاعات سایت شهرداری تهران[1])، نقشهٔ شبکهٔ راه‌ها، اطلاعات جمعیت بلوک‌های منطقهٔ ۲ و مشاهدات $PM_{2.5}$ (از سایت شرکت کنترل کیفیت هوا شهرداری تهران[2] برای بازهٔ زمانی ۱ بهمن ۱۳۹۹ تا ۳۰ دی ۱٤۰۰، استخراج شده است) است. به‌منظور یکسان‌سازی سیستم تصویر نقشه‌های مورداستفاده، تبدیل به سیستم مختصات واحد و کدگذاری[3] واحد جداول اطلاعات توصیفی از نرم‌افزار QGIS 3.20.1 استفاده شده است. برای تهیهٔ لایهٔ مکانی هر معیار از نرم‌افزار ArcGIS 10.3.1 استفاده شده است. ابزارهای تجزیه‌وتحلیل فضایی مورداستفاده برای تهیهٔ لایهٔ مکانی معیارها شامل: Euclidian Distance، Kriging Interpolation، IDW Interpolation، Extract by Mask، Reclassify و Feature to Points است. شکل (۲)

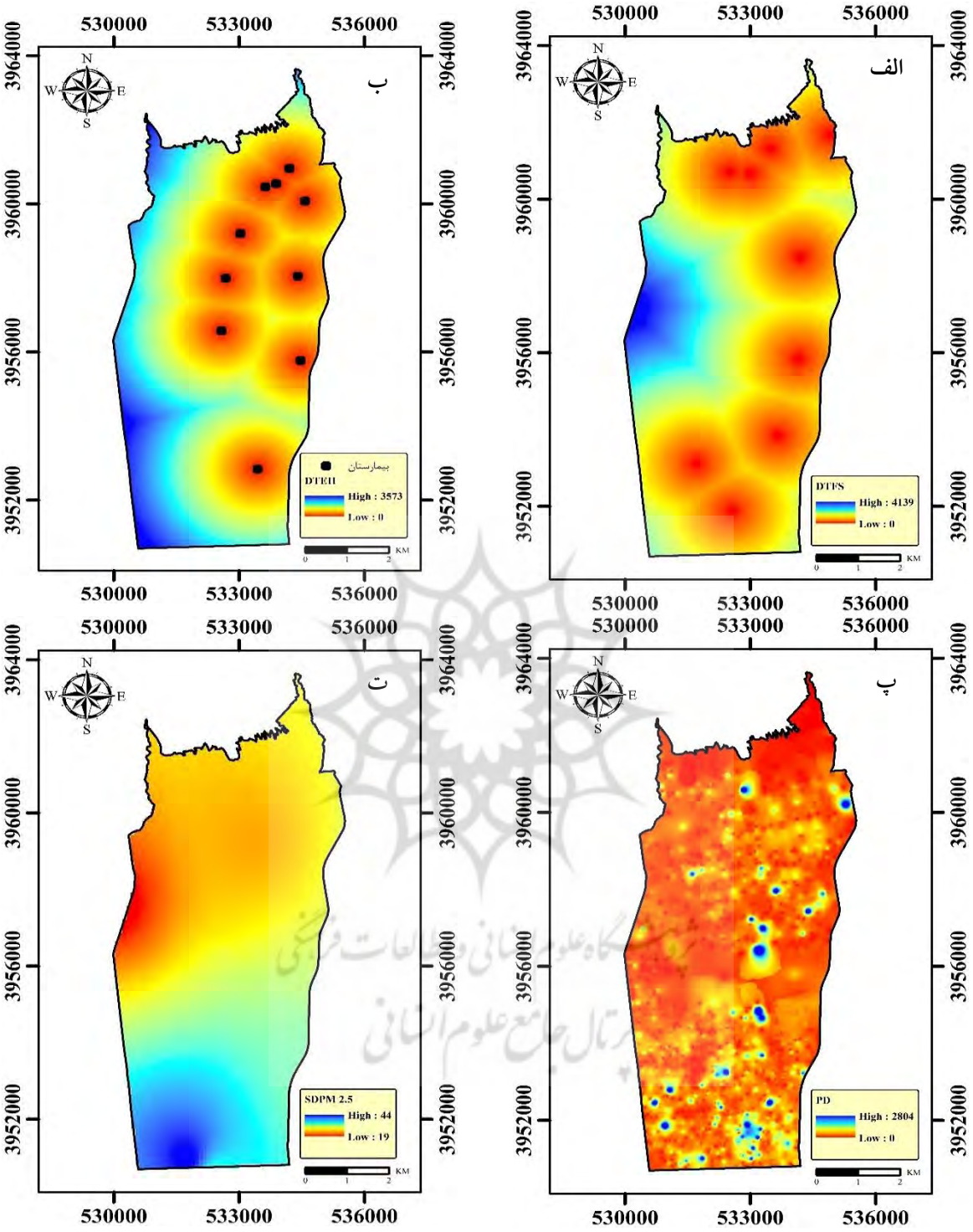
1. map.tehran.ir
2. air.tehran.ir
3. Encoding

نشان‌دهندهٔ لایه‌های مکانی معیارهای تصمیم‌گیری است که برای استفاده در فرایند مدل‌سازی مکانی تهیه شده‌اند.



شکل (۲) الف) فاصله از فضاهای سبز؛ ب) فاصله از مراکز آموزشی؛ پ) فاصله از راه‌های اصلی؛ ت) فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی. (ادامه)

Figure (2) a) Distance to green spaces; b) Distance to educational centers; c) Distance to main roads; d) Distance to healthcare centers. (Cont.)



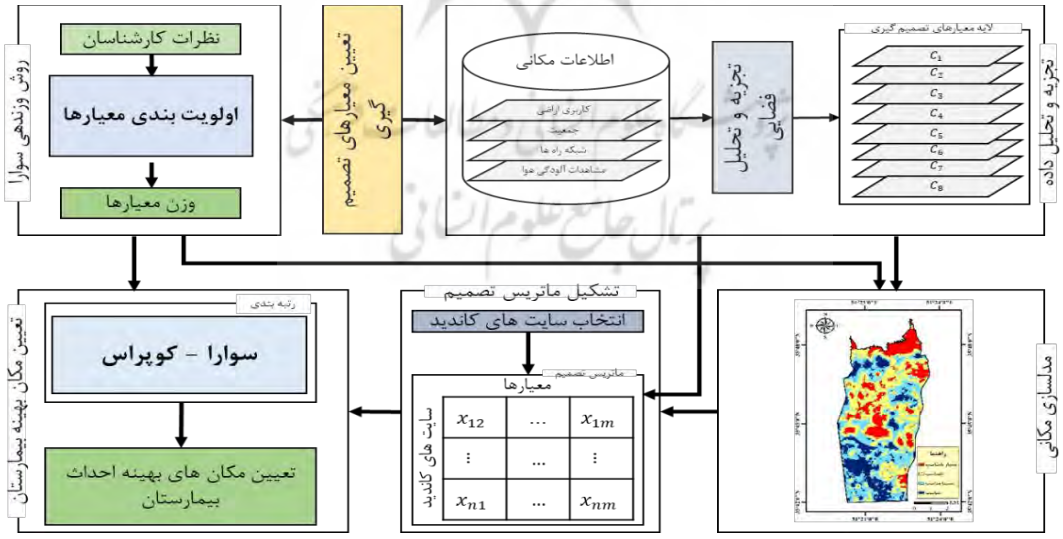
شکل (۲) فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی؛ ث) فاصله از بیمارستان‌های موجود؛ ح) تراکم جمعیت؛ د) توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$.

Figure (2) a) Distance to fire stations; b) Distance to existing hospitals; c) Population density; d) Spatial distribution of $PM_{2.5}$.

روش پیشنهادی

پژوهش حاضر با هدف تعیین مکان بهینهٔ احداث بیمارستان جدید در منطقهٔ ۲ کلان‌شهر تهران انجام شده است.

به‌منظور رسیدن به هدف گفته‌شده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارهٔ نوین در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی، افزایش کیفیت و دقت تصمیم‌گیری و سهولت پیاده‌سازی، یک روش ترکیبی شامل سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شده است. برای تجزیه‌وتحلیل‌های فضایی، مدل‌سازی مکانی، مدیریت و نمایش معیارهای تصمیم‌گیری از توانایی بالا سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. به‌منظور تعیین وزن معیارها از روش نوین سوارا استفاده شده است که براساس اولویت‌بندی خبرگان وزن معیارها را تعیین می‌کند. روش سوارا با وجود اینکه در دستهٔ روش‌های وزن‌دهی ذهنی قرار می‌گیرد، از ماتریس مقایسات زوجی استفاده نمی‌کند و در تحقیقات مکانی کمتر مورداستفاده قرار گرفته است. درنهایت به‌منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید از روش کوپراس استفاده شده است. روش کوپراس ازجمله روش‌های قدرتمند و پرکاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره بوده است که قابلیت استفادهٔ هم‌زمان معیارهایی را دارد که متناسب با هدف تصمیم‌گیری باید کمینه و بیشنه شوند؛ همچنین این روش ارزیابی جامعی از گزینه‌ها ارائه می‌دهد. شکل (۳) نشان‌دهندهٔ ساختار کلی پژوهش حاضر است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، ابتدا، با مطالعهٔ تحقیقات پیشین معیارها مناسب به‌منظور استفاده در پژوهش تعیین شده است. در گام بعد با در نظر گرفتن اولویت‌بندی انجام‌شده از سوی کارشناسان، وزن معیارهای تصمیم‌گیری با روش وزن‌دهی سوارا محاسبه شده است. در گام بعد با بهره‌گیری از توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی، لایه‌های مکانی معیارهای تصمیم‌گیری تهیه شده است. آنگاه لایهٔ معیارها براساس وزن‌های به‌دست‌آمده از مرحلهٔ وزن‌دهی با هم تلفیق و نقشهٔ تناسب اراضی تهیه شد. در ادامه، تعداد ۸ سایت کاندید در قسمت‌های دارای تناسب زیاد انتخاب و مقادیر معیارها برای آنها استخراج شده است. درنهایت سایت‌های کاندید با در نظر گرفتن وزن‌های به‌دست‌آمده از روش سوارا با تصمیم‌گیری چند معیارهٔ کوپراس رتبه‌بندی و سایت‌های مناسب احداث بیمارستان جدید تعیین شد.



شکل (۳) ساختار کلی پژوهش

Figure (2) General Structure of The Proposed Methodology

روش وزن‌دهی سوارا

روش وزن‌دهی سوارا یک وزن‌دهی ذهنی[1] است که از سوی کرشولین[2] و همکاران (2010) ارائه شده است. ویژگی اصلی این روش امکان برآورد نظرات خبرگان دربارهٔ میزان اهمیت معیارها در فرایند وزن‌دهی است (Keršuliene, et al., 2010). به‌عبارتی، در این روش نظرات کارشناسان بسیار برتری دارد (Alinezhad & Khalili, 2019). ابتدا، خبرگان براساس نظر خود معیارهای مهم تصمیم‌گیری را تعیین می‌کنند. سپس وزن معیارها با روش سوارا به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Keršuliene et al., 2010).

گام اول: با تقسیم آرای معیارها بر تعداد خبرگان، فراوانی نسبی هر یک از معیارها محاسبه می‌شود.

گام دوم: معیارها براساس فراوانی نسبی به‌صورت نزولی مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند. شاخصی که بیشترین فراوانی نسبی را داشته باشد، در رتبهٔ اول قرار خواهد گرفت.

گام سوم: شاخص S برای تمام معیارها محاسبه می‌شود. این شاخص نشان‌دهندهٔ اختلاف فراوانی نسبی هر معیار با معیار قبل از خود است. شاخص S برای معیار اول محاسبه نمی‌شود.

گام چهارم: پارامتر رشد (k) برای تمام معیارها با استفاده از رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود. پارامتر رشد برای معیار با رتبهٔ اول برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود و برای سایر معیارها، حاصل جمع عدد ۱ و شاخص S آن معیار است.

$$k_j = 1 + s_j, j \neq 1. \quad (۱)$$

گام پنجم: اهمیت بازیابی‌شدهٔ (q) معیار اول برابر با ۱ بوده و برای سایر معیارها همانند رابطهٔ (۲)، برابر است با حاصل تقسیم q معیار قبلی بر k آن معیار.

$$q_j = \frac{q_{j-1}}{k_j}, j \neq 1. \quad (۲)$$

گام ششم: وزن معیارها براساس رابطهٔ (۳) با تقسیم q هر معیار بر مجموع q تمام معیارها محاسبه می‌شود.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^{n} q_j} \quad (۳)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

روش کوپراس

یکی از روش‌های شناخته‌شده و پرکاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره روش کوپراس است که توسط Zavadskas & Kaklauskas, 1996) ارائه شده است. این روش با در نظر گرفتن بهترین و بدترین راه‌حل به رتبه‌بندی گزینه‌ها توجه می‌کند (Valipour at al. 2017) و تأثیر معیارهای کمینه و بیشینه در فرایند رتبه‌بندی به‌صورت مجزا در نظر گرفته می‌شود (Alinezhad & Khalili, 2019). استفادهٔ هم‌زمان از معیارهای کمی و کیفی در ارزیابی گزینه‌ها، انجام یک فرایند رتبه‌بندی جامع (زیاری و احسانی فرد، ۱٤۰۰) و مقایسه و تحلیل کامل گزینه‌ها با برآورد درجهٔ اهمیت و بیان اندازهٔ بهتر یا بدتربودن هر گزینه (Mulliner, et. al, 2013) از مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هستند. در ادامه، مراحل اجرای روش کوپراس براساس (Zavadskas & Kaklauskas,

1. Subjective
2. Keršuliene

1996; Alinezhad & Khalili, 2019) ارائه شده است.

گام اول: مطابق رابطهٔ (٤) ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود.

$$X_{n\times m}=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (٤)$$

در رابطهٔ (٤)، n تعداد گزینه‌ها و m تعداد معیارهاست.

گام دوم: ماتریس تصمیم با استفاده از رابطهٔ (٥) نرمال‌سازی می‌شود.

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}} \quad (٥)$$

گام سوم: ماتریس تصمیم نرمال وزن‌دار با ضرب ماتریس تصمیم در بردار وزن معیارها براساس رابطهٔ (٦) محاسبه می‌شود.

$$t_{ij}=r_{ij}\times w_j \quad (٦)$$

گام چهارم: برای تمام گزینه‌ها مطابق رابطهٔ (٧) مجموع سطری ماتریس نرمال وزن‌دار برای معیارهای مثبت (S_i^{+}) و مطابق رابطهٔ (٨) مجموع سطری ماتریس نرمال وزن‌دار برای معیارهای منفی (S_i^{-}) به دست می‌آید.

$$S_i^{+}=\sum_{j\in J^{+}} t_{ij} \quad (٧)$$

$$S_i^{-}=\sum_{j\in J^{-}} t_{ij} \quad (٨)$$

گام پنجم: با استفاده از رابطهٔ (٩) امتیاز گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

$$U_i=S_i^{-}+\frac{\sum_{i=1}^{n} S_i^{-}}{S_i^{-}\times\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{S_i^{-}}} \quad (٩)$$

یافته‌های پژوهش

تعیین وزن معیارها با استفاده از روش وزن‌دهی سوارا

پس از تعیین معیارهای تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان، ٨ معیار مهم برای محاسبهٔ وزن مشخص شد (ستون اول جدول ٢). در گام بعد، از ٥٠ کارشناس با تخصص‌های مهندسی سیستم اطلاعات جغرافیایی، آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی شهری خواسته شده است که معیارهای مهم مکان‌یابی بیمارستان را ازنظر خود تعیین کنند (ستون دوم

جدول ۲). همان‌گونه که در ستون سوم جدول (۲) مشاهده می‌شود، با تقسیم تعداد آرای هر معیار بر تعداد کارشناسان، فراوانی نسبی و رتبهٔ هر معیار محاسبه شده است. در گام بعد، مراحل روش وزن‌دهی سوارا در محیط برنامه‌نویسی Matlab 2014 کدنویسی شده و وزن معیارها همانند جدول (۳) محاسبه شده است.

جدول (۲) نظرات کارشناسان برای ورود به روش وزن‌دهی سوارا

Table (2) Experts' Opinion for Using in SWARA Weighting Method

	معیار	تعداد آرا	فراوانی نسبی (درصد)	رتبه
C_1	فاصله از فضاهای سبز	۲٦	٥۲	٥
C_2	فاصله از مراکز آموزشی	۲۹	٤۸	٦
C_3	فاصله از راه‌های اصلی	٤۲	۸٤	۲
C_4	فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی	۲۱	٤۲	۷
C_5	فاصله از بیمارستان‌های موجود	٥۰	۱۰۰	۱
C_6	فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۳۳	٦٦	٤
C_7	تراکم جمعیت	۳۷	۷٤	۳
C_8	توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$	۱۷	۳٤	۸

جدول (۳) وزن به‌دست‌آمده برای معیارها به روش سوارا

Table (3) Obtained Weights by SWARA Method

	معیار	وزن	هدف تصمیم‌گیری
C_1	فاصله از فضاهای سبز	۰/۱۱٦۱	کمینه‌سازی
C_2	فاصله از مراکز آموزشی	۰/۱۰۹٥	بیشنیه‌سازی
C_3	فاصله از راه‌های اصلی	۰/۱٤۹۰	کمینه‌سازی
C_4	فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی	۰/۰۹۹٦	کمینه‌سازی
C_5	فاصله از بیمارستان‌های موجود	۰/۱۷۲۸	بیشنیه‌سازی
C_6	فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۰/۱۲٥٤	کمینه‌سازی
C_7	تراکم جمعیت	۰/۱۳٥٤	بیشنیه‌سازی
C_8	توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$	۰/۰۹۲۲	کمینه‌سازی

همان‌گونه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، نتایج روش وزن‌دهی سوارا نشان‌دهندهٔ آن است که دو معیار فاصله از بیمارستان‌های موجود با وزن ۰/۱۷۲۸ و فاصله از راه‌های اصلی با وزن ۰/۱٤۹۰ و دو معیار توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$ با وزن ۰/۰۹۲۲ و فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی با وزن ۰/۰۹۹٦ به‌ترتیب مهم‌ترین و کم اهمیت‌ترین معیارها در تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان هستند. هدف تصمیم‌گیری برای معیارها در ستون آخر جدول (۳) ارائه شده است. واضح است که هدف تصمیم‌گیری، یافتن مکان‌هایی است که تا حد ممکن هدف تمام معیارها را برآورده کنند.

نتایج مدل‌سازی مکانی

به‌منظور مدل‌سازی مکانی ابتدا، لازم است، استانداردسازی لایه‌های مکانی انجام شود. در پژوهش حاضر به‌منظور استانداردسازی، لایه‌های مکانی براساس تأثیر معیار در فرایند تصمیم‌گیری (سود یا هزینه‌بودن هر معیار متناسب با هدف تصمیم‌گیری (ستون آخر جدول (۳)) تعیین می‌شود) طبقه‌بندی شده‌اند. معیاری را، که افزایش مقدار آن موجب افزایش تناسب گزینه برای هدف تصمیم‌گیری (تناسب برای احداث بیمارستان) شود، معیار سود و معیاری را، که کاهش مقدار آن موجب افزایش تناسب گزینه برای هدف تصمیم‌گیری شود، معیار هزینه گویند. معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود و مراکز آموزشی و تراکم جمعیت معیارهای سود و سایر معیارها هزینه هستند. براساس تحقیقات پیشین (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Soltani & Marandi, 2011) همانند جدول (٤) هر معیار متناسب با سود یا هزینه‌بودن به ۵ کلاس طبقه‌بندی شده و به هر کلاس متناسب با ارزش آن، اعداد ۱، ۳، ۵، ۷ یا ۹ اختصاص یافته است.

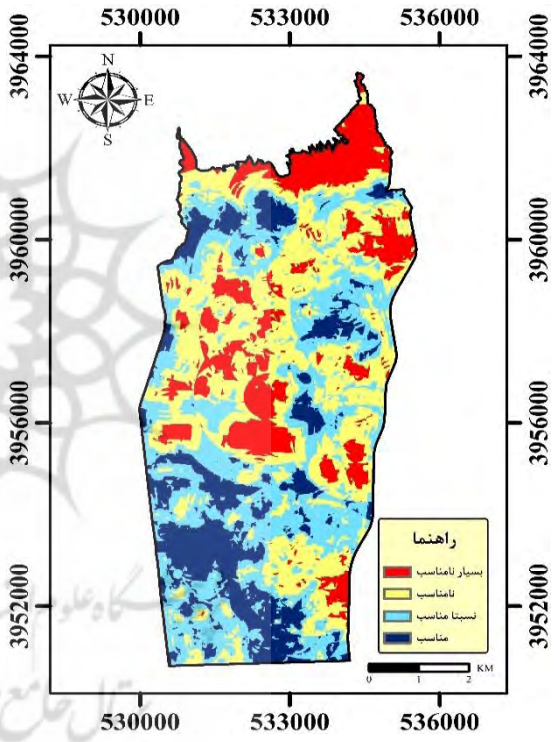
جدول (٤) اطلاعات کلاسه‌بندی لایهٔ معیارهای تصمیم‌گیری

Table (4) Information of the classification of decision criteria

معیار	کلاس	ارزش	معیار	کلاس	ارزش
	۲۵۰–۰	۹		۵۰۰–۰	۱
فاصله از فضاهای سبز	۵۰۰–۲۵۰	۷	فاصله از بیمارستان‌های موجود	۱۰۰۰–۵۰۰	۳
(واحد: متر)	۷۵۰–۵۰۰	۵	(واحد: متر)	۱۵۰۰–۱۰۰۰	۵
(هزینه)	۱۰۰۰–۷۵۰	۳	(سود)	۲۰۰۰–۱۵۰۰	۷
	بیشتر از ۱۰۰۰	۱		بیشتر از ۲۰۰۰	۹
	۱۰۰–۰	۱		٤۰۰–۰	۹
فاصله از مراکز آموزشی	۲۰۰–۱۰۰	۳	فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۸۰۰–٤۰۰	۷
(واحد: متر)	۳۰۰–۲۰۰	۵	(واحد: متر)	۱۲۰۰–۸۰۰	۵
(سود)	٤۰۰–۳۰۰	۷	(هزینه)	۱٦۰۰–۱۲۰۰	۳
	بیشتر از ٤۰۰	۹		بیشتر از ۱٦۰۰	۱
	۱۰۰–۰	۹		۲۵۰–۰	۱
فاصله از راه‌های اصلی	۲۰۰–۱۰۰	۷	تراکم جمعیت	۵۰۰–۲۵۰	۳
(واحد: متر)	۳۰۰–۲۰۰	۵	(واحد: نفر)	۷۵۰–۵۰۰	۵
(هزینه)	٤۰۰–۳۰۰	۳	(هزینه)	۱۰۰۰–۷۵۰	۷
	بیشتر از ٤۰۰	۱		بیشتر از ۱۰۰۰	۹
	۲۰۰–۰	۹		۱۰–۰	۹
فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی	٤۰۰–۲۰۰	۷	توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$	۲۰–۱۰	۷
(واحد: متر)	٦۰۰–٤۰۰	۵	(واحد: میکرو گرم بر متر مکعب)	۳۰–۲۰	۵
(هزینه)	۸۰۰–٦۰۰	۳	(هزینه)	٤۰–۳۰	۳
	بیشتر از ۸۰۰	۱		بیشتر از ٤۰	۱

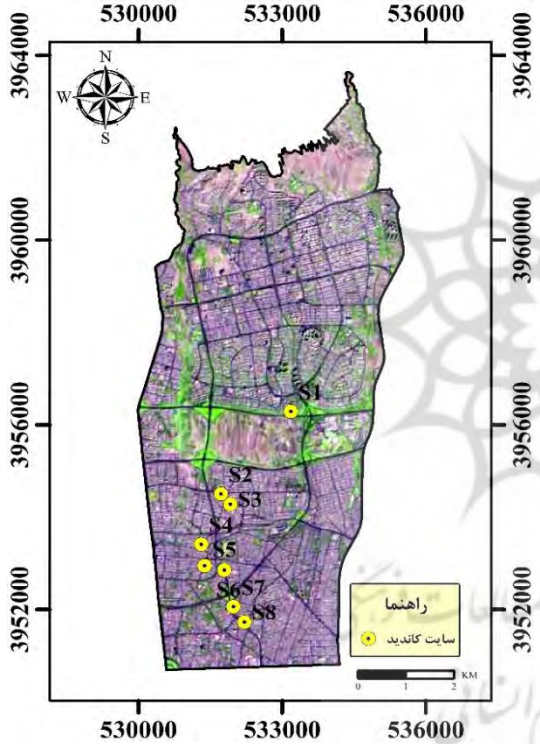
در ادامه، لایه‌های مکانی کلاسه‌بندی‌شده معیارها براساس وزن‌های به‌دست‌آمده از روش وزن‌دهی سوارا و با استفاده از روش همپوشانی شاخص در محیط ArcGIS 10.3.1 تلفیق شده است. نتایج مدل‌سازی در ٤ طبقهٔ بسیار

نامناسب، نامناسب، به‌نسبت مناسب و مناسب مجدد طبقه‌بندی و در شکل (٤) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل (٤) مشاهده می‌شود، قسمت‌های جنوب غربی منطقه پتانسیل بسیار زیادی برای احداث بیمارستان دارند؛ همچنین تناسب مناطق شمالی و شرقی منطقه بسیار پایین است که با توجه به واقعیت‌های منطقه و تجمع بیمارستان‌های موجود در این نواحی، نتایج مدل‌سازی منطبق بر واقعیت است. نتایج مدل‌سازی نشان داده است که ۸/٤۱۰ کیلومترمربع منطقه (۱۷ درصد) تناسب بسیار نامناسب، ۱۷/٤۸۰ کیلومترمربع (۳۵/۲۵ درصد) تناسب نامناسب، ۱۵/۳۰۰ کیلومترمربع (۳۱ درصد) تناسب به‌نسبت مناسب و ۸/۲۸۵ کیلومترمربع (۱٦/۷۵ درصد) تناسب مناسب برای احداث بیمارستان دارد. در ادامه، همانند شکل (۵) به‌منظور تعیین یک مکان مشخص برای احداث بیمارستان تعداد ۸ سایت کاندید با در نظر گرفتن ۳ قید، دست‌کم مساحت ۳۰۰۰ مترمربع، دسترسی مناسب به راه‌های اصلی و بایربودن در مناطق با تناسب مناسب انتخاب شده است.



شکل (٤) نتایج مدل‌سازی مکانی

Figure (4) Spatial Modeling Results



شکل (۵) سایت‌های کاندید انتخاب‌شده

Figure (5) Selected Candidate Sites

رتبه‌بندی سایت‌های کاندید با روش کوپراس

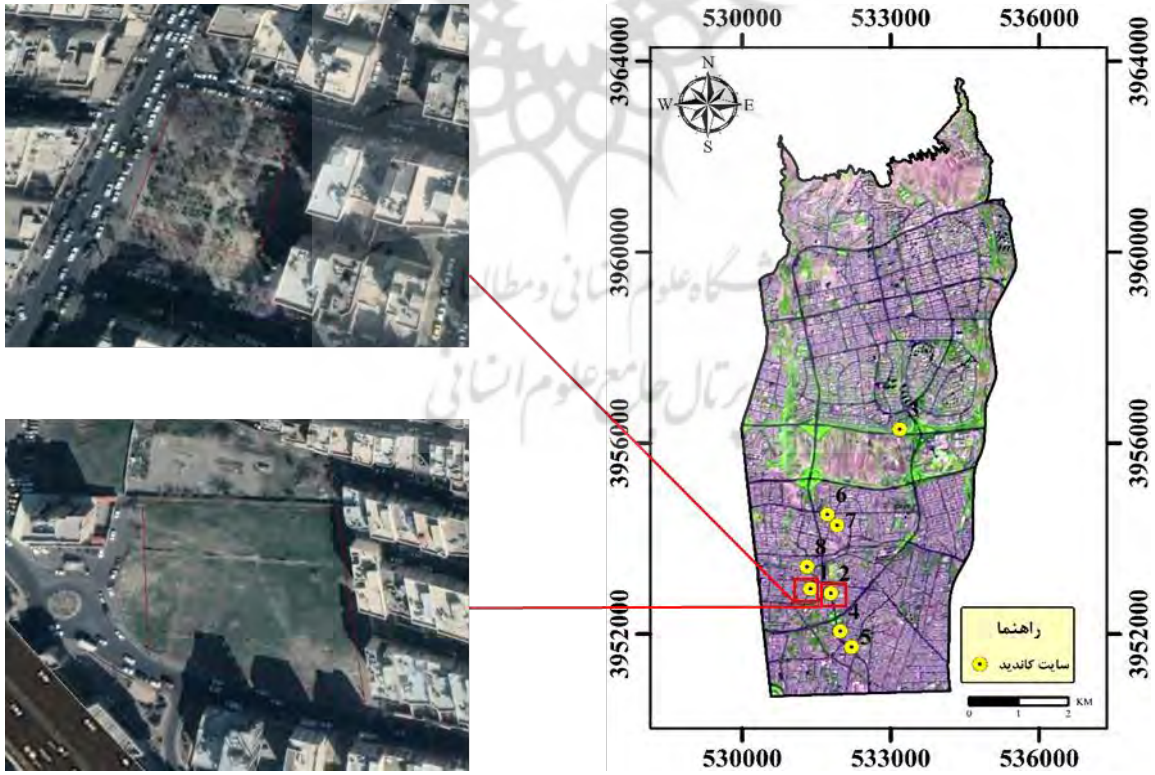
ابتدا، به‌منظور تشکیل ماتریس تصمیم، مقادیر معیارها برای تمام سایت‌های کاندید استخراج شده است. در گام بعد، مراحل روش کوپراس در محیط Matlab 2014 برنامه‌نویسی شده است. جدول (۵) نشان‌دهندهٔ نتایج روش کوپراس است. همان‌گونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، مجموع سطری ماتریس نرمال وزن‌دار برای معیارهای مثبت (S_i^+)، مجموع سطری ماتریس نرمال وزن‌دار برای معیارهای منفی (S_i^-) و امتیاز نهایی هر سایت محاسبه شده

است؛ همچنین با تقسیم امتیاز هر سایت بر بیشترین امتیاز درصد مطلوبیت سایت‌ها محاسبه شده است. طبق نتایج روش کوپراس، سایت‌های شمارهٔ ۵ و ٦ بهترین مکان برای احداث بیمارستان جدید هستند. امتیاز این دو سایت بسیار به هم نزدیک است؛ بنابراین تناسب هر دو سایت بسیار زیاد است؛ همچنین سایت شمارهٔ ٤ و ۳ نیز نامناسب‌ترین مکان برای احداث بیمارستان است. با توجه به جدول (۵) و همان‌گونه که در شکل (٦) نشان داده شده است، دو سایت ۵ و ٦ بهترین مکان برای احداث بیمارستان جدید در منطقهٔ ۲ تهران هستند.

جدول (٤) نتایج رتبه‌بندی سایت‌های کاندید به روش کوپراس

Table (4) The Results of Candidate Sites' Ranking by COPRAS Method

سایت	S_i^-	S_i^+	U_i	درصد مطلوبیت	رتبه
۱	۰/۱۰۷۳	۰/۱۰۵٦	۰/۱۵۱۰	۹۵/۸۵	۳
۲	۰/۰۸٦۱	۰/۰۵۰٤	۰/۱۰٦۹	٦۷/۸۹	٦
۳	۰/۰۷۲۳	۰/۰۳٦۵	۰/۱۰۳۹	٦۵/۹۵	۷
٤	۰/۰۹۰۳	۰/۰۳۵۹	۰/۰۸۹۸	۵۷/۰٤	۸
۵	۰/۰٤۲۷	۰/۰٤۳٦	۰/۱۵۷۵	۱۰۰/۰۰	۱
٦	۰/۰٤۸۱	۰/۰۵۰۳	۰/۱۵۱٦	۹٦/۲۵	۲
۷	۰/۰٦۹۸	۰/۰۵۲۲	۰/۱۲۲۰	۷۷/٤۵	٤
۸	۰/۰٦۵۷	۰/۰٤۳۲	۰/۱۱۷۳	۷٤/٤٦	۵



شکل (٦) رتبه‌بندی سایت‌های کاندید به روش کوپراس

Figure (6) The Ranking of Candidate Sites by COPRAS Method

نتیجه‌گیری

تحقیقات پیشین اغلب از روش وزن‌دهی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای تعیین مکان بهینهٔ بیمارستان استفاده کرده‌اند. در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، افزایش تعداد معیارها یا گزینه‌ها موجب افزایش مقایسات زوجی و به تبع آن افزایش زمان تصمیم‌گیری و بروز ناسازگاری در تصمیم‌گیری (کاهش دقت) می‌شود. این در حالی است که این روش روابط درونی میان معیارها و گزینه‌ها را نیز در نظر نمی‌گیرد. فارغ از سختی و پیچیدگی مدل‌سازی دنیای واقعی با این روش، تکرار فرایند مقایسات زوجی در صورت عبور نرخ ناسازگاری از یک مقدار مشخص بر مشکلات این روش می‌افزاید. با وجود اینکه روش‌های نوین وزن‌دهی ذهنی همانند روش سوارا جایگزین مناسبی برای این روش هستند، در تحقیقات مکان‌یابی بیمارستان استفاده نشده‌اند. پژوهش حاضر با ارائهٔ یک روش یکپارچهٔ مدل‌سازی مکانی و رتبه‌بندی موجب افزایش دقت تصمیم‌گیری و کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی و پیاده‌سازی شده است. تحقیقات پیشین اغلب از رویکرد یکپارچهٔ مدل‌سازی مکانی و رتبه‌بندی پیروی نکرده‌اند. رویکرد یکپارچه با تعیین مناطق مستعد از ورود گزینه‌های نامناسب به فرایند رتبه‌بندی جلوگیری می‌کند و به تبع آن زمان و هزینهٔ تصمیم‌گیری کاهش می‌یابد.

نتایج روش وزن‌دهی نشان‌دهندهٔ آن بود که معیار فاصله از بیمارستان‌های موجود بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است؛ همچنین معیار توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$ که در تحقیقات پیشین استفاده نشده بود، کمترین وزن را به خود اختصاص داده است. نتایج مدل‌سازی مکانی نشان‌دهندهٔ آن بود که قسمت‌های جنوب غربی منطقه پتانسیل بسیار زیادی برای احداث بیمارستان دارند. به‌طور تقریبی ٤۸ درصد از منطقه به بیمارستان‌های موجود دسترسی مناسب ندارد و عدالت فضایی برای شهروندان این نواحی در استفاده از خدمات درمانی بیمارستان‌ها برقرار نیست. همان‌گونه که از پژوهش تحقیق حاضر استنتاج می‌شود، نتایج مدل‌سازی مکانی به‌طور کامل منطبق بر واقعیت بوده است. بدیهی است که دقت مدل‌سازی مکانی وابسته به دقت روش وزن‌دهی و نتایج تحقیق نشان‌دهندهٔ توانایی زیاد روش وزن‌دهی سوارا برای استفاده در تصمیم‌های مکانی است. با توجه به موارد گفته‌شده فرضیهٔ پژوهش یعنی «روش‌های وزن‌دهی نوین سوارا با وجود پیچیدگی اجرایی و محاسباتی کمتر دارای دقت مشابه با روش رایج فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است» اثبات می‌شود. نتایج رتبه‌بندی سایت‌های کاندید نشان‌دهندهٔ آن بود که دو سایت ۵ و ٦ مناسب‌ترین مکان برای احداث بیمارستان جدید در منطقهٔ ۲ هستند.

مقایسهٔ عملکرد روش ارائه‌شده در دو حالت استفاده از روش وزن‌دهی سوارا و روش وزن‌دهی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آینده توصیه می‌شود. در پژوهش حاضر استفاده از نظرات متخصصان مدیریت بیمارستان در فرایند وزن‌دهی به دلیل نبودِ دسترسی به متخصصان این حوزه ممکن نشد. با توجه به اهمیت در نظر گرفتن نظرات متخصصان مدیریت بیمارستان پیشنهاد می‌شود، در تحقیقات آتی در فرایند وزن‌دهی، در کنار نظرات کارشناسان با تخصص‌های مهندسی سیستم اطلاعات جغرافیایی، آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی شهری از نظرات کارشناسان با تخصص مدیریت بیمارستان نیز استفاده شود.

منابع

اصغری‌زاده، عزت‌الله، محمدی بالانی، عبدالکریم (۱۳۹۶). *تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.

امتحانی، محمدرضا، عبدالعظیمی، هادی، شاهینی‌فر، حمیدرضا (۱۳۹۹). **مکان‌یابی بیمارستان به‌منظور مدیریت سلامت شهروندان (نمونهٔ موردی: منطقه ۱۰ شهر شیراز)**، *مدیریت اطلاعات سلامت*، *۱۷*(۲)، ۵۳-۴۷. Doi: 10.22122/him.v17i2.4046

زندی، ایمان، پهلوانی، پرهام، بیگدلی، بهناز (۱۴۰۱). **رتبه‌بندی بهینهٔ سایت‌های کاندید بیمارستان با استفاده از تلفیق روش‌های وزن‌دهی عینی و تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی**. *مجلهٔ علمی آمایش سرزمین*. *۱۴*(۱)، ۳۶۹-۳۴۷. https://doi.org/10.22059/jtcp.2021.327203.670238

زندی، ایمان، پهلوانی، پرهام، بیگدلی، بهناز (۱۳۹۹). **تلفیق روش وزن‌دهی عینی کریتیک با روش کوداس و ویکور به‌منظور انتخاب مکان‌های مستعد احداث بیمارستان (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۵ تهران)**، *جغرافیا و توسعهٔ فضای شهری*، *۷*(۲)، ۶۳-۴۱. https://doi.org/10.22067/jgusd.2021.48121.0

زیاری، کرامت الله، احسانی فرد، علی اصغر (۱۴۰۰). **بازآفرینی هدف‌دار با رویکرد پروژه‌های محرک توسعه با تلفیق الگوریتم COPRAS و CCDS (موردپژوهی: خیابان امام (ره) و محلهٔ کهنه دژ دارالمرحمه (سمنان))**، *مجلهٔ علمی آمایش سرزمین*، *۱۳*(۲)، ۴۶۰-۴۲۱. Doi: 10.22059/jtcp.2021.325997.670234

علوی، علی، احمدآبادی، علی، مولائی قلیچی، محمد، پاتو، ولی، برهانی، کاظم (۱۳۹۲). **مکان‌گزینی مناسب بیمارستان‌های شهری با استفاده از تکنیک‌های تلفیقی مدل تحلیلی تصمیم‌گیری چند معیاره و تحلیل‌های فضایی سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۷ شهر تهران)**، *فصلنامهٔ بیمارستان*، *۱۲* **(۲)**، ۱۸-۹. http://eprints.bpums.ac.ir/id/eprint/5025

محمدی، کمال، آل شیخ، علی اصغر، طالعی، محمد(۱۳۹۸). **مکان‌یابی مراکز بیمارستانی با تلفیق روش‌های بهترین - بدترین، دنپ، ویکور و کوپراس مطالعهٔ موردی منطقهٔ ۱ شهر تهران**، *نشریهٔ مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، *۷*(۳)، ۴۳-۱۷. http://jgit.kntu.ac.ir/article-1-739-fa.html

References

Alavi, S. A., Ahmadabadi, A., Molaei Qelichi, M., Pato, V., & Borhani, K. (2013). Proper site selection of urban hospital using combined techniques of MCDM and Spatial analysis of GIS (Case study: region 7 in Tehran city). *Hospital*, *12*(2), 9-18. https://jhosp.tums.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-25-5013&slc_lang=en&sid=1&ftxt=1

Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). *New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM)* (Vol. 277, pp. 103-08). Cham: Springer.

Almansi, K. Y., Shariff, A. R. M., Abdullah, A. F., & Syed Ismail, S. N. (2021). Hospital site suitability assessment using three machine learning approaches: Evidence from the gaza strip in Palestine. *Applied Sciences*, *11*(22), 11054. https://doi.org/10.3390/app112211054

Asgharizadeh, E., & balani, A. M. (2018). *Multiple attribute decision making techniques*. Tehran: Uneversity of

Tehran Press [In Persian].

Beshr, A. A., Israil, M., Abden, H. A., & Farhan, M. H. (2022). Site Selection of Isolation Hospital for Coronavirus Patients in Nile Delta, Egypt, Using GIS Technology. *Advances in Civil Engineering*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/5144642

Boyacı, A. Ç., & Şişman, A. (2022). Pandemic hospital site selection: a GIS-based MCDM approach employing Pythagorean fuzzy sets. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(2), 1985-1997. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15703-7

Chatterjee, D., & Mukherjee, B. (2013). Potential hospital location selection using fuzzy-AHP: an empirical study in Rural India. *International Journal of Innovative Technology and Research*, *1*(4), 304-314. https://core.ac.uk/download/pdf/228546495.pdf

Dell'Ovo, M., Capolongo, S., & Oppio, A. (2018). Combining spatial analysis with MCDA for the siting of healthcare facilities. *Land use policy*, *76*, 634-644. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.044

Dutta, B., Das, M., Roy, U., Das, S., & Rath, S. (2021). Spatial analysis and modelling for primary healthcare site selection in Midnapore town, West Bengal. *GeoJournal*, 1-30. https://doi.org/10.1007/s10708-021-10528-w

Emtehani, M., Abodolazimi, H., & Shahinifar, H. (2020). Hospital Site Selection for the Health Management of the Citizens; A Case Study: Zone 10, Shiraz Municipal, Iran. *Health Information Management*, *17*(2), 47-53. https://doi.org/10.22122/him.v17i2.4046

Fang-yu, F., Qelichi, M. M., Namjooyan, F., & Asadi, A. (2022, July). A Comparative Study on Site Selection Methods for Modeling Hospital Locating in Urban Area, A Case Study in Iran. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 546-563). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10545-6_37

Gul, M., & Guneri, A. F. (2021). Hospital location selection: A systematic literature review on methodologies and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, *2021*, 1-14. https://doi.org/10.1155/2021/6682958

Halder, B., Bandyopadhyay, J., & Banik, P. (2020). Assessment of hospital sites' suitability by spatial information technologies using AHP and GIS-based multi-criteria approach of Rajpur–Sonarpur Municipality. *Modeling Earth Systems and Environment*, *6*, 2581-2596. https://doi.org/10.1007/s40808-020-00852-4

Kaveh, M., Kaveh, M., Mesgari, M. S., & Paland, R. S. (2020). Multiple criteria decision-making for hospital location-allocation based on improved genetic algorithm. *Applied Geomatics*, *12*, 291-306. https://doi.org/10.1007/s12518-020-00297-5

Keršuliene, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, *11*(2), 243-258. https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12

Lin, C. T., & Tsai, M. C. (2010). Location choice for direct foreign investment in new hospitals in China by using ANP and TOPSIS. *Quality & Quantity*, *44*, 375-390. https://doi.org/10.1007/s11135-008-9199-2

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International journal of geographical information science*, *20*(7), 703-726. https://doi.org/10.1080/13658810600661508

Mohammadi, K., Alesheikh, A. A., & Taleai, M. (2019). Locating Hospital Centers by an Integration of BWM ، DANP ،VIKOR and COPRAS Methods (Case Study: Region 1, City of Tehran). *Engineering Journal of Geospatial Information Technology*, *7*(3), 17-42. http://jgit.kntu.ac.ir/article-1-739-en.html

Mulliner, E., Smallbone, K., & Maliene, V. (2013). An assessment of sustainable housing affordability using a multiple criteria decision-making method. *Omega*, *41*(2), 270-279. https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.05.002

Nsaif, Q. A., Khaleel, S. M., & Khateeb, A. H. (2020). Integration of GIS and remote sensing technique for hospital site selection in Baquba district. *J. Eng. Sci. Technol*, *15*, 1492-1505.

Rahimi, F., Goli, A., & Rezaee, R. (2017). Hospital location-allocation in Shiraz using geographical information system (GIS). *Shiraz E-Medical Journal*, *18*(8). https://doi.org/10.5812/semj.57572

Rezayee, M. (2020). Hospital site selection in Iskandar Malaysia using GIS-multi criteria analysis. *Int J Basic Sci Appl Comput*, *2*(10), 8-15. DOI: 10.35940/ijbsac.K0159.0221020

Şahin, T., Ocak, S., & Top, M. (2019). Analytic hierarchy process for hospital site selection. *Health Policy and Technology*, *8*(1), 42-50. https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2019.02.005

Soltani, A., & Marandi, E. Z. (2011). HOSPITAL SITE SELECTION USING TWO-STAGE FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING PROCESS. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, *5*(1), 32–43. http://www.jstor.org/stable/26203354

Soltani, A., Balaghi, R., Rezaei, M., & Riyabi, M. A. (2019). Spatial analysis and urban land use planning with emphasis on hospital site selection, case study: Isfahan city. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, (43), 71-89. http://doi.org/10.2478/bog-2019-0005

Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., & Alimohammadi, A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. *Journal of environmental management*, *90*(10), 3048-3056. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.010

Valipour, A., Yahaya, N., Md Noor, N., Antuchevičienė, J., & Tamošaitienė, J. (2017). Hybrid SWARA-COPRAS method for risk assessment in deep foundation excavation project: An Iranian case study. *Journal of civil engineering and management*, *23*(4), 524-532. https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1281842

Yılmaz, M., & Atan, T. (2021). Hospital site selection using fuzzy EDAS method: case study application for districts of Istanbul. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *41*(2), 2591-2602.

Zandi, I., & Delevar, M. R. (2021). Integration of GIS, Shannon Entropy and Multi-Criteria Decision Making for Hospital Site Selection. In *29th Annual GIS Research UK Conference (GISRUK), Cardiff, Wales, UK (Online): Zenodo.* http://doi. org/10.5281/zenodo (Vol. 4680857).

Zandi, I., Pahlavani, P., & Bigdeli, B. (2021). Combining CRITIC Objective Weighting Method with CODAS and VIKOR Methods for Selecting Prospect Hospital Sites (Case Study: The Fifth District of Tehran). *Geography and Urban Space Development*, *7*(2), 63-41. https://doi.org/10.22067/jgusd.2021.48121.0

Zandi, I., Pahlavani, P., & Bigdeli, B. (2022). The Optimal Ranking of Candidate Hospital Sites Using a Combination of Objective Weighting Method and Multi-Criteria Decision Making Based on Geographical Information System. *Town and Country Planning*, *14*(1), 347-369. DOI: 10.22059/jtcp.2021.327203.670238

Zavadskas, E. K., & Kaklauskas, A. (1996). Pastatų sistemotechninis įvertinimas.

Ziari, K., & Ehsanifard, A. (2021). Purposeful Regeneration Using Development-Inducing Projects Approach via the Integration of COPRAS Algorithms and CCDS: The Case Study of Imam Street and Kohne Dezh Neighborhood, Dar- ol-Marhame, Semnan. *Town and Country Planning*, *13*(2), 421-460. doi: 10.22059/jtcp.2021.325997.670234

Zolekar, R. B., & Bhagat, V. S. (2014). Use of IRS P6 LISS-IV data for land suitability analysis for cashew plantation in hilly zone. *Asian Journal of Geoinformatics*, *14*(3), 23-35.