



پتانسیل سنجی مناطق شهر تهران جهت احداث بیمارستان‌های اضطراری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)

حسن خاوریان^{۱*}، حسین فکرت^۲

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳ / پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶

چکیده

ویروس کرونا نشان داد که امکانات و زیرساخت‌های بهداشتی و درمانی در کل دنیا به شدت محدود است. پس از شیوع ویروس بیماری کرونا ویروس (کوید ۱۹) برای اولین بار در سال ۲۰۱۹ در کشور چین، به دلیل قدرت انتقال بالای این ویروس پیش‌بینی می‌شد که به‌زودی در کل جهان و ایران پخش شود. مدت کوتاهی پس از اولین مشاهده ویروس در ایران، به سرعت کل مناطق کشور درگیر و شمار مراجعات به مراکز درمانی به شدت بالا رفت. به‌گونه‌ای که ظرفیت اکثر بیمارستان‌های اختصاص داده‌شده برای بیماران کرونایی در شهرهای پرجمعیت به‌خصوص تهران تکمیل شد و چندین بیمارستان اضطراری نیز در مناطق مختلف این شهرها

احداث گردید. هدف از این پژوهش استفاده از معیارهای مختلف جهت تعیین بهترین مکان‌ها برای احداث بیمارستان‌های اضطراری در سطح شهر تهران است. برای این منظور ابتدا ۹ معیار مؤثر بر انتخاب مکان بهینه تعیین شده است. معیارها شامل فاصله از معابر شهری، فاصله از گسل‌ها، فاصله از بیمارستان‌های ویژه کرونا، تراکم جمعیت، معیار کاربری اراضی و چهار معیار مربوط به شاخص‌های آلودگی هوا (CO ، NO_2 ، SO_2 و O_3) است که با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۵ در محیط سامانه گوگل ارث‌انجین (GEE) استخراج گردید. معیارها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مانند فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و بر اساس نظریات کارشناسان وزن‌دهی و در نهایت با روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) مکان‌یابی انجام شد. براساس خروجی‌ها بخش‌هایی از منطقه ۱۴ به‌عنوان مناسب‌ترین مکان شناسایی شد. همچنین قسمت‌هایی از مناطق ۱۸، ۱۳، ۵، ۴ و ۹ در درجه بعدی مستعد بودن جهت احداث بیمارستان‌های اضطراری شناسایی شدند.

چکیده مبسوط

طرح مسئله: ویروس کرونا نشان داد که امکانات و زیرساخت بهداشتی درمانی در کل دنیا محدود است. پس از شناسایی ویروس برای اولین بار در دسامبر ۲۰۱۹ در چین، به دلیل قدرت شیوع بالا در

حسن خاوریان^۱ (✉)، حسین فکرت^۲

۱. استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه

تبریز، تبریز، ایران

Doi:10.82447/girs.2025.1191316

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: h5_khavari@uma.ac.ir

سنتینل ۵ استفاده شده است. برای محاسبه شاخص‌های آلاینده هوا با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین (GEE) و داده‌های Near Real Time ماهواره سنتینل ۵، نقشه‌های مونوکسیدکربن (CO)، دی اکسیدنیترژن (NO₂)، دی اکسیدگوگرد (SO₂) و اُزن (O₃) استخراج گردید.

نتایج و بحث: با استفاده از نظریات ۸ کارشناس با ترکیبی از تخصص‌های مختلف ۹ معیار شامل فاصله از بیمارستان‌های کرونایی، فاصله از گسل، فاصله از معابر، لایه جمعیت، لایه کاربری اراضی و چهار شاخص اصلی آلاینده هوا تعیین شد. معیار اول نقشه فاصله از بیمارستان‌های کرونایی است که در آن نزدیکی به این بیمارستان‌ها به عنوان مطلوبیت در نظر گرفته شده است و هر چه فاصله از آن بیشتر شود از ارزش کاسته می‌شود. در این بخش موقعیت بیمارستان‌های مخصوص بیماران کرونایی در شهر تهران بر اساس آخرین لیست اعلامی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی استخراج گردیده است. معیار بعدی فاصله از گسل است که در آن هر چه فاصله از گسل بیشتر باشد، محدوده مطلوبتر است و مناطقی که نزدیک گسل هستند، با وجود موقت بودن بیمارستان‌های اضطراری، از اهمیت کمتری برخوردار هستند. معیار دیگر فاصله از مسیرهای ارتباطی است که در آن نزدیکی به این مسیرها به جهت انتقال و جابه‌جایی سریعتر بیماران، مطلوبتر است. خروجی‌های بدست آمده از نقشه‌های آلودگی نشان می‌دهد که در مورد شاخص‌های مونوکسیدکربن و دی اکسیدنیترژن بالاترین غلظت آلودگی مربوط به مناطق ۳، ۴، ۶ و ۷ بوده است و مناطق ۸ و ۲ و بخش‌هایی از مناطق ۱ و ۱۳ در درجه دوم مناطق آلوده دارای غلظت بالای CO و NO₂ هستند. همچنین از لحاظ غلظت دی اکسیدگوگرد نیز مناطق ۱۵، ۱۸ و ۳ و غلظت اُزن مناطق ۸، ۱۳ و ۲۱ بالاترین غلظت را در طول ۲۶ ماه ارزیابی داشته‌اند. احداث بیمارستان‌های اضطراری در مناطقی که غلظت آلاینده‌ها در آنها بالاست، با توجه به مشکلات تنفسی که بیماران کرونایی با آن مواجه هستند، امکان‌پذیر نخواهد بود. با اعمال لایه محدودیت بر روی نقشه مستخرج از مدل WLC نقشه نهایی مکان‌گزینی جهت احداث بیمارستان اضطراری در شهر تهران استخراج شد. در مرحله بعد

کل دنیا به سرعت منتشر شد و به دنبال آن مراجعات به مراکز درمانی به شدت افزایش یافت. به گونه‌ای که پاسخ به تعداد بالای مبتلایان در طول همه‌گیری یکی از بزرگترین چالش‌هایی است که سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی در کل دنیا با آن مواجه شده‌اند. با توجه به محدودیت‌های امکانات بهداشتی و درمانی، هر کشوری با استفاده از روش‌های مختلف تلاش کرده است تا با قطع زنجیره ابتلا از شیوع بیشتر ویروس جلوگیری کند. با مشاهده اولین موارد ابتلا به ویروس بیماری کرونا ویروس (کوید ۱۹) در ایران در ۲۸ بهمن ۱۳۹۸ و انتشار آن در کل کشور، طولی نکشید که ظرفیت تخت‌های بیمارستان‌ها بخصوص در شهرهای پرجمعیت تکمیل شد. روند رو به رشد مبتلایان به گونه‌ای پیش رفت که علاوه بر احداث بیمارستان‌های صحرایی مخصوص بیماران کرونایی از امکانات نیروهای مسلح و اماکن نظامی مانند بیمارستان‌های نظامی و پادگان‌ها نیز استفاده شد. از سویی دیگر اغلب این مکان‌های در نظر گرفته شده به دلیل اینکه در شرایط اضطراری انتخاب شده بود و ذاتاً دارای کاربری غیر درمانی بودند، فاقد استانداردهای لازم مانند دسترسی راحت بیماران، نزدیکی به مراکز درمانی کرونایی و امکانات درمانی لازم بودند. در این شرایط مسئله انتخاب محل احداث بیمارستان‌های اضطراری یکی از مهمترین تصمیمات مدیران بویژه در شهرهای پرجمعیت است که می‌تواند منجر به کنترل بیماری، کاهش تلفات و کاهش هزینه‌های غیرضروری شود.

هدف: یافتن مکانی مناسب برای احداث بیمارستان‌های اضطراری در شرایط بحرانی و پتانسیل سنجی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در دارا بودن شرایط احداث بیمارستان‌های اضطراری.

روش تحقیق: در این پژوهش از انواع داده‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) بهره گرفته شده است. در مرحله وزن‌دهی معیارها از مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، به منظور استانداردسازی نقشه‌های معیار از توابع عضویت فازی و در راستای مکان‌گزینی احداث بیمارستان‌های اضطراری از مدل ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده شده است. همچنین به منظور پایش غلظت آلاینده‌ها از داده‌های سطح سه (L3) سنجنده TROPOMI ماهواره

معیارهایی که نقش محدود کننده را در انتخاب مکان پهنه برای احداث بیمارستان‌های اضطراری داشتند مشخص شدند. کاربریهایی مانند مراکز آموزشی، مراکز اداری، مناطق مسکونی، مراکز صنعتی، مراکز نظامی و مراکز تجاری به عنوان کاربری‌های نامناسب از سایر کاربری‌ها جدا شدند. لایه معابر شهری با توجه به آلودگی هوا و آلودگی صوتی که می‌تواند ایجاد کنند از عامل محدود کننده دیگر است که در روند مکان‌گزینی حریمی ۵۰ متری برای آن اعمال شده است.

نتیجه‌گیری: مقایسه نقشه نهایی با موقعیت بیمارستان‌های کرونایی نشان دهنده نزدیکی مناطق مستعد شناسایی شده به بیمارستان‌های کرونایی است. این نزدیکی به دلیل سهولت جابه‌جایی کادر درمان و

تجهیزات به مراکز اضطراری و نگاهت‌گاهی جهت مراقبت از بیماران ضروری است. در مراحل بعدی معیارها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP و WLC) وزن‌دهی و اعمال وزن شدند و در نهایت نقشه نهایی با مدل ترکیب خطی وزن‌دار استخراج گردید. بر اساس خروجی‌ها بخش‌هایی از منطقه ۱۴ به عنوان مناسب-ترین مکان شناسایی شد. همچنین قسمت‌هایی از مناطق ۱۸، ۱۳، ۵، ۴ و ۹ در درجه بعدی مستعد بودن جهت احداث بیمارستان‌های اضطراری شناسایی شدند.

واژگان کلیدی: بیمارستان‌های اضطراری، کوید ۱۹، سستینل ۵، AHP و WLC.

مقدمه

اولین گزارش‌ها از مشاهده بیماری کرونا ویروس (کوید ۱۹) در شهر ووهان چین در دسامبر ۲۰۱۹ ارائه شد (۲۴). ویروسی که به دلیل قدرت شیوع بالا در کل دنیا به سرعت منتشر شد و به دنبال آن مراجعات به مراکز درمانی به شدت افزایش یافت. به گونه‌ایی که پاسخ به تعداد بالای مبتلایان در طول همه‌گیری یکی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی است که سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی در کل دنیا با آن مواجه شده‌اند. با توجه به محدودیت‌های امکانات بهداشتی و درمانی، هر کشوری با استفاده از روش‌های مختلف تلاش کرد تا با قطع زنجیره ابتلا از شیوع بیشتر ویروس جلوگیری کند. در بسیاری از کشورها از جمله ایران راهکار قرنطینه مورد اجرا قرار گرفت. در اثر اعمال قرنطینه کارخانه‌های صنعتی، سیستم حمل و نقل و بسیاری از مشاغل با تعطیلی اجباری مواجه شدند. در نتیجه این اقدامات کاهش قابل توجهی در میزان آلاینده‌های هوا که نقش اصلی در کاهش کیفیت هوا را داشتند گزارش شد (۴). به منظور حل مشکلات کمبود مراکز درمانی نیز کشورهایمانند چین و ترکیه اقدام به احداث بیمارستان‌های اضطراری کردند و برخی کشورهای دیگر مانند آمریکا، هند، برزیل و اسپانیا از مکان‌هایی با کاربری‌های متفاوت مثل خوابگاه‌ها و استادیوم‌ها به عنوان بیمارستان‌های موقت استفاده کردند (۲۵). با مشاهده اولین موارد ابتلا به بیماری کرونا ویروس (کوید ۱۹) در ایران در ۲۸ بهمن ۱۳۹۸ (۱۴) و انتشار آن در کل کشور، طولی نکشید که ظرفیت تخت‌های بیمارستان‌ها بخصوص در شهرهای پرجمعیت تکمیل شد. روند رو به رشد مبتلایان به گونه‌ای پیش رفت که علاوه بر احداث بیمارستان‌های صحرایی مخصوص بیماران کرونایی از امکانات نیروهای مسلح و اماکن نظامی مانند بیمارستان‌های نظامی و پادگان‌ها نیز استفاده شد (۱۳). از

سویی دیگر اغلب این مکان‌های در نظر گرفته شده به دلیل اینکه در شرایط اضطراری انتخاب شده بود و ذاتاً دارای کاربری غیر درمانی بودند، فاقد استانداردهای لازم مانند دسترسی راحت بیماران، نزدیکی به مراکز درمانی کرونایی و امکانات درمانی لازم بودند. در این شرایط و موارد مشابه، مسئله انتخاب محل احداث بیمارستان‌های اضطراری یکی از مهم‌ترین تصمیمات مدیران به‌ویژه در شهرهای پرجمعیت است که می‌تواند منجر به کنترل بیماری، کاهش تلفات و کاهش هزینه‌های غیرضروری شود (۲). معیارهای متعددی در انتخاب یک مکان بهینه مانند بیمارستان تأثیرگذارند که هر کدام اهمیت و تأثیر متفاوتی در روند کار دارد. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) از جمله روش‌هایی هستند که به خوبی برای مسائل پیچیده با معیارهای متعددی که گاهی با همدیگر متناقض نیز هستند و نیاز به اولویت‌بندی دارند، طراحی شده است (۸). از جمله فرآیندهای بسیار مهم در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شناسایی معیارها و تعیین وزن آن‌ها است. زیرا وزن معیارها می‌تواند به طور قابل توجهی بر دقت خروجی نهایی اثرگذار باشد. برخی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) معیارها را به طور هم‌زمان براساس اهمیت آن‌ها به صورت سلسله مراتبی سازمان‌دهی می‌کند و در نتیجه سوگیری در تصمیم‌گیری را کاهش می‌دهد (۱۹). روش رایج دیگر مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره روش ترکیب خطی وزن دار (WLC) است که بر اساس میانگین وزن نسبی معیارها عمل می‌کند (۱۲).

مطالعات متعددی در ایران و دنیا مشابه با موضوع این پژوهش صورت پذیرفته که از روش‌ها و معیارهای مختلف استفاده کردند، از جمله وانگ و همکاران (۲۲) در مطالعه‌ای با موضوع مکان‌یابی بیمارستان‌های موقت در طول همه‌گیری ویروس

کرونا مدل بهینه‌سازی ارائه دادند. در این مطالعه، یک چارچوب پشتیبانی تصمیم با استفاده از سلسله‌مراتب تحلیلی فازی (FAHP) و یک مدل مجموع وزنی ارزیابی محصول (WASPAS) برای انتخاب محل یک بیمارستان موقت و یک مدل FAHP برای محاسبه اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه پیشنهاد شده است. نتایج این پژوهش منجر به تعیین مناسب‌ترین مکان برای احداث بیمارستان موقت در شهر هوشی مینه ویتنام شد. تاش (۲۰) در مطالعه‌ای اقدام به ارزیابی عوامل مؤثر بر انتخاب مکان‌هایی که زباله‌های پزشکی در طول همه‌گیری COVID-19 به‌صورت موقت در آنجا جمع‌آوری می‌شود، کرد. به این منظور هشت معیار تأثیرگذار انتخاب و وزن آن‌ها با استفاده از روش ارزیابی اهمیت نسبی محوری فازی (PIPRECIA) که یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است، محاسبه شد. وی در این پژوهش به این نتیجه رسید که مهم‌ترین معیار ارزیابی فاصله تا مناطق مسکونی است. جعفری و همکاران (۹) در مطالعه‌ای با استفاده از توابع عضویت و همپوشانی فازی اقدام به انتخاب پهنه‌های مناسب برای احداث مراکز بهداشتی-درمانی و بیمارستانی جدید نمودند. در این پژوهش که برای شهر بندرعباس صورت پذیرفت از ۹ معیار استفاده شد که با استفاده از روش AHP وزن‌دهی شدند. نتایج نشان داد که زمین‌های مناسب برای احداث بیمارستان، تناسب زیادی با کاربری اراضی دارند. امتحانی و همکاران (۶) در مطالعه‌ای با هدف مدیریت سلامت شهروندان اقدام به مکان‌یابی مراکز درمانی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی در سطح شهرستان شیراز کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تجمع بسیار زیاد کاربری بهداشتی-درمانی در مرکز شهر شیراز باعث شده است که مناطق شمال‌غربی و جنوب شرقی با کمبود کاربری درمانی

مواجه باشند و اراضی بایر و زمین‌های اوقافی نزدیکی به معابر درجه یک و محدوده‌های با تراکم جمعیتی بالاتر به‌عنوان موقعیت‌های برتر جهت مکان‌یابی بیمارستان‌ها پیشنهاد شد. ساروجا و همکاران (۱۶) در پژوهشی با استفاده ترکیبی از سه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای تولید وزن معیارها، الگوریتم جست‌وجوی میمون (MSA) برای بهینه‌سازی وزن‌ها و روش TOPSIS برای دستیابی به راه‌حل ایدئال اقدام به مکان‌یابی مراکز جدید برای اخذ تست بیماری کرونا و ویروس (کوید ۱۹) در ایالت‌های کشور هند کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که رتبه‌های اختصاص داده‌شده توسط روش پیشنهادی از هماهنگی بالایی برخوردار بوده است. لذا توسط مراکز دولتی تایید و مورد استفاده قرار گرفت. لین و چن (۱۰) در پژوهشی با استفاده از هوش مصنوعی سامانه‌ای تحت وب طراحی کردند که کاربر با استفاده از این سیستم هوشمند اقدام به انتخاب یک مرکز واکسیناسیون بیماری کرونا و ویروس (کوید ۱۹) مناسب کند. معیارهای مختلفی که برای انتخاب مکان بهینه شخصی‌سازی‌شده توسط کاربر به‌وسیله مدل VICOR فازی‌سازی شد. نتایج پژوهش نشان از نرخ توصیه ۹۵ درصدی داشته است. شاهین و همکاران (۱۶) در مطالعه‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به بررسی یک مدل پشتیبانی تصمیم برای انتخاب مکان جهت ایجاد یک بیمارستان جدید پرداختند. آن‌ها برای این پژوهش از ۶ معیار و ۱۹ زیرمعیار استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که تقاضا مهم‌ترین عامل در تعیین مکان مناسب بیمارستان است و پس از آن دسترسی، رقبا، دولت، صنعت مرتبط و شرایط محیطی قرار دارند. با توجه به نتایج، بدروم به‌عنوان بهترین سایت برای ایجاد یک بیمارستان جدید انتخاب شد.

شرایط بحرانی که در اثر شیوع سریع بیماری کرونا ویروس (کوید ۱۹) در کشور به وجود آمد، در مدت کوتاهی باعث تکمیل ظرفیت بیمارستان‌ها و مراکز درمانی در اغلب نقاط کشور به خصوص شهرهای پرجمعیتی مثل تهران شد. به گونه‌ای که علیرغم بسیج تمام امکانات بهداشتی کشور، مراکز نظامی و ورزشی نیز برای اسکان بیماران مبتلا در نظر گرفته شد. یکی از راه‌های مقابله با بحران‌های مشابه، احداث بیمارستان‌های اضطراری در مکان‌های مناسب است تا هم از فشار شدید مراجعات به بیمارستان‌ها کاسته شود و هم فضای کافی برای بستری بیماران جدید فراهم شود. با توجه به طول دوره درمان ۲ تا ۱۴ روزه اعلام‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای مبتلایان و لزوم قرنطینه آن‌ها تا بهبودی کامل، مراکز نقاهتگاهی نیز باید در مکان‌های مناسب از لحاظ سهولت در دسترسی و نزدیکی به بیمارستان‌های کرونایی ایجاد شود. همچنین با توجه به آلوده بودن هوای شهر تهران در اغلب روزهای سال لزوم تعیین معیار آلودگی هوا و انتخاب مناطقی که از هسته‌های آلوده شهر فاصله داشته باشد نیز از اهمیت زیادی برخوردار است، مسئله‌ای که در سایر مطالعات بررسی شده موردتوجه قرار نگرفته است. در این پژوهش سعی شده است معیارهای محیطی و غیرمحیطی اثرگذار شناسایی و با استفاده از آن‌ها مکان‌های بهینه برای احداث بیمارستان‌های اضطراری برای شهر تهران در زمان‌های بحرانی پیشنهاد شود.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران، با جمعیتی قریب به ۱۲ میلیون نفر (به همراه شهرهای اقماری خود) ۱۲ درصد جمعیت کل کشور را به خود اختصاص داده است. این شهر در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز از شمال به سلسله جبال البرز، از شرق به لواسانات و از

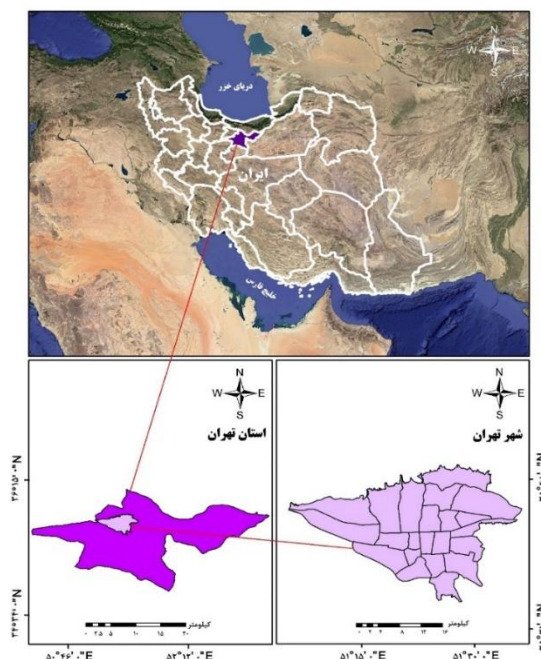
غرب به کرج و از جنوب به ورامین در حدفاصل طول ۵۱ درجه و ۵ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی با حدود ۷۰۰ کیلومترمربع مساحت گسترده شده است (شکل ۱). ارتفاع شهر در بلندترین نقاط شمال به ۲۰۰۰ متر و در جنوبی‌ترین نقاط به ۱۰۵۰ متر از سطح دریا می‌رسد و با توجه به اختلاف ارتفاع زیاد در شمال و جنوب آن با شرایط نامناسب بافت شهری که وسایط نقلیه زیادی در طول شبانه‌روز در آن به فعالیت مشغول‌اند، روبه‌رو است. بادهای غربی در تمام طول سال دود کارخانه‌ها و سایر عوامل آلاینده را به سطح شهر تهران وارد می‌سازند. در مجموع شهر دارای شرایط نامساعد زیست‌محیطی بوده و آلودگی هوای آن در سال‌های اخیر با محتوای گازهای سمی به‌صورت خطرناک عمل می‌نماید که تغییرات بسیار چشمگیر محیطی و اقلیمی را در آن موجب گردیده است (۳). روند پژوهشی این مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر با توجه به اهداف و سؤالات تحقیق، از انواع داده‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) بهره گرفته شده است. در مرحله وزن‌دهی معیارها از مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، به منظور استانداردسازی نقشه‌های معیار از توابع عضویت فازی و در راستای مکان‌یابی احداث بیمارستان‌های اضطراری از مدل ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده شده است. همچنین به منظور پایش غلظت آلاینده‌ها داده‌های سطح سه (L3) سنجنده TROPOMI ماهواره سنتینل ۵ مورد استفاده قرار است. این ماهواره توسط سازمان فضایی اروپا با هدف نظارت بر محیط‌زیست و آنالیز مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه است که جزئیات آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. تصاویر این آلاینده‌ها را می‌توان در آلاینده‌های هوا در کل کره زمین در اکتبر سال ۲۰۱۷ میلادی به

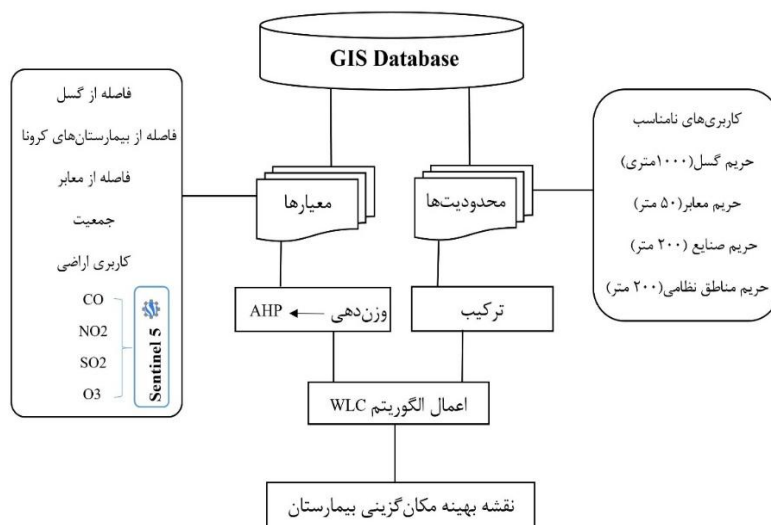
اکسیدنیترژن (NO_2)، دی اکسید گوگرد (SO_2) و ازن (O_3) استخراج گردید. مشخصات داده‌های مورد استفاده از سنجنده TROPOMI در جدول ۲ ارائه شده است.

فضا پرتاب شده است. این سنجنده که به صورت روزانه اقدام به جمع‌آوری داده می‌کند دارای ۸ باند طیفی در محدوده‌های ماورای بنفش، مرئی، سه حالت آبی، آفلاين و پردازش مجدد دریافت کرد (۱۷). با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین (GEE) و داده‌های Near Real Time ماهواره سنتینل ۵، شاخص‌های آلاینده هوا شامل مونوکسید کربن (CO)، دی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه.

Fig 1. Location of the Study Area study area.



شکل ۲. نمودار روند پژوهش.

Fig 2. Flow chart of research methodology.

جدول ۱. باندها و طول موج های سنجنده TROPOMI ماهواره سنتینل ۵.

Table 1. Bands and wavelengths of TROPOMI sensor of Sentinel 5 satellite.

نام باند	محدوده طیفی (نانومتر)
ماورای بنفش	۲۷۰ - ۳۲۰
مرئی	۳۱۰ - ۵۰۰
مادون قرمز نزدیک	۶۷۵ - ۷۷۵
مادون قرمز طول موج کوتاه	۲۳۰۵ - ۲۳۸۵

جدول ۲. مشخصات داده های مورد استفاده از سنجنده TROPOMI.

Table 2. Specifications of the data used by the TROPOMI sensor.

قدرت تفکیک مکانی	بیشترین	کمترین	واحد	نوع داده
0.01 arc degree	۴/۶۴	-۲۷۹	$\frac{\text{mol}}{\text{m}^2}$	CO_column_number_density
0.01 arc degrees	۰/۰۰۹۶	-۰/۰۰۰۶	$\frac{\text{mol}}{\text{m}^2}$	NO2_column_number_density
0.01 arc degrees	۰/۲۰۷۹	-۰/۴۰۵۱	$\frac{\text{mol}}{\text{m}^2}$	SO2_column_number_density
0.01 arc degrees	۰/۲۷۲	۰/۰۰۴۷	$\frac{\text{mol}}{\text{m}^2}$	O3_column_number_density

روش های تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM)

MCDM مجموعه ای از رویه ها و تکنیک ها را برای حل مسائل پیچیده تصمیم گیری به شیوه ای سلسله مراتبی ارائه می کند. این ابزارهای تصمیم گیری به خوبی برای مسائل پیچیده با معیارهای متعدد که نیاز به اولویت بندی گزینه ها هستند، طراحی شده اند. روش های MCDM تصمیم گیرندگان را قادر می سازد تا تعداد گزینه های جایگزین را با داده های مختلف موجود از قبیل داده های فازی، سری زمانی، تقریبی و غیره ارزیابی کنند (۱۱). این روش انواع مختلفی دارد که در این پژوهش از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش ترکیب خطی وزن دار (WLC) استفاده شده است.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

ترکیب خطی وزن دار (WLC)

مدل AHP که برای اولین بار توسط پروفیسور ساعتی ارائه شد، یک رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره است که در آن معیارها در یک ساختار سلسله مراتبی سازمان دهی می شوند. در این رویکرد اهمیت نسبی معیار بر اساس مقیاس AHP فرض شده است. این مقیاس برای هدایت تصمیم گیرنده و ساخت ماتریس مقایسه زوجی استفاده می شود. ماتریس مقایسه زوجی نشان می دهد که آیا هر عنصر به یک اندازه قوی، کمی قوی، نسبتاً قوی، بسیار قوی یا کاملاً قوی نسبت به سایر عناصر است (۲۱). بدیهی است که وزن دادن به شاخص ها در مقایسات زوجی راحت تر و مطمئن تر از حالات دیگر است. همچنین استفاده از این مدل در جریان وزن دهی باعث می شود تا در ضمن ارزیابی، تعصبات دخیل نباشد (۲۶).

روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) یا روش مبتنی بر نمره دهی (امتیازبندی) در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون ارائه شده است. در این روش تصمیم‌گیرنده به‌طور مستقیم وزن‌هایی از اهمیت نسبی را به هر صفت اختصاص می‌دهد. سپس وزن اهمیت تخصیص یافته به هر صفت در نمره مقیاس‌بندی شده‌ی آن صفت (معیار استاندارد شده) در گزینه مورد نظر ضرب شده و با جمع حاصل ضرب‌های مذکور در رابطه با تمامی صفات، امتیاز یا نمره کل در رابطه با هر گزینه به دست می‌آید. بعد از محاسبه امتیازات کل برای تمام گزینه‌ها، گزینه‌ای که دارای بالاترین امتیاز است انتخاب می‌گردد. به‌طور رسمی در قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه یا A_i از فرمول ذیل استفاده می‌شود: (۱)

$$A_i = \sum_j w_j x_{ij} \quad [1]$$

در رابطه بالا x_{ij} معرف نمره گزینه i ام در ارتباط با صفت j ام و w_j مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است، به‌گونه‌ای که $\sum w_j = 1$. وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارند.

روش WLC شامل مراحل زیر است:

۱. تعیین معیارهای ارزیابی و گزینه‌های ممکن؛

۲. استانداردسازی نقشه‌های معیار؛

۳. تعیین وزن معیارها؛

۴. ایجاد لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی (با ضرب

لایه‌های نقشه استاندارد شده در وزن‌های متناظر بر آن‌ها)؛

به دست آوردن نمره یا امتیاز کل با اعمال عملیات همپوشی

جمعی بر روی لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی در رابطه با

هر گزینه و رتبه‌بندی گزینه‌ها را برحسب امتیاز کارکردی کل

(گزینه‌ای که دارای بالاترین امتیاز (رتبه) باشد، به‌عنوان بهترین

گزینه شناخته می‌شود (۱۲).

نتایج

نقشه‌های معیارها

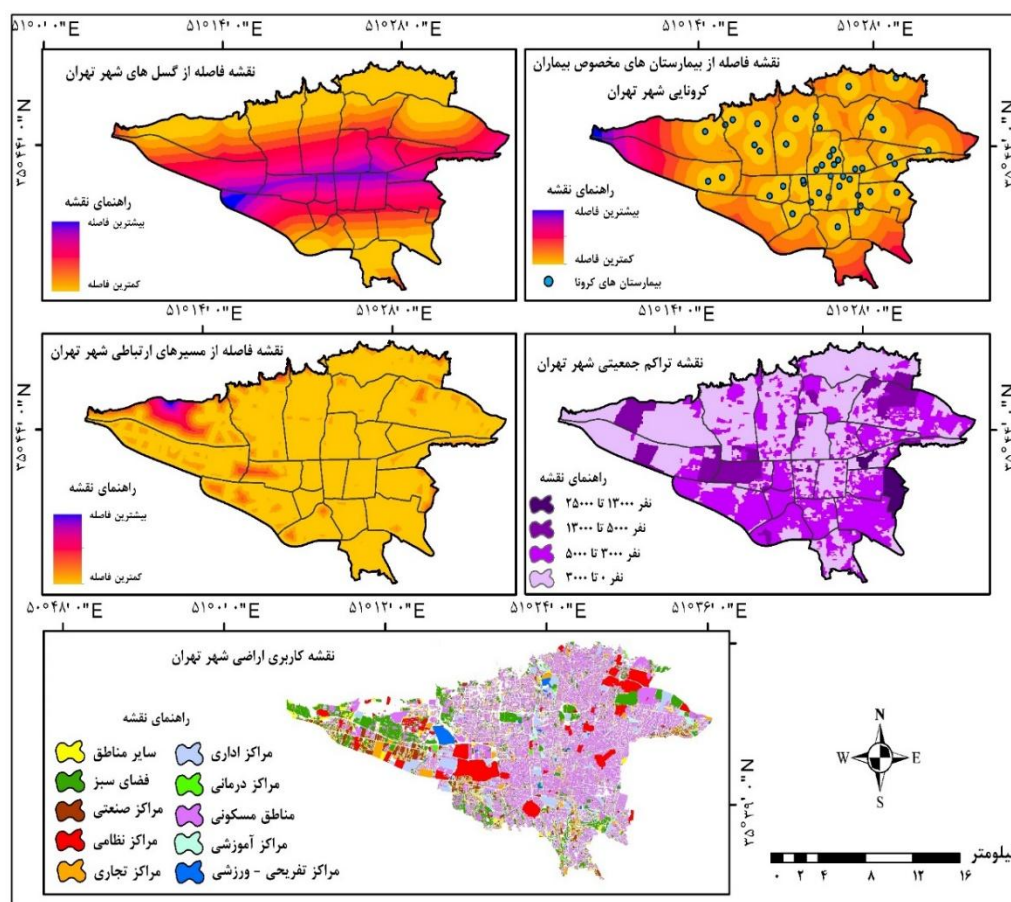
با استفاده از نظریات ۸ کارشناس با ترکیبی از تخصص‌های مختلف شامل کارشناس اورژانس، پزشک متخصص، کارشناس مدیریت بحران، کارشناس محیط زیست و برنامه ریزی شهری،

۹ معیار شامل فاصله از بیمارستان‌های کرونایی، فاصله از گسل، فاصله از معابر، لایه جمعیت، لایه کاربری اراضی و چهار شاخص اصلی آلاینده هوا به عنوان مهمترین معیارها تعیین شد. پس از تعیین معیارها در مرحله بعدی لایه‌ها با استفاده از توابعی مانند Euclidean Distance و IDW استاندارد سازی شدند. معیار اول نقشه فاصله از بیمارستان‌های کرونایی است که بر اساس نظرات کارشناسان نزدیکی به این بیمارستان‌ها به‌عنوان مطلوبیت در نظر گرفته شده است و هر چه فاصله از آن بیشتر شود از ارزش کاسته می‌شود. در این بخش موقعیت بیمارستان-های مخصوص بیماران کرونایی در شهر تهران بر اساس آخرین لیست اعلامی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی استخراج گردیده است. معیار بعدی فاصله از گسل است که در آن هر چه فاصله از گسل بیشتر باشد، محدوده مطلوب‌تر است و مناطقی که نزدیک گسل هستند با وجود موقت بودن بیمارستان‌های اضطراری، از اهمیت کمتری برخوردار هستند. معیار دیگر فاصله از مسیرهای ارتباطی است که در آن نزدیکی به این مسیرها به جهت انتقال و جابه‌جایی سریع‌تر بیماران، مطلوب‌تر است. نقشه پنج معیار فاصله از بیمارستان‌های کرونایی، فاصله از گسل، فاصله از معابر، لایه جمعیت، لایه کاربری اراضی در شکل ۳ نمایش داده شده است.

بخش‌های مختلفی از شهر تهران به دلایل متعدد از جمله ترافیک و صنایع در بیشتر ایام سال دارای غلظت بالایی از آلاینده‌های هوا هستند و با توجه به مشکلات تنفسی که بیماران کرونایی با آن مواجه هستند، این مناطق آلوده نه تنها برای احداث بیمارستان‌های اضطراری، بلکه برای بیمارستان‌های دائمی نیز مکان مناسبی نمی‌باشد (۱۳). جهت ارزیابی میزان آلودگی هوا در منطقه مورد مطالعه و استخراج نقشه‌های آلاینده‌های هوا، داده‌های ماهواره‌ای از زمان مشاهده و پخش ویروس کرونا (۱۳۹۸/۱۲/۱۱) تا زمان اوج شیوع آن (۱۴۰۱/۰۳/۱۱) مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور با استفاده از داده‌های ماهواره ستینل ۵ نقشه‌های میانگین ۴ آلاینده اصلی هوا (۲۳) شامل مونوکسیدکربن با استفاده از ۱۶۲۴ تصویر، دی اکسیدنیتروژن

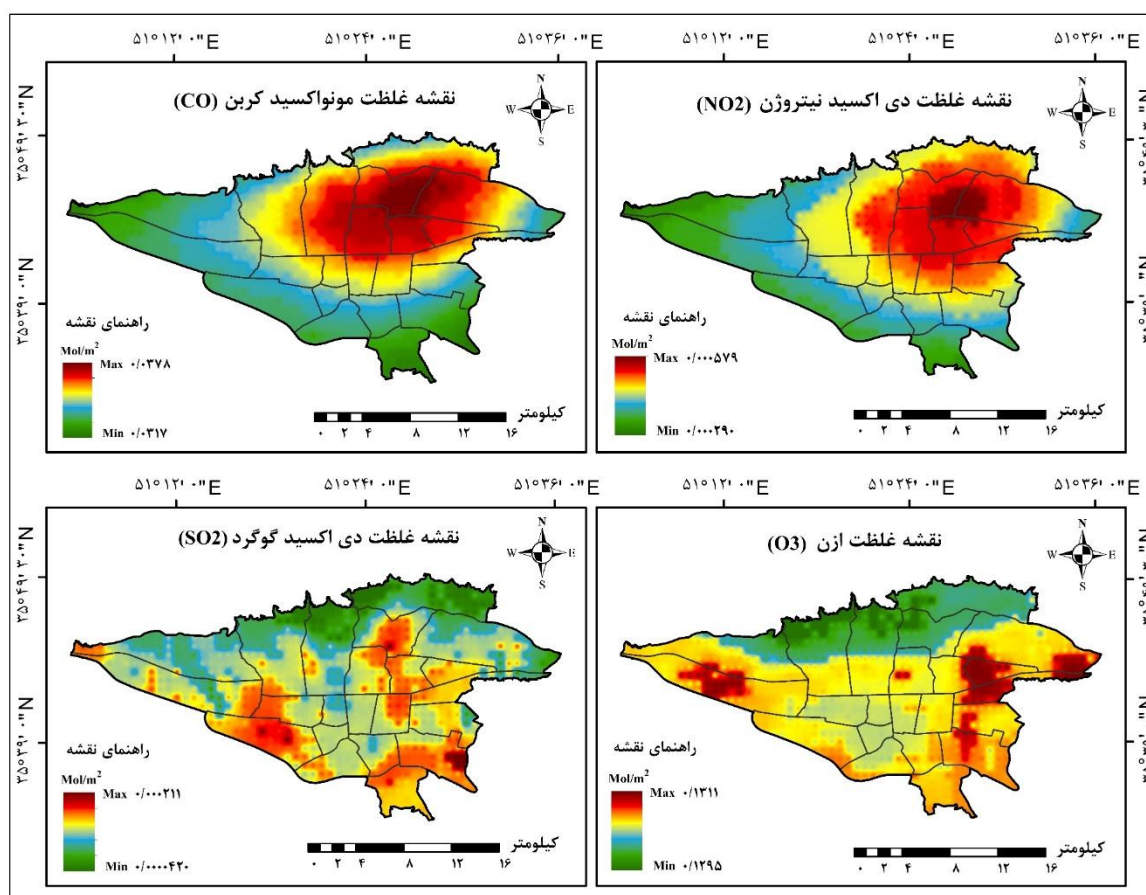
مناطق آلوده دارای غلظت بالای CO و NO_2 هستند. همچنین از لحاظ غلظت دی اکسید گوگرد نیز مناطق ۱۵، ۱۸ و ۳ و غلظت آزن مناطق ۸، ۱۳ و ۲۱ بالاترین غلظت را در طول ۲۶ ماه ارزیابی داشته‌اند.

۱۶۳۲ تصویر، دی اکسید گوگرد ۱۶۲۴ تصویر و آزن با ۱۶۳۳ تصویر استخراج گردید. نتایج در شکل ۴ نمایش داده شده است. خروجی‌های به دست آمده از نقشه‌های آلودگی نشان می‌دهد که در مورد شاخص‌های مونوکسید کربن و دی اکسید نیتروژن بالاترین غلظت آلودگی مربوط به مناطق ۳، ۴، ۶ و ۷ بوده است و مناطق ۸ و ۲ و بخش‌هایی از مناطق ۱۳ و ۱ در درجه دوم



شکل ۳. نقشه‌های معیار شامل فاصله از بیمارستان‌های کرونایی، فاصله از گسل، نقشه تراکم جمعیتی، نقشه فاصله از مسیرهای ارتباطی و نقشه کاربری اراضی شهر تهران.

Fig 3. Standard maps include distance from corona hospitals, distance from fault, population density map, distance map from communication routes and land use map of Tehran city.



شکل ۴. نقشه میانگین غلظت CO ، NO_2 ، SO_2 و O_3 شهر تهران از ۱۳۹۸/۱۲/۱۱ تا ۱۴۰۱/۰۳/۱۱.

Fig 4. Map of the average concentration of CO ، NO_2 ، SO_2 and O_3 in Tehran from 11/12/1398 to 11/03/1401.

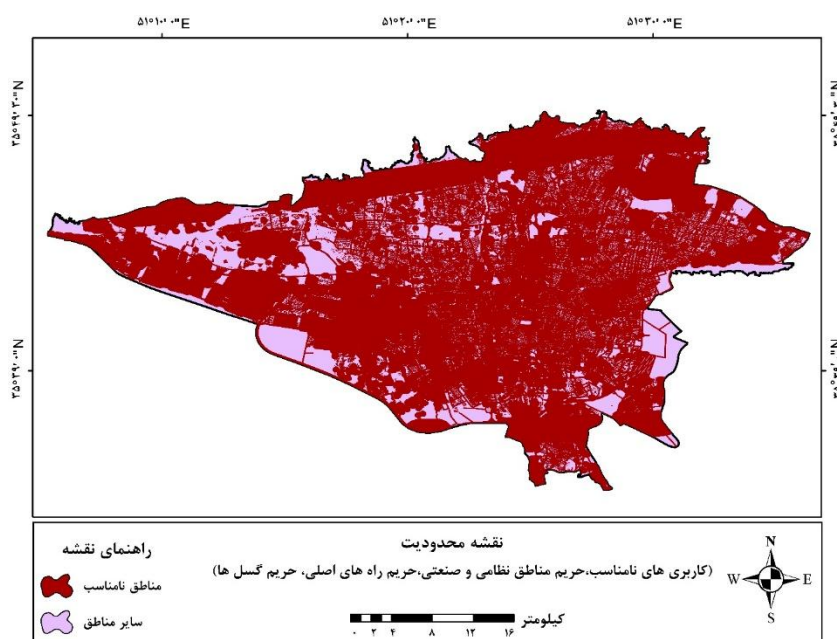
نقشه محدودیت

در مرحله بعد معیارهایی که نقش محدودکننده را در انتخاب مکان بهینه برای احداث بیمارستان‌های اضطراری داشتند مشخص شدند. یکی از معیارهای محدودیت، کاربری‌های نامناسب است که از نقشه کاربری اصلی مستخرج گردیده است. اگرچه هدف مکان‌گزینی بیمارستان‌های اضطراری و به اصطلاح موقت یا صحرایی خواهد بود، ولی همه کاربری‌ها مناسب احداث نیستند. کاربری‌هایی مانند مراکز آموزشی، مراکز اداری، مناطق مسکونی، مراکز صنعتی، مراکز نظامی و مراکز تجاری به عنوان کاربری‌های نامناسب از سایر کاربری‌ها جدا شدند. لایه معابر شهری با توجه به آلودگی هوا و آلودگی صوتی که می‌تواند

ایجاد کنند از عامل محدودکننده دیگر است که در روند مکان‌گزینی حریمی ۵۰ متری برای آن اعمال شده است. از سویی دیگر یکی از معیارهای مهم برای احداث بیمارستان‌های اضطراری به منظور دسترسی سریع‌تر جهت خدمت‌رسانی به بیماران و انتقال سریع آن‌ها، معیار نزدیکی به معابر است، ولی این نزدیکی تا حدودی ایدئال است و حتماً باید حریمی نیز در نظر گرفته شود. یکی دیگر از لایه‌های محدودیت، مراکز صنعتی و نظامی است. با توجه به این‌که بیماران مبتلا به دلیل درگیری ریه عمدتاً دچار مشکلات تنفسی می‌شوند، ضروری است که مکان انتخاب‌شده برای بیمارستان‌های اضطراری دور از کاربری‌های آلوده‌کننده هوا مثل صنایع باشد. همچنین مناطق نظامی به دلیل امکان ایجاد آلودگی‌های صوتی در دسته لایه‌های

پژوهش با توجه به نظر کارشناسان حریم ۱۰۰۰ متری برای فاصله از گسل در نظر گرفته شده است. در نهایت چهار نقشه کاربری‌های نامناسب، نقشه حریم معابر شهری، نقشه حریم مراکز صنعتی و نظامی و نقشه حریم گسل باهم ترکیب و نقشه محدودیت ایجاد شد که در شکل ۵ ارائه شده است.

محدودیت قرارگرفت. مناطقی که در حریم ۲۰۰ متری مراکز صنعتی و نظامی قرار دارد به‌عنوان مناطقی در نظر گرفته شده است که در آن امکان احداث بیمارستان‌های اضطراری وجود ندارد. عامل دیگری که می‌توان آن را به‌عنوان لایه محدودیت در نظر گرفت لایه گسل و فاصله استاندارد از آن است. در این



شکل ۵. نقشه محدودیت در احداث بیمارستان‌های اضطراری.

Fig 5. Map of restrictions in the construction of emergency hospitals.

فاکتورها در قالب مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن‌دار شدند که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. به‌منظور صحت-سنجی و ارزیابی سازگاری مقایسات زوجی باید نرخ یا نسبت سازگاری محاسبه گردد. این شاخص بیانگر درجهی صحت و دقت ارزش‌گذاری‌ها در مقایسات زوجی است. اگر مقدار نرخ سازگاری کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، نسبت دلالت در مقایسه‌های دوبه‌دو در سطح قابل‌قبول پایداری قرار دارد و اگر CR بیشتر از ۰/۱ باشد، در آن صورت ارزش‌های نسبت بیانگر قضاوت‌های ناپایده است (۱۲). در پژوهش حاضر میزان نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده در راستای سنجش صحت مقایسات زوجی کارشناسان برابر ۰/۰۵ بوده است که حاکی از وجود میزان قابل‌قبولی از سازگاری در قضاوت‌های صورت گرفته است.

وزن‌دهی معیارها

در مرحله بعدی معیارها با تجمیع نظریات کارشناسان، به‌صورت دوبه‌دو در محیط نرم‌افزار IDRISI Selva بر اساس میزان اهمیت آن‌ها با یکدیگر مقایسه شدند و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شد که در جدول ۳ نمایش داده شده است. در این ماتریس مقادیر یک، سه، پنج، هفت و نه به ترتیب نشانگر ارزش‌های برابر، برتری متوسط، برتری زیاد، برتری خیلی زیاد و برتری بسیار زیاد یک معیار نسبت به معیار دیگری است. همچنین در جهت مقابل ارزش‌های یک‌سوم، یک‌پنجم، یک‌هفتم و یک‌نهم قرار دارد که بیانگر ارزش‌های پایین با مقادیر متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. پس‌از آن که با استفاده از نظریات کارشناسان تمام ترکیب‌های ممکن بین دو معیار مقایسه شدند،

جدول ۳. ماتریس مقایسه دوه‌دو معیارهای مورد استفاده در فرآیند مکان‌یابی بیمارستان‌های اضطراری.

Table 3. Comparison of two-by-two matrix of criteria used in the process of location selection of emergency hospitals.

معیارها	مونوکسید کربن	دی‌اکسید نیتروژن	اُزن	دی‌اکسید گوگرد	گسل	بیمارستان	مسیرهای ارتباطی	جمعیت
مونوکسید کربن	۱	-	-	-	-	-	-	-
دی‌اکسید نیتروژن	۱	۱	-	-	-	-	-	-
اُزن	۳/۱	۳/۱	۱	-	-	-	-	-
دی‌اکسید گوگرد	۳/۱	۳/۱	۱	۱	-	-	-	-
گسل	۷/۱	۷/۱	۵/۱	۵/۱	۱	-	-	-
بیمارستان	۵	۵	۷	۷	۹	۱	-	-
مسیرهای ارتباطی	۵	۵	۷	۷	۹	۱	۱	-
جمعیت	۳	۳	۵	۵	۷	۳/۱	۳/۱	۱

جدول ۴. وزن به‌دست‌آمده معیارهای مورد استفاده با استفاده از مدل AHP.

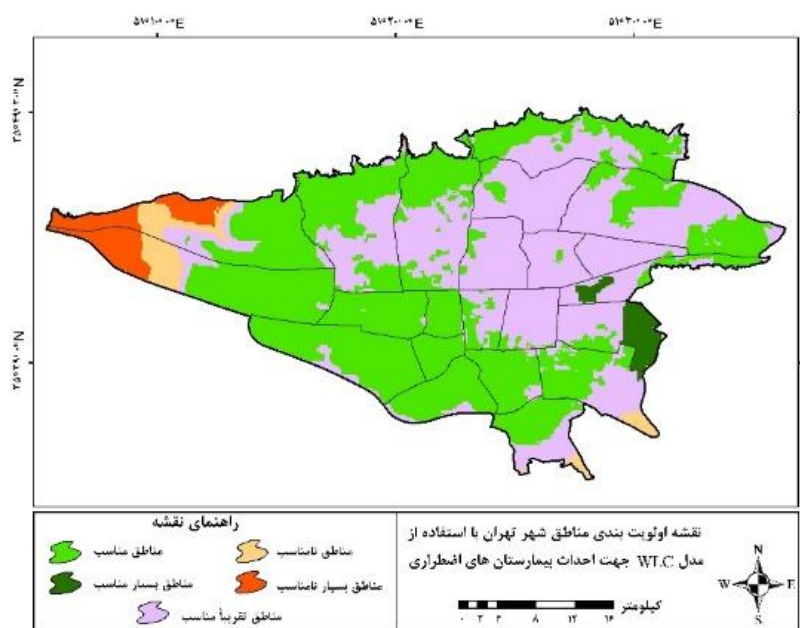
Table 4. The obtained weight of the criteria used using the AHP model

معیارها	وزن معیارها
مونوکسید کربن	۰/۰۷۹۰
دی‌اکسید نیتروژن	۰/۰۷۹۰
اُزن	۰/۰۳۸۴
دی‌اکسید گوگرد	۰/۰۳۸۴
گسل	۰/۰۱۶۷
بیمارستان	۰/۲۹۶۶
مسیرهای ارتباطی	۰/۲۹۶۶
جمعیت	۰/۱۵۵۳

نقشه خروجی روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)

پس از تعیین معیارها و وزن‌دهی آن‌ها، نقشه‌های فاصله با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی ایجاد و در نهایت نقشه اولویت‌بندی

مناطق شهر تهران جهت احداث بیمارستان‌های اضطراری در ۵ کلاس با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استخراج گردید که نتیجه در شکل ۶ نمایش داده شده است.

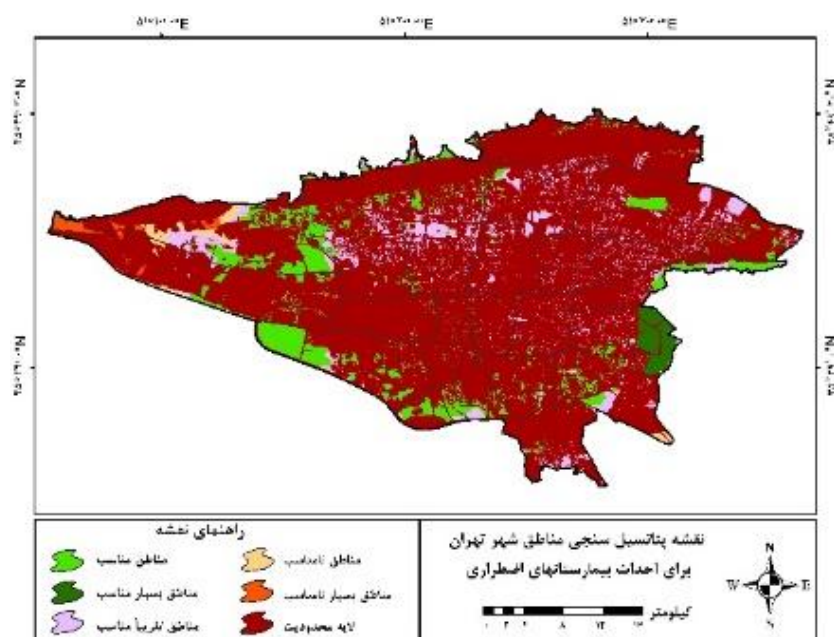


شکل ۶. نقشه اولویت بندی مناطق شهر تهران جهت احداث بیمارستان های اضطراری با مدل WLC.

Fig 6. Prioritization map of Tehran city areas for the construction of emergency hospitals with WLC model.

بعد از منطقه ۱۴ مناطقی وجود دارند که در درجه بعدی قرار دارند و از موقعیت مناسبی برای احداث برخوردارند. از جمله بخش هایی از منطقه ۱۸ که در مجاورت بیمارستان هایی مثل شهدای یافت آباد، شهید فیاض بخش و شریعت رضوی قرار دارد. بخش هایی از منطقه ۱۳ که در مجاورت بیمارستان کرونایی امیراعلم تهران واقع شده است، قسمت هایی از منطقه ۵ که در مجاورت بیمارستان های ویژه کرونا مانند بیمارستان های ولیعصر (ع) و عرفان نیایش قرار دارد و بخش هایی از مناطق ۴ و ۱۹ که امکان ایجاد نقاهتگاه های موقت برای بیماران کرونایی در این مناطق فراهم است.

با اعمال لایه محدودیت بر روی نقشه مستخرج از مدل WLC نقشه نهایی مکان گزینی جهت احداث بیمارستان اضطراری در شهر تهران استخراج شد که در شکل ۷ نمایش داده شده است. طبق نتایج به دست آمده بخش هایی از منطقه ۱۴ بهترین محل برای احداث است. با توجه به نظرات کارشناسان بهداشت و درمان نزدیکی محل انتخاب شده به بیمارستان های کرونایی به جهت سهولت در جابه جایی تجهیزات، کادر درمان و بیماران اهمیت بالایی دارد. در این محدوده بیمارستان های مخصوص بیماران کرونایی مثل بعثت نیروی هوایی ارتش و بیمارستان شهدای گمنام وجود دارد که در صورت تکمیل ظرفیت آن ها می توان بیمارستان های اضطراری در مجاورت آن ها احداث کرد.



شکل ۷. نقشه نهایی مکان‌یابی احداث بیمارستان‌های اضطراری در شهر تهران.

Fig 7. The final location map for the construction of emergency hospitals in Tehran.

بحث و نتیجه‌گیری

است. در مراحل بعدی معیارها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP و WLC) وزندهی و اعمال وزن شدند و در نهایت نقشه نهایی با مدل ترکیب خطی وزندار استخراج گردید. بر اساس خروجی‌ها بخش‌هایی از منطقه ۱۴ به‌عنوان مناسب‌ترین مکان شناسایی شد. همچنین قسمت‌هایی از مناطق ۱۸، ۱۳، ۵، ۴ و ۹ در درجه بعدی تناسب جهت احداث بیمارستان‌های اضطراری شناسایی شدند.

مطالعات دیگری نیز در سطح ایران و جهان مشابه موضوع این پژوهش صورت پذیرفته که با توجه به تفاوت در شرایط محیطی و غیرمحیطی و نوع داده مورد استفاده، نتایج متفاوتی نیز به همراه داشته است. از جمله سلطانی و همکاران (۱۸) که ۲۶ بیمارستان موجود در شهر اصفهان را از لحاظ توزیع مکانی مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه محیط شهر براساس لایه‌های اطلاعاتی مانند دسترسی به شبکه حمل‌ونقل، تراکم جمعیت و کاربری زمین به هفت منطقه ضعیف تا خیلی مناسب جهت احداث بیمارستان طبقه‌بندی گردید. نتایج پژوهش نشان داد که حدود ۲۴ درصد از بیمارستان‌های ساخته‌شده در محدوده استاندارد

این تحقیق به‌منظور پتانسیل‌سنجی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران برای احداث بیمارستان‌های اضطراری در شرایط بحرانی مانند همه‌گیری ویروس بیماری کرونا و ویروس (کوید ۱۹) صورت پذیرفت. جهت احداث این بیمارستان‌های موقت در مرحله اول نقشه‌های آلودگی هوا با استفاده از تصاویر ماهواره ستینل ۵ استخراج گردید. با توجه به علائم بیماران کرونایی و اهمیت هوای پاک برای مبتلایان، محدوده‌هایی به‌عنوان مناطق مناسب جهت احداث تعیین شد که خارج از هسته‌های آلوده هوا قرار گرفته است. در اثر شیوع سریع این ویروس و به دنبال آن فشار بی‌سابقه به زیرساخت‌های درمانی کشور کمبود فضاها درمانی، کمبود کادر درمان و تجهیزات به‌وضوح حس شد. مقایسه نقشه نهایی با موقعیت بیمارستان‌های کرونایی نشان‌دهنده نزدیکی مناطق مستعد شناسایی شده به بیمارستان‌های کرونایی است. این نزدیکی به دلیل سهولت جابه‌جایی کادر درمان و تجهیزات به مراکز اضطراری و نقاهت‌گاهی جهت مراقبت از بیماران ضروری

پژوهش ۴۷ مقاله چاپ شده در مجلات معتبر که از روش های تصمیم گیری چندمعیاره استفاده شده بود را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش AHP و مدل های مبتنی بر GIS از کاربردی ترین روش های تصمیم گیری چندمعیاره بوده است. هاشم خانی زلفانی و همکاران (۸) با استفاده از یک چارچوب پشتیبانی تصمیم با روش همبستگی بین معیاری (CRITIC) و روش CoCoSo برای انتخاب بیمارستان موقت مدلی را ارائه دادند. در این پژوهش که برای شهر استامبول انجام گرفت، فاصله از مناطق صنعتی، پتانسیل توسعه آینده و قیمت زمین به عنوان مهم ترین معیار تعیین شدند. نتایج پژوهش نشان داد که مناطق بیکوز و باکروزی مناسب ترین مکان برای تأسیس یک بیمارستان موقت برای بیماران COVID-19 هستند.

با توجه به ادامه دار بودن روند ابتلا به بیماری بیماری کرونا ویروس (کوید ۱۹) و شیوع رویه های مختلف این ویروس و امکان به وجود آمدن شرایط بحرانی مشابه، پیشنهاد می شود با استفاده از یافته های این پژوهش مناطق شناسایی شده به عنوان مناطق امن و بهینه برای احداث بیمارستان های اضطراری مورد توجه قرار گیرد. همچنین با دسترسی به برخی از داده ها مانند تعداد مراجعین هر یک از مناطق به مراکز درمانی می توان نقشه های تراکم مراجعین جهت تخصیص منابع و مدیریت بهتر مناطق دارای اولویت در زمان های بحرانی را استخراج کرد.

دسترسی احداث شده اند. آیدین و سکر (۲) به منظور جداسازی مراکز درمانی ایزوله مخصوص بیماران کرونایی از سایر بیمارستان ها پژوهشی با استفاده از روش چندمتغیره مبتنی بر روش دلفی در شهر استامبول انجام دادند. در این مطالعه با استفاده از روش فازی TOPSIS ۹ معیار مختلف مانند دوری از مناطق مسکونی، دسترسی به مسیرهای ارتباطی، دسترسی به وسایل نقلیه و عوامل دیگر در نظر گرفته شد و پس از وزن دهی آن ها ۵ مکان مناسب پیشنهاد داده شد. نتایج پژوهش محل فرودگاه آتاتورک را مناسب ترین مکان برای ایجاد مرکز ایزوله بیماران کرونایی تعیین کرد. بویاچی و شیشمان (۵) طی پژوهشی با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS اقدام به تعیین مکان های بهینه برای احداث بیمارستان در شرایط کرونا نمودند. در این پژوهش که در محدوده شهر سامسون ترکیه صورت پذیرفت، ابتدا با استفاده از تحلیل های فضایی ۷ معیار تعیین شد که در آن فاصله از شبکه حمل و نقل به عنوان مهم ترین معیار و فاصله از ایستگاه های آتش نشانی به عنوان کم اهمیت ترین معیار انتخاب شد. سپس با روش های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و TOPSIS وزن دهی و رتبه بندی نهایی صورت پذیرفت. نتایج پژوهش نشان از تعیین ۱۳ مکان مناسب برای احداث بیمارستان داشت که در بین ۱۳ مکان، سایت A10 بهترین مکان و سایت A11 کم ارزش ترین مکان تعیین گردید. گول و گونری (۷) در پژوهشی به بررسی مطالعاتی که با موضوع مکان یابی بیمارستان انجام شده بود پرداختند. آن ها در این

منابع مورد استفاده

1. Ataei M. (2011). Multi-Criteria Decision Making, Fir4. Edition, Shahrood: Shahrood University of Technolog Publications. (In Persian).
2. Aydin N, Seker S. (2021). Determining the location of isolation hospitals for COVID-19 via Delphi-based MCDM method. Int J Intell Syst 36:3011–3034. doi:10.1002/int.22410
3. Bahari R, Abbaspour A, Pahlavani P. (2016). Zoning of suspended particulate pollution using local statistic models in GIS (case study, Tehran). Journal of Geomatics Science and Technology. 5:3. (In Persian).
- Berman JD, Ebisu K. (2020). Changes in US air pollution during the COVID-19 pandemic. Science of the Total Environment, 739, 139864.
- Boyacı AÇ, Şişman A. (2021). Pandemic hospital site selection: a GIS-based MCDM approach employing Pythagorean fuzzy sets. Environmental Science and Pollution Research, 29:1985–1997. doi.org/10.1007/s11356-021-15703-7.
- Emtehani M, Abodolazimi H, Shahinifar H. (2022). Hospital Site Selection for the Health Management of the Citizens; A Case Study: Zone 10, Shiraz

- Municipal, Iran. *Journal of Health Information Management*, 17:2. (In Persian).
7. Gul M, Guneri AF. (2021). Hospital location selection: A systematic literature review on methodologies and applications, *Math. Probl. Eng.* 14:2. doi: 10.1155/2021/6682958
8. Hashemkhani Zolfani S, Yazdani M, Ebadi Torkayesh A, Derakhti A. (2020). Application of a gray-based decision support framework for location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic. *Symmetry* 12:88. doi.org/10.3390/sym12060886
9. Jafari F, Jamali AA, Almodarresi A. (2017). Optimum spatial management using membership functions and fuzzy overlap and AHP model in GIS environment to select suitable areas for the construction of new health treatment centers and hospitals in Bandar Abbas city. *Urban management studies*, 27:8. (In Persian).
10. Lin Y-Ch, Chen T Ch. (2022). An intelligent system for assisting personalized COVID-19 vaccination location selection: Taiwan as an example, *Digital Health*, Volume 8: 1–16. doi: 10.1177/20552076221109062.
11. Malczewski J, Rinner C. (2015). *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. Springer. doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4.
12. Malczewski J. (1999). *GIS and multi criteria Decision Analysis*, John Wiley and sons Inc. New York, USA.
13. Rassouli M, Ashrafizadeh H, Shirinabadi Farahani A, Akbari ME. (2020). COVID-19 Management in Iran: One of the Most Affected Countries in the World. *Advantages and Weaknesses*. *Front. Public Health* 8:511. doi: 10.3389/fpubh.2020.00510
14. Razavi-Termeh S V, Sadeghi-Niaraki A, Choi S N. (2021). Coronavirus disease vulnerability map using geographic information system (GIS) from 16 April to 1 May 2020. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A/B/C*, 103043. doi: 10.1016/j.pce.2021.103043.
15. Şahin S, Ocak M. (2019). Analytic hierarchy process for hospital site selection. *Health Policy Technol.*, 8 (2019), pp. 42-50. doi.org/10.1016/j.hlpt.2019.02.005.
16. Saroja R, Madavan S, Haseena. (2022). Human centered decision-making for COVID 19 testing center location selection: Tamil Nadu—a case study, *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2022, Article ID 2048294, 13 pages, doi: 10.1155/2022/2048294.
17. Shikwambana LP, Mhangara N, Mbatha. (2020). Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 91, Article 102130. doi.org/10.1016/j.jag.2020.102130
- Soltani A, Inaloo R B, Rezaei M, Shaer F, Riyabi MA. (2019). Spatial analysis and urban land use planning emphasising hospital site selection: a case study of Isfahan city. *Bull Geogr Socio-Econ Ser* 43: 71–89. doi: 10.2478/bog-2019-0005
- Soltani A, Marandi E Z. (2011). Hospital site selection using two-stage fuzzy multi-criteria decision making process. *J Urban Environm Eng*;5(1):32–43
- Taş MA. (2021). Assessment of Site Selection Criteria for Medical Waste during COVID-19 Pandemic, *European Journal of Science and Technology*. No. 28, pp. 63-69. doi.org/10.31590/ejosat.984857.
- Tripathi A K, Agrawal S, Gupta RD. (2021). Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: a case study for Prayagraj City, India. *GeoJournal*, doi.org/10.1007/s10708-021-10445-y.
- Wang CN, Chou Ch, PinHsu H, Nguyen V. (2021). Optimization Model for Selecting Temporary Hospital Locations During COVID-19 Pandemic, *Computers, Materials and Continua* 70(1):397-412. doi: 10.32604/cmc.2022.019470.
- World Health Organization (WHO). (2021). Global research on coronavirus disease (COVID-19), <https://www.who.int>.
- Wu Z, McGoogan, J. (2020). Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China. *JAMA*, 323, 1239–1242. doi: 10.1001/jama.2020.2648.
- Yağma N M, Donkor A G, Gökler M E. (2020). Management of hospitals during COVID-19 pandemic. *Med Res Rep* 3:155–161. doi: 10.32598/hdq.7.2.377.3
- Zangiabadi A, Alizadeh J, Ahmadian M. (2012). An analysis of the degree of development of the cities of East Azarbaijan province (using TOPSIS and AHP techniques), *Journal of new attitudes in human geography*, 4:1. (In Persian).



Potential assessment of the areas of Tehran for the construction of emergency hospitals Using multi-criteria decision making (MCDM) methods

Hassan Khavarian^{1*}, Hossein Fekrat²

Received: 2024-11-23 / Accepted: 2025-05-24 / Published: 2025-12-27

Abstract

Corona virus showed that health and treatment facilities and infrastructure are severely limited in the whole world. After the outbreak of the Coronavirus disease (COVID-19) for the first time in 2019 in China, due to the high transmission power of this virus, it was predicted that it would soon spread throughout the world and Iran. A short time after the first observation of the virus in Iran, weighted linear combination (WLC) method. Based on determined by using multi-criteria based on the For this purpose, 9 effective criteria for choosing the optimal location have been determined. The criteria include distance from urban roads, distance from faults, distance from special corona hospitals, population density, land use criteria and four criteria related to air pollution indicators (CO, NO₂, SO₂ and O₃) which are used It was extracted from the images of the Sentinel 5 satellite in the environment of the Google Earth Engine (GEE) system. the (AHP) and weighting criteria were level of susceptibility for building emergency hospitals most suitable places the results, parts of the 14th region were identified as the. Also, parts of decision-making. all regions of the country were quickly affected and the number of referrals to

opinions of experts and finally by regions 18, 13, 5, 4, and 9 were identified in the next methods (MCDM) such as Analytical Hierarchy Process medical centers increased sharply. In such a way that the capacity of most of the hospitals allocated for corona patients in densely populated cities, especially Tehran, was completed and several emergency hospitals were also built in different areas of these cities. The purpose of this research is to use different criteria to determine the best places to build emergency hospitals in Tehran.

Extended Abstract

Statement of the Problem: The corona virus showed that the health facilities and infrastructure are limited in the whole world. After the virus was identified for the first time in December 2019 in China, due to its high prevalence, it spread rapidly throughout the world, and after that, referrals to medical centers increased sharply. In such a way that the response to the high number of patients during the epidemic is one of the biggest challenges that the health care systems in the whole world have faced. Considering the limitations of health and treatment facilities, every country has tried to prevent further spread of the virus by breaking the chain of infection by using different methods. Seeing the first cases of infection with the Coronavirus disease (COVID-19) in Iran on

Hassan Khavarian¹ (✉), Hossein Fekrat²

1. Assistant Professor, Department of natural geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

2. PhD Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Humanities, University of Tabriz, Iran

DOI: 10.82447/girs.2025.1191316

e-mail: h5_khavari@uma.ac.ir

February 28, 2018 and its spread throughout the country, it did not take long for the capacity of hospital beds to be filled, especially in densely populated cities. The growing trend of infected people progressed in such a way that in addition to the construction of field hospitals for corona patients, the facilities of the armed forces and military facilities such as military hospitals and barracks were also used. On the other hand, most of these considered places lacked the necessary standards such as easy access for patients, proximity to corona treatment centers and necessary treatment facilities because they were chosen in emergency situations and had non-therapeutic uses. In this situation, the issue of choosing the location of the construction of emergency hospitals is one of the most important decisions of managers, especially in crowded cities, which can lead to disease control, reducing casualties and reducing unnecessary costs.

Purpose: Finding a suitable place for the construction of emergency hospitals in critical conditions and measuring the potential of the 22 districts of Tehran in having the conditions for the construction of emergency hospitals.

Methods: In this research, various types of data and multi-criteria decision-making methods (MCDM) have been used. In the weighting stage of the criteria, the Analytical Hierarchy Process (AHP) model has been used in order to standardize the criteria maps from the fuzzy membership functions, and in order to select the location of the construction of emergency hospitals, the weighted linear combination (WLC) model has been used. . Also, in order to monitor the concentration of pollutants, the level three (L3) data of the TROPOMI sensor of the Sentinel 5 satellite have been used. To calculate air pollutant indices using Google Earth Engine (GEE) system and Near Real Time data of Sentinel 5 satellite, maps of carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂) and ozone (O₃) was extracted.

Results and Discussion: Using the opinions of 8 experts with a combination of different specialties, corona hospitals, distance from faults, distance from roads, population layer, land use layer and four main indicators of air pollution. The first criterion of the map is the distance from the corona hospitals, where the proximity to these hospitals is considered as an advantage, and the greater the distance, the lower the value. In this section, the location of special hospitals for corona patients in Tehran has been extracted based on the latest list announced by the Ministry of Health, Treatment and Medical Education. The next criterion is the distance from the fault, where the greater the distance from the fault, the better the range. And the areas that are near the fault, despite the fact that the emergency hospitals are temporary, are less important. Another criterion is the distance from the communication routes, where it is more desirable to be close to these routes for faster transfer and transfer of patients. The results obtained from the pollution maps show that in the case of carbon monoxide and nitrogen dioxide indicators, the highest concentration of pollution was related to areas 3, 4, 6 and 7 and areas 8 and 2 and parts of areas 1 and 13 are secondly polluted areas with high concentrations of CO and NO₂. Also, in terms of sulfur dioxide concentration, regions 15, 18, and 3 and ozone concentration in regions 8, 13, and 21 had the highest concentration during 26 months. Construction of emergency hospitals in areas where the concentration of pollutants is high. It will not be possible due to the respiratory problems faced by corona patients. By applying the restriction layer on the map extracted from the WLC model, the final site selection map for the construction of an emergency hospital in Tehran was extracted. In the next step, the criteria that had a limiting role in choosing the optimal location for the construction of emergency hospitals were identified. Uses such as educational centers, administrative centers, residential areas, industrial centers, military centers and commercial centers were separated from other uses as inappropriate uses. The layer of urban roads is another limiting factor due to the air pollution and noise pollution

that they can cause, which has been applied to it in the location selection process of 50 meters.

Conclusion: Comparing the final map with the location of corona hospitals shows the proximity of the identified prone areas to corona hospitals. This proximity is necessary due to the ease of moving treatment staff and equipment to emergency centers and convalescent centers to care for patients. In the next steps, the criteria were weighted and weighted using multi-criteria decision making methods (AHP

and WLC) and finally the final map was extracted with the weighted linear combination model. Based on the results, parts of the 14th region were identified as the most suitable places. Also, parts of regions 18, 13, 5, 4 and 9 were identified as the next most prone to building emergency hospitals.

Keywords: Emergency hospitals, Covid-19, Sentinel 5, AHP and WLC.