مدلسازی مکانی و مکانیابی بیمارستان با تلفیق روش‌های نوین تصمیم‌گیری چند معیاره مدل بهترین-بدترین و واسپاس (مطالعه موردی: منطقه ۲ تهران)

ایمان زندی[۱]، پرهام پهلوانی*[۲]، بهناز بیگدلی [۳]

۱. گروه مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایرن

چکیده

ایجاد تعادل میان تقاضا و ارائه خدمات بهداشتی و درمانی نیازمند بهره برداری از بیمارستان‌های جدید می‌باشد. اما مسئله مهم این است که کدام مکان برای احداث بیمارستان بهینه‌تر است. تحقیق حاضر به منظور تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان در منطقه ۲ کلانشهر تهران از یک روش ترکیبی استفاده کرده است. روش ترکیبی مورد استفاده مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی، مدل وزندهی بهترین-بدترین و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره واسپاس و تاپسیس می‌باشد. مقایسات زوجی کمتر در فرایند وزندهی روش پیشنهادی موجب افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج تصمیم‌گیری شده است. انجام توأم مدلسازی مکانی و رتبه بندی نیز موجب کاهش فضای جستجوی مکان‌های مناسب احداث بیمارستان شده است. این ابتکار علاوه بر افزایش دقت، موجب افزایش سرعت و سهولت تصمیم‌گیری می‌گردد. بدین منظور پس از تعیین معیارهای مناسب در تصمیم‌گیری، فرایند وزندهی با مدل جدید بهترین-بدترین انجام شده و لایه‌ی مکانی هر معیار با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی تهیه شده است. براساس نتایج روش وزندهی، معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود و فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی، بترتیب بیشترین و کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. در گام بعد نقشه تناسب اراضی با تلفیق لایه‌های مکانی تهیه گردیده است. تقریبا ۸۸ درصد نتایج مدلسازی مکانی با واقعیت‌های منطقه مطابقت داشت و نیمه غربی بویژه قسمت جنوب غربی جهت احداث بیمارستان جدید، از تناسب بالاتری نسبت به سایر قسمت‌ها برخوردار بوده است. درنهایت سایت‌های شماره ۲، ۵ و ۸ از میان ۱۱ سایت کاندید، به عنوان بهینه‌ترین مکان جهت احداث بیمارستان جدید در منطقه ۲ کلانشهر تهران تعیین شد. پیشنهاد می‌گردد متناسب با جمعت ساکن در قسمت‌های فاقد دسترسی مطلوب به امکانات بیمارستانی در منطقه ۲، یک یا چند بیمارستان در سایت‌های بهینه تعیین شده احداث گردد تا علاوه بر بهبود دسترسی شهروندان به خدمات بهداشتی و درمانی، هزینه‌های دسترسی ساکنان منطقه به خدمات بهداشتی و درمانی کاهش یابد.

کلیدواژگان: مدلسازی مکانی، مکانیابی بیمارستان، مدل بهترین-بدترین، واسپاس و تاپسیس، سیستم اطلاعات مکانی

۱. مقدمه

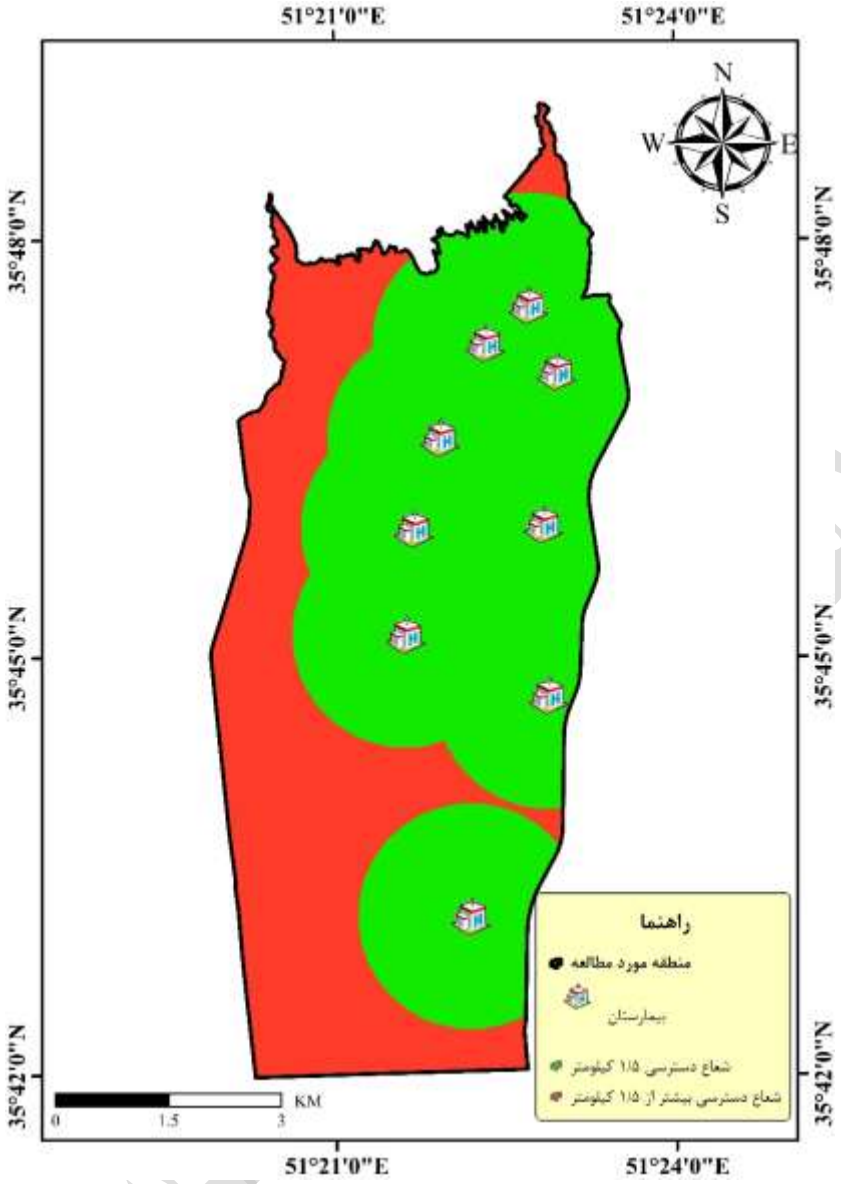
گسترش شهرها و افزایش جمعیت آنها موجب افزایش تقاضا به منظور بهره بردن از خدمات بهداشتی و درمانی شده است. شیوع بیماری‌های واگیر همچون بیماری کرونا[۱] سوانح رانندگی، مخاطرات طبیعی همچون سیل و زلزله و بسیاری دیگر، موجب افزایش قابل توجه مراجعات به مراکز بهداشتی و درمانی بویژه بیمارستان‌ها شده است. این درحالی است که یکی از عوامل مهم افزایش جمعیت شهرها، دسترسی آسان به خدمات می‌باشد (مرادیان[۲] و همکاران، ۲۰۱۷، ص. ۲) و یکی از مهمترین این خدمات، خدمات درمانی می‌باشد. بنابراین نیاز است برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری به موضوع بهداشت و درمان که از شاخص‌های بسیار مهم توسعه پایدار است توجه محسوس داشته باشند (المنشی[۳] و همکاران، ۲۰۲۰، ص. ۱۱). دسترسی نامطلوب شهروندان به بیمارستان‌ها و رعایت نشدن عدالت فضایی در توزیع خدمات بهداشتی و درمانی یکی از معضلات کلانشهرها می‌باشد، حال آنکه همه مردم باید به صورت عادلانه از خدمات بهداشتی بهره‌مند شوند. بنابراین مکان احداث بیمارستان بسیار مهم بوده و تأثیر بسیاری بر عملکرد آن دارد (چترجی و مخرجی،[۴] ۲۰۱۳، ص. ۳۰۵). مکانیابی بیمارستان را می‌توان به عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری با چندین معیار مورد بررسی قرار داد (دل اوو[۵] و همکاران، ۲۰۱۸، ص. ۶۳۵؛ لین و تسای،[۶] ۲۰۱۰، ص. ۳۷۶). یکی از ابزار تصمیم‌گیری، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[۷] است که قابلیت استفاده در مسائل پیچیده‌ای که شامل معیارها و گزینه‌های متعدد می‌باشند را دارد (هاشم‌خانی زلفانی[۸] و همکاران، ۲۰۲۰، ص. ۲). در این مسائل معمولا معیارهای متفاوتی وجود دارد که ممکن است در ارتباط و یا در تضاد با هم باشند (دل اوو و همکارن، ۲۰۱۸، ص. ۶۳۶).

تحقیقات مختلف، از روش‌های مختلف به منظور حل مسئله تعیین مکان بهینه بیمارستان استفاده کرده‌اند. مسئله تعیین مکان بهینه بیمارستان می‌تواند به صورت یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره (ادعلی و تاس،[۹] ۲۰۱۹؛ وو[۱۰] و همکاران، ۲۰۰۶)، بهینه‌سازی (کاوه و مسگری، ۱۳۹۸؛ کاوه[۱۱] و همکاران، ۲۰۲۰)، مسئله طبقه‌بندی[۱۲] یا پیش‌بینی[۱۳] (المنشی و همکاران، ۲۰۲۰) و تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی[۱۴] یا تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی[۱۵] (بایاسی و سیسمان،[۱۶] ۲۰۲۱) مورد بررسی قرار گیرد. تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور مکانیابی بسیاری از خدمات عمومی، مورد استفاده قرار گرفته است. مکانیابی خدمات عمومی معمولا نیازمند ترکیب روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره است (یاپ[۱۷] و همکاران، ۲۰۱۹، ص. ۵۵۰). از طرفی محاسبه مقادیر معیارها برای سایت‌های کاندید، تحلیل‌های فضایی و مکانیابی پیوسته، ضرورت استفاده از سیستم اطلاعات مکانی را نشان می‌دهد. به همین دلیل در اکثر کاربردهای مکانیابی، فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره در ترکیب با سیستم اطلاعات مکانی مورد استفاده قرار گرفته است. به عبارتی، تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی موجب افزایش دقت و سهولت مکانیابی شده است (رضایی،[۱۸] ۲۰۲۰، ص. ۴۹).

---

[۱] Coronavirus (COVID-19)
[۲] Moradian
[۳] Almansi
[۴] Chatterjee and Mukherjee
[۵] Dell'Ovo
[۶] Lin & Tsai
[۷] Multi Criteria Decision making
[۸] Hashemkhani Zolfani
[۹] Adalı and Tuş
[۱۰] Wu
[۱۱] Kaveh
[۱۲] Classification
[۱۳] Regression
[۱۴] Spatial MCDM
[۱۵] GIS-based MCDM
[۱۶] Boyacı and Şişman
[۱۷] Yap
[۱۸] Rezayee

منطقه ۲ شهر تهران با جمعیتی بالغ بر ۷۳۰۰۰۰ نفر بیش از ۸/۲ جمعیت تهران را تشکیل می‌دهد. تعداد ۹ بیمارستان از ۱۴۲ بیمارستان تهران در این منطقه واقع شده است (۶/۳۴ درصد) (مصدق‌راد و همکارن، ۱۴۰۰، ص. ۱۵۸). همچنین از مجموع ۲۴۵۳۵ تخت بیمارستانی در تهران، تعداد ۲۹۳۸ تخت در منطقه ۲ قرار دارد (۱۱/۹۷) (مصدق‌راد و همکارن، ۱۴۰۰، ص. ۱۵۸). این در حالی است که بر اساس استانداردهای بهداشتی و درمانی اکثر کشورهای جهان، به ازای هر ۵۰۰۰۰ نفر شهروند ساکن در یک منطقه، یک بیمارستان احداث شده است (درگاهی، ۱۳۹۰). همچنین در کشورهای توسعه یافته به ازای هر ۱۰۰۰ نفر شهروند ساکن در یک منطقه، ۹ تا ۱۴ تخت بیمارستانی وجود دارد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸، ص. ۲۵). بنابراین با توجه به جمعیت این منطقه، کمبود تخت بیمارستانی و تعداد بیمارستان در منطقه ۲ وجود دارد. شعاع دسترسی استاندارد یک بیمارستان بین ۱ تا ۱/۵ کیلو متر است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸، ص. ۲۷)، اما همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود قسمت زیادی از منطقه ۲ دسترسی مطلوب (شعاع دسترسی ۱/۵ کیلومتری) به بیمارستان‌ها ندارد. بنابراین با توجه به عدم تناسب میان جمعیت منطقه ۲ و امکانات بیمارستانی موجود، احداث بیمارستان (ها) جدید در این منطقه امری ضروری است و این بیمارستان (ها) باید در یک مکان بهینه احداث گردد.



شکل ۱- شعاع دسترسی بیمارستان‌های منطقه مورد مطالعه

با توجه به مطالب بیان شده، هدف تحقیق حاضر تعیین مکان بهینه جهت احداث یک بیمارستان عمومی در منطقه ۲ شهر تهران با استفاده از یک روش ترکیبی مبتنی بر تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم اطلاعات مکانی است. تحقیق حاضر به منظور افزایش دقت در فرایند تصمیم‌گیری به ارائه یک روش ترکیبی به منظور انجام توأم فرایند مدلسازی مکانی و رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بیمارستان می‌پردازد. در روش ارائه شده سعی شده است با انجام توأم فرایند مدلسازی مکانی تناسب اراضی و رتبه بندی سایت‌های کاندید و کاهش تعداد مقایسات زوجی، دقت و سرعت تصمیم-گیری تعیین مکان بهینه بیمارستان بهبود یابد. تحقیق حاضر یک روش ترکیبی شامل سیستم اطلاعات مکانی، مدل نوین بهترین-بدترین و روش تصمیم‌گیری چند معیاره جدید واسپاس ارئه می‌دهد. نوآوری تحقیق حاضر افزایش دقت و قابلیت اطمینان مکانیابی بیمارستان با انجام توأم فرایند مدلسازی مکانی و رتبه‌بندی سایت‌های کاندید، بر اساس تلفیق روش‌های نوین تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. علاوه بر آن تحقیق حاضر معیار توزیع مکانی ذرات معلق با

قطر کمتر از ۲/۵ میکرون را نیز در کنار سایر معیارهای متداول مکانیابی بیمارستان در نظر گرفته است. نتایج تحقیقات بسیاری نظیر (لیو[۱] و همکاران، ۲۰۲۱؛ کوکس جر[۲] ۲۰۱۷) شواهدی مبنی بر تأثیر این ذرات بر بروز و تشدید بیماری-های مختلف ارائه می‌دهد.

۲. پیشینه تحقیق

در ادامه برخی از تحقیقات پیشین در زمینه تعیین مکان بیمارستان به اختصار تشریح شده است. سلطانی[۳] و همکاران (۲۰۱۹) با تلفیق فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات مکانی به مکانیابی بیمارستان در شهر اصفهان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیمارستان‌های موجود تنها ۲۴٪ از مناطق شهری را پوشش می‌دهند. ادعلی[۴] و تاس[۵] (۲۰۱۹) با مقایسه عملکرد سه الگوریتم تصمیم‌گیری تاپسیس[۶] ایداس[۷] و کوداس[۸] در ترکیب با روش وزندهی عینی کریتیک[۹] به مکانیابی بیمارستان در ترکیه پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از یکسان بودن نتایج رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بیمارستان بوسیله هر سه روش بوده است. ساهین[۱۰] و همکاران (۲۰۱۹) با در نظر گرفتن تعداد ۱۹ معیار، از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی به منظور مکانیابی بیمارستان در ترکیه استفاده کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که تقاضا جهت بهره‌مندی از خدمات بهداشتی و درمانی مهمترین معیار در مکانیابی بیمارستان است. رضائی[۱۱] (۲۰۲۰) با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و تحلیل‌های چند معیاره به مکانیابی بیمارستان در مالزی پرداخته است. در این تحقیق ابتدا سایت‌های مستعد احداث بیمارستان تعیین شده است و سپس با در نظر گرفتن استانداردهای احداث بیمارستان و معیارهای مورد نظر سایت‌های کاملا مطلوب تعیین شد. المنسی[۱۲] و همکاران (۲۰۲۱) با ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و سه روش یادگیری ماشین شامل: ماشین بردار پشتیبان[۱۳] پرسپترون چند لایه[۱۴] و مدل رگرسیون خطی[۱۵] به تهیه نقشه تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان داد که نقشه بدست آمده از روش پرسپترون چند لایه از دقت بالاتری نسبت به دو روش دیگر برخوردار است. بایاکی[۱۶] و سیسمان[۱۷] (۲۰۲۲) از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی فیثاغورثی[۱۸] به منظور تعیین وزن و از سیستم اطلاعات مکانی به منظور تهیه لایه معیارهای مکانیابی استفاده کرده و نقشه تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان را با همپوشانی لایه‌های مکانی تهیه کرده‌اند. در نهایت بوسیله روش تاپسیس به رتبه‌بندی ۱۳ سایت کاندید پرداخته‌اند. تحلیل حساسیت وزن‌ها در این تحقیق بیانگر تأثیر بسیار زیاد وزن معیارها بر روی رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بوده است. زندی و همکاران (۱۳۹۹) به منظور تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان در تهران، از سیستم اطلاعات مکانی به منظور تهیه اطلاعات و از روش وزندهی عینی کریتیک به منظور وزندهی معیارهای تصمیم‌گیری استفاده کرده‌اند. در نهایت سایت‌های کاندید با استفاده از دو روش کوداس و ویکور رتبه‌بندی شده‌اند. در این تحقیق رتبه‌بندی انجام شده توسط روش کوداس در مقایسه با روش ویکور به نتایج صحیح‌تری انجامید. نتایج تحقیق نشان داد که تعیین وزن معیارهای مکانیابی بیمارستان با استفاده از روش وزندهی عینی کریتیک به نتایج صحیح و منطبق بر واقعیات منطقه منجر شده

---

[۱] Liu
[۲] Cox Jr
[۳] Soltani
[۴] Adalı
[۵] Tuş
[۶] TOPSIS
[۷] EDAS
[۸] CODAS
[۹] CRITIC
[۱۰] Sahin
[۱۱] Rezayee
[۱۲] Almansi
[۱۳] Support Vector Machine
[۱۴] Multi-Layer Perceptron
[۱۵] Linear Regression Model
[۱۶] Boyacı
[۱۷] Şişman
[۱۸] Pythagorean fuzzy AHP

است. زندی[1] و دلاور[2] (۲۰۲۱) با هدف مدلسازی عدم قطعیت تعیین مکان بهینه بیمارستان در تهران، از روش وزندهی عینی آنتروپی شانون استفاده کرده‌اند. آنها اطلاعات مکانی سایت‌های کاندید را با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی تهیه و با استفاده از روش تاپسیس آنها را رتبه‌بندی کرده‌اند. نتایج تحقیق بیانگر صحت رتبه‌بندی انجام شده و تخصیص وزن معیارها بوده است. زندی و همکاران (۱۴۰۱) به منظور مکانیابی بیمارستان در تهران، به مقایسه عملکرد دو روش وزندهی عینی کریتیک و آنتروپی شانون پرداخته‌اند. آنها با ترکیب روش‌های وزندهی عینی با روش کوداس به این نتیجه رسیدند که عملکرد دو روش وزندهی مشابه هم می‌باشد.

در ادامه به معایب تحقیقات پیشین و مزایای روش ارائه شده در تحقیق حاضر پرداخته می‌شود. در اغلب تحقیقات پیشین صرفا یکی از دو فرایند مدلسازی مکانی یا رتبه‌بندی سایت‌های کاندید انجام شده است و تحقیقات کمی به انجام توأم این دو فرایند پرداخته‌اند. حال آنکه این دو فرایند مکمل هم بوده و انجام توأم آنها به تکمیل فرایند تصمیم‌گیری و افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج منجر می‌گردد. در رویکرد ترکیبی ابتدا پهنه‌های مناسب جهت احداث بیمارستان تعیین می‌شود و سپس سایت‌های کاندید در این پهنه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین رویکرد ترکیبی باعث کاهش حجم محاسبات اضافه جهت ارزیابی سایت‌های کاندید واقع درپهنه‌های نامناسب می‌شود. تحقیقات پیشین به منظور تعیین وزن معیارهای مکانیابی بیمارستان عمدتا از روش وزندهی تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده و روش‌های وزندهی نوین مورد غفلت واقع شده است. یکی از معایب روش تحلیل سلسله مراتبی تعدد ماتریس مقایسات زوجی بوده که با افزایش معیارهای تصمیم‌گیری یا سایت‌های کاندید، به صورت نمایی افزایش می‌یابد (رضایی[3]، ۲۰۱۵، ص. ۵۳). به عبارتی پیچیدگی اجرایی افزایش می‌یابد. افزایش ماتریس‌های مقایسات می‌تواند به افزایش ناسازگاری و در نتیجه پیچیدگی تصمیم‌گیری و کاهش قابلیت اطمینان نتایج منجر شود (رضایی، ۲۰۱۵، ص. ۵۱). در صورت بروز ناسازگاری در روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مقایسات باید مجددا مورد بازبینی و یا تکرار قرار گیرند. با توجه به حجم بالای مقایسات زوجی در این روش، تکرار و یا بازبینی مقایسات زوجی، زمان و هزینه بسیاری بر فرایند تصمیم-گیری تحمیل می‌کند. بنابراین استفاده از روش‌های وزندهی با تعداد مقایسات زوجی کمتر می‌تواند قابلیت اطمینان نتایج را افزایش داده و پیچیدگی تصمیم‌گیری را کاهش دهد. چراکه احتمال بروز ناسازگاری در تعداد کمتری از مقایسات زوجی، به مراتب پایین‌تر است. در تحقیقات قبلی به منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بیمارستان عمدتا از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مدل تاپسیس و مدل ویکور استفاده شده است و روش‌های نوین کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

هدف ارائه روش‌های نوین برای کاربردهای مختلف معمولا بهبود عملکرد و بهبود دقت (قابلیت اطمینان)، افزایش سهولت و کاهش زمان است. بنابراین بدیهی است رسیدن به اهداف ارائه شده تنها با ارائه رویکردهای نوین یا بهبود رویکردهای پیشین ممکن می‌شود. مسائلی همانند مکانیابی بیمارستان یک راه‌حل واحد ندارند و به همین دلیل رویکردهای مختلف به منظور حل آنها ارائه شده است. همچنین براساس تئوری *"ناهار مجانی وجود ندارد"*[4]، هیچ روشی برای تمام مسائل مناسب نیست (آدام[5] و همکاران، ۲۰۱۹، ص. ۵۸). با توجه به اینکه در تصمیم‌گیری‌های مکانی، اطلاعات مکانی در مناطق مختلف با هم متفاوت هستند، می‌توان گفت، لزوما یک روش واحد برای مکانیابی بیمارستان

[1] Zandi
[2] Delavar
[3] Rezaei
[4] No Free Lunch Theorems
[5] Adam

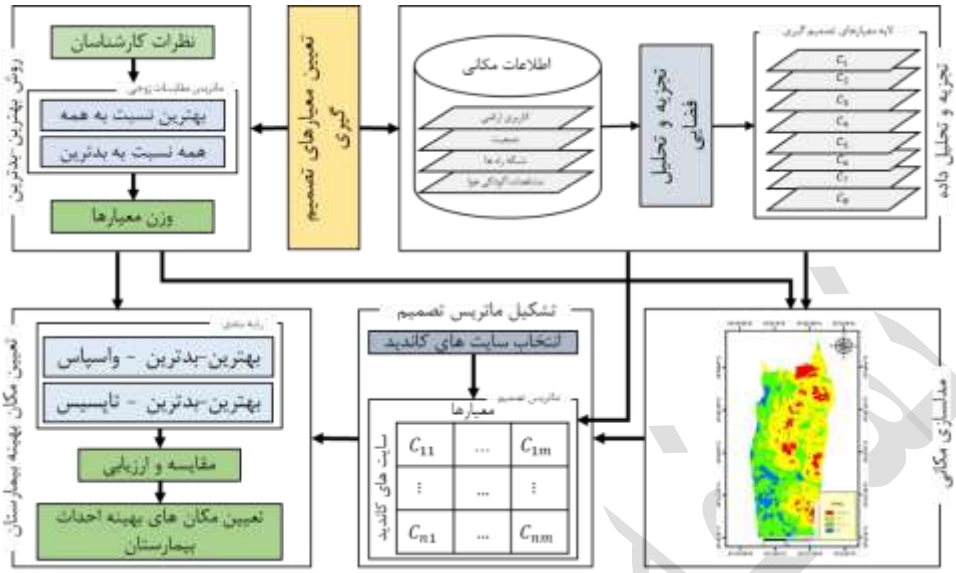
در تمام مناطق یک شهر و یا شهرهای مختلف، مناسب نیست. بنابراین ارائه روش‌های نوین با قابلیت اطمینان بیشتر لازمه حل مسائل مختلف در مناطق مختلف می‌باشد. تحقیق حاضر به منظور افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج و کاهش محاسبات اضافه، یک رویکرد ترکیبی ارائه می‌دهد. در این رویکرد از روش وزندهی بهترین-بدترین استفاده شده است که نسبت به روش‌های رایج وزندهی در تحقیقات پیشین از قابلیت اطمینان بیشتر و مقایسات کمتری برخوردار بوده است. همچنین به منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید از روش واسپاس[1]در مقایسه با روش متداول تحقیقات پیشین (تاپسیس) استفاده شده است.

۳. روش شناسی تحقیق

تحقیق حاضر با هدف مدلسازی مکانی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان جدید در منطقه ۲ کلانشهر تهران و به منظور افزایش دقت و کیفیت تصمیم‌گیری، به ارائه یک روش ترکیبی مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی، مدل وزندهی بهترین-بدترین و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره واسپاس و تاپسیس پرداخته است. سیستم اطلاعات مکانی در تحقیق حاضر به منظور آماده‌سازی و مدیریت اطلاعات مکانی، مدلسازی مکانی و نمایش نتایج و نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور انجام فرایند وزندهی معیارهای تصمیم‌گیری، مدل بهترین-بدترین مورد استفاده قرار گرفته است. قابلیت اطمینان وزن‌های بدست آمده از مدل بهترین-بدترین نسبت به روش وزندهی رایج فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بدلیل مقایسات زوجی کمتر و سازگارتر به مراتب بالاتر است (رضایی، ۲۰۱۵، ص. ۵۴). همچنین به منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید از دو روش تصمیم‌گیری واسپاس و تاپسیس استفاده شده است. روش واسپاس یکی از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که به دلیل ترکیب معیارهای ارزیابی دو روش حاصل‌ضرب وزندار و مجموع وزندار ساده از دقت بالاتری نسبت به آنها برخوردار بوده و در مسائل مکانیابی بهینه بیمارستان مورد استفاده قرار نگرفته است. به منظور ارزیابی روش واسپاس، نتایج این روش با نتایج روش پرکاربرد تاپسیس مورد مقایسه قرار گرفته است. شکل (۲) ساختار کلی روش تحقیق ارائه شده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد، ابتدا بر اساس تحقیقات پیشین و نظرات کارشناسان، معیارهای مناسب جهت انجام فرایند مدلسازی مکانی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان تعیین می‌گردد. در گام بعد با در نظر گرفتن مقایسات زوجی انجام شده توسط کارشناسان، وزن معیارها با استفاده از مدل بهترین-بدترین محاسبه می‌گردد. همچنین اطلاعات مکانی مورد نیاز جهت تهیه لایه‌های مکانی معیارها، تهیه شده و با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و تجزیه و تحلیل‌های فضایی، لایه‌های مکانی معیارها تهیه می‌گردد. در گام بعد، لایه‌های مکانی معیارها با توجه به وزن بدست آمده از مدل بهترین-بدترین، با هم تلفیق شده و نقشه تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان جدید تهیه می‌گردد. در ادامه، پس از آن که سایت‌های کاندید در مناطقی که از تناسب بیشتری برخوردارند انتخاب شد، مقادیر معیارها از لایه‌های مکانی برای آنها استخراج شده و ماتریس تصمیم تشکیل می‌گردد. پس از آن با استفاده از ماتریس تصمیم تشکیل شده و وزن‌های بدست آمده از مدل بهترین-بدترین، سایت‌های کاندید با استفاده از دو روش

[1] Weighted Aggregated Sum Product Assessment

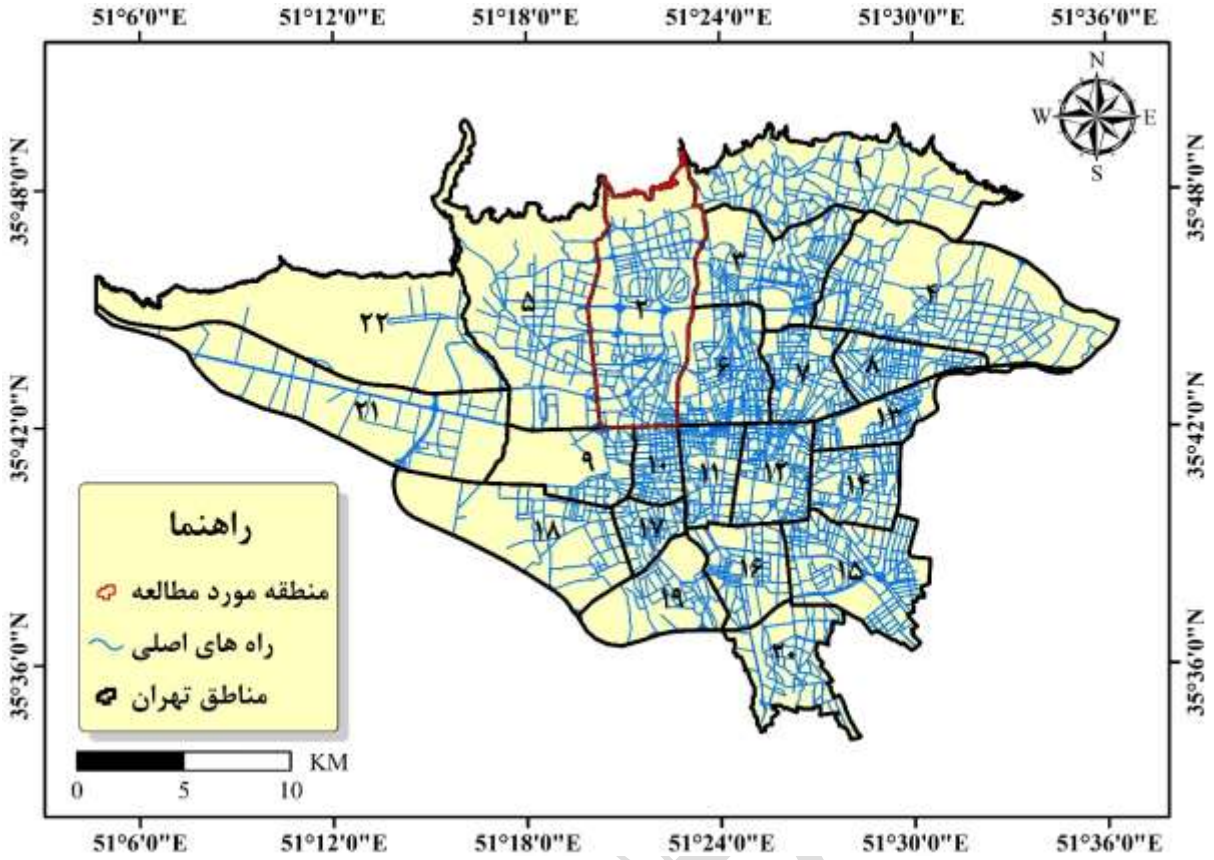
تصمیم‌گیری چند معیاره واسپاس و تاپسیس رتبه‌بندی شده و نتایج مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت سایت‌های بهینه جهت احداث بیمارستان جدید تعیین می‌گردد.



شکل ۲- ساختار کلی تحقیق

۱،۳. منطقه مورد مطالعه

منطقه ۲ کلانشهر تهران با مساحتی حدود ۴۷/۶ کیلومتر مربع، از ۲۱ محله و ۹ ناحیه تشکیل شده و در قسمت شمالی تهران واقع شده است (شکل (۳)). جمعیت این منطقه در سال ۱۳۹۷، ۷۲۱٫۹۶۴ نفر بوده است که پس از مناطق ۴ و ۵، پرجمعیت‌ترین منطقه شهر تهران بوده است (سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، ۱۳۹۸. ص. ۴۵). جمعیت سالمند ۶۵ سال به بالای این منطقه در سال ۱۳۹۷، ۹۰٫۴۹۶ نفر بوده است (سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، ۱۳۹۸. ص. ۴۵). به عبارتی حدود ۱۳ درصد جمعیت این منطقه را سالمندان تشکیل داده است. این منطقه دارای تعداد ۹ بیمارستان می‌باشد که تمامی آنها در نواحی شمالی و شرقی منطقه واقع شده‌اند و نواحی غربی و جنوبی آن فاقد امکانات بیمارستانی می‌باشند.



شکل ۳- منطقه مورد مطالعه

۲،۳. معیارهای مورد استفاده در تحقیق

فرایند مدلسازی مکانی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه بیمارستان یک مسئله دشوار تصمیم‌گیری می‌باشد که از دلایل این دشواری می‌توان تعداد زیاد معیارها را ذکر کرد. تحقیقات پیشین معیارهای متنوعی را به منظور تعیین مکان بهینه بیمارستان مورد استفاده قرار داده‌اند. یکی از اصول اساسی که در این مسئله باید در نظر گرفته شود مباحث مربوط به سازگاری کاربری‌های اراضی است. کاربری‌های همجوار باید تا حد ممکن با هم سازگار بوده تا کارایی و عملکرد یکدیگر را تضعیف نکنند. همجواری کاربری بیمارستان با کاربرهایی همانند فضاهای سبز، راه‌ها، مراکز بهداشتی و درمانی و ایستگاه‌های آتش‌نشانی کاملا سازگار و با کاربری‌هایی همانند مراکز آموزشی (مدارس و دبستان) ناسازگار و نسبتا ناسازگار می‌باشد (طالعی[۱]و همکاران، ۲۰۰۷، ص. ۳۷۹). معیارهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول (۳) آورده شده است. همانگونه که در جدول (۳) مشاهده می‌گردد، در این تحقیق تعداد ۸ معیار به منظور تعیین مکان بهینه بیمارستان بر اساس تحقیقات پیشین و نظرات کارشناسان (۱۵ کارشناس با تخصص‌های سیستم اطلاعات مکانی، آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی شهری) انتخاب شده است. در تحقیق حاضر بنا بر نتایج تحقیقات متعدد مبنی بر ارتباط قرار گرفتن در معرض ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) آلودگی هوا با بیماری‌های مختلف همچون بیماری‌های قلبی‌عروقی، سرطان و تنفسی (بای[۲]و همکاران، ۲۰۱۹؛ صادقی[۳]و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیو[۴]و همکاران،

[۱] Taleai
[۲] Bai
[۳] Sadeghi
[۴] Liu

۲۰۲۱؛ آتروندی[1]و همکاران، ۲۰۲۱) توزیع مکانی این ذرات به عنوان یکی از معیارهای تصمیم‌گیری انتخاب شده است.

جدول ۳- معیارهای تصمیم گیری

	معیار	منبع	تابع هدف
C1	فاصله از فضاهای سبز	(بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ کاوه و همکارن، ۲۰۲۰؛ زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸)	هر چه فاصله یک مکان از فضاهای سبز کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C2	فاصله از مراکز آموزشی	(کومار[2]و همکاران، ۲۰۱۶؛ شارمین و نییما[3]، ۲۰۱۳؛ زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸)	هر چه فاصله یک مکان از مراکز آموزشی بیشتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C3	فاصله از راه‌های اصلی	(زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸؛ کاوه و همکاران، ۲۰۲۰؛ بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ کومار، ۲۰۱۶؛ نسیف[4]و همکاران، ۲۰۲۰؛ شارمین و نییما، ۲۰۱۳؛ وحیدنیا[5]و همکاران، ۲۰۰۹)	هر چه فاصله یک مکان از راه‌های اصلی کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C4	فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی	(زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ زندی و دلاور، ۲۰۲۱)	هر چه فاصله یک مکان از مراکز بهداشتی و درمانی کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C5	فاصله از بیمارستان‌های موجود	ادعلی و تاس، ۲۰۱۹؛ زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸؛ کاوه و همکاران، ۲۰۲۰؛ بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ کومار، ۲۰۱۶؛ نسیف و همکاران، ۲۰۲۰؛ شارمین و نییما، ۲۰۱۳؛ وحیدنیا و همکاران، ۲۰۰۹)	هر چه فاصله یک مکان از بیمارستان‌های موجود بیشتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C6	فاصله از ایستگاهای آتش-نشانی	(کاوه و همکاران، ۲۰۲۰؛ بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸)	هر چه فاصله یک مکان از ایستگاهای آتش‌نشانی کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C7	تراکم جمعیت	(بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ ادعلی و تاس، ۲۰۱۹؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۶؛ زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰)	هر چه تراکم جمعیت یک مکان بیشتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C8	توزیع مکانی ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون	بر اساس مطالعات نویسندگان در بررسی مقالات مختلف داخلی و بین‌المللی، این معیار در تحقیقات پیشین مکانیابی بیمارستان مورد استفاده قرار نگرفته است. نظر به اهمیت ذرات معلق، همبستگی آنها با بیماری‌های مختلف و همچنین گسترش آلودگی هوا در شهرهای بزرگ، توزیع مکانی این ذرات به عنوان یکی از معیارهای تصمیم‌گیری مد نظر قرار گرفت.	هر چه توزیع مکانی ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در یک مکان کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.

۴. مبانی نظری تحقیق

در این قسمت روش‌های مورد استفاده در تحقیق به صورت مختصر تشریح می‌گردد.

۱،۴. مدل بهترین-بدترین

مدل بهترین-بدترین (رضایی، ۲۰۱۵) یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره جدید می‌باشد که در سال ۲۰۱۵ ارائه شده است. در این مدل که بیشتر به منظور تعیین وزن معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد، وزن معیارها با استفاده از دو

[1] Aturinde
[2] Kumar
[3] Sharmin and Neema
[4] Nsaif
[5] Vahidnia

بردار مقایسات زوجی محاسبه می‌گردد. در این مدل ابتدا بهترین معیار (مهمترین معیار در تصمیم‌گیری) و بدترین معیار (کم اهمیت‌ترین معیار در تصمیم‌گیری) تعیین می‌شود، سپس بهترین معیار با همه معیارها و همه معیارها با بدترین معیار مورد مقایسه قرار گرفته و مسئله تعیین وزن‌ها به یک مسئله برنامه ریزی غیر خطی تبدیل می‌گردد. مزیت این مدل، کاهش مقایسات زوجی نسبت به سایر روش‌ها همانند فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فرایند تحلیل شبکه و رسیدن به مقایسات زوجی سازگارتر می‌باشد (رضایی، ۲۰۱۵، ص. ۵۰؛ سجادی و کریمی[1] ۲۰۱۸، ص. ۳۲۵). کاهش مقایسات زوجی توسط خبرگان، ضمن افزایش دقت، موجب افزایش سرعت در فرایند تصمیم‌گیری می‌گردد (اصغری زاده و محمدی بالانی، ۱۳۹۶. ص. ۲۸۹). در ادامه مراحل اجرای این مدل براساس (رضایی، ۲۰۱۵) به اختصار تشریح می‌گردد.

گام ۱: بهترین (B) و بدترین (W) معیار در فرایند تصمیم‌گیری مشخص می‌گردد.

گام ۲: همانند رابطه (۱)، بردار برتری بهترین معیار نسبت به همه معیارهای تصمیم‌گیری یا بردار A_B (بهترین به دیگران[2]) با استفاده از اعدادی بین ۱ تا ۹ مطابق جدول (۱) تعیین می‌گردد.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bm}) \qquad (۱)$$

جدول ۱- اعداد متناظر با ترجیحات مقایسات زوجی (مونیر[3] ۲۰۱۱، ص. ۷۸)

ترجیح یکسان (هر دو معیار به یک اندازه مهم یا ارجح هستند)	۱
کمی مرجح (یک معیار نسبتاً مهمتر از دیگری است (ترجیح ضعیف))	۳
ترجیح قوی (یک معیار مهمتر از دیگری است)	۵
ترجیح خیلی قوی (یک معیار بسیار مهمتر از دیگری است)	۷
کاملا مرجح (یک معیار بشدت مهمتر از دیگری است)	۹
ترجیحات میانی	۲و۴و۶و۸

در رابطه (۱)، a_{Bj} بیانگر برتری (اهمیت) بهترین معیار نسبت به معیار j–ام است. با توجه به اینکه اهمیت بهترین معیار نسبت به خودش یکسان است، بنابراین a_{BB} برابر با ۱ می‌باشد.

گام ۳: همانند رابطه (۲)، بردار برتری همه معیارهای تصمیم‌گیری نسبت به بدترین معیار یا بردار A_W (دیگران به بدترین[4]) با استفاده از اعدادی بین ۱ تا ۹ مطابق جدول (۱) تعیین می‌گردد.

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{mW})^T \qquad (۲)$$

در رابطه بالا a_{jW} بیانگر برتری (اهمیت) معیار j–ام نسبت به بدترین معیار است. با توجه به اینکه اهمیت بدترین معیار نسبت به خودش یکسان است، بنابراین a_{WW} برابر با ۱ می‌باشد.

گام ۴: وزن بهینه معیارهای تصمیم‌گیری ($W_1^*, W_2^*, \dots, W_m^*$)، زمانی بدست می‌آید که به ازای هر زوج $\frac{W_B}{W_j}$ و $\frac{W_j}{W_w}$، روابط $\frac{W_B}{W_j} = a_{Bj}$ و $\frac{W_j}{W_w} = a_{jw}$ برقرار باشد. به منظور برقراری شرایط گفته شده برای تمام j–ها، باید در فرایند حل مسئله،

[1] Sadjadi and Karimi
[2] Best to Others
[3] Munier
[4] Others to Worst

بیشینه قدر مطلق اختلاف $\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right|$ و $\left|\frac{W_j}{W_w} - a_{jw}\right|$ کمینه شود. به عبارتی برای محاسبه وزن معیارها باید مسئله‌ای با شرایط زیر حل گردد:

$$min \max_j \left\{\left|\frac{W_j}{W_w} - a_{jw}\right|, \left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right|\right\} \quad (۳)$$

بطوری که $\sum_{j=۱}^{m} w_j = ۱$ و برای تمام j ها باید $w_j \geq ۰$. به منظور برنامه نویسی این مسئله، روابط ذکر شده به صورت روابط (۴-۸) در نظر گرفته می‌شوند.

$$\min \xi \quad (۴)$$

$$\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right| \leq \xi, for\ all\ j \quad (۵)$$

$$\left|\frac{W_j}{W_w} - a_{jw}\right| \leq \xi, for\ all\ j \quad (۶)$$

$$\sum_{j=۱}^{m} w_j = ۱ \quad (۷)$$

$$w_j \geq ۰, for\ all\ j \quad (۸)$$

با حل مسئله فوق، وزن بهینه معیارها $(W_۱^*, W_۲^*, \dots, W_m^*)$ و ξ^* در طی تکرارهای متوالی محاسبه می‌گردد. پارامتر ξ^* به منظور محاسبه نرخ ناسازگاری[۱] از طریق رابطه (۹) مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسات سازگارند در غیر اینصورت فرایند مقایسات زوجی باید مورد تجدید نظر قرارگیرد.

$$\text{نرخ ناسازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} \quad (۹)$$

شاخص سازگاری[۲] بر اساس برتری بهترین معیار نسبت به بدترین معیار تصمیم‌گیری، همانند جدول (۲) تعیین می‌گردد.

جدول ۲- شاخص سازگاری (Rezaei, 2015. p. 52)

a_{BW}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

۲,۴. روش واسپاس

روش واسپاس (زاواسکاس[۳] و همکاران، ۲۰۱۲) در سال ۲۰۱۲ به عنوان یک تکنیک قوی در زمینه تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شد (بید و صدیق،[۴] ۲۰۱۹، ص. ۳). این روش در واقع ترکیبی از دو روش تصمیم‌گیری چند معیاره شناخته شده مجموع وزندار ساده[۵] و روش حاصل ضرب وزندار[۶] می‌باشد و نسبت به روش‌های مستقل از دقت بالاتری برخوردار

[۱] Consistency Ratio
[۲] Consistency Index
[۳] Zavadskas
[۴] Bid and Siddique
[۵] Weighted Summation Model
[۶] Weighted Product Method

است (زاواسکاس و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۷۸) مراحل این روش در ادامه بر اساس (زاواسکاس و همکاران، ۲۰۱۲) تشریح می‌گردد.

گام ۱: مطابق رابطه (۱۰) ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود.

$$X_{n\times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1□} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2□} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، n تعداد گزینه‌های مورد بررسی و m تعداد معیارهای ارزیابی می‌باشد.

گام ۲: با توجه به سود یا هزینه بودن هر معیار، ماتریس تصمیم با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) نرمال می‌شود.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} \quad (11)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (12)$$

رابطه (۱۱) به منظور نرمالسازی معیارهای سود و رابطه (۱۲) به منظور نرمالسازی معیارهای هزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گام ۳: به منظور محاسبه ماتریس نرمال ضربی، مطابق رابطه (۱۳)، بردار وزن معیارها در ماتریس تصمیم نرمال شده ضرب کرده و به منظور محاسبه ماتریس نرمال توانی، مطابق رابطه (۱۴)، ماتریس تصمیم نرمال به توان وزن معیارها می‌رسد.

$$t^{(1)}{}_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (13)$$

$$t^{(2)}{}_{ij} = {r_{ij}}^{w_j} \quad (14)$$

گام ۴: با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) مجموع سطری ماتریس نرمال وزندار ضربی و حاصل ضرب سطری ماتریس نرمال وزندار توانی محاسبه می‌گردد.

$$U_i{}^{(1)} = \sum_{j=1}^{m} t^{(1)}{}_{ij} \quad (15)$$

$$U_i{}^{(2)} = \prod_{j=1}^{m} t^{(2)}{}_{ij} \quad (16)$$

گام ۵: در نهایت، امتیاز نهایی هر گزینه با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه می‌گردد. هر چه امتیاز یک گزینه بیشتر باشد، تناسب بالاتری برای هدف مورد نظر دارد.

$$U_i = \frac{1}{2}(U_i{}^{(1)} + U_i{}^{(2)}) \quad (17)$$

۳,۴. روش تاپسیس

روش تاپسیس (هوانگ و یون[1] ۱۹۸۱) یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که در سال ۱۹۸۱ ارائه شده است. گزینه مناسب در این روش دارای کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت[2] و بیشترین فاصله از

[1] Hwang and Yoon
[2] Positive Ideal Solution

راه‌حل ایده‌آل منفی[1]می‌باشد. مراحل این روش در ادامه بر اساس مرجع (اصغری‌زاده و محمدی بالانی، ۱۳۹۶) تشریح می‌گردد.

گام ۱: مطابق رابطه (۱۰) ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود.

گام ۲: ماتریس تصمیم با استفاده از رابطه (۱۸) نرمال می‌گردد.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^{2}}} \quad (۱۸)$$

گام ۳: مطابق رابطه (۱۹)، با ضرب ماتریس تصمیم نرمال شده در وزن معیارها، ماتریس نرمال وزندار محاسبه می‌گردد.

$$t_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (۱۹)$$

گام ۴: به منظور تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت (S^+)، بهترین مقادیر هر معیار و به منظور تعیین راه‌حل ایده‌آل منفی (S^-) بدترین مقادیر هر معیار استخراج می‌گردد (رابطه (۲۰) و (۲۱)).

$$S^+ = \{t_1^+, t_2^+, \dots, t_m^+\} \quad (۲۰)$$

$$S^- = \{t_1^-, t_2^-, \dots, t_m^-\} \quad (۲۱)$$

گام ۵: با استفاده از روابط (۲۲) و (۲۳)، فاصله اقلیدسی هر گزینه از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌گردد.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (t_{ij} - t_j^+)^2} \quad (۲۲)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (t_{ij} - t_j^-)^2} \quad (۲۳)$$

گام ۶: در نهایت با استفاده از رابطه (۲۴)، اندازه فاصله نسبی هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل محاسبه می‌گردد. هرچه مقدار فاصله نسبی یک گزینه بیشتر باشد، تناسب آن بالاتر است.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (۲۴)$$

۵. یافته‌های تحقیق

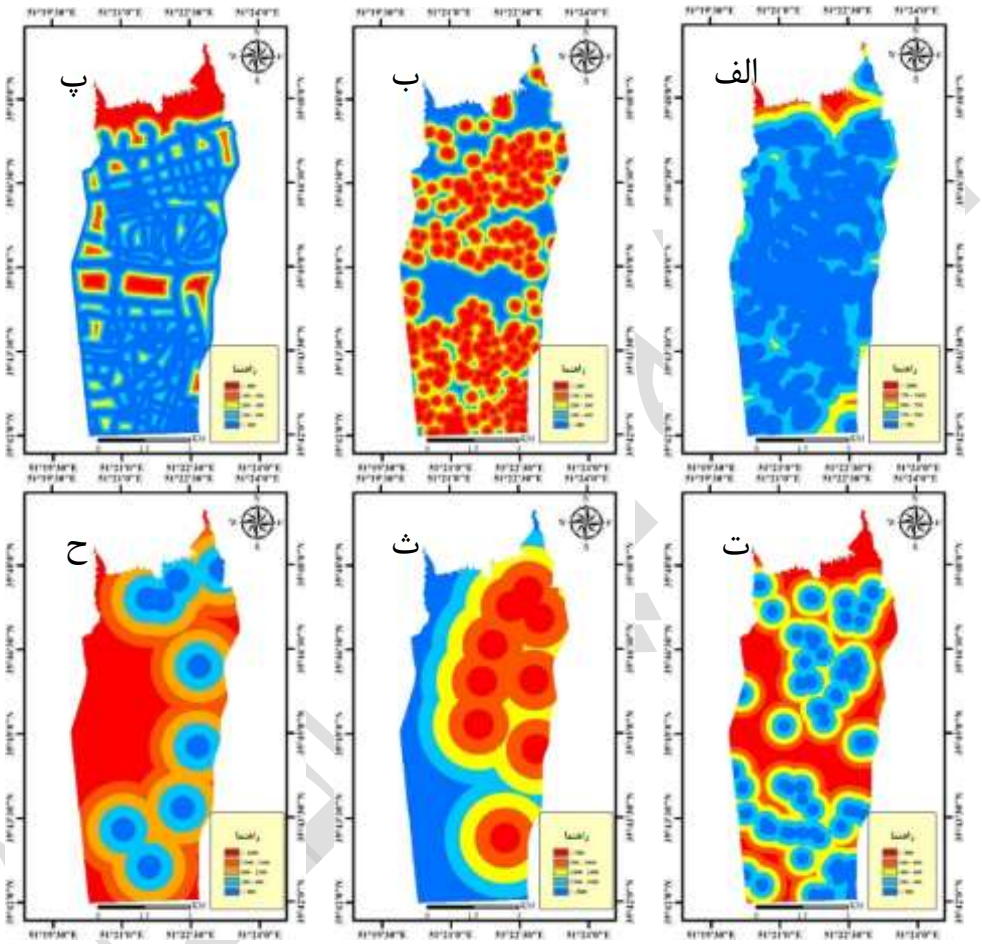
۱،۵. تهیه لایه مکانی معیارهای تصمیم‌گیری

معیارهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در قسمت ۲،۳ ارائه شد، به منظور مدلسازی تناسب ارضی جهت احداث بیمارستان، نیاز به تهیه لایه مکانی هر معیار می‌باشد. اطلاعات مکانی مورد استفاده جهت تهیه لایه معیارها شامل: نقشه رقومی کاربری اراضی منطقه ۲ شهر تهران که با استفاده از سایت شهرداری تهران[2]تکمیل گردیده است، نقشه شبکه راه‌ها، اطلاعات جمعیت بلوک‌های منطقه ۲ و مشاهدات $PM_{2.5}$ که از سایت شرکت کنترل کیفیت هوا شهرداری

[1] Negative Ideal Solution

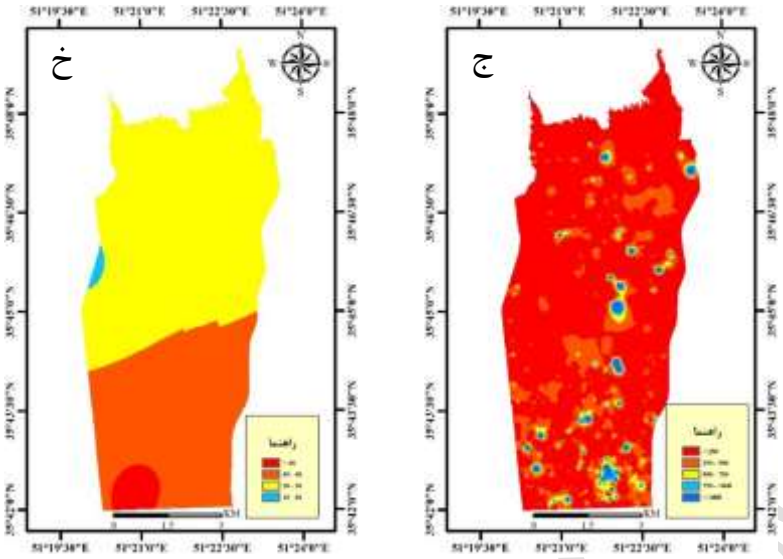
[2] map.tehran.ir

تهران[1]برای بازه زمانی ۱ بهمن ۱۳۹۹ تا ۳۰ دی ۱۴۰۰، به مدت یک سال تهیه شده است. به منظور تهیه لایه مکانی هر معیار از نرم‌افزار ArcGIS 10.3.1 و QGIS 3.20.1 استفاده شده است. ابزارهای مورد استفاده جهت تهیه لایه مکانی معیارها شامل: Euclidian Distance، Kriging Interpolation، IDW Interpolation، Extract by Mask، Reclassify و Feature to Points می‌باشد. شکل (۴) لایه‌های مکانی معیارهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد که به منظور استفاده در فرایند مدلسازی مکانی تناسب ارضی برای احداث بیمارستان جدید، مجددا در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده‌اند.



شکل ۴- الف) فاصله از فضاهای سبز، ب) فاصله از مراکز آموزشی، پ) فاصله از راه‌های اصلی، ت) فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی، ث) فاصله از بیمارستان‌های موجود، ح) فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی، واحد تمامی لایه‌ها متر می‌باشد. (ادامه)

[1] air.tehran.ir



شکل ۴- ج: تراکم جمعیت (واحد: نفر)، خ) توزیع مکانی $PM_{2.5}$ (واحد: میکرو گرم بر متر مکعب)

۲،۵. تعیین وزن معیارها با استفاده از مدل بهترین-بدترین

پس از تعیین معیارهای تصمیم‌گیری، به منظور تعیین وزن آنها با استفاده از مدل بهترین-بدترین، ابتدا بر اساس نظر ۱۵ کارشناس (با تخصص‌های سیستم اطلاعات مکانی، آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی شهری) بهترین و بدترین معیار انتخاب شد. با جمع‌بندی نظرات کارشناسان، معیار فاصله از بیمارستان‌های موجود به عنوان بهترین و معیار فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی به عنوان بدترین معیار در تصمیم‌گیری انتخاب شدند. در ادامه مقایسات زوجی میان بهترین معیار با همه و همه با بدترین معیار در قالب دو پرسشنامه مجزا توسط کارشناسان انجام شده و مقایسات نهایی از میانگین هندسی پرسشنامه‌ها به صورت جدول (۴)، در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- میانگین هندسی مقایسات زوجی کارشناسان

مقایسه زوجی	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
بهترین به دیگران	۲/۱۳	۲/۶۵	۲/۸۴	۹	۱	۳/۹۰	۲/۴۴	۲/۷۷
دیگران به بدترین	۲/۶۹	۲/۸۷	۳/۰۳	۱	۹	۲/۴۶	۳/۶۵	۳/۱۴

در مرحله بعد مسئله بهینه‌سازی مطابق روابط (۴-۸) در محیط نرم افزار Lingo 11 برنامه نویسی شده و نرخ ناسازگاری بر اساس رابطه (۹) محاسبه شده است. بر اساس نتایج پیاده سازی مدل بهترین-بدترین، پارامتر ξ^* برابر ۰/۵۱۶ بوده است. نرخ ناسازگاری بدست آماده در تحقیق حاضر برابر ۰/۰۹۷۵ بوده است و با توجه به اینکه از مقدار ۰/۱ کمتر می‌باشد، قابل قبول بوده و مقایسات سازگارند. وزن معیارهای بدست آمده از مدل بهترین-بدترین در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵- وزنهای بدست آمده برای معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین

معیار	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
وزن	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۰/۱۲۵	۰/۰۳۵	۰/۲۹۹	۰/۰۷۷	۰/۱۲۹	۰/۱۱۱

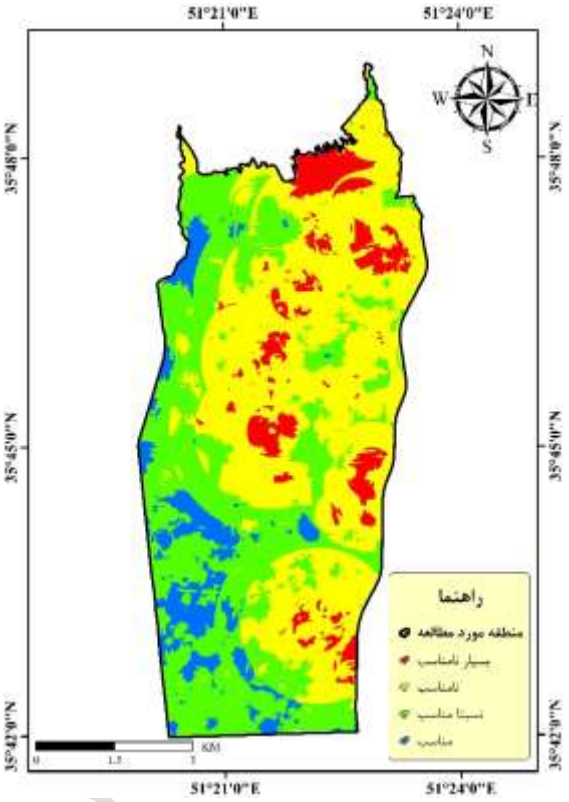
همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می‌گردد، به ترتیب معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود و تراکم جمعیت بیشترین وزن و بترتیب معیارهای فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی و فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی کمترین وزن

را به خود اختصاص داده‌اند. همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می‌گردد، معیار توزیع مکانی$PM_{2.5}$ دارای وزنی به مراتب بیشتر از دو معیار فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی و فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی بوده و وزنی تقریبا برابر با وزن دو معیار فاصله از فضاهای سبز و فاصله از مراکز آموزشی داشته است. بنابراین اهمیت در نظر گرفتن این معیار در فرایند مدلسازی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه بیمارستان مشخص گردیده است.

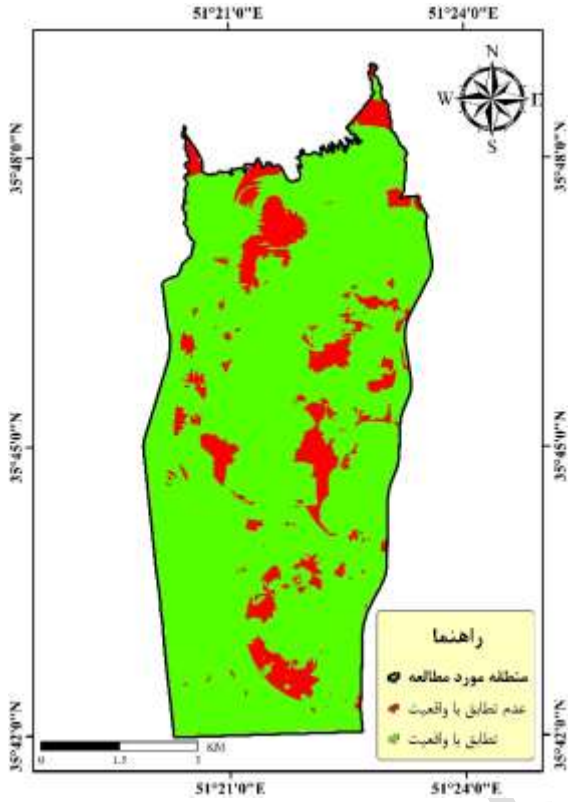
۳،۵. مدلسازی مکانی تحلیل تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان

پس از محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از مدل بهترین-بدترین، لایه‌های مکانی معیارها که مجددا طبقه‌بندی شده‌اند، با استفاده از روش همپوشانی شاخص[۱]و بوسیله ابزار جبر نقشه‌ای در محیط نرم افزار ArcGIS ۱۰،۳،۱ با هم تلفیق شده و نقشه تناسب اراضی بدست آمده است. همانگونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، نقشه تناسب اراضی مجددا در ۴ کلاس بسیار نامناسب، نامناسب، نسبتا مناسب و مناسب طبقه‌بندی شده است. نقشه مدلسازی مکانی، تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان را نشان می‌دهد. قسمت غربی و بخصوص قسمت جنوب غربی منطقه ۲ نسبت به سایر قسمت‌ها، جهت احداث بیمارستان از تناسب بیشتری برخوردار است. همچنین نیمه شرقی، بویژه شمال شرق منطقه از تناسب کمتری برخوردار است که با توجه به تراکم بیمارستان‌های موجود در این مناطق، نتایج مدلسازی تا حدود بسیار زیادی منطبق بر واقعیت بوده است. نقشه مقایسه نتایج مدلسازی مکانی (شکل (۵)) با شعاع دسترسی منطقه ۲ (شکل (۱))، در شکل (۶) ارائه شده است. با توجه به شکل (۶)، تناسب ۸۷/۶۴ درصد از وسعت منطقه در نتایج مدلسازی مکانی دقیقا مطابق با واقعیت منطقه بوده و تناسب ۱۲/۳۶ درصد از وسعت منطقه در نتایج مدلسازی مکانی مطابق با واقعیت منطقه نبوده است. میزان تطابق تقریبا ۸۸ درصد بیانگر عملکرد مناسب رویکرد ارائه شده می‌باشد. بنابراین با توجه به شکل شماره (۵) قسمت‌های غربی و جنوب غربی به منظور احداث بیمارستان جدید در منطقه از تناسب بالا برخوردار هستند.

[۱] Index Overlay

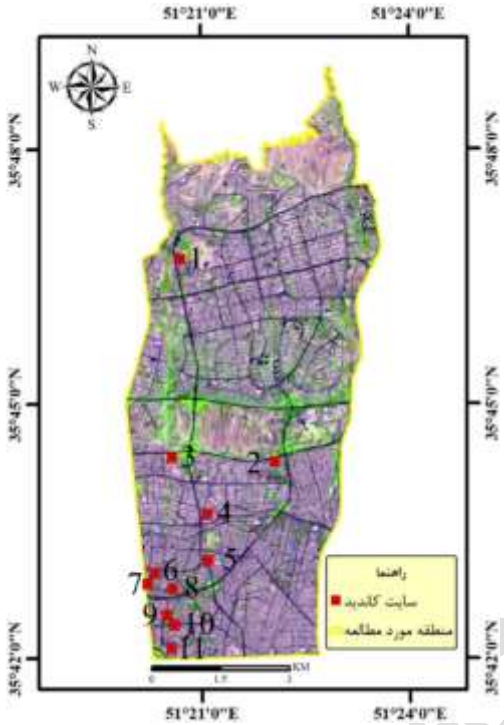


شکل ۵- نقشه مدلسازی مکانی تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان



شکل ۶- نقشه مقایسه نتایج مدلسازی و واقعیت‌های منطقه

پس از تعیین مناطق مستعد احداث بیمارستان جدید، به منظور تعیین یک یا چند سایت مشخص بهینه جهت احداث بیمارستان جدید، تعداد ۱۱ سایت با مشخصات ارائه شده در جدول (۶)، در قسمت‌های مناسب و نسبتا مناسب به منظور انجام فرایند رتبه‌بندی همانند شکل (۷) انتخاب شده است. سایت‌های کاندید با در نظر گرفتن ۳ قید دسترسی مناسب به راه‌های اصلی، مساحت بیش از ۳۵۰۰ متر مربع و بایر بودن زمین مورد نظر، انتخاب شده‌اند. لازم به ذکر است که مالکیت قسمت‌هایی از سایت‌های انتخاب شده حاکمیتی و و مالکیت قسمت‌هایی از آنها شخصی می‌باشد. در نهایت به منظور تشکیل ماتریس تصمیم همانند رابطه (۱۰)، مقادیر تمام معیارهای تصمیم‌گیری برای تمام سایت‌های کاندید محاسبه می‌شود. به منظور تعیین یک یا چند سایت بهینه از میان ۱۱ سایت کاندید انتخاب شده، نیازمند انجام فرایند رتبه‌بندی هستیم، زیرا تمامی سایت‌های کاندید سه قید مد نظر را داشته و همچنین در اراضی مناسب و یا نسبتا مناسب جهت احداث بیمارستان قرار دارند. در تحقیق حاضر به منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است. در ادامه فرایند پیاده‌سازی این روش‌ها و نتایج آنها تشریح می‌گردد.



شکل ۷- سایت‌های کاندید انتخاب شده

جدول ۶- مشخصات سایت‌های کاندید انتخاب شده

سایت	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
۱	۱۱۹/۶۲	۵۲۶/۶۵	۱۳۶/۵۴	۸۹۳/۲۳	۱۸۹۵/۰۶	۱۸۳۹/۸۷	۱۷۷/۹۲	۲۴/۰۴
۲	۱۴۲/۷۵	۵۲۴/۷۷	۴/۹۰	۱۰۰۳/۴۳	۱۴۳۶/۳۶	۱۲۲۷/۴۱	۲۸۸/۰۴	۳۱/۵۹
۳	۱۴۹/۷۵	۵۴۸/۲۱	۸۱/۵۱	۸۲۶/۴۲	۲۱۴۰/۸۲	۲۱۰۹/۷۵	۳۹/۹۴	۲۹/۱۴
۴	۲۹۷/۲۷	۱۱۳/۴۴	۱۱۵/۳۶	۶۲۷/۹۸	۱۹۶۷/۹۵	۷۵۷/۸۱	۲۰/۰۲	۳۴/۰۷
۵	۱۵۰/۰۱	۲۲۹/۹۵	۱۳/۲۳	۱۷۸/۴۹	۱۶۸۷/۵۵	۲۷۵/۴۳	۲۲۹/۸۸	۳۷/۰۲
۶	۷۵/۷۵	۱۶۴/۳۶	۹۴/۴۴	۸۰۰/۳۲	۲۸۴۹/۶۲	۱۲۱۰/۳۸	۱۴۲/۶۷	۳۶/۸۸
۷	۱۷۵/۷۲	۳۲۴/۹۱	۶۱/۶۱	۶۹۵/۸۳	۲۹۹۴/۱۹	۱۴۶۱/۱۸	۶/۸۴	۳۷/۱۸
۸	۲۰۴/۴۷	۲۵۵/۳۲	۱۴۶/۷۲	۷۶۸/۹۵	۲۵۳۱/۵۸	۱۱۱۶/۹۶	۶۲۷/۲۱	۳۸/۵۳
۹	۲۱۴/۷۶	۱۱۲/۵۱	۱۸۹/۷۶	۳۵۷/۸۰	۲۸۰۲/۴۸	۱۶۶۳/۰۰	۳۷۲/۲۱	۳۹/۶۲
۱۰	۱۶۱/۳۰	۷۹/۲۰	۳۴/۲۶	۱۲۸/۳۰	۲۷۹۵/۵۸	۱۵۶۶/۲۷	۶۸/۷۹	۴۰/۶۰
۱۱	۱۳۱/۸۱	۱۲۸/۰۸	۱۰۷/۹۰	۳۱۴/۷۸	۳۱۱۲/۶۰	۱۸۲۸/۷۸	۶۱/۶۶	۴۰/۶۶

۴،۵. تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان به روش واسپاس

ابتدا مطابق رابطه (۱۰) ماتریس تصمیم بدست آمده مرحله قبل ساختار بندی شده است. در گام بعد با توجه به سود یا هزینه بودن هر معیار (بر اساس ستون سوم جدول (۳))، درایه‌های ماتریس تصمیم با استفاده از یکی از دو رابطه (۱۱) یا (۱۲) نرمال شده است. معیاری که افزایش مقدار آن موجب افزایش تناسب گزینه برای هدف تصمیم‌گیری (تناسب برای احداث بیمارستان) شود را معیار سود و معیاری که کاهش مقدار آن موجب افزایش تناسب گزینه برای هدف تصمیم‌گیری شود را معیار هزینه گویند. در تحقیق حاضر معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود، فاصله از

مراکز آموزشی و تراکم جمعیت معیارهای سود و سایر معیارها هزینه هستند. در گام بعد با استفاده از بردار وزن بدست آمده از مدل بهترین-بدترین، ماتریس تصمیم نرمال ضربی (روش مجموع وزندار ساده) و ماتریس تصمیم نرمال توانی (روش حاصل‌ضرب وزندار) به ترتیب با استفاده از روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه شده است. در گام بعد مجموع و حاصل‌ضرب سطری دو ماتریس بدست آمده از مرحله قبل با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) بدست آمده است. در نهایت با استفاده از رابطه (۱۷)، امتیاز نهایی هر سایت کاندید محاسبه شده است. جدول (۷) معیارهای مجموع سطری ماتریس نرمال وزندار ضربی (U_1)، حاصل‌ضرب سطری ماتریس نرمال وزندار توانی (U_2)، امتیاز نهایی هر سایت (U) و رتبه آن را نشان می‌دهد.

جدول ۷- نتایج رتبه‌بندی روش واسپاس

سایت کاندید	U_1	U_2	U	رتبه
سایت ۱	۰/۵۳۱	۰/۳۶۹	۰/۴۵۰	۵
سایت ۲	۰/۵۹۷	۰/۵۳۵	۰/۵۶۶	۱
سایت ۳	۰/۴۹۹	۰/۳۲۰	۰/۴۱۰	۸
سایت ۴	۰/۳۶۴	۰/۲۲۷	۰/۲۹۶	۱۱
سایت ۵	۰/۵۳۴	۰/۵۱۱	۰/۵۲۳	۲
سایت ۶	۰/۵۵۲	۰/۳۸۷	۰/۴۷۰	۴
سایت ۷	۰/۵۰۷	۰/۲۷۲	۰/۳۹۰	۱۰
سایت ۸	۰/۵۵۹	۰/۳۹۸	۰/۴۷۸	۳
سایت ۹	۰/۵۰۵	۰/۳۳۹	۰/۴۲۲	۶
سایت ۱۰	۰/۴۸۴	۰/۳۴۸	۰/۴۱۶	۷
سایت ۱۱	۰/۵۰۰	۰/۳۱۷	۰/۴۰۹	۹

همانطور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، امتیاز نهایی تمام سایت‌های کاندید به جز دو سایت شماره ۴ و ۷، تقریبا به هم نزدیک است. دلیل نزدیک بودن امتیاز سایت‌های کاندید به هم این است که تمامی سایت‌ها در اراضی با تناسب بالا انتخاب شده‌اند و مقادیر معیارها در کل برای آنها نزدیک به هم است. بر اساس جدول (۷)، سه سایت ۲، ۵ و ۸ به ترتیب با کسب رتبه‌های ۱ تا ۳، بهینه‌ترین مکان برای احداث بیمارستان هستند. همچنین سایت‌های ۴، ۷ و ۱۱ آخرین اولویت‌ها برای احداث بیمارستان می‌باشند.

۵,۵. تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان به روش تاپسیس

در گام اول همانند روش قسمت قبل، ماتریس تصمیم مطابق رابطه (۱۰) تشکیل شده است. در گام بعد با استفاده از رابطه (۱۸) ماتریس تصمیم گام قبل نرمال شده است. در گام بعد، مطابق رابطه (۱۹)، با ضرب ماتریس تصمیم نرمال شده در بردار وزن بدست آمده از مدل بهترین-بدترین، ماتریس تصمیم نرمال وزندار محاسبه شده است. در گام بعد همانند جدول (۸)، مجموعه راه‌حل ایده‌آل مثبت (S^+) و منفی (S^-) مطابق روابط (۲۰) و (۲۱) بدست آمده است. در گام بعد با استفاده از روابط (۲۲) و (۲۳)، بترتیب فواصل اقلیدسی از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی برای هر سایت کاندید محاسبه شده است. در نهایت اندازه فاصله نسبی هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل با استفاده از رابطه (۲۴) محاسبه شده است. جدول (۹) فواصل اقلیدسی از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، اندازه فاصله نسبی از راه‌حل ایده‌آل و رتبه هر سایت را نشان می‌دهد.

جدول ۸- مجموعه راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی روش تاپسیس

راه‌حل	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
مجموعه راه‌حل مثبت	۰/۰۱۵	۰/۰۵۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۹۵	۰/۰۲۳
مجموعه راه‌حل منفی	۰/۰۵۸	۰/۰۰۸	۰/۰۶۸	۰/۰۱۶	۰/۰۵۳	۰/۰۳۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳۸

جدول ۹- نتایج رتبه‌بندی روش تاپسیس

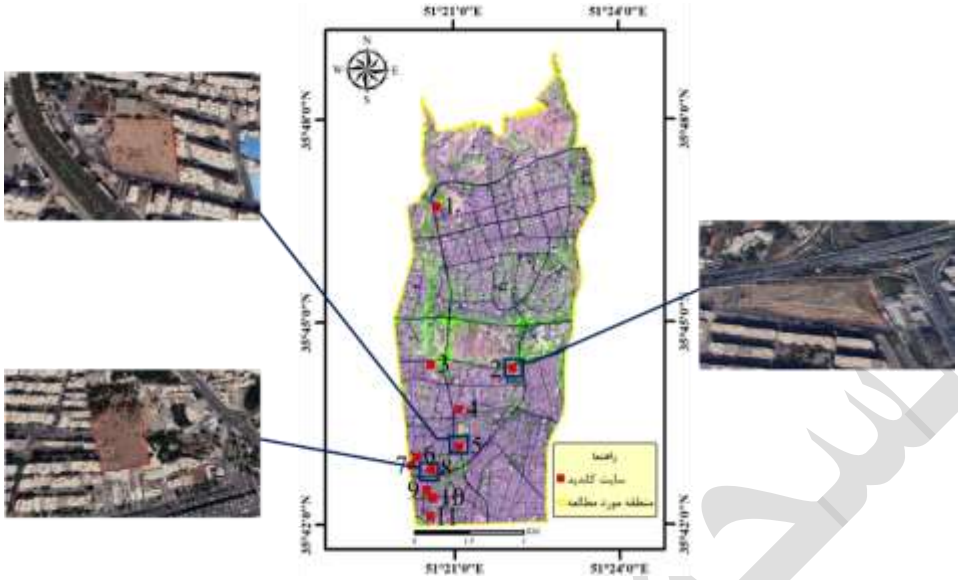
سایت	d^+	d^-	C_i	رتبه
سایت ۱	۰/۱۰۷	۰/۰۵۷	۰/۴۱۹	۸
سایت ۲	۰/۰۷۸	۰/۱۰۳	۰/۵۳۸	۲
سایت ۳	۰/۱۱۶	۰/۰۵۶	۰/۴۱۶	۱۰
سایت ۴	۰/۱۰۲	۰/۰۸۴	۰/۲۴۳	۱۱
سایت ۵	۰/۰۷۰	۰/۱۰۱	۰/۴۹۱	۳
سایت ۶	۰/۱۰۶	۰/۰۶۲	۰/۴۶۵	۴
سایت ۷	۰/۱۱۹	۰/۰۵۸	۰/۴۴۳	۵
سایت ۸	۰/۰۷۱	۰/۱۰۸	۰/۵۹۵	۱
سایت ۹	۰/۰۹۶	۰/۰۷۹	۰/۴۴۲	۶
سایت ۱۰	۰/۱۰۵	۰/۰۸۰	۰/۴۴۰	۷
سایت ۱۱	۰/۱۱۹	۰/۰۵۷	۰/۴۱۷	۹

همانگونه که در جدول (۹) مشاهده می‌گردد، همانند روش واسپاس، در روش تاپسیس نیز امتیاز نهایی تمام سایت‌های کاندید (به جز سایت شماره ۱۱) به هم نزدیک است. همانگونه که گفته شد، دلیل نزدیک بودن امتیاز سایت‌های کاندید به هم این است که تمامی سایت‌ها در اراضی با تناسب بالا انتخاب شده‌اند و مقادیر معیارها در کل برای آنها نزدیک به هم است. بر اساس جدول (۹)، سه سایت ۸، ۲ و ۵ به ترتیب با کسب رتبه‌های ۱ تا ۳، بهینه‌ترین مکان برای احداث بیمارستان هستند. همچنین سایت‌های ۴، ۳ و ۱۱ اولویت‌های آخر جهت احداث بیمارستان می‌باشند.

۶,۵. انتخاب مکان بهینه جهت احداث بیمارستان

همانگونه که در دو قسمت قبل مشاهده شده، نتایج دو روش رتبه‌بندی واسپاس و تاپسیس به منظور تعیین مکان بهینه بیمارستان تقریبا با هم مشابه بوده است. هر دو روش سایت‌های ۲، ۵، ۶ و ۸ را به عنوان ۴ سایت بهینه و سایت‌های ۴ و ۱۱ را به عنوان اولویت‌های آخر جهت احداث بیمارستان انتخاب کرده‌اند. بنابراین با توجه به تمایل تصمیم‌گیران به در دسترس بودن چند گزینه مناسب جهت احداث بیمارستان جدید، همانگونه که در شکل (۸) مشاهده می‌گردد، سه سایت ۲، ۵ و ۸ براساس تلفیق نتایج هر دو روش تصمیم‌گیری چند معیاره، به عنوان مکان بهینه احداث بیمارستان جدید انتخاب شده است. سه سایت انتخاب شده بیشترین امتیاز را در ارزیابی سایت‌های کاندید توسط دو روش واسپاس و تاپسیس کسب کرده‌اند. سایت شماره ۵ و ۸ نسبت به سایت شماره ۲ از بیمارستان‌های موجود فاصله بیشتری دارند و به فرایند کاهش تمرکز امکانات بیمارستانی در نیمه شرقی و شمال شرقی منطقه ۲ کمک بیشتری می‌کنند. مساحت هر سه سایت انتخاب شده همانند بقیه سایت‌های کاندید بیش از ۳۵۰۰ متر مربع می‌باشد و از نظر میزان مساحت هیچکدام اولویتی بر دیگری ندارد. سایت شماره ۲ که به عنوان اولین اولویت انتخاب شده است، از نظر دسترسی به راها نسبت به دو سایت دیگر، از اولویت بالاتری برخوردار است زیرا در احاطه چند بزرگراه و راه اصلی قرار گرفته است. البته لازم به یادآوری است که تمامی معیارهای مکانیابی بیمارستان برای تمام ۱۱ سایت بوسیله دو روش تصمیم‌گیری

چند معیاره واسپاس و تاپسیس مورد ارزیابی قرار گرفته است و امتیاز هر سایت برآیند ارزیابی آن سایت براساس تمام معیارها می‌باشد.



شکل ۸- سایت‌های بهینه انتخاب شده جهت احداث بیمارستان

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحقیق حاضر با هدف مدلسازی مکانی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه احداث بیمارستانی جدید در منطقه ۲ کلانشهر تهران انجام شده است. در این تحقیق به منظور افزایش دقت و بهبود فرایند تصمیم‌گیری، یک روش ترکیبی مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی، مدل وزندهی بهترین-بدترین و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره واسپاس و تاپسیس ارائه شده است. در تحقیق حاضر علاوه بر معیارهای پر استفاده در تحقیقات پیشین، توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$ نیز به دلیل ارتباط با بروز و تشدید بیماری‌های مختلف، به عنوان یک معیار تصمیم‌گیری انتخاب شده است. به منظور تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیری از مدل وزندهی بهترین-بدترین استفاده شده است. این روش علاوه بر کاهش چشمگیر مقایسات زوجی نسبت به سایر روش‌های وزندهی مبتنی بر نظرات خبرگان، موجب افزایش دقت تصمیم‌گیری نیز می‌شود. در ادامه لایه‌های مکانی معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از بردار وزن بدست آمده از مدل بهترین-بدترین، به روش همپوشانی شاخص با هم تلفیق شده و نقشه تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان تهیه شد. به منظور انتخاب یک یا چند مکان برای احداث بیمارستان، ۱۱ سایت کاندید در قسمت‌های با تناسب بالا، بوسیله دو روش تصمیم‌گیری واسپاس و تاپسیس رتبه‌بندی شدند. روش واسپاس یک روش تصمیم‌گیری جدید بوده که با ترکیب معیارهای ارزیابی دو روش مجموع وزندار ساده و روش حاصل ضرب وزندار ارائه شده است. این ترکیب معیارهای ارزیابی موجب افزایش دقت این روش نسبت به دو روش پایه شده است. بر اساس نتایج مدل بهترین-بدترین (جدول (۳))، معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است که با نتایج تحقیقات (زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ زندی و دلاور، ۲۰۲۱؛ وحیدنیا و همکاران، ۲۰۰۹) مطابقت دارد. این در حالی است که نتایج وزندهی در تحقیق (بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱) بیانگر وزن بالاتر فاصله از شبکه حمل و نقل می‌باشد. معیار توزیع مکانی $PM_{2.5}$، وزنی به مراتب بیشتر از دو معیار فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی و فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی داشته و وزنی تقریبا برابر با

وزن دو معیار فاصله از فضاهای سبز و فاصله از مراکز آموزشی داشته است. بنابراین اهمیت در نظر گرفتن این معیار در فرایند مدلسازی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه بیمارستان مشخص گردیده است. نقشه مدلسازی مکانی تناسب اراضی (شکل (۵)) نشان می‌دهد که قسمت غربی و بخصوص قسمت جنوب غربی منطقه ۲ نسبت به سایر قسمت‌ها، جهت احداث بیمارستان از تناسب بالاتری برخوردار هستند. این نتایج به مقدار زیادی با نتایج (کاوه و مسگری، ۱۳۹۸؛ کاوه و همکاران، ۲۰۲۰) مطابقت دارد. نتایج مدلسازی مکانی به میزان ۸۸ درصد با واقعیت‌های منطقه مورد مطالعه تطابق داشته است. نتایج دو روش رتبه‌بندی واسپاس و تاپسیس به منظور تعیین مکان بهینه بیمارستان تقریبا با هم مشابه بوده است که با نتایج (بید و صدیق، ۲۰۱۹؛ بیک و آنت من[1] ۲۰۲۱) مطابقت دارد.

یکی از الزامات آمایش سرزمین جلوگیری از تمرکز امکانات در یک پهنه و ایجاد پراکندگی فضایی مطلوب امکانات می‌باشد (حسینی و صدیقی، ۱۳۹۳، ص ۳۴۷). تمرکز امکانات در یک پهنه، در هنگام وقوع بحران و افزایش نیاز شهروندان به خدمات باعث ایجا ترافیک، ازدحام جمعیت و هرج و مرج می‌شود (حسینی و صدیقی، ۱۳۹۳، ص ۳۴۷). لازم به ذکر است در صورت عدم تناسب میان جمعیت و امکانات، مسئله خسارات ناشی از عدم پاسخگویی به موقع نیز بر این مشکلات افزوده می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نه تنها به تمرکز زایی در منطقه ۲ منجر نشده است بلکه باعث تمرکز زدایی شده است. البته همانطور که در مقدمه گفته شد، امکانات فعلی بیمارستانی منطقه ۲ با جمعیت آن تناسب نداشته و احداث بیمارستان جدید تا حدودی این عدم تناسب را جبران می‌کند.

پرکاربردترین روش‌های وزندهی در مسائل مختلف معمولا روش‌های مبتنی بر نظرات خبرگان یا روش‌های وزندهی موضوعی می‌باشند. از بهترین و پرکاربردترین این روش‌ها می‌توان دو روش وزندهی موضوعی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه اشاره کرد. چالش اساسی در این دو روش این است که با افزایش تعداد گزینه‌ها یا وابستگی آنها به هم، مقایسات زوجی به شدت افزایش می‌یابد، در حالی که در مدل وزندهی بهترین-بدترین تعداد مقایسات زوجی به مراتب کمتر است. لازم به ذکر است که روش‌های وزندهی عینی که وزن معیارها را با استفاده از جدول اطلاعات محاسبه می‌کنند، می‌تواند در زمانی بسیار کمتر از مدل بهترین-بدترین انجام پذیرند، ولی در این روش‌ها وزن‌های محاسبه شده اغلب با نظرات خبرگان مطابقت ندارد.

نرخ ناسازگاری وزندهی معیارها به روش بهترین-بدترین برابر با ۰/۰۹۷۵ بوده است که نشان‌دهنده قابلیت اطمینان بالای وزن‌های بدست آمده است. روش وزندهی بهترین-بدترین صرفا با یک بار تکمیل پرسشنامه به نرخ ناسازگاری مطلوب رسیده است در حالی که در روش متداول فرایند تحلیل سلسله مراتبی امکان رسیدن به این مقدار نرخ ناسازگاری با یک بار تکمیل پرسشنامه دور از واقعیت یا حداقل دشوار است. به عبارتی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی به دلیل تعدد ماتریس‌های مقایسات زوجی میان معیارهای مختلف، امکان بروز ناسازگاری و در نتیجه افزایش نرخ ناسازگاری امری طبیعی است. به منظور غلبه بر این مشکل معمولا پرسشنامه‌ها (ماتریس‌های مقایسات زوجی) چندین مرتبه مورد بازبینی قرار می‌گیرند که این خود موجب افزایش زمان و هزینه و کاهش دقت تصمیم‌گیری می‌گردد. روش وزندهی استفاده شده در تحقیق حاضر تنها با استفاده از ۲ ماتریس مقایسات زوجی، موجب بهبود دقت و کاهش معنا دار زمان تصمیم‌گیری شده است. علاوه بر روش وزندهی، در تحقیق حاضر ترکیب مدلسازی مکانی تناسب اراضی و رتبه‌بندی نیز به کاهش زمان فرایند تصمیم‌گیری و بهبود دقت آن منجر شده است. چراکه با انجام مدلسازی مکانی

[1] Miç and Antmen

تناسب اراضی، فضای جستجو برای انتخاب سایت‌های کاندید به شدت کاهش یافته است. به عبارتی به جای در نظر گرفتن سایت‌هایی از تمام سطح منطقه ۲ تهران، سایت‌ها تنها در قسمت‌های محدودی که از تناسب بالایی برخوردار بودند، انتخاب شده است. این مسئله هم حجم محاسبات و زمان تصمیم‌گیری را کاهش داده است و هم از ورود سایت‌های نامناسب و تأثیر آنها در فرایند تصمیم‌گیری جلوگیری کرده و موجب بهبود دقت تصمیم‌گیری شده است. روش تصمیم‌گیری تاپسیس یکی از پرکاربردترین و دقیق‌ترین روش‌های رتبه‌بندی می‌باشد که در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (آپروکویک و تنگ[۱] ۲۰۰۴، ص. ۴۴۸). مقایسه روش‌های جدید با این روش می‌تواند به عنوان یک معیار ارزیابی از عملکرد آنها باشد. در تحقیق حاضر برای اولین بار از روش جدید واسپاس به منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بیمارستان در مقایسه با روش تاپسیس استفاده شده است. نتایج هر دو روش مشابه بوده و این نشان‌دهنده عملکرد مطلوب روش واسپاس در مسئله مکانیابی بیمارستان می‌باشد. در تحقیق حاضر در راستای رصد و پایش معیارهای موثر در مکانیابی بیمارستان و افزایش تشخیص دقیق‌تر مکان‌های مستعد احداث بیمارستان، برای اولین بار معیار توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$ به عنوان یک معیار تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته است. این ذرات موجب بروز و تشدید بیماری‌های تنفسی، قلبی و عروقی و ... می‌گردند. بنابراین مطلوب است که مکان بیمارستان در محلی واقع شود که حتی الامکان غلظت این ذرات کمترین مقدار ممکن باشد. در برخی از تحقیقات پیشین (لین و تسای[۲] ۲۰۱۰؛ وحیدنیا و همکاران، ۲۰۰۹؛ سنوار[۳]و همکاران، ۲۰۱۶) معیار مهم قیمت زمین نیز مورد توجه قرار گرفته است که در تحقیق حاضر به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات ارزش املاک، این معیار در نظر گرفته نشده است. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی این معیار مد نظر قرار گیرد. در تحقیق حاضر به دلیل اهمیت ذرات $PM_{۲.۵}$، تنها این ذرات به عنوان نماینده آلودگی هوا در نظر گرفته شده است. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی سایر پارامترهای آلودگی هوا نیز مورد توجه قرار گیرند. به منظور بررسی دقیق‌تر و در نتیجه افزایش دقت تصمیم‌گیری توصیه می‌شود در تحقیقات آینده معیارهای پراکندگی مکانی بیماران و بیماری‌ها و همچنین تقاضای دریافت خدمات بهداشتی و درمانی شهروندان سایر مناطق شهر تهران و شهرهای دیگر مورد توجه قرار گیرد. همچنین مقایسه عملکرد مدل وزندهی بهترین-بدترین با روش وزندهی سوارا[۴]در زمینه تعیین مکان بهینه بیمارستان نیز به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی توصیه می‌گردد.

منابع

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

سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران (۱۳۹۸). *آمارنامه شهرداری تهران ۱۳۹۷ (سالنامه آماری شهرداری تهران)*. چاپ اول، تهران، سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.

حسینی، س. ه.، صدیقی، ا. (۱۳۹۳). تحلیلی بر آمایش فضایی-مکانی فضاهای درمانی مشهد با رویکرد پدافند غیرعامل. *مجله علمی آمایش سرزمین*، ۶(۲)، ۳۳۵-۳۶۱.

[۱] Opricovic and Tzeng
[۲] Lin and Tsai
[۳] Senvar
[۴] Stepwise Weight Assessment Ration Analysis

درگاهی، ح. (۱۳۹۰). *استانداردهای بیمارستان*. چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

زندی، ا.، پهلوانی، پ. و بیگدلی، ب. (۱۳۹۹). تلفیق روش وزن‌دهی عینی کریتیک با روش کوداس و ویکور به منظور انتخاب مکان‌های مستعد احداث بیمارستان (مطالعه موردی: منطقه ۵ تهران). *جغرافیا و توسعه فضای شهری*، ۷(۲)، ۴۱-۶۳.

زندی، ا.، پهلوانی، پ. (۱۴۰۰). مدلسازی مکانی و اولویت‌بندی مناطق مستعد جهت احداث بیمارستان با استفاده از تحلیل-های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۵ تهران). *مجله علمی آمایش سرزمین*، ۱۳(۱)، ۲۴۷-۲۸۰.

زندی، ا.، پهلوانی، پ. و بیگدلی، ب. (۱۴۰۱). رتبه بندی بهینهٔ سایت‌های کاندید بیمارستان با استفاده از تلفیق روش‌های وزن‌دهی عینی و تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله علمی آمایش سرزمین*، ۱۴(۱)، ۳۶۹-۳۴۷.

کاوه، م.، مسگری، م. س. (۱۳۹۸). مکانیابی مراکز بیمارستان با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ترکیبی مطالعه موردی: منطقه دو تهران. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۸(۱۱۱)، ۷-۲۲.

مصدق‌راد، ع. م.، دهنوی، ح.، و درورودی، ع. (۱۴۰۰). عدالت در توزیع تختهای بیمارستانی شهر تهران: گزارش کوتاه. *مجله دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران*، ۷۹(۲)، ۱۵۶-۱۶۲.

Adalı, E. A., and Tuş, A. (2021). Hospital site selection with distance-based multi-criteria decision-making methods. *International Journal of Healthcare Management*, 14(2), 534-544.

Adam, S. P., Alexandropoulos, S. A. N., Pardalos, P. M., and Vrahatis, M. N. (2019). No free lunch theorem: A review. *Approximation and Optimization: Algorithms, Complexity and Applications*, 57-82.

Almansi, K. Y., Shariff, A. R. M., Abdullah, A. F., and 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.

Aturinde, A., Farnaghi, M., Pilesjö, P., Sundquist, K., and Mansourian, A. (2021). Spatial analysis of ambient air pollution and cardiovascular disease (CVD) hospitalization across Sweden. *GeoHealth*, 5(5), e2020GH000323.

Bai, L. I., Shin, S., Burnett, R. T., Kwong, J. C., Hystad, P., van Donkelaar, A., and Chen, H. (2019). Exposure to ambient air pollution and the incidence of congestive heart failure and acute myocardial infarction: A population-based study of 5.1 million Canadian adults living in Ontario. *Environment international*, 132, 105004, 1-11.

Bid, S., and Siddique, G. (2019). Human risk assessment of Panchet dam in India using TOPSIS and WASPAS multi-criteria decision-making (MCDM) methods. *Heliyon*, 5(6), e01956.

Boyacı, A. Ç., and 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.

Chatterjee, D., and 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.

Cox Jr, L. A. T. (2017). Socioeconomic and air pollution correlates of adult asthma, heart attack, and stroke risks in the United States, 2010–2013. *Environmental Research*, 155, 92-107.

Dell'Ovo, M., Capolongo, S., and Oppio, A. (2018). Combining spatial analysis with MCDA for the siting of healthcare facilities. *Land Use Policy*, 76, 634-644.

Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., Ebadi Torkayesh, A., and Derakhti, A. (2020). Application of a gray-based decision support framework for location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic. *Symmetry*, 12(6), 886, 1-15.

Hwang, C. L., and Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: a state of the art survey. *Lecture notes in economics and mathematical systems*, 186(1).

Kaveh, M., Kaveh, M., Mesgari, M. S., and Paland, R. S. (2020). Multiple criteria decision-making for hospital location-allocation based on improved genetic algorithm. *Applied Geomatics*, 12(3), 291-306.

Kumar, P., Singh, R. K., and Sinha, P. (2016). Optimal site selection for a hospital using a fuzzy extended ELECTRE approach. *Journal of Management Analytics*, 3(2), 115-135.

Lin, C.-T., Wu, C.-R., and Chen, H.-C. (2006). Selecting the Location of Hospitals in Taiwan to Ensure a Competitive Advantage via GRA. *Journal of Grey System*, 18 (3).

Lin, C.-T., and Tsai, M.-C. (2010). Location choice for direct foreign investment in new hospitals in China by using ANP and TOPSIS. *Quality and Quantity*, 44(2), 375–390.

Liu, L., Zhang, Y., Yang, Z., Luo, S., and Zhang, Y. (2021). Long-term exposure to fine particulate constituents and cardiovascular diseases in Chinese adults. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 126051.

Miç, P., and Antmen, Z. F. (2021). A Decision-Making Model Based on TOPSIS, WASPAS, and MULTIMOORA Methods for University Location Selection Problem. *SAGE Open*, 11(3), 21582440211040115.

Moradian, M. J., Ardalan, A., Nejati, A., Boloorani, A. D., Akbarisari, A., and Rastegarfar, B. (2017). Risk criteria in hospital site selection: a systematic review. *PLoS currents*, 9.

Munier, N. (2011). *A strategy for using multicriteria analysis in decision-making: a guide for simple and complex environmental projects*. Springer Science & Business Media.

Nsaif, Q. A., Khaleel, S. M., and Khateeb, A. H. (2020). Integration of GIS and remote sensing technique for hospital site selection in Baquba district. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(3), 1492-1505.

Opricovic, S., and Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455.

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57.

Rezayee, M. 2020. Hospital site selection in Iskandar Malaysia using GIS-multi criteria analysis. Int J Basic Sci Appl Comput, Vol. 2, No. 10, PP. 8-15.

Sadeghi, M., Ahmadi, A., Baradaran, A., Masoudipoor, N., and Frouzandeh, S. (2015). Modeling of the relationship between the environmental air pollution, clinical risk factors, and hospital mortality due to myocardial infarction in Isfahan, Iran. *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 20(8), 757-762.

Sadjadi, S., and Karimi, M. (2018). Best-worst multi-criteria decision-making method: A robust approach. *Decision Science Letters*, 7(4), 323-340.

Şahin, T., Ocak, S., and Top, M. (2019). Analytic hierarchy process for hospital site selection. Health Policy and Technology, 8(1), 42-50.

Senvar, O., Otay, I., and Bolturk, E. (2016). Hospital site selection via hesitant fuzzy TOPSIS. IFAC-*PapersOnLine*, 49(12), 1140-1145.

Sharmin, N., and Neema, M. (2013). A GIS-based multi-criteria analysis to site appropriate locations of hospitals in Dhaka City. *Hospital*, 8, 0-37.

Soltani, A., Inaloo, R. B., Rezaei, M., Shaer, F., and Riyabi, M. A. (2019). Spatial analysis and urban land use planning emphasising hospital site selection: a case study of Isfahan city. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, 43(43), 71-89.

Taleai, M., Sharifi, A., Sliuzas, R., and Mesgari, M. (2007). Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9(4), 375-۳۹۱.

Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., and Alimohammadi, A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. *Journal of environmental management*, 90(10), 3048-3056.

Yap, J. Y. L., Ho, C. C., and Ting, C. Y. (2019). A systematic review of the applications of multi-criteria decision-making methods in site selection problems. *Built environment project and asset management*, 9(4), 548-563.

Zandi, I., and Delevar, M. R. (2021). Integration of GIS, Shannon Entropy and Multi-Criteria Decision Making for Hospital Site Selection. Presented at the 29th Annual GIS Research UK Conference (GISRUK), Cardiff, Wales, UK (Online): Zenodo.

Zavadskas, E. K., Kalibatas, D., and Kalibatiene, D. (2016). A multi-attribute assessment using WASPAS for choosing an optimal indoor environment. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 16(1), 76-85.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., and Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 122(6), 3–6.

English Abstract

Spatial Modeling and Site Selection of Hospital by Integrating the New Multi-Criteria Decision-Making Methods BWM and WASPAS (A Case study: District 2 of Tehran)

Making a balance between the demand for healthcare services and the response to it requires the operation of new hospitals. But the important problem is which place is more optimal for the construction of a hospital. The present research has used a combined methodology in order to determine the optimal location for a hospital in the 2nd district of the Tehran metropolis. The combined methodology used is based on the Geospatial information system (GIS), the Best-Worst Model (BWM), and multi-criteria decision-making methods, WASPAS and TOPSIS. Fewer pairwise comparisons in the weighting process of the proposed method have increased the accuracy and reliability of decision-making results. The combination of spatial modeling and ranking has also reduced the search space for suitable places to build a hospital. In addition to increasing accuracy, this initiative increases the speed and ease of decision-making. For this purpose, after determining the appropriate criteria, the weighting process was carried out with the BWM, and the spatial layer of each criterion was prepared using GIS. Based on the weighting results, the criteria of distance from existing hospitals and distance from healthcare centers have been the highest and lowest weight, respectively. In the next step, the land suitability map is prepared by combining the spatial layers. Almost 88% of the spatial modeling results corresponded with the realities of the region, and the western half, especially the southwestern part, for the construction of a new hospital, had a higher proportion than other parts. Finally, sites number 2, 5, and 8 among 11 candidate sites were determined as the most optimal places for the construction of a new hospital in the study area. It is suggested that one or more hospitals should be built in the designated optimal sites in accordance with the population living in areas without optimal access to hospital facilities so that in addition to improving health spatial equity, the cost of citizens' access to hospitals will be reduced.

Keywords: Spatial Modeling, Hospital Location Selection, Best-Worst Model, WASPAS and TOPSIS, GIS