

Optimal Hospital Location Using Combined Approach of GIS and ANP under Fuzzy Environment (Case Study in Arak City)

Mohammad Ehsanifar^{*1}, Nima Hamta², Mahya Saghari³

1- Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering (Manufacturing Engineering), Arak University of Technology, Arak, Iran

3- MSc Graduate, Department of Industrial Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

ABSTRACT

Health-care applications are those types of uses that, in the event of inaccurate location, may lead to irreparable loss of life in addition to the economic and financial constraints. The geographical location is the main component of access to medical services. Therefore, the importance of optimal and suitable location for this type of user should be considered. In this paper, a compilation of GIS capabilities and an ANP model in a fuzzy environment was conducted to determine the optimal locations for the establishment of a hospital in Markazi province, Arak city. For this purpose, firstly, effective and suitable criteria for locating the hospital in view of the location is the geographic and geographical conditions of Arak, hospitals, experts, books and articles were selected and then weighed in fuzzy environment. Finally, the results obtained by fuzzy GIS in fuzzy mode were used by five fuzzy operators (AND, OR, SUM, PRODUCT, GAMMA) combined in ArcGIS. According to the results obtained from five fuzzy operators, the accessibility criterion, which had the highest weight, was prioritized in order to find the optimal location for the establishment of hospital, and the locations were identified with the least distance from main road/paths for quick and easy access in the shortest time to the hospitals.

ARTICLE INFO

Receive Date: 26 April 2019

Revise Date: 17 December 2019

Accept Date: 04 February 2020

Keywords:

Location;
Hospital;
ANP;
GIS;
Fuzzy Logic;
Arak City

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2020.183168.1844

*Corresponding author: Mohammad Ehsanifar

Email address: m-ehsanifar@iau-arak.ac.ir

مکان یابی بهینه بیمارستان با استفاده از رویکرد ترکیبی ANP و GIS در محیط فازی (مطالعه موردی: شهر اراک)

نویسندگان: نیما همتا^۱، محیا ساغری^{۳*} محمد احسانی فر^۱

۱- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک (گروه مهندسی ساخت و تولید)، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران

۳- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

چکیده

کاربری های بهداشتی - درمانی از کاربری هایی هستند که در صورت مکان یابی نادرست، علاوه بر ضرورت های اقتصادی و مالی که به همراه دارد، ممکن است ضررهای جانی غیرقابل جبرانی را در پی داشته باشد. مکان جغرافیایی جزء اصلی دسترسی به خدمات پزشکی است. بنابراین اهمیت مکان یابی بهینه و مناسب این نوع کاربری دوچندان می شود. در مقاله حاضر تلفیقی از قابلیت های GIS و مدل ANP در محیط فازی به منظور مشخص کردن مکان های بهینه جهت استقرار بیمارستان در استان مرکزی، شهر اراک انجام شد. به این منظور، در ابتدا معیارهای موثر و مناسب جهت مکان یابی بیمارستان با توجه به موقعیت و شرایط مکانی و جغرافیایی اراک، منابع بیمارستانی، کارشناسان و کتب و مقالات انتخاب و سپس در حالت فازی وزن دهی شدند و نتایج حاصله با روش GIS در حالت فازی توسط ۵ عملگر فازی GAMMA, PRODUCT, SUM, OR, AND در محیط ArcGIS ترکیب شدند. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده از ۵ عملگر فازی، معیار دسترسی که بالاترین وزن را به خود اختصاص داده بود، برای یافتن مکان مناسب استقرار بیمارستان در اولویت قرار گرفت و مکان هایی مشخص شدند که در درجه اول کمترین فاصله را با راه ها و شریان های اصلی (دسترسی) جهت دسترسی سریع و آسان به مراکز بیمارستانی داشته و همچنین دسترسی به این مکان ها (مراکز بیمارستانی) در کوتاه ترین زمان انجام می شود.

کلمات کلیدی: مکان یابی، بیمارستان، ANP، GIS، منطق فازی، شهر اراک

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi:
۱۳۹۸/۰۲/۰۶	۱۳۹۸/۰۹/۲۶	۱۳۹۸/۱۱/۱۵	۱۳۹۸/۱۱/۱۵	۱۴۰۰/۰۶/۳۰	10.22065/JSCE.2020.183168.1844
					https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.183168.1844
*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:					محمد احسانی فر m-ehsanifar@iau-arak.ac.ir

۱- مقدمه

مسئله مکان‌یابی یکی از مسائل مهم و حائز اهمیت در بررسی مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های عمرانی می‌باشد و عدم بررسی این موضوع در ابتدای پروژه‌های عمرانی می‌تواند خسارت‌ها و هزینه‌های جبران‌ناپذیری در پی داشته باشد.

در سال‌های اخیر با گسترش مناطق شهری و افزایش جمعیت، نرخ تقاضا برای ساخت تاسیسات خدماتی و زیربنایی به ویژه بیمارستان، آتش‌نشانی، پارکینگ و مواردی از این دست افزایش چشمگیری پیدا کرده است. در کشور ما نیز رشد شتابان شهری در دهه‌های اخیر به گونه‌ای انجام گرفته که متناسب با آن فضای شهری و زیرساخت‌های مورد نیاز شهرها تجهیز نشده است. عمده‌ترین اثرکه رشد شتاب‌آلود شهرها در پی داشته، در هم‌ریزی نظام توزیع خدمات و نارسایی توزیع خدمات است که به‌طور کلی در همه شهرهای ایران به چشم می‌خورد. از آنجایی که بهداشت و درمان از ضرورت‌های اولیه زندگی در شهر محسوب می‌شود، موضوع عدالت اجتماعی و رسیدن به توسعه پایدار مطرح می‌شود و این مفهوم از عدالت، عدالت در فرصت‌هاست بنابراین دستیابی برابر خدمات بهداشتی-درمانی در چارچوب عدالت اجتماعی از ضرورت‌های اولیه زندگی محسوب می‌گردد [۱]. طبق اصل عدالت اجتماعی توزیع عادلانه خدمات بهداشتی و درمانی از اهداف عمده برنامه‌ریزان شهری می‌باشد. تأمین این اصل باعث تحقق دو اصل دیگر یعنی اصل فراهم بودن و اصل در دسترس بودن خدمات می‌شود [۲]. در این میان یکی از مهمترین نهادهایی که می‌تواند بر سلامت جامعه در عصر کنونی موثر باشد بیمارستان‌ها می‌باشند. بیمارستان یک مؤسسه پزشکی است که با استفاده از امکانات تشخیصی، درمانی، بهداشتی، آموزشی و پژوهشی به منظور درمان و بهبود بیماران بستری و سرپایی خدمت‌رسانی می‌نماید. بیمارستان مهمترین واحد ارائه‌دهنده خدمات در شبکه درمانی کشور است و دارای حداقل ۳۲ تخت بستری می‌باشد [۳]. با توجه به افزایش جمعیت شهری، تقاضا برای بیمارستان‌های جدید افزایش یافته است. باید توجه داشت که ایجاد مراکز خدماتی جدید، مستلزم هزینه‌های زیادی می‌باشد و تعیین مکان بهینه این مراکز به نحوی که همه شهروندان از آن بهره‌مند شوند مهم است. مکان جغرافیایی جزء اصلی دسترسی به خدمات پزشکی است که توسط محققین با دیدگاه‌های متنوع و گسترده و با تکنیک‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است [۴]. کاربری‌های بهداشتی - درمانی از نوع کاربری‌هایی هستند که در صورت مکان‌یابی نادرست، علاوه بر ضررهای اقتصادی و مالی که به همراه دارد، ممکن است ضررهای جانی غیرقابل جبرانی را در پی داشته باشد. بنابراین اهمیت مکان‌یابی بهینه و مناسب این نوع کاربری دوچندان می‌شود [۵]. مکان‌یابی صحیح بیمارستان‌های جدید باعث افزایش سرعت و سهولت در دسترسی، نزدیک بودن بیمارستان به جمعیت بزرگتری از مردم و کاهش هزینه‌های ساخت می‌گردد [۶].

مکان‌یابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن‌ها با سایر کاربری‌ها و تسهیلات شهری برای انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد [۷]. مکان‌یابی انتخاب مکان برای یک یا چند مرکز با هدف حداقل کردن هزینه حمل و نقل و خدمات عادلانه به مشتریان، در دست گرفتن بزرگترین بازار و... می‌باشد [۸].

نظریه مکان‌یابی به تعیین مکان یا مکان‌های مناسب برای فعالیت‌ها یا خدمات می‌پردازد. این نظریه توسط اندیشمندانی چون فرمات^۱، پوتیج^۲، استینر^۳ ارائه شده است، مطالعه نظریه مکان‌یابی به‌طور رسمی از سال ۱۹۰۹ توسط آلفرد وبر^۴ آغاز و معرفی شده است [۹]. در ادامه این حرکت اولیه مطالعات بسیاری در حوزه مکان‌یابی طی سال‌های (۱۹۶۴-۱۹۰۹) با در نظر گرفتن فاکتورهای متعدد صورت پذیرفته است. گرچه ارائه خدمات بهداشتی و درمانی در شهرها سابقه‌ای طولانی دارد، لیکن در زمینه مکان‌یابی مراکز خدمات درمانی و بهداشتی پیشینه درازمدتی وجود ندارد و سابقه اینگونه مطالعات به دهه ۱۹۷۰ میلادی بر می‌گردد.

در سال ۱۹۷۹ دپارتمان بهداشت و تأمین اجتماعی انگلستان به توسعه استراتژیک مراکز خدمات بهداشتی و درمانی توجه نشان داد و از آن پس، مطالعات در این زمینه آغاز گردید و طی سال‌های ۱۹۸۲-۱۹۸۰ این مطالعات در اتریش دنبال شدند. ایده مکان‌یابی

¹ Fermat

² Pottage

³ Steiner

⁴ Weber

مراکز بیمارستانی را شخصی به نام "لسلی میهيو"^۵ در کالج بیرک برک لندن به انجام رساند. افزون بر این ها در ایران نیز ویسی ناب و همکاران در تحقیقی با استفاده از مدل تلفیقی WLC^۶ و GIS به مکان‌یابی بهترین مکان‌ها برای استقرار بیمارستان در اردبیل پرداختند [۱۰].

همچنین شریف و همکارانش در مطالعه ای با عنوان مدل مکان‌یابی تخصیص جهت برنامه ریزی تسهیلات درمانی کشور مالزی ارائه دادند که در آن محدودیت ظرفیت نیز در نظر گرفته شده بود [۱۱]. نمونه دیگر از کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری در مکان‌یابی بیمارستان‌ها را می‌توان در اثر وحیدنیا و همکارانش مشاهده کرد، آن‌ها ترکیب روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و نرم افزار GIS را برای انتخاب بهترین مکان احداث بیمارستان به کار بردند [۱۲]. همچنین میتروپولوس^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۳ با ترکیب مدل تحلیل پوششی داده‌ها و مکان‌یابی، مدلی را جهت ترکیب موثرتر خدمات در بخش سلامت به کار بردند [۱۳]. افشاری و پنگ^۸ نیز در سال ۲۰۱۴ در مقاله ای به بررسی روش‌های مکان‌یابی مراکز درمانی با لحاظ کردن کارایی و هزینه پرداخته‌اند. دید آن‌ها هزینه و کارایی دو معیار مهم خدمات درمانی برای حداقل سازی مجموع مسافت پیموده شده بین محل زندگی بیمار و تسهیل درمانی است [۱۴]. مهدی جغتایی نوایی و همکاران در مقاله ای با عنوان مکان‌یابی و تخصیص خدمات بیمارستانی با در نظر گرفتن معیارهای هزینه و کارایی، مدلی دوهدفه با ترکیب و ادغام همزمان مکان‌یابی و تحلیل پوششی داده‌ها ارائه داده‌اند و سپس به حل آن برای موردی واقعی برای بیمارستان‌های شهرستان آمل پرداختند [۱۵]. در مطالعه ای که توسط ابراهیم زاده با عنوان برنامه‌ریزی و سازماندهی فضایی-مکانی خدمات بهداشتی و درمانی با استفاده از GIS در شهر زنجان شده است به ارزیابی و نحوه توزیع مراکز درمانی و مشخص کردن نواحی محروم از این خدمات پرداخته شد [۱۶]. محسن احدنژاد و همکاران نیز در مطالعه خود با عنوان مکان‌یابی بهینه مراکز درمان شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، محدوده مناسب برای استقرار بیمارستان در منطقه ۱۱ شهر تهران را مشخص نمودند [۱۷]. پارسا مقدم و همکاران در مطالعه ای با عنوان مکان‌یابی بیمارستان‌های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهر اردبیل، مکان‌های بهینه جهت احداث بیمارستان را مشخص کردند [۱۸].

حسین زاده و همکاران نیز در مقاله ای به مکان‌گزینی بیمارستان‌های شهری با تلفیق روش سلسله مراتبی (AHP)^۹ و مدل Fuzzy در محیط GIS در منطقه ۱۹ تهران جهت خدمات رسانی و خدمات دهی بهتر و تامین اسایش شهروندان پرداختند [۱۹].

این تحقیق در پی آن است که باتوجه به شرایط مکانی و جغرافیایی شهر اراک، بهترین مکان‌ها برای استقرار بیمارستان به منظور دسترسی سریع و آسان، تامین سلامت و رفاه عمومی همه اقشار جامعه در سطح شهر را مشخص نماید. به این منظور به کارگیری سیستمی یکپارچه متشکل از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^{۱۰} و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^{۱۱} ابزار مناسبی برای مکان‌یابی بیمارستان هستند. در همین راستا، ابتدا با استفاده از منابع بیمارستانی، کارشناسان و کتب و مقالات به بررسی، شناخت و انتخاب معیارهای مناسب و موثر جهت مکان‌یابی و استقرار بیمارستان در شهر اراک پرداختیم. سپس با تلفیق و به کارگیری روش فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)^{۱۲} برای محاسبه وزن معیارها و سیستم یکپارچه متشکل از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای نظم بخشیدن و اولویت‌بندی اطلاعات جغرافیایی و ارزیابی وضعیت موجود و در نهایت با استفاده از نرم افزار ArcGIS برای استانداردسازی و تجزیه و تحلیل اطلاعات، مکان‌های مناسب جهت استقرار بیمارستان را مشخص کردیم.

ایده این مقاله از یک سو استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) در مکان‌یابی بیمارستان است که شکل گسترده روش فرآیند سلسله مراتبی (AHP) است. چراکه روش تحلیل شبکه ای دارای قابلیت‌هایی همچون سادگی و انعطاف‌پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان و بررسی سازگاری در قضاوت‌ها است و همچنین قادر است ارتباطات پیچیده (وابستگی متقابل و

^۵ Leslie Mayhew

^۶ Weighted Linear Combination

^۷ Mitropoulos

^۸ Peng

^۹ Analytic Hierarchy Process

^{۱۰} Geographic Information System

^{۱۱} Multiple Criteria Decision Making

^{۱۲} Analytic Network Process

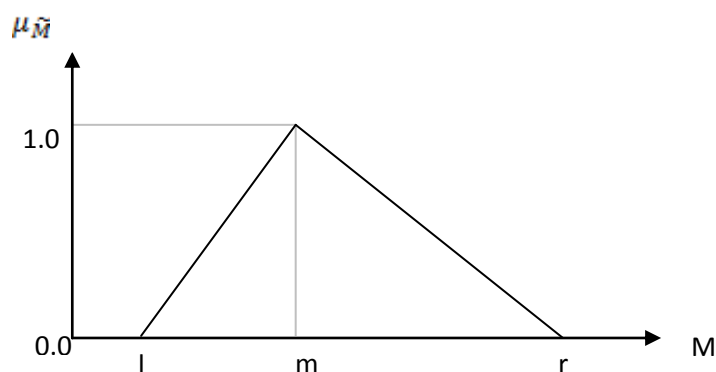
بازخورد) بین و میان عناصر (معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها) را در نظر بگیرند. از سوی دیگر، این تحقیق در محیط فازی انجام شده است. از آنجایی که برای تکمیل ماتریس مقایسات زوجی از قضاوت و نظرات کارشناسان، خبرگان و مشاورین استفاده شده و این نوع داده اغلب نامشخص و مبهم است، چراکه هر فرد براساس درک خود از پدیده‌ها نسبتی دقیق به مقایسه زوجی آن‌ها اختصاص می‌دهد که در قالب عددی قطعی قابل بیان نیست، تئوری فازی قابلیت نشان دادن این داده‌های مبهم و نامشخص را بهتر از عدد قطعی دارد و نتایج واقعی و دقیق‌تری را ارائه می‌دهد.

۲- روش شناسی

۲-۱- اعداد و تئوری فازی^{۱۳}

پدیده‌های منطقی و ریاضی براساس مبانی و اصول کلاسیک علم تنها دو حالت دارد، یا درست هستند و یا نادرست. اما پدیده‌های واقعی همواره تا اندازه‌ای مبهم و غیردقیق هستند، در واقع پدیده‌های مختلف را نمی‌توان تنها به یکی از دو صورت صحیح و غلط یا صفر و یک تقسیم‌بندی کرد. بیشتر مفاهیم و ویژگی‌هایی که در زندگی روزمره و واقعی و نیز در شاخه‌های مختلف علوم به ویژه علوم اجتماعی و انسانی با آن سروکار داریم، مفاهیمی منعطف هستند. نظریه مجموعه‌های فازی یک قالب جدید ریاضی برای صورت‌بندی و تجزیه و تحلیل این مفاهیم و ویژگی‌ها است. پروفیسور لطفی عسکرزاده، تئوری مجموعه فازی را در ارتباط با عدم قطعیت ناشی از ابهام مطرح کرد. مهمترین قابلیت مجموعه فازی توانایی آن در نشان دادن داده‌های مبهم و نامشخص است. از ویژگی این مجموعه، در نظر گرفتن تابع عضویتی است که در آن به هر عضو درجه عضویتی بین صفر و یک تعلق می‌گیرد [۲۰].

همانطور که نشان دادن قضاوت انسان در مورد ترجیحات اغلب نامشخص است و تخمین دقیق نیز توسط مقادیر عددی دقیق حاصل می‌شود. استفاده از منطق فازی برای حل اینگونه مشکلات که با ابهام و عدم دقت مشخص می‌شوند، ضروری است [۲۱]. انواع مختلف توابع عضویت فازی، یعنی اعداد فازی، در منطق فازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، سه نوع از رایج‌ترین موارد عبارتند از: یکنواخت، مثلثی و دوزنقه‌ای [۲۲]. با این حال اعداد فازی مثلثی^{۱۴} (TFN) در کاربردهایی به دلیل سادگی محاسباتی آنها و در ارتقا ارائه و پردازش اطلاعات در محیط فازی مناسب‌تر هستند [۲۳]. یک عدد فازی مثلثی، به شکل $(\frac{1}{m}, \frac{m}{1})$ یا (l, m, r) نشان داده می‌شود. پارامترهای l, m, r به ترتیب بیانگر کمترین ارزش، بیشترین ارزش محتمل و بیشترین ارزش ممکن می‌باشند [۲۱].



شکل ۱: اعداد فازی مثلثی

هر عدد فازی مثلثی براساس پای (سمت) چپ و راست نشان داده می‌شود که تابع عضویت آن به صورت شکل ۲ می‌باشد:

¹³ Fuzzy Theory

² Triangular Fuzzy Numbers

$$\mu(x/M) = \begin{cases} 0 & x < l \\ \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{r-x}{r-m} & m \leq x \leq r \\ 0 & x \geq r \end{cases}$$

شکل ۲: تابع عضویت اعداد فازی مثلثی

۲-۱-۱- طیف فازی

دقت نظرات افراد به این دلیل پایین است که از فرد خواسته می شود براساس درک خود از پدیده‌ها نسبتی دقیق به مقایسه زوجی آن‌ها اختصاص دهد و این در حالی است که درک فرد از پدیده در قالب عددی قطعی قابل بیان نیست بلکه بازه ای از اعداد می‌تواند بهتر از عدد قطعی منعکس کننده درک فرد از اهمیت یک پدیده در قیاس با پدیده‌ای دیگر باشد [۲۴]. در تکمیل ماتریس‌های مقایسه زوجی توسط خبرگان از مقادیر کلامی استفاده شد که می‌بایست به مقادیر کمی تبدیل شوند. به منظور تبدیل داده‌های کلامی به مقادیر کمی از مقادیر متناظر فازی در جدول ۱ استفاده شده است.

جدول ۱: مقادیر فازی متناظر مقایره کلامی [۲۵].

مقادیر فازی متناظر	مقادیر کلامی اولویت‌ها	
(۱ و ۱)	اهمیت یکسان	۱
(۱ و ۲)	یکسان تا نسبتا مهمتر	۲
(۲ و ۳)	نسبتا مهم تر	۳
(۳ و ۴)	نسبتا مهمتر تا اهمیت زیاد	۴
(۴ و ۵)	اهمیت زیاد	۵
(۵ و ۶)	اهمیت زیاد تا بسیار زیاد	۶
(۶ و ۷)	اهمیت بسیار زیاد	۷
(۷ و ۸)	بسیار زیاد تا کاملا مهمتر	۸
(۸ و ۹)	کاملا مهمتر	۹

۲-۲- روش FANP^{۱۵}

فرآیند تحلیل شبکه ای حالت عمومی فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و شکل گسترده آن است. اما با توجه به اینکه دنیای واقعی معیارها معمولا وابسته به یکدیگرند و همچنین محدودیت عمده AHP باعث شد تا ابداع کننده آن، توماس ساعتی، روش فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) را ارایه و معرفی کند. بنابراین تمامی ویژگی‌های مثبت آن از جمله سادگی، انعطاف پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان، و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوتها را دارا بوده و مضافا می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی متقابل و بازخورد) بین و میان عناصر تصمیم را با به کارگیری ساختار شبکه ای به جای ساختار سلسله مراتبی در نظر بگیرد. فرایند تحلیل شبکه ای هر موضوع و مسئله ای را به مثابه شبکه ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها (همه این‌ها عناصر نامیده می‌شوند) که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند، به هر شکل دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر در یک شبکه بازخورد و ارتباط متقابل میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است [۲۶].

لازمه استفاده از روش ANP شناخت کافی از هدف تصمیم‌گیری، محیط تصمیم و تمامی عناصر تصمیم‌گیری به وسیله تصمیم‌گیرنده است. این شناخت به این علت لازم است که تصمیم‌گیرنده بتواند همه ملاک‌های موثر در تصمیم‌را تعیین و تاثیر آن‌ها بر یکدیگر را مشخص و بتواند واقعی‌ترین حالتی از شبکه را رسم کند.

¹⁵ Fuzzy Analytic Network Process

مقایسه‌های زوجی بایستی اولویت واقعی عناصر نسبت به یکدیگر را نشان دهند، اما از آنجا که این شناخت کافی از سیستم همیشه موجود نیست و تصمیم گیرنده نمی‌تواند در حالت کلی با اطمینان کامل در مقایسه‌های زوجی قضاوت کند، بنابراین برای رفع این مشکل مدل تحلیل شبکه‌ای توسعه داده می‌شود. راه حل طبیعی برای انجام مقایسه‌ها در حالت‌های نبود قطعیت استفاده از مقایسه‌های فازی است که حالت‌های ابهام در مقایسه را مدل‌سازی می‌کند [۲۷]. با ادغام منطق فازی در فرآیند زوج مقایسه منطقی عناصر، روش ANP انعطاف‌پذیرتر و نتایج واقعی و دقیق‌تری را ارائه می‌دهد [۲۸].

۲-۳- GIS و کاربرد منطق فازی در آن

GIS، یک سیستم نقشه‌برداری مبتنی بر کامپیوتر و اطلاعات است که برای مدیریت لایه‌های داده‌ها و تصمیم‌گیری براساس لایه‌های مختلف زمین‌شناسی، جغرافیایی، محیطی و دیگر لایه‌های اطلاعاتی به منظور شناسایی بهترین اهداف برای ارزیابی بیشتر در گام‌های آتی، استفاده می‌شود. مناسب‌ترین ابزار برای این هدف سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) است که می‌تواند خطاهای فرآیند ادغام را به طور قابل توجهی کاهش دهد [۲۹]. GIS، ابزار قدرتمندی است که قادر به اداره، پردازش و تحلیل تعداد زیادی از داده‌های فضایی است و می‌تواند با هم جمع شود و داده‌ها را از منابع مختلف تحلیل کند [۳۰]. همچنین قابلیت ضبط، ذخیره، پرس و جو، انالیز، نمایش و خروجی اطلاعات جغرافیایی را دارند. به این ترتیب تاثیر شگرفی در فرآیند تصمیم‌گیری فضایی دارد [۳۱]. بنابراین می‌توان مکان‌های جایگزین را با استفاده از ابزار GIS ارزیابی کرد. بسیاری از برنامه‌های GIS برای مشکلات مکان‌یابی در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی مانند مدیریت منابع طبیعی، آلودگی محیط‌زیست و کنترل خطر، برنامه‌ریزی منطقه‌ای، برنامه‌ریزی شهری و خدمات رفاهی، توسعه‌یافته اند [۳۲]. از این رو برای تعیین درجه عضویت از منطق فازی^{۱۶} استفاده می‌شود و بین دو حالت صفر و یک درجه عضویت یک عنصر از یک مجموعه تعیین می‌شود. فازی بودن، طیفی بین سیاه و سفید یا همان خاکستری بودن است که امکان مدل‌سازی برای وضعیت‌های غیرقطعی فراگیر دنیای واقعی را فراهم می‌سازد [۳۳].

پارامترهای موجود در مکان‌یابی تا حدود زیادی ماهیت فازی دارند. مثال روشن این موضوع، فاکتورهای می‌باشند که مربوط به فاصله مناسب از برخی عوارض موجود هستند.

برای این فاکتورها، مجموعه‌های فازی تعریف می‌شود که در آن‌ها هر پیکسل به عنوان عضوی از این مجموعه با توجه به فاصله‌ای که از عارضه دارد درجه عضویت متفاوتی به خود می‌گیرد. اگر تمام پارامترهای مساله به صورت فازی با مقادیر عضویت صحیح تعریف شوند می‌توان برای تلفیق پارامترها از عملگرهای مناسب فازی استفاده نمود. نوع عملگر مورد استفاده نیز بستگی به نحوه تاثیرپذیری فاکتورها از یکدیگر و یا اثر نهایی (افزایشی یا کاهش) عملگر روی مجموعه پارامترها دارد [۳۴].

۲-۳-۱- عملگرهای فازی^{۱۷}

مقدار $\alpha_A(x)$ بیانگر وزن یا مقدار عضویت پیکسل در مجموعه فازی مورد نظر است. در نهایت با اعمال عملگرهای فازی، واحدهای پیکسلی نقشه خروجی حاوی درجه عضویت خواهند بود.

۲-۳-۱-۱- عملگر اشتراک فازی^{۱۸}

این عملگر به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$\alpha_{A \cap B}(x) = \text{MIN}(\alpha_A(x), \alpha_B(x)) \quad (1)$$

عملگر اشتراک فازی در یک موقعیت مشخص، حداقل درجه عضویت واحدهای پیکسلی را استخراج نموده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. در مواقعی که دو یا چند فاکتور برای اثبات یک فرضیه بایستی باهم وجود داشته باشند، عملگر اشتراک فازی مناسب است.

¹⁶ Fuzzy Logic

¹⁷ Fuzzy Operators

¹⁸ Fuzzy AND Operator

۲-۳-۱-۲- عملگر اجتماع فازی^{۱۹}

این عملگر به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$\alpha_{A \cup B}(x) = \text{MAX}(\alpha_A(x), \alpha_B(x)) \quad (2)$$

عملگر اجتماع فازی در یک موقعیت موجود در فاکتورهای مختلف، حداکثر درجه عضویت واحدهای پیکسلی را استخراج نموده و در نقشه نهایی منظور می‌نماید. در جاهایی که شاخص‌های مکان‌یابی کمیاب هستند و وجود فاکتورهای مثبت برای اظهار مطلوبیت کافی است، این عملگر به کار می‌رود.

۲-۳-۱-۳- عملگر ضرب فازی^{۲۰}

این عملگر به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$\alpha_{\text{product}}(x) = \prod_{i=1}^n \alpha_i(x) \quad (3)$$

با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی کوچک شده و به سمت صفر میل می‌کنند. برخلاف عملگرهای فازی اشتراک و اجتماع، در این عملگر کلیه مقادیر عضویت نقشه‌های ورودی در نقشه خروجی تاثیر می‌گذارند. همچنین عملگر فوق در هنگامی به کار گرفته می‌شود که فاکتورها یکدیگر را تضعیف می‌کنند.

۲-۳-۱-۴- عملگر جمع فازی^{۲۱}

این عملگر به صورت رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$\alpha_{\text{sum}}(x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i(x)) \quad (4)$$

با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی بزرگ شده و به سمت ۱ میل می‌کنند. عملگر فوق هنگامی که چند قسمت از شواهد و فاکتورها یکدیگر را تقویت می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۳-۱-۵- عملگر فازی گاما^{۲۲}

این عملگر حالت کلی از عملگرهای ضرب و جمع فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه گاما بین صفر و یک، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی هستند. این عملگر فازی زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی از شواهد کاهشی و اثر برخی دیگر کاهشی باشد.

با توجه به ویژگی‌ها و عملگرهای منطق فازی، توصیف پارامترهای مساله و اوزان مربوط به آن‌ها بر اساس این مدل با واقعیت تطابق بسیاری خواهد داشت. در این حالت با هر یک از این عوامل و مقادیر وزن آن‌ها به صورت مجموعه‌های فازی برخورد می‌شود که تابع عضویت آن‌ها به روش‌های مختلفی تعیین می‌شود. البته در کاربردهای مدل فازی در مکان‌یابی اغلب از عملگرهای فازی برای تلفیق داده‌های مکانی موجود استفاده می‌شود، در حالیکه برای دریافت خروجی دقیق از این مدل باید سیستمی فازی طراحی شود که نقشه‌های فاکتور به عنوان ورودی این سیستم تبدیل به مجموعه‌های فازی شوند. سپس نقشه‌ها براساس قوانین از قبل تعیین شده عمل تلفیق نقشه‌ها صورت گیرد [۶].

۳- پیاده سازی روش

مرحله اول: مشخص کردن معیارهای مکان‌یابی

عوامل و شاخص‌های متعددی وجود دارد که در مکان‌یابی و تعیین محل احداث مراکز درمانی موثر می‌باشند و باید در مرحله مطالعات و برنامه‌ریزی به طور دقیق آن‌ها را مورد تحلیل و بررسی قرار داد و در طرح مرکز درمانی اعمال نمود. شناسایی و انتخاب عواملی

¹⁹ Fuzzy OR Operator

²⁰ Fuzzy Product Operator

²¹ Fuzzy Sum Operator

²² Fuzzy Gamma Operator

که در مکان یابی تاثیرگذارند از مراحل مهم مطالعه است. اگرچه این معیارها می تواند با توجه به مولفه های اثرگذار در انتخاب مکان مناسب برای مراکز بهداشتی-درمانی متفاوت باشد. ولی در این تحقیق نیز متناسب با شرایط مکانی و جغرافیایی و اینکه شهر اراک یک شهر صنعتی است، طبق جدول ۲، ۱۳ معیار انتخاب و استفاده شده است.

مرحله دوم: تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و فازی سازی معیارها

ماتریس مقایسات زوجی که با $A=[a_{ij}]$ نشان داده می شود به صورت شکل ۳ است:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1, 1, 1) & (p_{12}^l, p_{12}^m, p_{12}^r) & \dots & (p_{1n}^l, p_{1n}^m, p_{1n}^r) \\ \left(\frac{1}{p_{12}^l}, \frac{1}{p_{12}^m}, \frac{1}{p_{12}^r}\right) & (1, 1, 1) & \dots & (p_{2n}^l, p_{2n}^m, p_{2n}^r) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{1}{p_{1n}^l}, \frac{1}{p_{1n}^m}, \frac{1}{p_{1n}^r}\right) & \left(\frac{1}{p_{2n}^l}, \frac{1}{p_{2n}^m}, \frac{1}{p_{2n}^r}\right) & \dots & (1, 1, 1) \end{bmatrix}$$

شکل ۳: شکل کلی ماتریس مقایسات زوجی

در این مرحله برای تکمیل ماتریس مقایسات زوجی مطابق با طیف فازی جدول ۱ از اعداد فازی مثلثی که به صورت $D=(l,m,r)$ مشخص شده، استفاده شده است.

مرحله سوم: وزن دهی به معیارها با روش FANP

$$r_i = \left(\prod_{j=1}^n p_{ij} \right)^{1/n} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

$$a_i = \left\{ \prod_{j=1}^n a_{ij}^{\frac{1}{n}} \right\}, b_i = \left\{ \prod_{j=1}^n b_{ij}^{\frac{1}{n}} \right\}, c_i = \left\{ \prod_{j=1}^n c_{ij}^{\frac{1}{n}} \right\} \quad (6)$$

$$a = \sum_{i=1}^m a_i, b = \sum_{i=1}^m b_i, c = \sum_{i=1}^m c_i \quad (7)$$

$$Cw_i = \left(\frac{a_i}{c}, \frac{b_i}{b}, \frac{c_i}{i} \right) \quad (8)$$

گام اول) فرآیند اجرای روش میانگین هندسی باکلی: به منظور به دست آوردن وزن ماتریس مقایسات زوجی از روش باکلی استفاده شده است. برای استفاده از میانگین هندسی فازی در محاسبه اوزان فازی W_i به ازای ماتریس $A=[a_{ij}]$ به صورت روابط ۸-۵ خواهد بود:

گام دوم) فازی سازی اوزان: سپس وزن فازی W_i مشخص به وسیله یک عدد فازی مثلثی طبق رابطه ۹ نشان داده می شود:

$$Cw_i = r_i (r_1, r_2, \dots, r_m)^{-1} \quad (9)$$

گام سوم) دیفازی سازی اوزان: بعد از محاسبه فاکتورهای وزن فازی، به وسیله فرمول ۱۰ (روش مرکز ثقل) وزن ها را دیفازی می کنیم:

$$W_{crisp i} = \frac{l+m+u}{3} = \frac{Cw_i}{3} \quad (10)$$

گام چهارم) نرمال سازی اوزان: حال باید اوزان به دست آمده نرمال گردد، برای نرمال سازی اوزان از روش نرمال سازی مجموع با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ استفاده می کنیم:

$$S = \sum_{i=1}^n W_{crisp i} \quad (11)$$

$$W_i = \frac{W_{crisp i}}{S} \quad (12)$$

گام پنجم) مقایسه زوجی معیارها نسبت به روابط درونی: همانطور که گفته شد در روش ANP که تکمیل شده روش AHP است به روابط درونی معیارها می پردازد. در این قسمت وابستگی های متقابل معیارها به منظور تعیین روابط بین معیارها نشان داده شده است. برای رسیدن به این جدول و تعیین وابستگی های متقابل بین معیارها از نظرات کارشناسان استفاده شده است. در این جدول تقاطع هر معیار با خودش با عدد ۰ و وجود رابطه معیار سطر با معیار ستون با عدد ۱ نشان داده می شود.

گام ششم) روابط درونی معیارها نسبت به یکدیگر: طبق نتایج بدست آمده از گام پنجم، به طریق مشابه مقایسات زوجی نسبت به هر یک از معیارها را تشکیل داده و به طریق مشابه اوزان را محاسبه می کنیم. در وزن نهایی معیارها ضرب می کنیم. وزن بدست آمده وزن نهایی معیارها است.

مرحله چهارم: تهیه نقشه های لایه های اطلاعات

در این مرحله، مطابق با معیارهای انتخاب شده و تاثیرگذار در مکان یابی بیمارستان نقشه های لایه های اطلاعاتی هر کدام از لایه ها تهیه و در محیط ArcGIS استانداردسازی شدند.

مرحله پنجم: تبدیل لایه های رستری^{۲۳} به نقشه های فازی

منطق فازی، میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می شود [۳۵]. در مدل فازی، هر یک از پیکسل ها در هر نقشه فاکتور مقداری بین صفر تا یک اختصاص داده می شود که بیانگر میزان مناسب بودن محل پیکسل از دیدگاه معیار مربوطه برای هدف مورد نظر می باشد. پس از تشکیل نقشه های مربوط به هر یک از معیارهای تعیین شده، مقادیر عضویت موجود در آن ها به کمک عملگرهای فازی با یکدیگر ترکیب می شوند.

مرحله ششم: وزن دهی به لایه های رستری

تمام نقشه های مرحله پنجم در وزن خود ضرب می شوند و لایه های جدید تولید می شوند.

مرحله هفتم: روی هم گذاری لایه ها

در این مرحله، تمام لایه هایی که دارای وزن هستند را روی هم گذاری می کنیم تا بهترین مکان یا مکان هایی که دارای بیشترین وزن یا ارزش هستند، مشخص شوند. با توجه به اینکه در این پژوهش از عملگرهای فازی (And, Or, Product, Sum, Gamma) استفاده شده، خروجی برای هر کدام از عملگرها به صورت جداگانه تولید می گردد.

مرحله هشتم: مشخص کردن مکان های مناسب جهت احداث بیمارستان

در این مرحله، نتایج حاصل از روی هم گذاری لایه های اطلاعاتی توسط ۵ عملگر فازی بررسی شده و با توجه به کاربرد هر یک از این عملگرها و نیز روابط میان معیارها و تاثیر آن ها برهم، منطقی ترین نتیجه انتخاب می شود.

۴- پیاده سازی روش در یک مطالعه موردی

به منظور درک بهتر روش ارائه شده در این مقاله، روش پیشنهادی در شهر اراک به منظور مکان یابی بهینه بیمارستان پیاده سازی شد. به این منظور در ابتدا ۱۳ معیار ارزیابی جهت مکان یابی بیمارستان متناسب با شرایط مکانی و جغرافیایی و با توجه به صنعتی بودن شهر اراک انتخاب و استفاده شده است که به شرح جدول ۲ می باشد:

²³ Raster Layers

جدول ۲: معیارهای ارزیابی مکان یابی

کد	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
معیارهای ارزیابی	فاصله از محله‌های مسکونی	فاصله از دسترسی	فاصله از فضای سبز	فاصله از آتش نشانی	فاصله از مرکز شهر	فاصله از مراکز تجاری	فاصله از کارخانجات و کارگاه‌های صنعتی	فاصله از مراکز درمانی	فاصله از تاسیسات و تجهیزات شهری	فاصله از پارکینگ و پایانه‌های اصلی حمل و نقل	فاصله از مراکز نظامی و انتظامی	فاصله از غسل	فاصله از مراکز آموزشی

بس از مشخص شدن معیارهای ارزیابی، ماتریس مقایسات زوجی تشکیل و با استفاده از طیف فازی مورد نظر توسط کارشناسان و خبرگان مربوطه تکمیل شد. سپس با استفاده از روش باکلی، میانگین هندسی ماتریس مقایسات زوجی بدست آمد که به صورت جدول ۳ می‌باشد:

جدول ۳: میانگین هندسی

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
(1.532,2.015,2.508)	(1.974,2.774,3.496)	(1.452,2.043,2.646)	(0.551,0.752,1.041)	(1.595,1.931,2.221)	(0.871,1.238,1.674)	(0.509,0.656,0.898)	(1.112,1.524,1.964)	(0.428,0.584,0.879)	(0.456,0.559,0.718)	(0.442,0.537,0.681)	(0.625,0.808,1.053)	(0.264,0.343,0.511)

در گام بعد وزن فازی معیارها بدست آمد که به شرح جدول ۴ می‌باشد:

جدول ۴: وزن فازی معیارها

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
(0.075,0.128,0.212)	(0.097,0.176,0.296)	(0.072,0.130,0.224)	(0.027,0.048,0.088)	(0.079,0.122,0.188)	(0.043,0.079,0.142)	(0.025,0.042,0.076)	(0.055,0.097,0.166)	(0.021,0.037,0.074)	(0.022,0.035,0.061)	(0.022,0.034,0.058)	(0.031,0.051,0.089)	(0.013,0.022,0.043)

بعد از محاسبه فاکتورهای وزن فازی، اوزان دیفازی و سپس نرمال سازی شدند. نتیجه حاصل به شرح جدول ۵ می‌باشد:

جدول ۵: وزن نرمال و قطعی معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
وزن قطعی	0.136	0.186	0.139	0.053	0.128	0.085	0.046	0.104	0.042	0.039	0.037	0.056	0.025
وزن نرمال	0.126	0.173	0.129	0.049	0.119	0.079	0.043	0.096	0.039	0.036	0.034	0.052	0.023

در مرحله بعد، طبق توضیحات داده شده در گام پنجم، ماتریس مقایسات زوجی معیارها نسبت به روابط درونی آن‌ها مطابق با جدول ۶ است:

جدول ۶: ماتریس روابط درونی معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	0	1		1			1		1	1	1	1	1
C2	1	0	1	1	1			1	1	1	1	1	1
C3	1	1	0		1	1	1		1		1	1	1
C4	1	1	1	0	1			1		1			1
C5		1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
C6		1	1		1	0		1	1				1
C7							0	1		1			1
C8	1	1						0	1	1	1		
C9	1	1	1		1	1	1	1	0		1	1	1
C10	1	1				1				0	1		1
C11	1									1	0		
C12		1	1	1	1			1	1			0	1
C13	1		1	1	1	1	1		1	1		1	0

در این مرحله، طبق جدول ۶ ماتریس‌های روابط درونی هر یک از معیارها تشکیل داده شد که به شرح جداول ۷ تا ۲۰ است:

جدول ۷: روابط درونی معیارها نسبت به C1

	C2	C4	C7	C9	C10	C11	C12	C13	وزن نهایی
C2	(1,1,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1.2,3)	(2,3,4)	(1.2,3)	(3,4,5)	(2,3,4)	(2,3,4)	0.188
C4	(2,3,4)	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1.2,3)	(3,4,5)	(4,5,6)	(4,5,6)	0.302
C7	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1.2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1.2,3)	0.142
C9	(0.25,0.3,0.5)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	0.060
C10	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1.2,3)	(1,1,1)	(1.2,3)	(1.2,3)	(2,3,4)	0.124
C11	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1.2,3)	(1.2,3)	0.069
C12	(0.25,0.3,0.5)	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.055
C13	(0.25,0.3,0.5)	(0.16,0.2,0.25)	(0.3,0.5,1)	(1.2,3)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.060

جدول ۸: روابط درونی معیارها نسبت به C2

	C1	C3	C4	C5	C8	C9	C10	C11	C12	C13	وزن نهایی
C1	(1,1,1)	(2,3,4)	(1.2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)	(2,3,4)	(4,5,6)	(2,3,4)	(3,4,5)	(3,4,5)	0.238
C3	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1.2,3)	(3,4,5)	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)	0.196
C4	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1.2,3)	(1.2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1.2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	0.133
C5	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,4,5)	(2,3,4)	(1.2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	0.120
C8	(0.16,0.2,0.25)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1.2,3)	0.068
C9	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.2,0.25,0.3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1.2,3)	(1.2,3)	(1.2,3)	(1.2,3)	0.070
C10	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1.2,3)	(1,1,1)	0.043
C11	(0.25,0.3,0.5)	(0.16,0.2,0.25)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1.2,3)	0.05
C12	(0.2,0.25,0.3)	(0.16,0.2,0.25)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1.2,3)	0.045
C13	(0.2,0.25,0.3)	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	0.035

جدول ۹: روابط درونی معیارها نسبت به C۳

	C1	C2	C5	C6	C7	C9	C11	C12	C13	وزن نهایی
C1	(1,1,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1.2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	0.083
C2	(2,3,4)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(2,3,4)	(0.3,0.5,1)	(3,4,5)	(4,5,6)	(4,5,6)	0.198
C5	(1.2,3)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1.2,3)	(0.25,0.3,0.5)	(2,3,4)	(1.2,3)	(2,3,4)	0.107
C6	(2,3,4)	(1,1,1)	(1.2,3)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(2,3,4)	0.183
C7	(1,1,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.25,0.3,0.5)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,1,1)	0.074
C9	(2,3,4)	(1.2,3)	(2,3,4)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)	0.232
C11	(0.3,0.5,1)	(0.2,0.25,0.3)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.16,0.2,0.25)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1.2,3)	0.045
C12	(0.25,0.3,0.5)	(0.16,0.2,0.25)	(0.3,0.5,1)	(0.16,0.2,0.25)	(0.25,0.3,0.5)	(0.16,0.2,0.25)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.038
C13	(0.2,0.25,0.3)	(0.16,0.2,0.25)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.039

جدول ۱۰: روابط درونی معیارها نسبت به C۴

	C1	C2	C3	C5	C8	C10	C13	وزن نهایی
C1	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(0.25,0.3,0.5)	0.175
C2	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1.2,3)	(0.2,0.25,0.3)	0.120
C3	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(0.25,0.3,0.5)	0.131
C5	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(0.2,0.25,0.3)	0.088
C8	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	0.054
C10	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	0.062
C13	(2,3,4)	(3,4,5)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(4,5,6)	(1,1,1)	0.370

جدول ۱۱: روابط درونی معیارها نسبت به C۵

	C2	C3	C4	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	وزن نهایی
C2	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(4,5,6)	(2,3,4)	(3,4,5)	(3,4,5)	(4,5,6)	0.198
C3	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	(3,4,5)	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)	(3,4,5)	0.168
C4	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,2,3)	(3,4,5)	(3,4,5)	(4,5,6)	0.152
C6	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	0.126
C7	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	0.079
C8	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	0.078
C9	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.25,0.3,0.5)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.040
C10	(0.25,0.3,0.5)	(0.16,0.2,0.25)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	0.051
C11	(0.2,0.25,0.3)	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	0.040
C12	(0.2,0.25,0.3)	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.039
C13	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.030

جدول ۱۲: روابط درونی معیارها نسبت به C۶

	C2	C3	C5	C8	C9	C13	وزن نهایی
C2	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)	(5,6,7)	0.319
C3	(1,2,3)	(1,1,1)	(2,3,4)	(5,6,7)	(3,4,5)	(2,3,4)	0.348
C5	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	0.112
C8	(0.16,0.2,0.25)	(0.14,0.16,0.2)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	0.055
C9	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.086
C13	(0.14,0.16,0.2)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.081

جدول ۱۳: روابط درونی معیارها نسبت به C۷

	C8	C10	C13	وزن نهایی
C8	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	0.516
C10	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.25,0.3,0.5)	0.142
C13	(0.3,0.5,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	0.342

جدول ۱۴: روابط درونی معیارها نسبت به C۸

	C1	C2	C9	C10	C11	وزن نهایی
C1	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(1,1,1)	0.359
C2	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(0.25,0.3,0.5)	0.152
C9	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(0.3,0.5,1)	0.114
C10	(0.16,0.2,0.25)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	0.062
C11	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	(4,5,6)	(1,1,1)	0.313

جدول ۱۵: روابط درونی معیارها نسبت به C۹

	C1	C2	C3	C5	C6	C7	C8	C11	C12	C13	وزن نهایی
C1	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(3,4,5)	(4,5,6)	0.226
C2	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)	0.157
C3	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,2,3)	(3,4,5)	(3,4,5)	0.141
C5	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(3,4,5)	(3,4,5)	0.136
C6	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,2,3)	0.090
C7	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(2,3,4)	0.073
C8	(0.2,0.25,0.3)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	0.054
C11	(0.16,0.2,0.25)	(0.16,0.2,0.25)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	0.045
C12	(0.2,0.25,0.3)	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	0.046
C13	(0.16,0.2,0.25)	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	0.031

جدول ۱۶: روابط درونی معیارها نسبت به C۱۰

	C1	C2	C6	C11	C13	وزن نهایی
C1	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,1,1)	(1,2,3)	(0.2,0.25,0.3)	0.179
C2	(0.2,0.25,0.3)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	0.077
C6	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(0.25,0.3,0.5)	0.166
C11	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	0.091
C13	(3,4,5)	(4,5,6)	(2,3,4)	(4,5,6)	(1,1,1)	0.487

جدول ۱۷: روابط درونی معیارها نسبت به C11

	C1	C10	وزن نهایی
C1	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	0.168
C10	(4,5,6)	(1,1,1)	0.832

جدول ۱۸: روابط درونی معیارها نسبت به C12

	C2	C3	C4	C5	C8	C9	C13	وزن نهایی
C2	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	(2,3,4)	(0.3,0.5,1)	0.169
C3	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	(0.25,0.3,0.5)	0.120
C4	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(0.25,0.3,0.5)	0.169
C5	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(0.2,0.25,0.3)	0.091
C8	(0.2,0.25,0.3)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	0.053
C9	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.2,0.25,0.3)	0.066
C13	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(3,4,5)	(1,1,1)	0.332

جدول ۱۹: روابط درونی معیارها نسبت به C13

	C1	C3	C4	C5	C6	C7	C9	C10	C12	وزن نهایی
C1	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	(2,3,4)	(1,2,3)	(4,5,6)	(3,4,5)	0.191
C3	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)	0.156
C4	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(3,4,5)	0.227
C5	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(3,4,5)	0.131
C6	(0.2,0.25,0.3)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	0.070
C7	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	0.088
C9	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(1,1,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	0.061
C10	(0.16,0.2,0.25)	(0.16,0.2,0.25)	(0.16,0.2,0.25)	(0.25,0.3,0.5)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	0.040
C12	(0.2,0.25,0.3)	(0.16,0.2,0.25)	(0.2,0.25,0.3)	(0.2,0.25,0.3)	(0.3,0.5,1)	(0.25,0.3,0.5)	(0.3,0.5,1)	(0.3,0.5,1)	(1,1,1)	0.036

در نهایت اوزان نهایی معیارها نسبت به روابط درونی آنها نیز به شرح جدول ۲۰ می باشد:

جدول ۲۰: وزن نهایی معیارها طبق ماتریس های روابط درونی معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	1.00	0.238	0.083	0.175	0.00	0.00	0.00	0.359	0.226	0.179	0.168	0.00	0.191
C2	0.188	1.00	0.198	0.120	0.198	0.319	0.00	0.152	0.157	0.077	0.00	0.169	0.00
C3	0.00	0.196	1.00	0.131	0.168	0.348	0.00	0.00	0.141	0.00	0.00	0.120	0.156
C4	0.302	0.133	0.00	1.00	0.152	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.169	0.227
C5	0.00	0.120	0.107	0.088	1.00	0.112	0.00	0.00	0.136	0.00	0.00	0.091	0.131
C6	0.00	0.00	0.183	0.00	0.126	1.00	0.00	0.00	0.090	0.166	0.00	0.00	0.070
C7	0.142	0.00	0.074	0.00	0.079	0.00	1.00	0.00	0.073	0.00	0.00	0.00	0.088
C8	0.00	0.068	0.00	0.054	0.078	0.055	0.516	1.00	0.054	0.00	0.00	0.053	0.00
C9	0.060	0.070	0.232	0.00	0.040	0.086	0.00	0.114	1.00	0.00	0.00	0.066	0.061
C10	0.124	0.043	0.00	0.062	0.051	0.00	0.142	0.062	0.00	1.00	0.832	0.00	0.040
C11	0.069	0.049	0.045	0.00	0.040	0.00	0.00	0.313	0.045	0.091	1.00	0.00	0.00
C12	0.055	0.045	0.038	0.00	0.039	0.00	0.00	0.00	0.046	0.00	0.00	1.00	0.036
C13	0.060	0.036	0.039	0.370	0.030	0.081	0.342	0.00	0.031	0.487	0.00	0.332	1.00

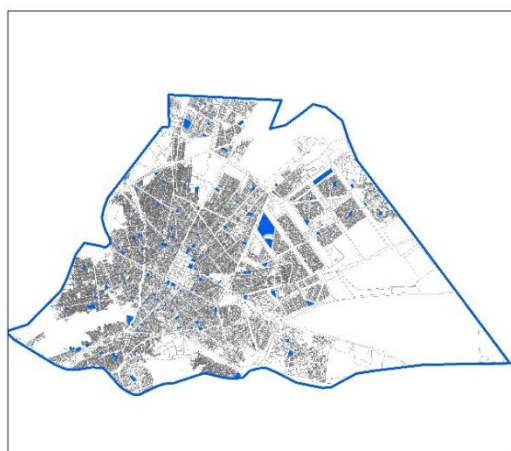
سپس اوزان نهایی حاصل از جدول ۲۰ را در وزن نرمال معیارها (جدول ۵) ضرب می کنیم. وزن نهایی معیارها به شرح جدول ۲۱

است:

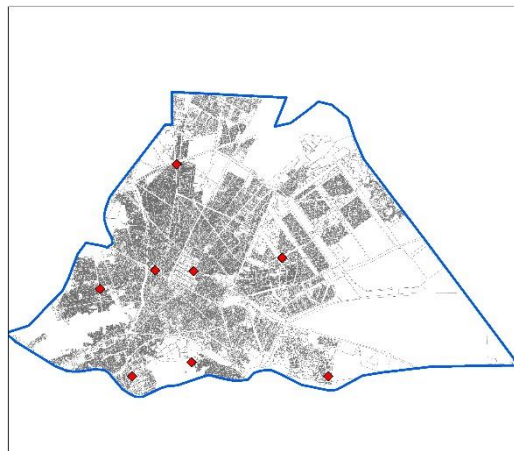
جدول ۲۱: وزن نهایی معیارها

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
0.124	0.155	0.116	0.071	0.090	0.065	0.042	0.076	0.058	0.055	0.049	0.039	0.060

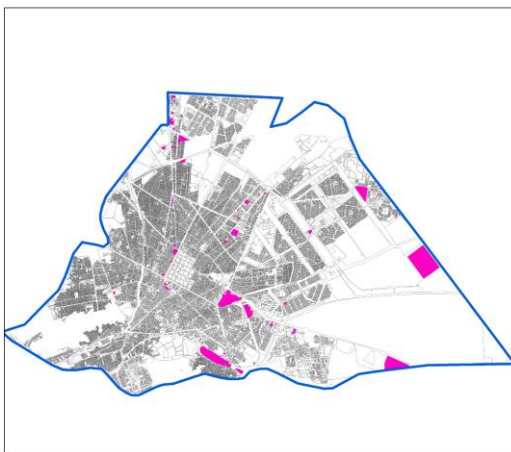
پس از مشخص شدن وزن نهایی معیارها در مرحله قبیل، لایه‌های اطلاعاتی از وضع موجود تهیه شده که به صورت شکل‌های ۶-۴ (نقشه ۱-۱۳) نشان داده شده است:



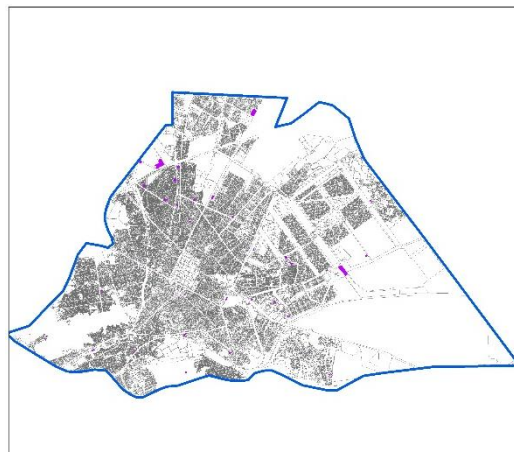
۲



۱

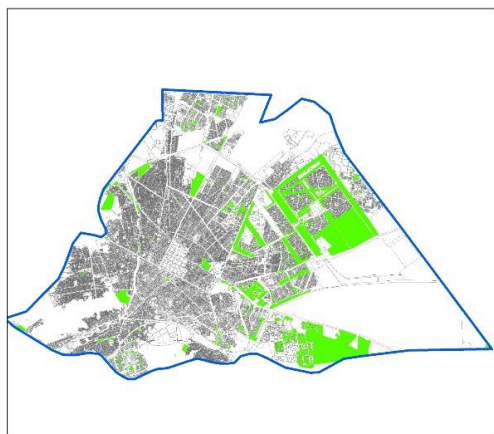


۴

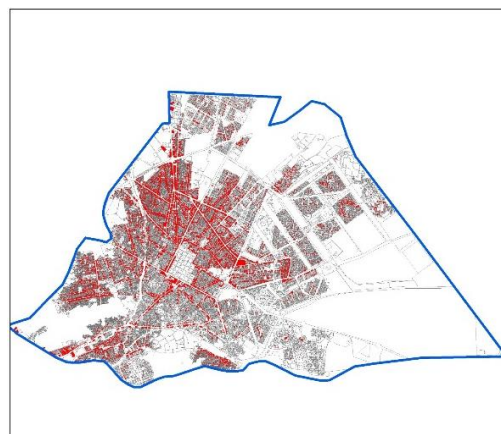


۳

شکل ۴: نقشه‌های وضع موجود: (۱) مراکز آتش‌نشانی (۲) مراکز آموزشی غیرمرتبط (۳) پارکینگ و پایانه‌های حمل و نقل (۴) تاسیسات و تجهیزات شهری



۶



۵

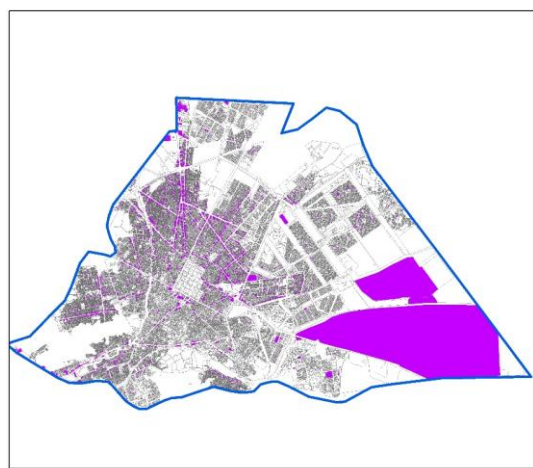


۸

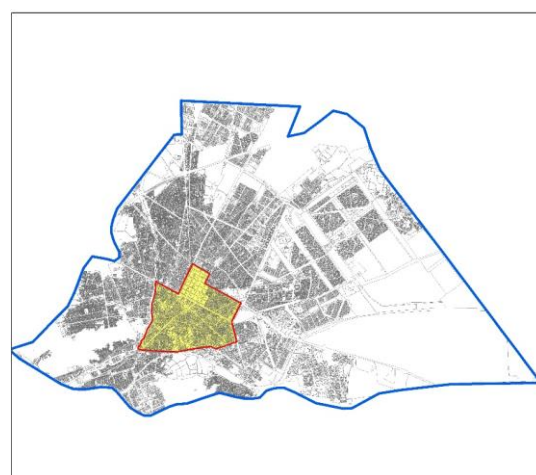


۷

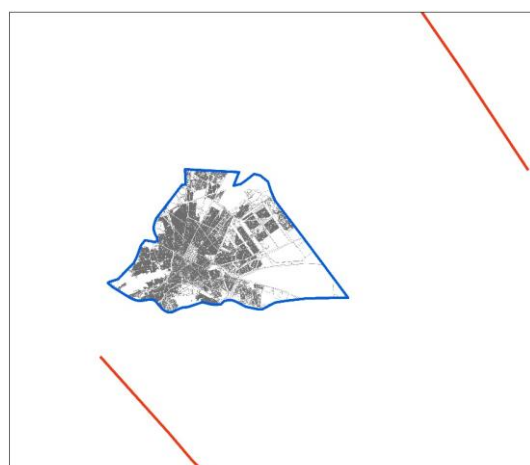
شکل ۵: نقشه های وضع موجود: (۵) مراکز تجاری (۶) فضای سبز (۷) مراکز درمانی (۸) دسترسی



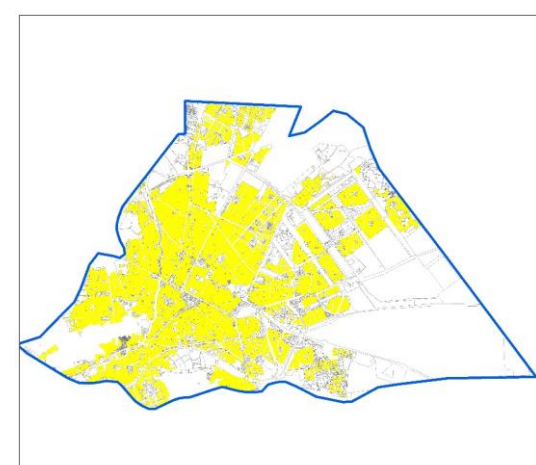
۱۰



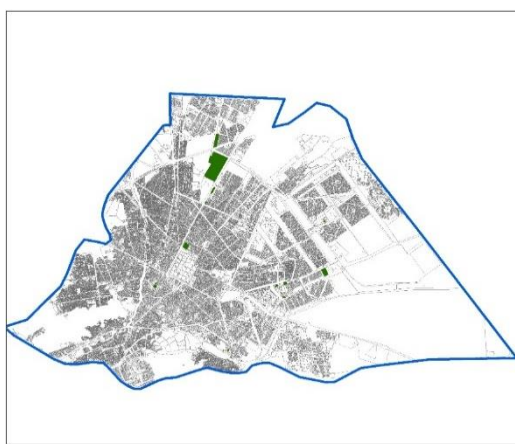
۹



۱۲



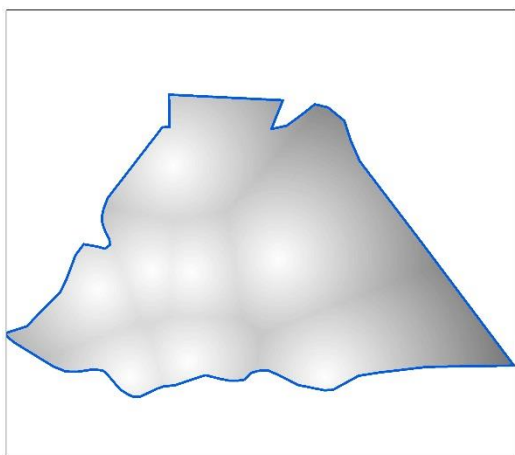
۱۱



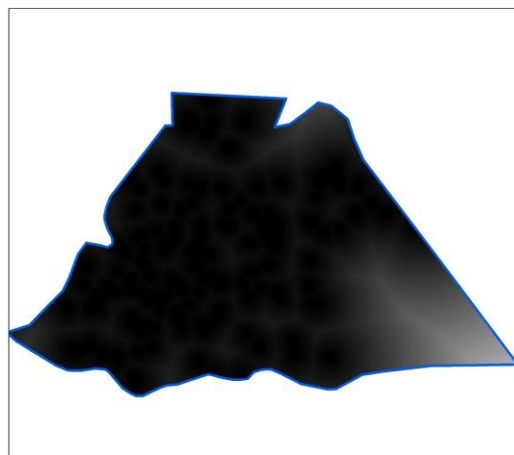
۱۳

شکل ۶: نقشه های وضع موجود: (۹) مراکز صنعتی (۱۰) مرکز شهر (۱۱) گسل (۱۲) مناطق مسکونی (۱۳) مراکز نظامی و انتظامی

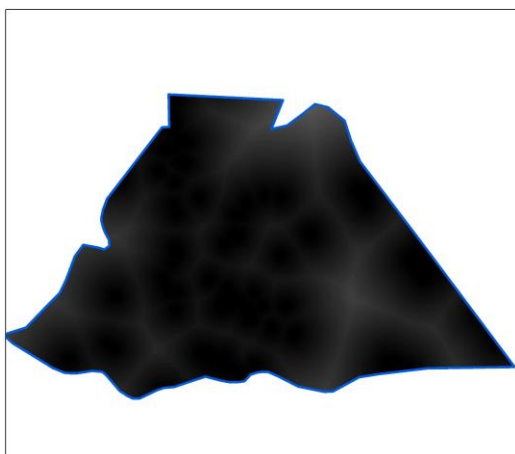
مرحله بعد تبدیل لایه‌های رستری به لایه‌های فازی است که به صورت شکل‌های ۹-۷ (نقشه ۲۶-۱۴) هستند:



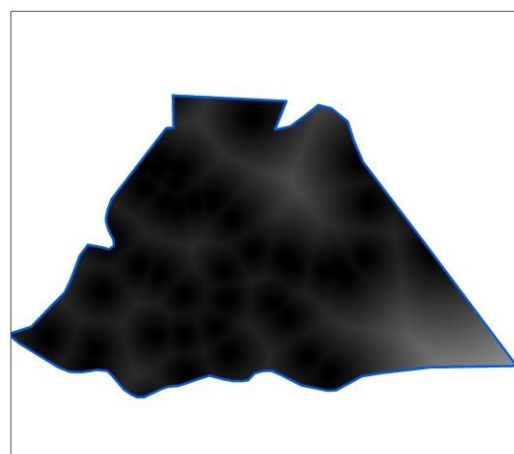
۱۵



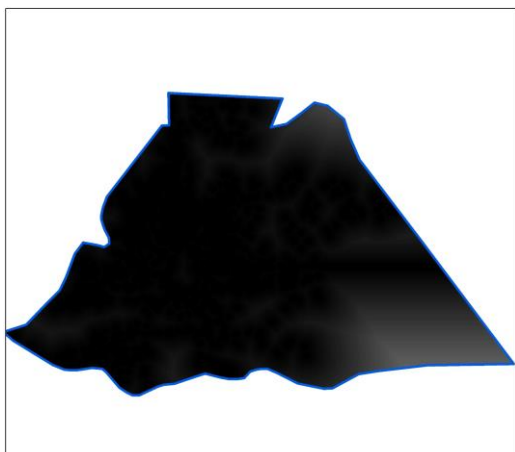
۱۴



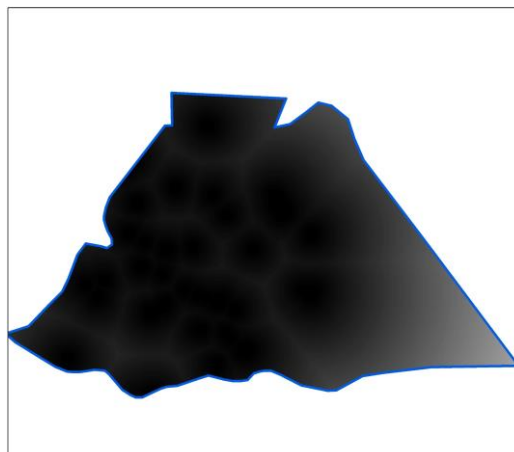
۱۷



۱۶

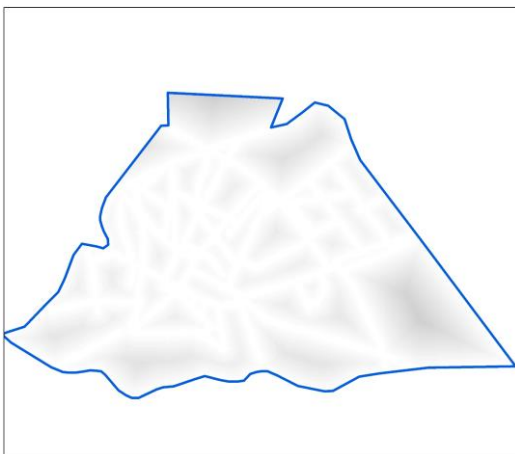


۱۹



۱۸

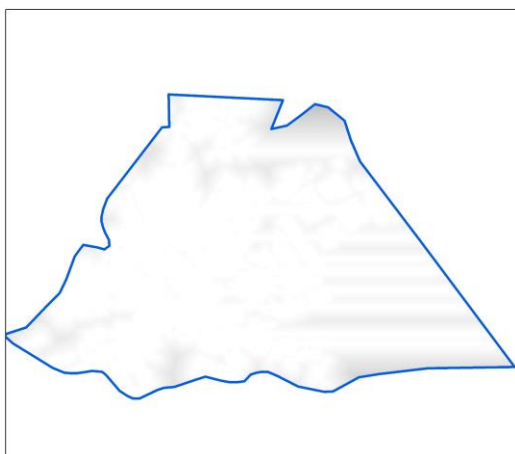
شکل ۷: نقشه های فازی: (۱۴) مراکز آتش نشانی (۱۵) مراکز آموزشی غیر مرتبط (۱۶) پارکینگ و پایانه های شهری (۱۷) تاسیسات و تجهیزات شهری (۱۸) مراکز تجاری (۱۹) مراکز درمانی



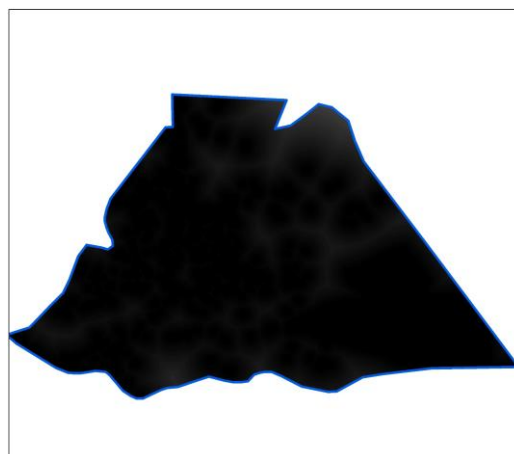
۲۱



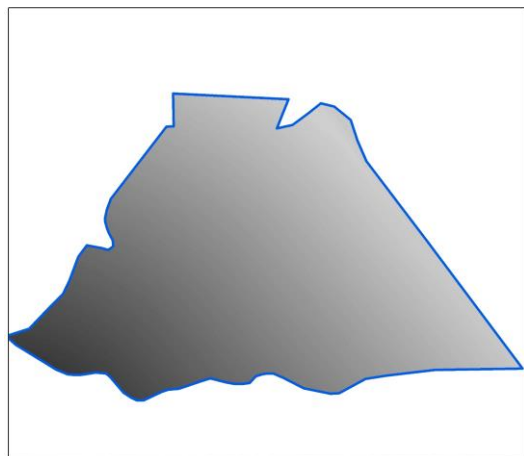
۲۰



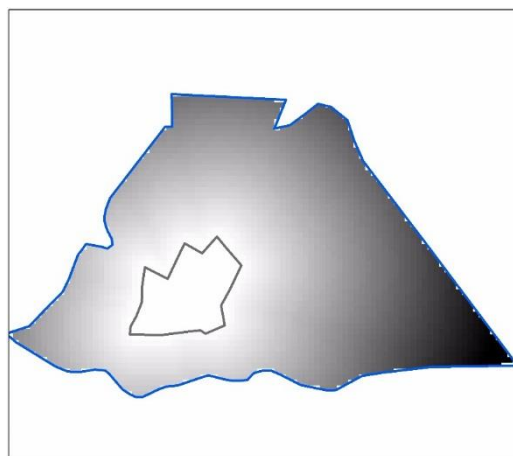
۲۳



۲۲

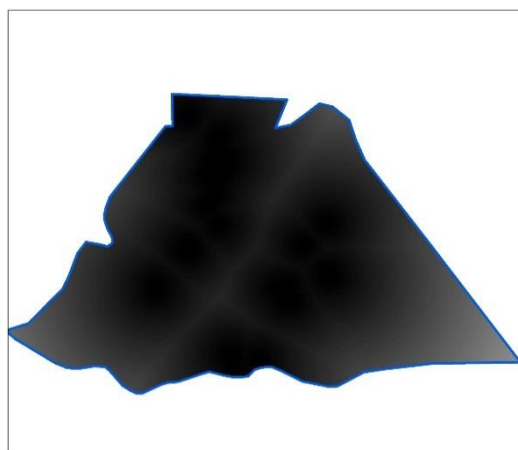


۲۵



۲۴

شکل ۸: نقشه‌های فازی: (۲۰: دسترسی (۲۱: فضای سبز (۲۲: مناطق مسکونی (۲۳: کارخانجات و کارگاه‌های صنعتی (۲۴: گسل (۲۵: مرکز شهر

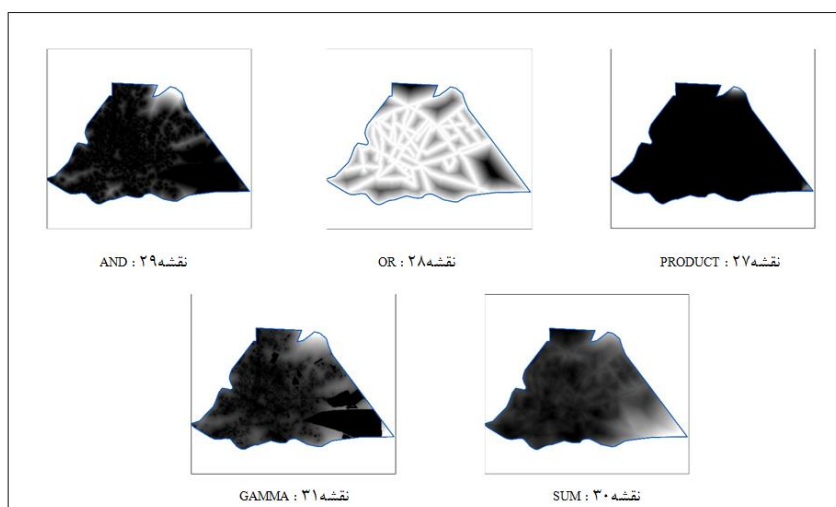


۲۶

شکل ۹: نقشه‌های فازی: (۲۶: مراکز نظامی و انتظامی

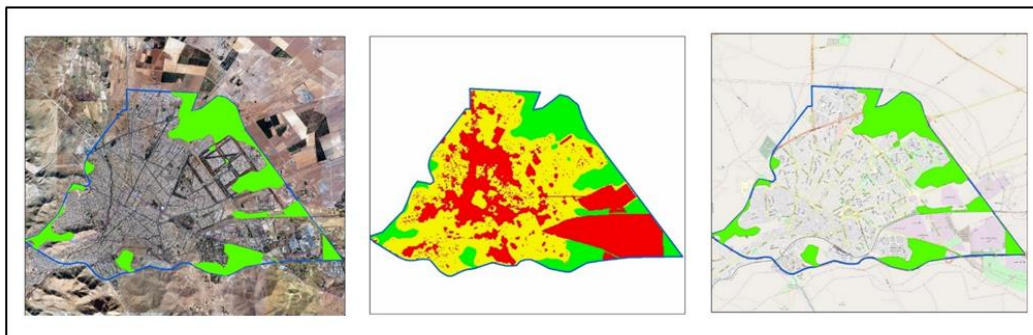
پس از بدست آوردن نقشه‌های فازی، نقشه‌های حاصل از روی هم گذاری نقشه‌های فازی توسط ۵ عملگر فازی مورد استفاده به

شرح شکل ۱۰ (نقشه‌های ۲۷-۳۱) است:



شکل ۱۰: نقشه‌های حاصل از روی هم گذاری لایه‌ها توسط عملگرهای فازی

در مرحله آخر، پس از بررسی نتایج حاصل از روی هم گذاری نقشه‌ها توسط ۵ عملگر فازی، نتیجه حاصل از عملگر فازی گاما، انتخاب شد. نقشه نهایی حاصل از ترکیب لایه‌ها با استفاده از عملگر فازی گاما و نقاط مناسب جهت احداث بیمارستان به شکل ۱۱ است:



شکل ۱۱: مناطق مناسب جهت مکان‌یابی و استقرار بیمارستان در شهر اراک

۵- صحت‌سنجی مدل

با توجه به استفاده از ماتریس مقایسات زوجی و با توجه به این که این ماتریس، پرسش نامه نیست بلکه فقط یک ماتریس ریاضی است که متغیرها یا معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند، معنای پرسش نامه اماری ندارد. لذا روابی و پایایی برای ماتریس مقایسات زوجی معنایی ندارد. برای صحت‌سنجی منطقی بودن مقایسات زوجی فقط از نرخ سازگاری استفاده می‌شود. بدین منظور از روش‌های متعددی برای محاسبه نرخ سازگاری استفاده می‌شود که یکی از متداولترین این روش‌ها، روشی به نام گوگوس^{۲۴} و بوچر^{۲۵} است. نرخ سازگاری به صورت محاسبات دستی قابل محاسبه است که از رابطه ۱۳ بدست می‌آید. اما توسط نرم‌افزار Super Decision محاسبه می‌باشد. در این مقاله نیز نرخ سازگاری توسط نرم‌افزار Super Decision محاسبه شد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (13)$$

طبق رابطه ۱۳، (CR) نماد نرخ سازگاری، (CI) نماد شاخص سازگاری و (RI) نشان‌دهنده شاخص تصادفی می‌باشد.

اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰,۱ باشد به این معناست که مقایسات زوجی منطقی و درست انجام شده است و می‌توان به نتایج حاصل از آن‌ها در مراحل و گام‌های بعد اعتماد کرد، در غیر اینصورت پرسشنامه مربوط به این محاسبات باید مورد بازنگری قرار گیرد. در این مقاله نیز ماتریس مقایسات زوجی فازی معیارها (که با استفاده از نظرات خبرگان تکمیل شد)، به دو ماتریس قطعی افراز شد و سپس به روش ساعتی نرخ سازگاری هر ماتریس قطعی شده A^m (مقادیر میانی ترجیحات خبرگان) و A^g (میانگین کران بالا و پایین TFN) محاسبه گردید. روشن است در پایان دو نرخ سازگاری وجود خواهد داشت که با CR^g و CR^m نمایش داده و از روابط ۱۴ و ۱۵ حاصل می‌شود.

$$CR^g = \frac{CI^g}{RI^g} \quad (14)$$

$$CR^m = \frac{CI^m}{RI^m} \quad (15)$$

در این مقاله، نرخ سازگاری بدست آمده به صورت $CR^g = 0,092$ و $CR^m = 0,034$ می‌باشد. از آنجا که مقادیر حاصله کمتر از ۰,۱ هستند، بنابراین ماتریس مقایسات زوجی سازگار است و می‌توان به نتایج حاصل از آن اعتماد کرد.

¹ Gogus

² Boucher

۶- تفسیر و تحلیل نتیجه

با توجه به نقشه‌های بدست آمده از روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی توسط ۵ عملگر فازی، نتیجه حاصل یا مکان‌های مطلوب معرفی شده جهت احداث بیمارستان توسط عملگر GAMMA منطقی‌تر و مطلوب‌تر از نتایج حاصل از سایر عملگرها بوده است. این عملگر حالت کلی از عملگرهای ضرب و جمع فازی است و دارای مقدار عددی بین صفر و یک می‌باشد. انتخاب صحیح و آگاهانه گاما، بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی هستند. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی از شواهد کاهشی و اثر برخی دیگر افزایشی باشد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل شده توسط نرم‌افزار ArcGIS و عملگر فازی گاما، مناطق و مکان‌هایی مشخص و معرفی شده است که دارای حداقل فاصله با راه‌ها و شریان‌های اصلی است که این امر موجب دسترسی سریع و آسان و در عین حال در کمترین زمان ممکن، به مراکز بیمارستانی می‌شود. چراکه معیار دسترسی بالاترین وزن را از بین معیارهای منتخب شده به خود اختصاص داده بود و به همین علت جهت مکان‌یابی مکان‌های مناسب، برای استقرار بیمارستان، در اولویت قرار گرفت.

۷- صحت‌سنجی نتایج به دست آمده

با توجه به اینکه این تحقیق از ابتدا، با بهره‌گیری از نظرات و با همکاری و مشاوره خبرگان، کارشناسان، مسئولین، مشاوران و فعالان حوزه تحت مطالعه انجام گرفت، نتایج بدست آمده و نقاط مشخص شده به عنوان مکان‌های بهینه و مناسب جهت استقرار بیمارستان در شهر اراک، توسط خبرگان و صاحب‌نظران مورد اعتبارسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت.

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله، ترکیبی از GIS و مدل ANP در محیط فازی به منظور مشخص کردن مکان‌های بهینه جهت استقرار بیمارستان در شهر اراک انجام شد. به این منظور، در ابتدا معیارهای موثر جهت مکان‌یابی بیمارستان با توجه به موقعیت جغرافیایی اراک، منابع بیمارستانی، کارشناسان و کتب و مقالات انتخاب و سپس در حالت فازی وزن‌دهی شدند و در نهایت نتایج حاصله با روش GIS در حالت فازی توسط ۵ عملگرهای فازی AND، OR، PRODUCT، SUM، GAMMA در محیط ArcGIS ترکیب شدند. با توجه به نتایج حاصل شده، بیشتر مناطق و مکان‌های مشخص و معرفی شده جهت استقرار بیمارستان در شهر اراک، واقع در پیرامون محدوده شهری است. این مناطق دارای حداقل فاصله با راه‌ها و شریان‌های اصلی با مراکز بیمارستانی هستند. چراکه معیار دسترسی با اهمیت بیشتری نسبت به سایر معیارها شناخته شد و به همین دلیل در انتخاب مکان مناسب در اولویت قرار گرفت.

با توجه به اهمیت این بحث و اینکه این موضوع در رابطه مستقیم با آسایش، سلامت و رفاه ساکنین یک شهر یا منطقه قرار دارد و با توجه به تغییرات و تحولات روزافزون، گسترش زندگی شهرنشینی و افزایش جمعیت پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی پیرامون این موضوع با در نظر گرفتن معیارهای مالی و هزینه‌های موثر و موجود در مکان‌یابی در کنار معیارهای موثر که در این پژوهش به آن‌ها پرداخته شد، انجام گیرد.

مراجع

- [1] Ziari, YA. Khodadadi, R. (2013). Locating Semnan's Hygienic and Health Potential Places Using AHP Method in GIS Environment Centers. Environmental Based Territorial Planning (Amayesh). 6 (20). 177-193.
- [2] Taghvaei, M. Azizi, D. (2009). Planning and management urban crisis by emphasising on the possibilities, installations, services and location of health centers. Kankash. Esfahan. 197.
- [3] Arab, M. Kavosi, Z. Ravangard, R. Ostovar, R. Vali, L. (2009) How is the hospital's organization and how it works. Jahad University. Tehran. 368.

- [4] Hare, Timothy S. Barcus, Holly R. (2007). Geographical accessibility and Kentucky's heart-related hospital services. *Applied Geography*. 27 (3-4):181-205.
- [5] Razani, A. Asgari, A. (2008). Urban land use Planning, Using what-if Planning Support System (case-study: Dorud city). *Urban management*. 6 (20). 76-85.
- [6] Mesgari, M.S. Teymoori, M. Shourvarzi, H. (2011). Hospitals Site Selection using Fuzzy GIS. *Shahrnegar Bimonthly*. 12 (54). 30-40.
- [7] Mohammadi, J. Poorghayoomi, H. Ghanbari, M. (2016). Spatial Analysis and Site Selection fueling stations in Kazeroon. *Research and Urban Planning*. 7 (24). 105-120.
- [8] Drezner, Zvi. (1995). *Facility location: A survey of applications and methods*: Springer Verlag . USA. 572.
- [9] Drezner, Z. Klamroth, K. Schobel, A. Wesolowsky, G.O. (2002). *The weber problem Facility location. Applications and theory*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 460.
- [10] Veysi Nab, F. Babaei Agdam, F. Sadeghieh, S. Asadi, G. (2015). Locating Hospitals Using Weighted Linear Combination Model in GIS Environment in Ardabil City. *journal of health*. 6 (1). 43-56.
- [11] Shariff SSR, Moin NH, Omar M. (2012). Location allocation modeling for healthcare facility planning in Malaysia. *Computers and Industrial Engineering*. 62 (4). 1000–1010.
- [12] Vahidnia MH, Alesheikh AA, Alimohammadi A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. *Environmental Management*. 90 (10). 3048–3056.
- [13] Mitropoulos, P. Mitropoulos, I. Giannikos, I. (2013). Combining DEA with location analysis for the effective consolidation of services in the health sector. *Computers and Operations Research*. 40 (9). 2241–2250.
- [14] Peng, Q. Afshari, H. (2014). Challenges and Solutions for Location of Healthcare Facilities. *Industrial Engineering and Management*. 03 (02). 1-12.
- [15] Navaee-Joghtae, M. Rajabzadeh, M. Bozorgi-Amiri, A. (2016). Locating And Allocating Hospital Services on the basis of Cost And Efficiency: Case Study of Amol. *Health Administration*. 19 (63). 21-33.
- [16] Ebrahimzadeh, I. Ahadnejhad, M. Ebrahimzadeh, M. (2010). Spatial planning and organization of health services using GIS (Case study in Zanjan). *Human Geogr Stud*. 73 (42). 39-58.
- [17] Ahadnejad, M. Ghaderi, H. Hadian, M. Haghghatfard, P. Darvishi, B. Haghghatfard, E. et al. (2015). Location allocation of health care centers using GIS (Case study: region 11 of Tehran). *Fasa University of Medical Sciences*. 4 (4). 463-474.
- [18] Parsa Moghadam, M. Yazdani, M.H. Seyyedini, A. Pashazadeh, M. Optimal Site Selection of Urban Hospitals Using GIS Software in Ardabil City. *Ardabil University of Medical Sciences*. 16 (4). 374-388.
- [19] Hossein Zadeh, N. Ghorbani, A. Shahroudi, M. Farahmandzadegan, M.J. (2017). Suitable location city hospitals through the hierarchical modulation method (AHP) and model (Fuzzy) in GIS (Case Study: Region 19 of Tehran). *GIS and RS Application in Planning*. 8 (4). 21-38.
- [20] Ehsanifar, M. Hossein zadeh lotfi, F. (2018). Utility of Ranking Warehouse Candidates in Workshop Locations Using UTAStar. *New Researches in Mathematics*. 3 (12). 5-14.
- [21] G. Büyüközkan, G. Çifçi. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*. 39 (3). 3000–3011.
- [22] Taha, Z. Rostam, S. (2011). A fuzzy AHP–ANN-based decision support system for machine tool selection in a flexible manufacturing cell. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 57 (5–8). 719–733.
- [23] Giachetti, R. Young, R. E. (1997). A parametric representation of fuzzy numbers and their arithmetic operators. *Fuzzy Sets and Systems*. 91 (2). 185–202.
- [24] Leung, L.C. Cao, D. (2000). On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. 124 (1). 102-113.
- [25] Hsieh, T.Y., Lu, S.T. and Tzeng, G.H. (2004). Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. *International journal of project management*. 22 (7). 573-584.
- [26] Garcia-Melon. Monica, Javier Ferris-Onate, Jeronimo Aznar-Bellver, Pablo Aragoné1-Beltran, and Rocio Poveda-Bautista. (2008). Farmland appraisal based on the analytic network Process. *Global Optimization*. 42 (2). 143-155.

- [27] Nejati, M. (2018). Ranking of companies participating in the tenders of Imam Khomeini Oil Refining Company Shazand using multi-objective decision-making techniques (MODM). M.Sc. Islamic Azad University, Arak Branch, Faculty of Engineering - Department of Industrial Engineering.
- [28] Ayag, Z. Ozdemir, G. R. (2012). Evaluating machine tool alternatives through modified TOPSIS and alpha-cut based fuzzy ANP. *International Journal of Production Economics*. 140 (2). 630–636.
- [29] Abedi M, Norouzi GH. (2012). Integration of various geophysical data with geological and geochemical data to determine additional drilling for copper exploration. *Applied Geophys.*[online] 83. 35–45. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2012.05.003> [12 May 2012].
- [30] Arnette, A.N., Zobel, C.W. (2011). Spatial analysis of renewable energy potential in the greater southern Appalachian mountains. *Renewable Energy*. 36 (11). 2785–2798.
- [31] Rikalovic, A., Cosic, I., & Lazarevic, D. (2014). GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia Engineering*. [online] 69. 1054–1063. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.090> [25 March 2014].
- [32] Omitaomu OA, Blevins BR, Jochem WC, Mays GT, Belles R, Hadley SW, et al. (2012). Adapting a GIS-based multicriteria decision analysis approach for evaluating new power generating sites. *Applied Energy*. [online] 96 . 292–301. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.087>. [27 December 2011].
- [33] Varesi, H.R. Shiran, GH. Azizi Hasanvand, H. (2016). Site selection of bus stops by ANP model and fuzzy logic in GIS (A case study :of Khorramabad City). *Research and Urban Planning*. 6 (23). 55-76.
- [34] Alavi, S.A. Moazezbarabadi, M. Divsalar, A. Jafari, B. (2015). Location CNG Fuel Stations by Using Fusion Techniques of Fuzzy Operators and GIS Spatial Analysis, Case Study: Mashhad District 7. *Biannual Journal of Urban Ecology Researches*. 7 (1). 9-18.
- [35] Bonham, Carter. Graeme, F. (1994). *Geographic Information System for Geoscientists: Modeling with GIS*. Ontario: Pergamon. 291-300.