

مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با به کارگیری مدل AHP و روش فازی (مطالعه موردی: شهر اصفهان)

داود اکبری

استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

مهدی ساعتی*

استادیار گروه مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۶

چکیده

یکی از مراکز خدماتی که نقش عمده‌ای در شهر داشته و ضامن ایمنی بیشتر برای حیات بشری است، مرکز آتش‌نشانی است. مکان‌یابی به عنوان یکی از تحلیل‌های مکان‌محور تأثیر فراوانی در کاهش هزینه‌های ایجاد و راه‌اندازی فعالیت‌های مختلف شهری بخصوص مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی دارد. در این مطالعه با روشی نوین به مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر اصفهان پرداخته شده است. در روش پیشنهادی ابتدا با بررسی عوامل مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، لایه‌های رقومی موردنظر ایجاد و وارد محیط GIS گردید، سپس با به کارگیری مدل AHP، به مکان‌یابی محل مناسب ایستگاه‌های آتش‌نشانی پرداخته شد. برای انجام این منظور، شش معیار دسترسی، تراکم جمعیت، اندازه زمین، نوع کاربری زمین، همسایه‌های سازگار و همسایه‌های ناسازگار که از پتانسیل بالایی در شناسایی نواحی استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی برخوردار هستند شناسایی و به صورت یکپارچه در یک پایگاه اطلاعات مکان‌محور جمع‌آوری شدند. در این بین، استاندارد سازی لایه‌ها به روش فازی که یکی از روش‌های مهم در استاندارد سازی داده‌های مکان‌محور بشمار می‌آید، صورت گرفت. در تحقیق حاضر از یک تابع کرنل با شعاع اثر یک کیلومتر و در نهایت کشش خطی مقادیر آن در یک محدوده ۰ تا ۲۵۵ برای شناسایی اثرات همسایگی استفاده شد. همچنین تفکیک معیارها به زیرمعیارها (معیارهای ثانویه) به صحت و دقت مدل مورد استفاده اضافه کرد. بر اساس نتایج حاصله، بیشترین نواحی شناسایی شده برای استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی در مناطق شمال غربی منطقه مورد مطالعه قرار دارند که تمرکز جمعیت و واحدهای تجاری-اقتصادی در آن‌ها نسبت به مناطق مرکزی کمتر است. به طور کل، متوسط اندازه نواحی شناسایی شده برابر با ۵۰۰ متر مربع بدست آمد، که می‌بایست برای انتخاب هر یک، به نوع، شدت فعالیت و گستره‌ی عملیاتی آن‌ها در تعامل با سایر ایستگاه‌های آتش‌نشانی توجه شود. یکی از نتایج قابل توجه پژوهش، عدم قرار گرفتن در مناطق با بافت فرسوده در اولویت نخست ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی است. از بین کاربری‌های شهری پنج کاربری عمده در ارتباط با مکان ایستگاه‌های آتش‌نشانی از نظر نوع همسایگی ناسازگار شناخته شده‌اند که از بین آنها ضابطه کاربری‌های بهداشتی و درمانی با ۳۷ درصد وزن نرمال بیشترین نقش و ترمینال بین شهری با ۶ درصد وزن نرمال کمترین نقش را در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی ایفا نمودند. بر اساس آزمایشات صورت گرفته در این تحقیق تعداد ۴۲ مکان با مجموع مساحت تقریبی ۲۶۰۰ متر مربع به عنوان نواحی مستعد استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر اصفهان معرفی شدند.

واژگان کلیدی: آتش‌نشانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، منطق فازی، اصفهان.

مقدمه

تحولات اقتصادی، سیاسی و رشد شتابان شهرها در دهه‌های اخیر منجر به تحولات عظیمی در شهرهای کشور شده است. اثرات این تغییر و تحولات که به صورت تغییر شکل کالبدی و توسعه فضایی شهرها تبلور یافته، نتایج مناسبی در شهرهای کشور نداشته و باعث توزیع نامناسب خدمات و عدم مکان‌گزینی صحیح آن‌ها شده است (Pouryarmohammadi et al., 2022: 99). در این میان رشد، توسعه، توزیع فضاها و کاربری‌های شهری با این رشد جمعیت همگام نبوده است و عناصری مانند ساختار شهری، شبکه ارتباطی شهر، تاسیسات و زیرساخت‌های شهری، از جمله موضوعات کاربردی زمین بوده و در میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر حوادث تاثیر دارند (Motamedi & Kianfar, 2023; Vahdani Charzekhon et al., 2021: 51). در حال حاضر یکی از دغدغه‌های مدیران شهری استقرار بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی است (Khan Ahmadi et al., 2012). ایستگاه‌های آتش‌نشانی به عنوان مکان‌هایی برای استقرار و انتظار خودروهای آتش‌نشانی و نجات، از جمله مراکز مهم و حیاتی خدمات‌رسانی در شهرها هستند، که نقش مهمی در تأمین ایمنی و آسایش شهروندان و توسعه شهرها دارند (Arabameri, 2014; Chaudhary et al., 2016; Hadiani & Kazemizad, 2018). آنچه در رابطه با ایستگاه‌های آتش‌نشانی دارای اهمیت است، دسترسی سریع و به موقع به محل وقوع حادثه می‌باشد که این دسترسی سریع و به موقع به توزیع بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی باز می‌گردد (Motamedi & Kianfar, 2023). بنابراین مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و تعیین تعداد ایستگاه‌ها جهت پوشش مناسب شهر و خدمات‌دهی به شهروندان با توجه به خصوصیات و ویژگی‌های شهر و توان مالی و تدارکاتی موجود و پیش‌بینی توسعه امکانات آتی از اقدامات حیاتی و لازم در این زمینه می‌باشد (Aftab, 2014; Savsar, Rahnama & Yagoub & Jalil, 2014: 3; Yao et al., 2019: 87). مکان‌یابی سنتی این ایستگاه‌ها بیشتر تابع مالکیت زمین و سلاطین مدیریتی و مواردی از این دست بوده است؛ که از معایب بررسی آنها در قالب سنتی می‌توان به عدم توانایی در به کارگیری همزمان کلیه پارامترهای مؤثر و زمانبر بودن اشاره کرد (Aliabadi et al., 2016: 130). حال آن که به دلیل تفاوت جنس و ماهیت شهرها از لحاظ قیمت اراضی، فشردگی فضا، تراکم جمعیتی، بافت و ساختار شهر، لزوم دقیق شاخص‌ها به چشم می‌خورد و بی‌توجهی به این عوامل در مکان‌یابی موجب هدر رفتن سهم قابل توجهی از منابع مادی و از دست دادن حجم زیادی از منابع محیطی شده و صدمات سنگینی را به مردم و مدیریت شهری تحمیل می‌کند (Karaman & Erden, 2014: 691). بنابراین استفاده از فن‌آوری اطلاعات بخصوص سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS¹) برای تحلیل حجم وسیعی از داده‌ها، ضروری است (Abdulhasan et al., 2019: 4; Nyimbili et al., 2018: 31; Singh et al., 2019: 5; Torabi-Kaveh et al., 2016: 41). هدف اصلی تاسیس ایستگاه‌های آتش‌نشانی تأمین بخشی از امنیت شهر در راستای اهداف از قبل تعریف شده آنها می‌باشد. لازمه رسیدن به این هدف، اعمال دید سیستماتیک و یکپارچه

¹ Geospatial Information System

به عناصر شهری بصورت میکرو و جهت دهی ساختار شهر در قالب ماکرو است که این مهم در قالب استفاده از GIS تا حد زیادی دست یافتنی است (Zhang, 2015: 52; Rezaei, 2013: 307; Murray, 2021: 619; Ehsanifar et al., 2013). معیارها و ضوابطی که به منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در نظر گرفته می‌شود از نظر قالب و ماهیت بسیار متنوع هستند، اما به طور کلی می‌توان در دو قالب ضوابط مرتبط با خصوصیات مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و ضوابط مرتبط با ارتباط مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با سایر عناصر شهری، بررسی شوند (Amiri et al., 2017; Norouzi, 2013; Mohammadi & Pourqaioumi, 2018: 44; Bolouri et al., 2013). مجموعه بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های انجام شده در مورد حوادث آتش‌سوزی و نحوه عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی نشانگر آن است که محدودیت‌ها و نارسایی‌های عمده‌ای در مکان‌گزینی و عملکرد مطلوب ایستگاه‌ها وجود داد این مشکلات را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی کرد (Nyimbili & Erden, 2020).

- ۱- عدم انطباق مکان و شعاع پوشش ایستگاه‌ها با کانون‌های بالقوه‌ی آتش‌سوزی
 - ۲- عدم تناسب تعداد ایستگاه‌ها با تعداد جمعیت تحت پوشش
 - ۳- عدم تناسب توزیع مکانی ایستگاه‌ها با الزامات و بافت شهری
 - ۴- عدم تناسب توزیع مکانی ایستگاه‌ها با استاندارد پوشش زمانی
 - ۵- ناکافی بودن تعداد ایستگاه‌ها نسبت به هر دو معیار جمعیت و مساحت شهر
- باتوجه با جمعیت زیاد شهر اصفهان، وجود انواع کاربری‌های گوناگون و ترافیک شهری، مکان‌یابی و ساماندهی ایستگاه‌های آتش‌نشانی بیش از پیش احساس می‌شود. در این تحقیق سعی شده با استفاده از GIS و تلفیق اطلاعات، مکان‌یابی صحیح و علمی ایستگاه‌های آتش‌نشانی انجام پذیرد. یکی از حوزه‌های شناخته‌شده که در طول دهه اخیر با توجه به نیازمندی‌های کاربردی گوناگون به سرعت توسعه‌یافته است، تصمیم‌گیری چندمعیاره است (Ahmed & Kilic, 2019: 13; Du et al., 2016; Kengpol et al., 2013; Liu et al., 2020; Wang et al., 2023). تصمیم‌گیری چندمعیاره رویه‌ای است که بر روی شاخص‌ها، تحلیلی مناسب برای انتخاب یک گزینه انجام می‌دهد. در این روش‌های تصمیم‌گیری به‌جای یک معیار سنجش بهینگی، از چند معیار استفاده می‌شود (Khalili et al., 2008; Palchaudhuri & Biswas, 2014: 8; Wahab & Khayyat, 2016). در مسائل تصمیم‌گیری پس از مشخص کردن اهداف کلی برنامه‌ریزی و تعیین گزینه‌های مختلف، ارزیابی صورت می‌گیرد تا گزینه بهینه انتخاب شود (Nojavan et al., 2018: 286). روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با بیان روش‌های تصمیم‌گیری و ساده‌سازی پردازش‌های مکانی در مسائل مختلف تصمیم‌گیری مکانی، به روش‌های مختلف استفاده می‌شوند (Abdulkareem & Erzaij, 2022; Ghods & Kamyabi, 2014). هدف از پژوهش حاضر انتخاب مکان مناسب با استفاده از معیارهایی همچون تراکم جمعیت،

اندازه و کاربری زمین و غیره با استفاده از روش‌های ویکور^۱ و الکتراه^۲ می‌باشد. این پژوهش در ادامه تحقیق نوجوان^۳ و همکاران (۲۰۱۸) که به بررسی کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای با استفاده از روش‌های SAW و TOPSIS پرداخته بودند، انجام می‌شود.

مبانی نظری

افزایش جمعیت و رشد شتابان شهرنشینی در دهه‌های گذشته آثار سوئی را به دنبال داشته است که از آن جمله می‌توان به توسعه کالبدی ناموزون شهرها، ایجاد محلات حاشیه‌ای، فقر و افت استانداردهای زندگی، کمبود مراکز خدماتی و نهایتاً نابرابری در برخورداری از امکانات اشاره نمود (Chen et al., 2023). مکان‌یابی صحیح یک موضوع اقتصادی است که در برنامه‌ریزی‌ها مطرح می‌شود و برنامه‌ریزان سعی می‌کنند که توزیع مراکز خدماتی را بهینه سازند و این توزیع متناسب با توزیع جمعیت و یا میزان تقاضا در مناطق مختلف باشد و از نظر دسترسی و مطابقت با معیارهای شهرسازی بهینه باشد (Joodaki, 2021: 71; Nyimbili & Erden, 2020; Rezaizadeh Mahabadi & Jahani, 2016; Shokohi et al., 2013). در نظام برنامه‌ریزی، کاربری زمین باید از طریق مجموعه‌ای از سیاست‌ها کنترل شود و برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای بهتر است بخشی از رهیافت‌های پایدار باشد (Xu et al., 2021). انتخاب یک مکان، تصمیم مهمی برای برنامه‌ریزان می‌باشد، زیرا تغییر از آن سخت خواهد بود. یک تصمیم نامناسب برای تعیین مکان باعث افزایش هزینه‌های انتقالی، از دست رفتن فرصت و مزیت رقابتی شود. تصمیم‌گیرندگان باید مکان‌هایی را انتخاب کنند که نه تنها با وضعیت جاری مطابقت دارد، بلکه همچنین برای آینده مناسب باشد، حتی اگر عوامل دیگر تغییر کنند (Farhadi & Farhadi, 2016; Shekar & Mathew, 2023; Wang et al., 2021: 249).

به لحاظ اهمیت بسیار زیاد مسأله‌ی نجات جان انسان‌ها در اطفای حریق، پژوهش‌های بسیاری از دیرباز در کشورهای توسعه یافته در زمینه‌ی انتخاب مکان‌های مناسب احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی انجام گرفته است. پژوهش‌های اولیه در این مورد بر مبنای انتخاب مکان ایستگاه‌ها بر اساس سطح پوشش ارائه‌ی خدمات توسط هر یک از آن‌ها قرار داشت. در سال ۲۰۱۰، زیاری و یزدان پناه^۴ پژوهشی با عنوان مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۵) در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر آمل) انجام دادند (Ziyari & Yazdan Panah, 2010). در این پژوهش با بررسی عوامل موثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از ابزار تجزیه و تحلیل فضایی، نقشه فاصله تهیه گردید. در نهایت با بکارگیری از روش هم‌پوشانی، معیارهای وزن دهی شده با هم تلفیق و مکان بهینه برای

^۱ Vikor

^۲ Electre

^۳ Nojavan

^۴ Ziyari and Yazdan Panah

^۵ Analytical Hierarchy process

استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی مشخص می‌شود، که علاوه بر ایستگاه‌های موجود (۴ ایستگاه)، ۲ ایستگاه دیگر نیز پیشنهاد می‌شود. علی‌آبادی^۱ و همکاران (۲۰۱۶)، پژوهشی تحت عنوان مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از تلفیق AHP و GIS مطالعه موردی: منطقه ۳ اصفهان، انجام دادند (Aliabadi et al., 2016). در این تحقیق ابتدا معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مکان‌گزینی ایستگاه آتش‌نشانی با استفاده از روش AHP به کمک نرم افزار Expert Choice وزن-دهی شد. اسکندری^۲ (۲۰۱۷)، پژوهشی با عنوان یک روش GIS برای انتخاب محل نصب آتش‌نشانی انجام داد. در این تحقیق رویکرد سیستم پشتیبانی تصمیم برای قرار دادن ایستگاه‌های آتش‌نشانی از طریق پایگاه داده ژئودیتیک منطقه Kadikoy در GIS ارائه شده است. وانگ^۳ (۲۰۱۹)، به ارزیابی ایمنی پارک‌های شهری با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پرداخته و به ارزیابی سطح ایمنی شش پارک عمومی شهری کشور لیتوانی با استفاده از روش WASPAS-SVNS به عنوان روش پردازش داده‌ها پرداخت. او در این پژوهش ۱۱ گروه از عوامل ایمنی پارک شهری و هفده معیار قابل سنجش به عنوان پایه‌ای برای ارزیابی ایمنی شهری پارک‌ها پیشنهاد کرد.

الگوی توزیع و مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهرها از جمله مباحث مهم مربوطه به تسهیلات شهری هستند که به شدت تحت تاثیر تراکم جمعیت و کاربری اراضی، میزان متوسط آتش‌سوزی، ابعاد و شدت آتش‌سوزی و متوسط خسارت‌های وارد شده در نقاط مختلف قرار دارند. لذا برنامه‌ریزان شهری با پیاده‌کردن مشخصات مهار ایده کامل، بر روی نقشه می‌کوشند تا الگوی مناسبی جهت توزیع ایستگاه‌های آتش‌نشانی ارائه نمایند (Nazarian et al., 2014; Tatari et al., 2014). مطالعات انجام یافته حاکی از آن است که در طبقه‌بندی عوامل مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی هفت عامل دخالت دارند که عبارتند از: ملاحظات ژئوتکنیکی، دسترسی، شعاع عملکرد مفید، جمعیت، جهت توسعه شهر، همجواری و کاربری، اندازه قطعه زمین (Xu et Motamedi, 2018; 495; Nyimbili & Erden, 2023; Kianfar, 2021). بر اساس اهمیت و ضرورت مطرح شده، پرسش‌های این پژوهش عبارتند از:

- ۱- وضعیت منطقه از نظر استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی پوشش دهنده منطقه، چگونه است؟
- ۲- در مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید چه عواملی باید در نظر گرفته شود؟
- ۳- عوامل مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید منطقه، کدام است؟

¹ Aliabadi

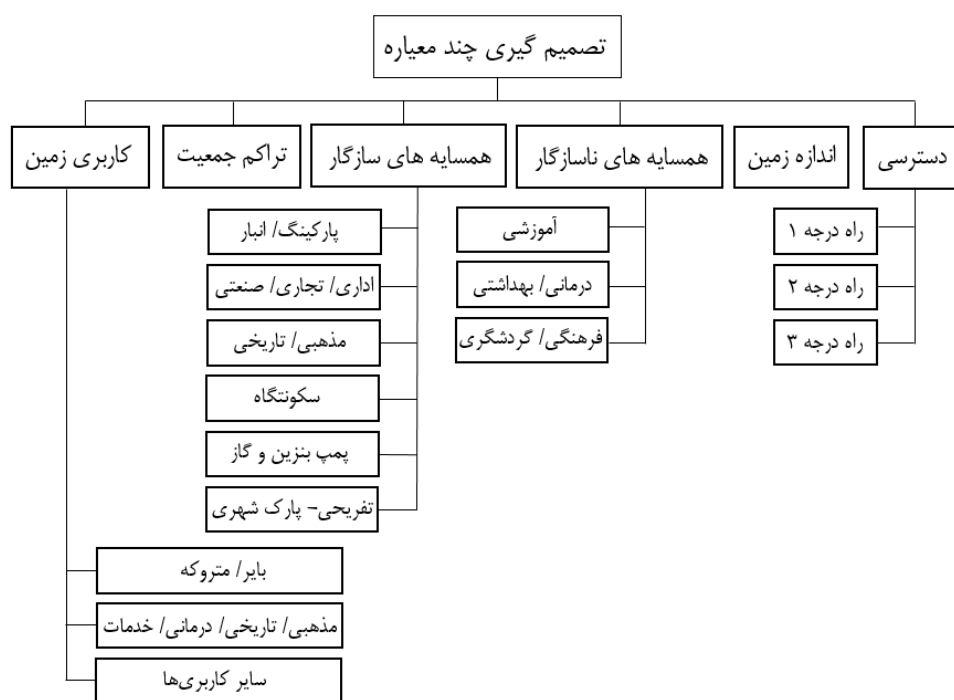
² Eskandari

³ Wang

مواد و روش‌ها

روش انجام پژوهش

روش تحقیق حاضر از نظر تجزیه و تحلیل اطلاعات، از نوع تحلیلی-توصیفی است. برای گردآوری اطلاعات از روش‌های کتابخانه‌ای و توصیفی استفاده شده است. شکل (۱) فلوچارت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. فلوچارت روش پیشنهادی

Figure 1. Flowchart of the proposed approach

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در این تحقیق ۶ معیار اصلی به عنوان معیارهای معرفی کننده نواحی مستعد زمین برای استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی معرفی شده‌اند که شامل‌اند بر (Aliabadi et al., 2016; Khan Ahmadi et al., 2012): دسترسی، تراکم، اندازه، همسایه‌های سازگار، همسایه‌های ناسازگار و نوع کاربری زمین. بر این اساس، در مدل پیشنهادی این تحقیق فرض شد که چنانچه یک قطعه زمین به راه‌های ارتباطی نزدیکتر باشد، دسترسی آن‌ها به سایر نواحی بیشتر بوده و از اهمیت بیشتری برای تخصیص به ایستگاه‌های آتش‌نشانی برخوردار هستند. برای این منظور، راه‌های ارتباطی در منطقه مورد مطالعه به سه دسته راه‌های نوع ۱ (عرض بالای ۱۵ متر)، راه‌های نوع ۲ (عرض بین ۸ تا ۱۵ متر) و راه‌های نوع ۳ (عرض کمتر از ۸ متر) تقسیم‌بندی و مورد استفاده قرار گرفتند (Murray, 2013). تراکم جمعیت نیز بر

اساس تعداد نفرات اسکان یافته در هر واحد شهری (بر حسب تعداد بر متر مربع در یک بلوک شهری) در نظر گرفته و به عنوان یکی از معیارهای اصلی در مکان‌یابی به مدل مذکور وارد شد. اندازه‌ی زمین یکی از شروط مهم برای اختصاص آن به ایستگاه‌های آتش‌نشانی است. به طور معمول، نواحی با متوسط اندازه ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مربع به عنوان نواحی با ارجحیت بالا به عنوان مکان‌های مناسب جهت استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی در نظر گرفته می‌شوند (Aliabadi et al., 131: 2016). با این حال در تحقیق حاضر، وسعت بالای اراضی نسبت به یکدیگر به عنوان عاملی از معیار اندازه اراضی در نظر گرفته و به مدل وارد شد. معیارهای سازگاری و ناسازگاری به ترتیب بر مبنای پتانسیل ایجاد خطر/ حادثه (جانی و مالی) و کاربری‌های ایجاد کننده ترافیک در نظر گرفته شده‌اند. به عبارت دیگر، کاربریهای سازگار به آن دسته از کاربری‌ها اشاره دارد که نیاز به خدمات امداد رسانی در آنها به مراتب بیش از سایر کاربری‌ها است. کاربری‌های ناسازگار نیز به آن دسته از کاربری‌هایی اشاره دارد که به عنوان عاملی منفی مانع دسترسی بین ایستگاه‌های آتش‌نشانی به کاربری‌های سازگار می‌شود، از جمله کاربری‌های ناسازگار می‌توان به مراکز آموزشی، درمانی و مذهبی اشاره کرد. در نهایت، نوع کاربری زمین (معیار ششم) به عنوان عاملی که نشان‌دهنده محدودیت یا عدم محدودیت زمین برای تغییر کاربری به ایستگاه‌های آتش‌نشانی است، به مدل مذکور وارد شد. سپس با به کارگیری مدل تحلیل سلسله مراتبی، به مکان‌یابی محل مناسب ایستگاه‌های آتش‌نشانی پرداخته شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری که شامل هدف‌ها، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی می‌شود، شروع می‌شود، سپس در ادامه مراحل زیر طی می‌گردد (Saaty, 1986):

گام ۱: مشخص نمودن ساختار سلسله مراتبی؛ این تحقیق با یک سلسله مراتب چهار سطحی شامل: هدف‌ها، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها مواجه است.

گام ۲: تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها؛ برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، آن‌ها دو به دو و بر اساس مقیاس نه کمیتی ساعتی (جدول ۱) با هم مقایسه می‌شوند.

جدول ۱. مقیاس نه کمیتی ساعتی برای مقایسه دو به دو معیارها

Table 1. Saati nine-quantitative scale for pairwise comparison of measures

امتیاز	تعریف
۱	ترجیح یکسان
۳	کمی مرجح
۵	ترجیح بیشتر
۷	ترجیح خیلی بیشتر
۹	کاملاً مرجح
۸، ۶، ۴، ۲	ترجیحات بینابین (وقتی حالت‌های میانه وجود دارد)

Source: (Saaty, 1986)

(Akbari, 2020) مقایسه‌های دو به دو در یک ماتریس $n \times n$ ، $A=[a_{ij}]n \times n$ ، ثبت می‌شوند. عناصر این ماتریس همگی مثبت بوده و با توجه به اصل "شروط معکوس" در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (اگر اهمیت i نسبت به j برابر k باشد، اهمیت عنصر j نسبت به i برابر $\frac{1}{k}$ خواهد بود) در هر مقایسه با دو مقدار عددی a_{ij} و $\frac{1}{a_{ij}}$ روبرو هستیم. برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود، به طوری که ابتدا میانگین هندسی ردیف-های ماتریس A محاسبه و سپس نرمالایز می‌گردند.

گام ۳: تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها؛ در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیر معیارها و اگر معیاری زیر معیار نداشته باشد مستقیماً با خود آن معیار، مورد قضاوت قرار می‌گیرد. فرآیند به دست آوردن ضریب اهمیت گزینه‌ها نسبت به هر یک از زیرمعیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف و بر اساس مقیاس نه کمیتی ساعتی صورت می‌گیرد.

گام ۴: تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها؛ در این مرحله از تلفیق، ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها در ارتباط با هدف و نیز ضرایب اهمیت گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها، مطابق رابطه (۱)، تعیین می‌شود (Saaty, 2005).

$$\text{رابطه ۱.} \quad \text{امتیاز نهایی گزینه } j = \sum_{k=1}^n w_k w_i(g_{ij})$$

که در آن، w_k ضریب اهمیت معیار k ، w_i ضریب اهمیت زیرمعیار i و g_{ij} امتیاز گزینه j در ارتباط با زیرمعیار i است. گام ۵: بررسی سازگاری در قضاوت‌ها؛ وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. برای این منظور از ضریب ناسازگاری (I.R.) که از تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I.) (رابطه ۲) به شاخص تصادفی بودن (R.I.) حاصل می‌شود، استفاده گردید. چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود، به عبارت دیگر ماتریس مقایسه دو به دو معیارها باید مجدداً تشکیل شود.

$$\text{رابطه ۲.} \quad I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

شاخص تصادفی بودن (R.I.) با توجه به تعداد معیارها (n) از جدول (۲) قابل استخراج است.

جدول ۲. شاخص تصادفی بودن (R.I.)

Table 2. Randomness Index (R.I.)

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
R.I.	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

Source: (Saaty, 2005)

در روش میانگین هندسی که یک روش تقریبی است، به جای محاسبه‌ی مقدار ویژه ماکزیمم ($\lambda_{\max}$) از L به شرح زیر استفاده می‌شود (Saaty, 2005):

$$L = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{AW_i}{w_i} \right) \right] \quad \text{رابطه ۳.}$$

که در آن AW_i برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه دو به دو معیارها (ماتریس A) در بردار W_i (بردار ضریب اهمیت معیارها) به دست می‌آید. در ادامه به بیان روش‌های ویکور و الکره که جزء روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هستند، پرداخته می‌شود.

روش ویکور

روش ویکور یک تصمیم‌گیری چند معیاره برای حل یک مساله تصمیم‌گیری با معیارهای نامناسب و واحدهای اندازه‌گیری مختلف و متعارض است و شامل مراحل تشکیل ماتریس تصمیم، تعیین وزن شاخص‌ها، تشکیل ماتریس تصمیم نرمال، تعیین نقاط ایده‌آل مثبت و منفی، تعیین شاخص‌های سودمندی و تاسف و شاخص ویکور و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌شود (Beskese et al., 2015; Du et al., 2016). ماتریس تصمیم شاخص‌ها با توجه به هدف تحقیق به دو دسته مثبت و منفی تقسیم می‌شوند. در این تحقیق برای محاسبه وزن شاخص‌ها از روش AHP فازی رابطه (۴) استفاده شده است.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad \text{رابطه ۴.}$$

هنگام محاسبه ماتریس S ، هر یک از اجزاء اعداد فازی نظیر به نظیر جمع می‌شوند و در معکوس فازی مجموع کل ضرب می‌گردد (رابطه ۵).

$$\left(\frac{a_1 + a_2 + \dots + a_6}{6}, \frac{b_1 + b_2 + \dots + b_6}{6}, \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_6}{6} \right) \quad \text{رابطه ۵.}$$

در مرحله بعدی اوزان بدست آمده که به صورت فازی می‌باشند، فازی زدایی شده و وزن قطعی شاخص‌ها محاسبه می‌شود (رابطه ۶).

$$\frac{a+2b+c}{4} \quad \text{رابطه ۶.}$$

در انتها وزن‌های قطعی به دست آمده با استفاده از روش نرمال‌سازی خطی توسط رابطه (۷) نرمالیزه می‌شوند.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m n_{ij}} \quad \text{رابطه ۷.}$$

مقدار سودمندی (S) بیانگر فاصله نسبی گزینه i ام از نقطه ایده‌آل مثبت و مقدار تأسف (R) بیانگر حداکثر دوری گزینه i ام از نقطه ایده‌آل مثبت می‌باشد. محاسبه شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه در این گام انجام می‌شود.

$$R_i = \max \left[W_j \cdot \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right] \quad S_i = \sum_{j=1}^n W_j \cdot \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \quad \text{رابطه ۸.}$$

در گام پایانی، گزینه‌ها براساس مقادیر S، R و Q در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند، بهترین گزینه آن است که کوچکترین Q را داشته باشد.

روش الکتره

در روش تصمیم‌گیری چند معیاره الکتره کلیه گزینه‌ها با استفاده از مقایسات غیر رتبه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و گزینه‌های غیر مؤثر حذف می‌شوند. روش الکتره شامل تشکیل ماتریس تصمیم، بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم، تعیین ماتریس وزن معیارها، تعیین ماتریس تصمیم وزن دار نرمال شده، تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف، تشکیل ماتریس توافق، تعیین ماتریس مخالف، تشکیل ماتریس تسلط موافق، تشکیل ماتریس تسلط مخالف، تشکیل ماتریس تسلط نهایی و انتخاب بهترین گزینه می‌باشد (Gholami-Zanjani et al., 2018: 402; Nyimbili & Erden, 2018: 492). در این روش برای بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم از رابطه (۹) و وزن معیارها با استفاده از روش AHP فازی تعیین می‌شود. شاخص توافق (رابطه ۱۰)، بیانگر میزان برتری گزینه k بر گزینه e بوده و مقدار آن از صفر تا یک تغییر می‌کند.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{رابطه ۹}$$

$$C_{ke} = \sum_{j \in S_{ke}} W_j \quad \text{رابطه ۱۰}$$

هر یک از درایه‌های ماتریس مخالف، توسط شاخص عدم توافق بین دو گزینه حاصل می‌شود. ماتریس تسلط موافق با توجه به مقدار آستانه موافقت ($\bar{C}$) که از میانگین‌گیری شاخص‌های توافق به دست می‌آید (رابطه ۱۱)، تشکیل می‌شود.

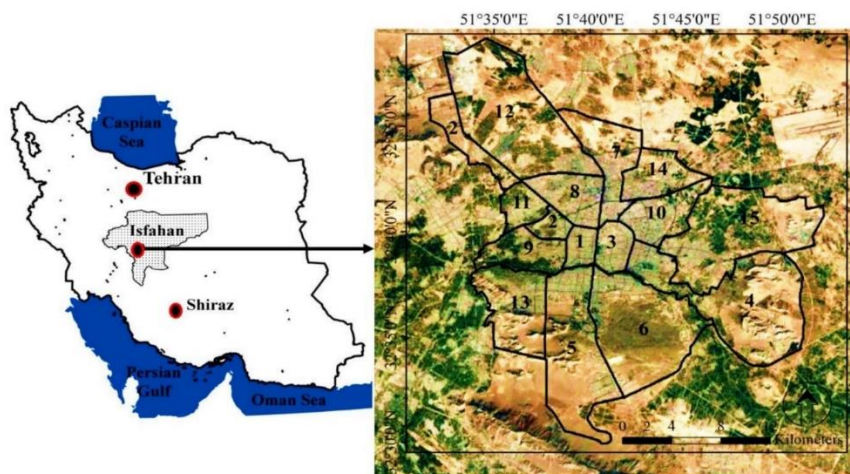
$$\bar{C} = \sum_{k=1}^m \sum_{e=1}^m \frac{C_{ke}}{m(m-1)} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

ماتریس تسلط مخالف مانند ماتریس تسلط موافق تشکیل می‌شود، بدین‌منظور ابتدا مقدار آستانه مخالف از میانگین‌گیری شاخص‌های مخالف محاسبه می‌شود. ماتریس تسلط نهایی از ضرب تک‌تک درایه‌های ماتریس تسلط موافق در ماتریس تسلط مخالف حاصل می‌شود.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، شهر اصفهان با مساحت ۵۵۱ کیلومتر مربع، سومین کلان شهر ایران است. اصفهان دارای ۱۵ منطقه مدیریت شهری است که مکان آنها در شکل (۲) نشان داده شده است. منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای گرم و خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است (حداکثر دما: ۴۰,۶ درجه سانتی‌گراد، حداقل دما: ۱۰,۶- درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالانه: ۱۶,۷ درجه سانتی‌گراد). رودخانه زاینده‌رود از وسط شهر می‌گذرد و

حاشیه رودخانه را فضای سبز پوشانده است، اما چند سالی است که جریان رودخانه در تابستان قطع شده است و این امر منجر به مهاجرت تعداد زیادی از مهاجران از مناطق روستایی به اصفهان و جایگزینی زمین‌های طبیعی به مناظر شهری شده است.

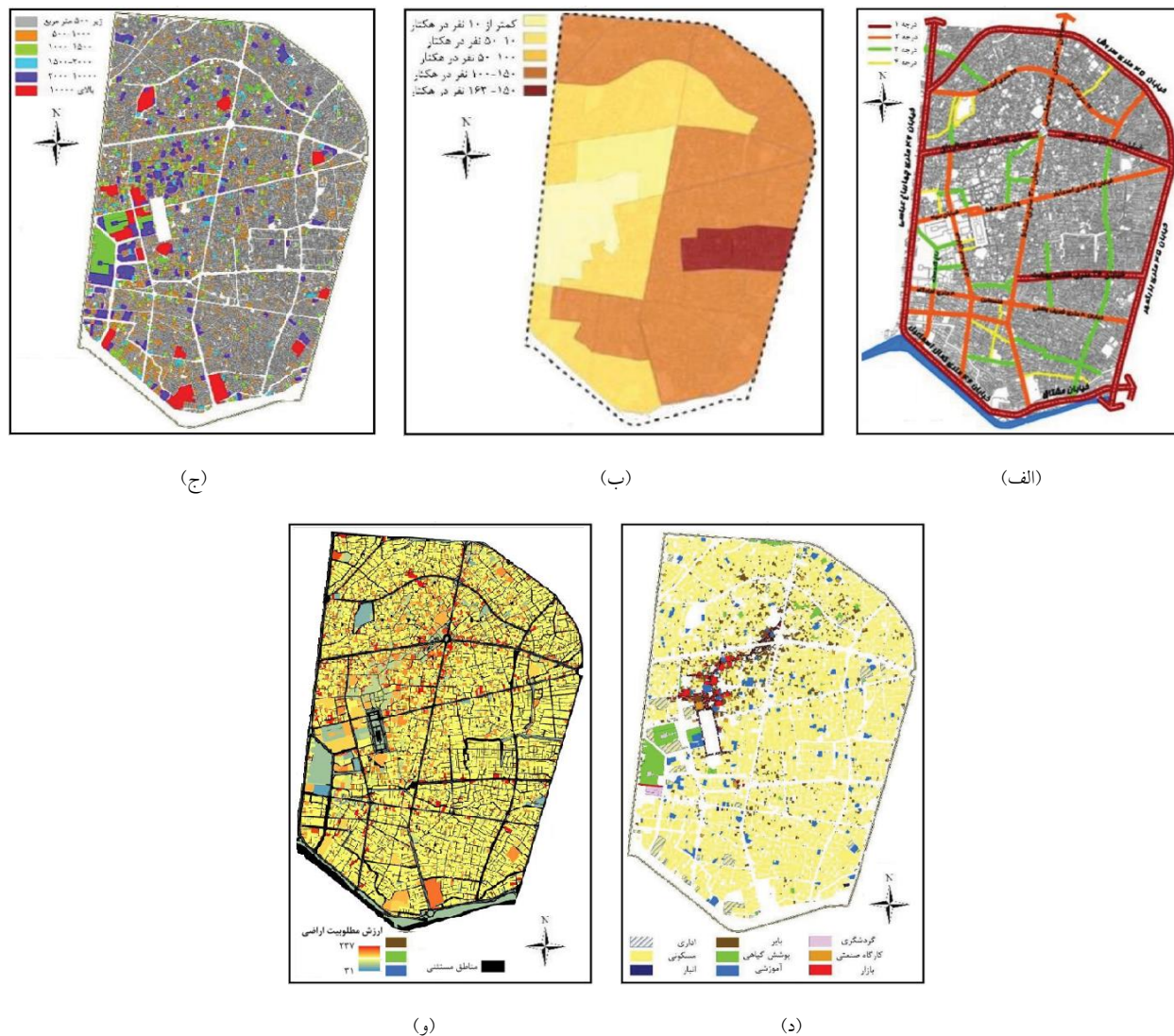


شکل ۲. مکان‌یابی کلانشهر اصفهان (منطقه مطالعاتی) در ایران و تصویرسازی ۱۵ پهنه مدیریتی آن

Figure 2. Location of Isfahan metropolis (study area) in Iran and visualization of its 15 administrative zones

یافته‌های تحقیق

در این تحقیق ابتدا کلیه‌ی اطلاعات موردنیاز، دسترسی، تراکم، اندازه، نوع کاربری زمین، همسایه‌های سازگار و همسایه-های ناسازگار، در یک پایگاه داده‌ی یکپارچه با سیستم مختصات مشابه گنجانده شده است. شکل (۳) نقشه این اطلاعات را برای بخشی از اصفهان نشان می‌دهد. سپس با استفاده از فرآیند AHP به وزن‌دهی معیارها و زیر معیارهای شناسایی شده پرداخته می‌شود. این فرآیند مجموعه‌ای از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری‌ها با یک شیوه منطقی است، به‌طوری‌که از یک سو وابسته به تصورات شخصی و طرح‌ریزی سلسله‌مراتبی مسئله بوده و از طرف دیگر منجر به تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی معیارها می‌شود (Saaty, 1986).



شکل ۳. نقشه الف) دسترسی، ب) تراکم، ج) اندازه، د) نوع کاربری زمین، و) همسایه‌های سازگار و ناسازگار

Figure 3. Map of a) Access, b) Density, c) Size, d) Type of land use, f) Compatible and incompatible neighbors
Source: (Research findings)

برای وزن‌دهی و تعیین اولویت‌ها در این تحقیق، معیارهای شناسایی شده در گام قبل به‌صورت دودوئی در قالب ماتریس‌های مقایسه گنجانده شدند (Liu et al., 2019). سپس، با استناد به نظرات کارشناسی و یک مبنای تهیه شده از اعداد ۱ تا ۹، به مقایسه توصیفی (کیفی) هر جفت از معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری پرداخته شد. بر اساس آن، هر چه تفاوت دو معیار (یا اولویت آن‌ها نسبت به یکدیگر) بیشتر باشد، رتبه اختصاص یافته به عدد ۹ نزدیکتر خواهد بود. در نهایت با تبدیل مقیاس کیفی به یک مقیاس کمی، میزان اولویت یا رتبه کلیه معیارها نسبت به هم تعیین شد. همچنین از ضریب ناسازگاری به عنوان عاملی از برآورد صحت مقایسات زوجی انجام شده توسط نظرات کارشناسان استفاده گردید. مقادیر بدست آمده از ضریب ناسازگاری برای کلیه معیارها و زیرمعیارهای موجود در هر طبقه کمتر از ۸۳ درصد بود که نشان از صحت مقایسات صورت گرفته در این تحقیق است. جدول (۳) توصیف کاملی از معیارها، زیر معیارها و وزن‌های مقایسه‌ای حاصل از AHP را نشان می‌دهد.

جدول ۳. ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها با استفاده از فرآیند AHP پیشنهادی

Table 3. Importance coefficients of criteria and sub-criteria using the proposed AHP process

وزن	زیرمعیار	وزن	معیار
۰/۳۰۲			تراکم جمعیت
۰/۰۸۹			اندازه زمین
۰/۷۰۵	راه درجه ۱	۰/۲۳۴	دسترسی
۰/۲۱۱	راه درجه ۲		
۰/۰۸۴	راه درجه ۳		
۰/۶۴۸	آموزشی	۰/۱۱۵	کاربری ناسازگار همسایه
۰/۲۳۰	درمانی / بهداشتی		
۰/۱۲۲	فرهنگی / گردشگری		
۰/۱۲۴	پارکینگ / انبار	۰/۱۱۴	کاربری سازگار همسایه
۰/۰۴۵	اداری / تجاری / صنعتی		
۰/۱۲۰	مذهبی / تاریخی		
۰/۱۴۲	سکونتگاه		
۰/۵۳۲	پمپ بنزین و گاز		
۰/۰۳۷	تفریحی - پارک شهری		
۰/۷۳۷	بایر / متروکه	۰/۱۶۴	کاربری زمین
۰/۱۷۷	مذهبی / تاریخی / درمانی / خدمات		
۰/۰۸۵	سایر کاربری‌ها		

Source: (Research findings)

معیارهای معرفی شده در روش تحلیل تصمیم چندمعیاره، از جمله معیارهای مورد استفاده در مکان‌یابی کاربری‌ها، در مقیاس‌های متفاوت اندازه‌گیری می‌شوند، بنابراین لازم است تا ارزش‌های مربوط به ماتریس ارزیابی تحت قاعده خاصی نرمال شوند که این عملیات با عنوان استانداردسازی داده‌ها (یا نوسازی ارزش‌ها در قالب توابع عضویت) شناخته می‌شود (Rikalovic et al., 2014: 58). در این بین، استانداردسازی به روش فازی یکی از روش‌های مهم در استانداردسازی

داده‌های مکان‌محور بشمار می‌آید (Du et al., 2016; Singh et al., 2019; 22). در حقیقت، فازی‌سازی به معنی تخصیص مقادیر پیوسته‌ای از اعداد (صفر تا ۲۵۵ یا صفر تا یک) به هر یک از اراضی موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس اهمیت نسبی آن‌ها است، که با استفاده از انواع مختلفی از توابع عضویت اندازه‌گیری می‌شوند (Singh et al., 2019). توابع عضویت و پارامترهای (حدود آستانه) مورد استفاده برای انجام استانداردسازی به دانش کاربر از چگونگی تغییر شایستگی زمین برای هر فاکتور وابسته است. از این رو، کلیه زیرمعیارهای تعیین شده در این تحقیق با استناد به مرور منابع و نظرات کارشناسی و استفاده از طیف مختلفی از توابع عضویت فازی استاندارد شدند. جدول (۴) نشان‌دهنده‌ی توابع عضویت فازی برای هر یک از معیارهای مورد استفاده در این تحقیق است.

جدول ۴. توابع عضویت مورد استفاده برای استاندارد سازی معیارهای مورد استفاده در این تحقیق

Table 4. Membership functions used to standardize the criteria used in this research

معیار	نوع تابع	نقاط کنترلی توابع فازی			
		a	b	c	d
تراکم جمعیت	خطی کاهشی	---	---	۷۰	۳۰
اندازه زمین	سیگموئیدال کاهشی	---	---	۱۰۰۰	۱۵۰
دسترسی	جی شکل کاهشی	---	---	۱۰۰	۲۵۰
کاربری همسایه	رتبه‌ای (و با کاربرد تابع کرنل با شعاع اثر ۱۰۰۰ متر برای لحاظ کردن اثر کاربری‌های همسایه)	کلیه این کاربری‌ها با عدد مطلوبیت برابر با ۳۰ وارد مدل شدند			
کاربری همسایه	سازگار	پمپ بنزین و گاز (۲۵۵)؛ واحدهای اقتصادی- تجاری- درمانی و سکونتگاه (۲۰۰)؛ سایر (۱۰۰)			
کاربری زمین	رتبه‌ای	بایر/ متروکه (۲۵۵)؛ مذهبی/ تاریخی/ درمانی/ خدمات (۱۸۰)؛ سایر کاربری‌ها (۳۰)			

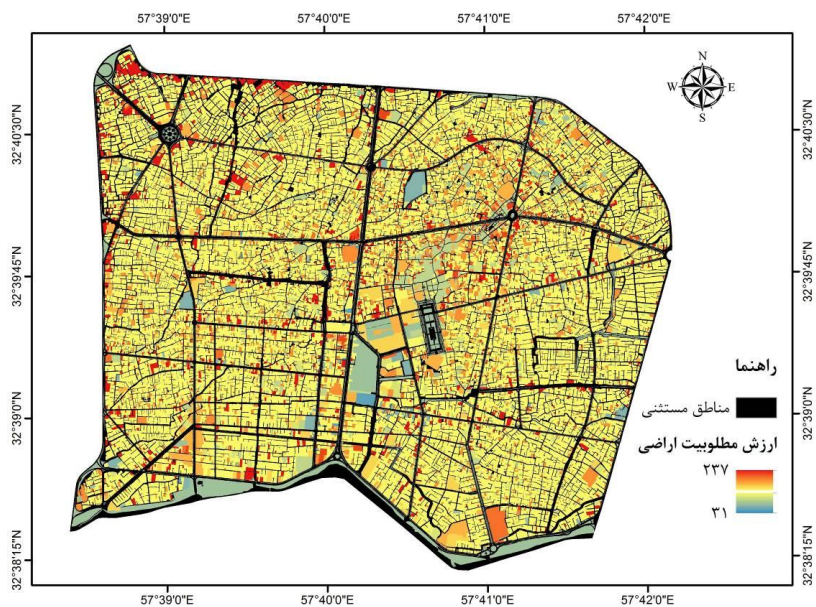
Source: (Singh et al., 2019)

تحلیل چندمعیاره سرانجام با تجميع معیارهای وزن‌دار و استاندارد شده اجرا و درنهایت ارائه‌ی گستره‌ای از پاسخ‌های ممکن (و غیر ممکن) از جمله معرفی طیفی از گزینه‌ها برای امکان حضور یک کاربری خاتمه می‌یابد. در این روش هر معیار استاندارد شده در وزن بدست آمده برای آن، ضرب می‌گردد، سپس معیارها با هم جمع می‌شوند تا نقشه‌ی مطلوبیت (یا شایستگی) زمین برای هدف مذکور (مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی) تولید گردد. نقشه‌ی شایستگی حاصل از روش ترکیب خطی وزن‌دار دارای مناطقی با ارزش صفر (که همان محدودیت‌ها مطلق برای استقرار کاربری است) و نیز اعداد پیوسته‌ای تا مقدار ۲۵۵ است که بیانگر شایستگی کلی هر قطعه از زمین بر اساس معیارهای تعریف شده برای آن خواهد بود. مجموعه‌ی معیارهای شناسایی شده برای مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی دارای اولویت‌های متفاوتی نسبت به یکدیگر هستند. بر اساس نتایج حاصل، تراکم جمعیت در یک بلوک شهری و نیز میزان دسترسی اراضی به راه‌های ارتباطی بخصوص جاده‌های نوع ۱ از معیارهای با اولویت بالا برای استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی

هستند. در بین ۶ معیار اصلی مورد استفاده در این تحقیق، معیار وسعت اراضی کمترین مقدار وزن (و در نتیجه اولویت) برای اختصاص آن قطعه از زمین به ایستگاه‌ها آتش‌نشانی را از خود نشان داد.

در زمینه استاندارد سازی نقشه‌ها، طیف مختلفی از توابع عضویت فازی که بر اساس نظر کارشناسان استوار بود، مورد استفاده قرار گرفت. در زمینه انتخاب توابع فازی برای اثرات همسایگی (چه همسایه‌های سازگار و چه همسایه‌های ناسازگار) از یک تابع رتبه‌ای استفاده شد. حال آنکه برای تعمیم ضرایب فازی اختصاص یافته به آن به کاربری‌های همسایه (و نه خود کاربری‌ها) از یک تابع کرنل استفاده گردید. به این صورت که عدد هر تابع بجای اختصاص به خود کاربری مورد نظر، به محدوده‌ی بافر حاصل از تابع کرنل اختصاص داده شد و سپس با انجام عمل تلاقی^۱ بافرها با نقشه‌های کاربری اراضی اصلی، عدد مورد نظر از بافر به همسایه‌های کناری خود تا شعاع ۱۰۰۰ متر اختصاص یافت. سرانجام با تهیه‌ی نقشه‌های استاندارد شده برای هر زیر معیار و ضرب آن‌ها در اوزان مربوط به خود، نقشه‌های پایه برای انجام روش ترکیب خطی وزندار آماده و خروجی نهایی بر اساس آن تهیه گردید. چنانچه در شکل (۴) نشان داده شده است، محدوده‌ی منطقه مورد مطالعه دارای رنج مختلفی از اعداد مطلوبیت زمین (از عدد مطلوبیت ۳۱ تا ۲۳۷) برای استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی است. اعداد نزدیک به ۲۳۷ بیانگر مطلوبیت بالای این اراضی برای اختصاص به ایستگاه‌های آتش‌نشانی و اعداد نزدیک به صفر نشان‌دهنده‌ی اولویت بسیار پایین آن‌ها است. همچنین عدد صفر در این نقشه که با رنگ سیاه نیز نشان داده شده است، نشان دهنده‌ی نواحی با محدودیت مطلق، مانند راه‌های ارتباطی و بستر رودخانه زاینده رود، در تخصیص به واحدهای آتش‌نشانی است. علاوه بر تهیه‌ی نقشه‌ی مطلوبیت اراضی برای اختصاص به ایستگاه‌های آتش‌نشانی، از یک حد آستانه برابر با ۲۰۰ (حاصل از نقطه شکست نمودار فراوانی پیکسل‌های مطلوبیت) استفاده گردید تا نواحی مطلوب از سایر نواحی جدا و معرفی گردد. چنانچه در شکل (۴) ملاحظه می‌شود، تعداد ۴۲ پلیگون با مجموع مساحت تقریبی ۲۶۰۰ متر مربع به عنوان نواحی مستعد استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی معرفی شده‌اند. شکل (۵) محدوده‌های پیشنهادی در این تحقیق برای استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی را نشان می‌دهد.

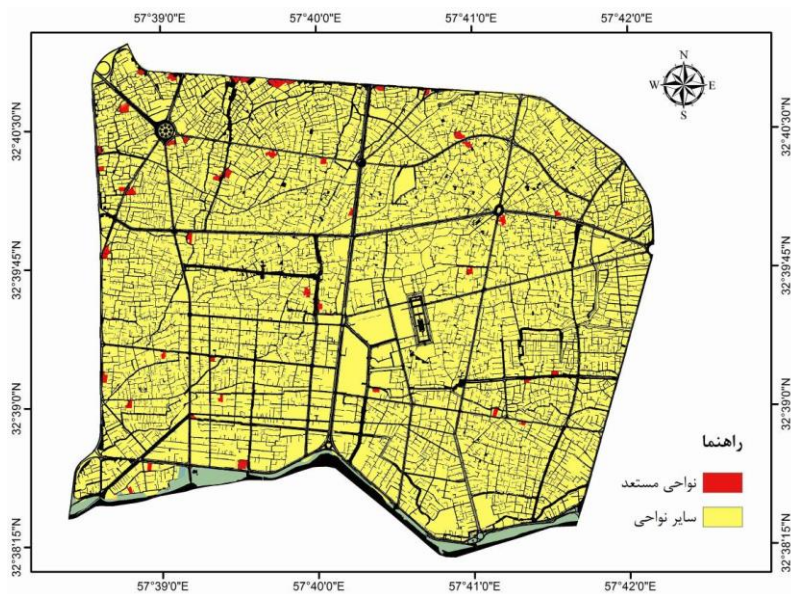
^۱ Intersect



شکل ۴. نقشه مطلوبیت پهنه‌بندی اراضی برای استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی

Figure 4. Land zoning desirability map for establishing fire stations

Source: (Research findings)



شکل ۵. محدوده‌های پیشنهادی در این تحقیق برای استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی

Figure 5. Ranges suggested in this research for establishing fire stations

Source: (Research findings)

برای انجام مقایسه بین دو روش انتخاب مکان مناسب (روش ویکور و روش الکتراه)، می‌توان از یک جدول مقایسه‌ای استفاده کرد. در این جدول، به صورت فرضی اعداد و ارقامی برای نمایش دقت و کارایی هر روش در انتخاب مکان‌های مناسب برای ایستگاه‌های آتش‌نشانی قرار می‌گیرد. این اعداد بایستی مطابق با نتایج و فرضیات مقاله باشند. در این مقایسه، برای سه معیار مختلف، به‌طور کیفی از ۱ تا ۵ (۱ نشان‌دهنده کمترین و ۵ نشان‌دهنده بیشترین اهمیت) وزن داده می‌شود. همچنین برای ارزیابی دقت هر روش از ۱ تا ۱۰ و برای کارایی از ۱ تا ۱۰۰ (۱ نشان‌دهنده کمترین و ۱۰ یا ۱۰۰ نشان‌دهنده بیشترین دقت و کارایی) امتیاز داده می‌شود.

جدول ۵. مقایسه بین روش ویکور و روش الکتراه

Table 5. Comparison between Vicor method and Electre method

معیار	وزن (۱ تا ۵)	دقت (۱ تا ۱۰)	کارایی (۱ تا ۱۰۰)
تراکم جمعیت	۴	۹	۸۵
اندازه زمین	۳	۸	۸۰
دسترسی	۵	۸	۹۰
کاربری ناسازگار همسایه	۲	۷	۷۵
کاربری سازگار همسایه	۳	۸	۸۰
کاربری زمین	۳	۷	۷۵

Source: (Singh et al., 2019)

حالا، با استفاده از این اعداد، می‌توان نتایج مقایسه بین دو روش را مشخص کرد. به طور مثال، با جمع، ضرب وزن معیارها در امتیاز دقت و کارایی هر روش، می‌توان مجموع امتیاز نهایی هر روش را محاسبه نمود و بر اساس این امتیاز، روشی که امتیاز بیشتری دارد، به عنوان روش مناسب‌تر برای انتخاب مکان‌های مناسب ایستگاه‌های آتش‌نشانی انتخاب شود. دقت و کارایی مذکور به عنوان اعداد فرضی در نظر گرفته شده‌اند و برای تصمیم‌گیری واقعی، نیاز است از داده‌های واقعی و محاسبات دقیق‌تر استفاده کرد. جدول (۵) صرفاً برای نمایش نحوه انجام مقایسه بین دو روش به کار گرفته شده است.

یکی از نتایج قابل توجه پژوهش، عدم قرار گرفتن مناطق با بافت فرسوده در اولویت نخست ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی است. این مسئله نمایانگر آن است در ابتدا باید زمینه‌های لازم برای نوسازی این فضاها صورت گیرد. در واقع به جای اینکه مراکز مدیریت بحران و آتش‌نشانی در نواحی احتمال خطر گسترش یابد، بهتر است ابتدا خطر و ریسک‌ها در منطقه کاهش یابد. بنابراین در ارتباط با بافتهای فرسوده ضروری است تا در ارتباط با سبک زندگی و گروه‌های مهاجرین و اقوام، مطالعاتی صورت گرفته و نوسازی و بهسازی در این ارتباط صورت گیرد و در ادامه ایستگاه‌های جدید نیز در

مجاورت این نواحی تعیین و مکان‌یابی شود. ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود علیرغم احاطه شدن بخش‌های مختلف شهر توسط ساختمان‌های بسیار آسیب‌پذیر در برابر حوادث، عملاً "نمی‌توانند خود را در کمتر از ۵ دقیقه به محل‌های حادثه برسانند، بنابراین لازم است تا نسبت به بهسازی و نوسازی بافت‌های قدیمی شهر اقدام گردد. در ارتباط با موضوع مکان‌گزینی ایستگاه‌های آتش‌نشانی نقش مسافران و گردشگران نیز نباید نادیده گرفته شود (Aliabadi et al., 2016: 125). وجود مسافران به دلیل متفاوت بودن شرایط زندگی و سبک رفتاری آنها و همچنین مکان‌هایی که آنها بازدید می‌کنند، در تعیین ایستگاه‌ها نقش بسزایی دارد. بر همین اساس است که مکان‌هایی همانند بازار، فضاهای سبز و مراکز تجمع جمعیت به عنوان معیارهای مهم مورد بررسی قرار گرفت. در واقع با بررسی مراکز تجاری، فضاهای سبز و فضاهای تاریخی عملاً نقش مسافران در تعیین ایستگاه‌های آتش‌نشانی مدنظر قرار گرفته است. این مسئله نشان‌گر این نکته است که اساساً ایستگاه‌های آتش‌نشانی باید در فاصله از فضاهای مهم و تجمع جمعیت قرار داشته باشند نه دقیقاً در نزدیک این فضاها. در مناطق شهری اثرات زیان‌بار معمولاً در اثر وقوع سوانح طبیعی، شامل تلفیقی از ویرانی‌های کالبدی و اخلاقی عملکرد عناصر شهری است (Bolouri et al., 2018). ویرانی سازه‌ها و ساختمان‌های مسکونی، شبکه راه‌ها و دسترسی‌ها مثل پل‌ها و جاده‌های ارتباطی و تأسیسات اساسی مثل مخازن آب، نیروگاه‌ها، خطوط ارتباطی تلفن، برق، لوله‌کشی آب و گاز و ... از آن جمله هستند، که در این بین شبکه حمل و نقل، مهمترین عنصر برای امداد رسانی و مدیریت بحران بعد از وقوع حوادث می‌باشد. شبکه حمل و نقل در امداد رسانی و نجات جان انسان‌ها پس از وقوع حوادث دارای نقش حیاتی می‌باشد. عملکرد بهینه شبکه حمل و نقل می‌تواند باعث کاهش اثرات مستقیم و غیر مستقیم بحران گردد. از این رو می‌توان به ارزش زمان امداد رسانی و کاهش زمان تاخیر برای کمک به مصدومین در شبکه پی برد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از فنون تحلیل تصمیم چندمعیاره در ترکیب با GIS به مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر اصفهان، پرداخته شده است. برای انجام این منظور، با استناد به نظرات کارشناسی و مرور منابع موجود در این زمینه، مجموعه‌ای از ۶ معیار اصلی شامل معیارهای دسترسی (یا فاصله از راه‌های ارتباطی)، تراکم جمعیت، اندازه زمین، نوع کاربری زمین، همسایه‌های سازگار و همسایه‌های ناسازگار (مستقر در یک محدوده‌ی شعاعی مشخص) و همچنین زیرمعیارهای مرتبط با آن که از پتانسیل بالایی در شناسایی نواحی استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی برخوردار هستند، شناسایی و به صورت یکپارچه در یک پایگاه اطلاعات مکان‌محور جمع‌آوری شدند. استفاده از فرآیند AHP، این امکان را در اختیار قرار داد تا به شیوه‌ای کارآمد و موثر به اولویت‌بندی و وزن‌دهی کلیه‌ی معیارهای شناسایی شده در این

تحقیق پرداخته شود. استدلال و نظرات کارشناسی بدست آمده از متخصصان و آتش‌نشانان بر این بود که معیارهای تراکم جمعیت در بلوک‌های شهری و قابلیت دسترسی آن‌ها به ترتیب از مهمترین پارامترهای تعیین کننده‌ی نواحی مستعد استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی هستند. از سویی دیگر، اثر همسایه‌های سازگار و همسایه‌های ناسازگار نسبت به معیارهای دیگر از اولویت کمتری برخوردار است. همچنین، تفکیک معیارها به زیرمعیارها (معیارهای ثانویه) به صحت و دقت مدل مورد استفاده در این تحقیق اضافه کرد. استفاده از توابع عضویت فازی در استاندارد سازی معیارها از دیگر پارامترهای تاثیرگذار بر شناسایی نواحی مستعد استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی در این تحقیق بود. به عنوان مثال، استفاده از تابع جی شکل کاهشی توانست بخوبی نواحی دور از دسترس راه‌های ارتباطی، بخصوص راه‌های ارتباطی نوع ۱ (با پهنای بیش از ۱۵ متر) را تحت تاثیر قرار داده و از عدد مطلوبیت آن‌ها برای استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی محتمل بکاهد. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتایج حاصل از این تحقیق را به صورت زیر بیان نمود:

- به‌کارگیری مدل AHP با استفاده از ابزار توانمند GIS در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی کارایی بالایی دارد. این کارایی بخاطر امکان مقایسه و ارزیابی مکان‌های مختلف و امکان بهینه با توجه به معیارهای موردنظر می‌باشد.
- فازی سازی در مورد پدیده‌ها و عوارضی که در آنها عدم اطمینان موجود است، در شرایطی که توابع فازی به صورت مناسب انتخاب شوند، می‌تواند راه‌حل مناسبی در شناسایی مناطق هدف در مسائل مکان‌یابی شهری باشند و منجر به ایجاد نقشه‌های خروجی دقیق‌تری از هدف در جهان واقعی شود.
- با بررسی فاکتورهای موجود و موثر در استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی و همچنین نحوه توزیع ایستگاه‌های موجود در ناحیه مطالعاتی و تعیین شعاع عملکردی استاندارد برای ایستگاه‌ها، این نتیجه به دست آمد که بخش زیادی از ناحیه، خارج از محدوده عملیاتی ایستگاه‌ها قرار دارد. این خود دلیل بر کمبود تعداد ایستگاه‌ها جهت پوشش کل فضای ناحیه است و نیاز به مکان‌یابی و استقرار ایستگاه‌های جدید می‌باشد.
- در مکان‌یابی سایت‌های جدید در بافت‌های پر و متراکم، اتخاذ تصمیمی که کمترین هزینه اقتصادی-اجتماعی را داشته باشد ضروری است. لذا در این پژوهش با استفاده از منطق ارزش‌گذاری لایه‌ها و همپوشانی آنها در محیط GIS و حذف بعضی از کاربری‌ها و مناطق تحت عنوان همسایگی‌های ناسازگار، پهنه‌های مناسب جهت احداث ایستگاه آتش‌نشانی مشخص شدند.
- محدوده خدماتی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در ناحیه مطالعاتی در قالب طراحی شبکه شهری در محیط GIS بدست آمد. فرآیند تحلیل شبکه و سامانه اطلاعات مکانی به خاطر امکان مقایسه و ارزیابی مکان‌های مختلف و انتخاب مکان بهینه با توجه به معیارهای موردنظر، کارایی بالایی دارد و می‌تواند حاکی از نقش بالای GIS در مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده زمانی و مکانی باشد.

پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات آینده، از سایر روش‌های موجود در مکان‌یابی استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی از جمله روش‌های جبران ناپذیر مانند منطق بولین و یا روش‌های برپایه‌ی الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌ی عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک استفاده و نتایج حاصل از آن‌ها با نتایج حاصل از این مطالعه مقایسه شود. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند در شبیه‌سازی بهنگام شبکه حمل و نقل شهری موثر باشد، که این امر کاهش زمان امدادرسانی حوادث مرتبط با ایستگاه‌های آتش‌نشانی را میسر می‌سازد. استفاده از روش سلول‌های خودکار در جهت ارزیابی و بررسی دقیق‌تر مسیر توسعه آتی شهر، می‌تواند قابلیت‌های GIS را در جهت مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به منظور استفاده در زمان‌های طولانی‌تر، جهت‌دهی نماید. علاوه بر آن پیشنهاد می‌شود تا مجموعه‌ی کاملتری از معیارها و زیر معیارها تهیه و از توابع و روش‌های استانداردسازی دیگری از جمله روش تحلیل شبکه برای شناسایی اثر کاربری-های سازگار و ناسازگار همسایه استفاده شود.

References

- Abdulhasan, M., Hanafiah, M., Satchet, M., Abdulaali, H., Toriman, M., & Al-Raad, A. (2019). Combining GIS, fuzzy logic, and AHP models for solid waste disposal site selection in Nasiriyah, Iraq. *Appl Ecol Environ Res*, 17, 1–22.
- Abdulkareem, H.G., & Erzaij, K.R. (2022). A spherical fuzzy AHP model for contractor assessment during project life cycle. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 31: 369–380.
- Ahmed, F., & Kilic, K. (2019). Fuzzy Analytic Hierarchy Process: a performance analysis of various algorithms. *Fuzzy Set Syst*, 362, 10–28.
- Aliabadi, Z., Nastaran, M., Pirani, F., & Sheikhzadeh, F. (2016). Locating fire stations using the combined method of AHP and GIS, a case study: Region 3 of Isfahan. *Geographic Information*, 26, 123-136 (In Persian).
- Amiri, M.A., Rafipour, M., & Sadi Masgari, M. (2013). Locating fire stations using ant colony algorithm and GIS (case study: Tehran). *Geographical study of the environment*, 25 (In Persian).
- Arabameri, A. (2014). Application of the analytic hierarchy process (AHP) for locating fire stations: case study maku city. *Merit Res J Art Soc Sci Humanit*, 2, 1–10.
- Beskese, A., Demir, H., Ozcan, H., & Okten, H. (2015). Landfill site selection using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS: a case study for Istanbul. *Environ Earth Sci*, 73, 13–21.
- Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A.A., & Aghamohammadi, H. (2018). The ordered capacitated multi-objective location-allocation problem for fire stations using spatial optimization. *ISPRS Int J Geo-Inf*, 7, 44.
- Chaudhary, P., Chhetri, S.K., Joshi, K.M., Shrestha, B.M., & Kayastha, P. (2016). Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: a case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Socioecon Plann Sci*, 53, 60–71.
- Chen, M., Wang, K., Yuan, Y., & Yang, C. (2023). A POIs Based Method for Location Optimization of Urban Fire Station: A Case Study in Zhengzhou City. *Fire*, 6, 58.

- Du, X., Zhou, K., Cui, Y., Wang, J., Zhang, N., & Sun, W. (2016). Application of fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) and Prediction-Area (PA) plot for mineral prospectivity mapping: a case study from the Dananhu metallogenic belt, Xinjiang, NW China. *Arab J Geosci*, 9.
- Ehsanifar, M., Hamta, N., & Saghari, M. (2021). Optimal Hospital Location Using Combined Approach of GIS and ANP under Fuzzy Environment (Case Study in Arak City). *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(6), 301-324, (In Persian).
- Eskandari, S. (2017). A new approach for forest fire risk modeling using fuzzy AHP and GIS in Hyrcanian forests of Iran. *Arab J Geosci*, 10, 190.
- Farhadi, Z., & Farhadi, M. (2016). Evaluation of the location of fire stations in Shiraz using AHP and TOPSIS techniques. *International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of Contemporary* (In Persian).
- Ghods, M., & Kamyabi, S. (2014). Using AHP techniques in GIS for fire station site selection: A case study of Semnan. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 2, 165-168 (In Persian).
- Gholami-Zanjani, S.M., Pishvae, M.S., & Torabi, S.A. (2018). OR models for emergency medical service (EMS) management. *Int Ser Oper Res Manag Sci*, 262, 395-421.
- Hadiani, Z., & Kazemizad SH.A. (2018). Topology of fire stations by using network analysis and AHP model in GIS case study: Qom. *Geography and Development*, 8,99-112 (In Persian).
- Joodaki, H. (2021). The Site Location of Hygienic and Health Centers Using AHP Method and GIS (A Case Study of Semnan). *Amayesh Journal*, 13(51), 63-84, (In Persian).
- Karaman, H., & Erden, T. (2014). Net earthquake hazard and elements at risk (NEaR) map creation for city of Istanbul via spatial multi-criteria decision analysis. *Nat Hazards*, 73, 685-709.
- Kengpol, A., Rontlaong, P., & Tuominen, M. (2013). A decision support system for selection of solar power plant locations by applying fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study. *J Software Eng Appl*, 6.
- Khalili, M., Kamali Nasab, S.H., & Khodadadian, M. (2008). Locating fire stations using AHP model in GIS environment. *8th International Congress of Civil Engineering* (In Persian)
- Khan Ahmadi, M., Vafainejad, A.R., Arabi, M., & Rezaian, H. (2012). Locating fire stations using fuzzy logic and AHP in GIS environment. Master's thesis, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajae Tarbiat University (In Persian).
- Liu, Y., Eckert, C.M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738.
- Liu, Q., Yang, H., Liu, M., Sun, R., & Zhang, J. (2019). An Integrated flood risk assessment model for cities located in the transitional zone between taihang mountains and North China plain: a case study in Shijiazhuang, Hebei, China. *Atmosphere*, 10 (104).
- Mohammadi, J., & Pourqaioumi, H. (2013). Spatial analysis and location of Noorabad fire stations using GIS. *Geography and planning*, 48 (In Persian).
- Motamedi, Z., & Kianfar, K. (2023). Locating Fire Stations Using Deterministic and Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Methods and GIS Information (Case Study: Isfahan City). *Journal of Industrial Management Perspective*.
- Murray, A.T. (2013). Optimising the spatial location of urban fire stations. *Fire Safety Journal*.
- Nazarian, A., Yari, P., & Karaminejad, T. (2014). Optimum location of fire stations using GIS geographic information system (case study: Kermanshah city). *Emdad and Nejat*, 2 (In Persian).
- Nojavan, M., Mohammadi, A.A., & Salehi, A. (2018). Application of multi-criteria decision-making methods in urban and regional planning with emphasis on TOPSIS and SAW methods. *Urban Management*, 9, 285-296 (In Persian).

- Norouzi, F. (2017). A review of locating fire stations using GIS and with the help of AHP and fuzzy logic. Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of Islamic World Countries (In Persian).
- Nyimbili, P.H., & Erden, T. (2018). Spatial decision support systems (SDSS) and software applications for earthquake disaster management with special reference to Turkey. *Nat Hazards*, 90, 485–507.
- Nyimbili, P.H., & Erden, T. (2020). GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences* 71:100860.
- Nyimbili, P.H., Erden, T., & Karaman, H. (2018). Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis. *Nat Hazards*, 92, 23–46.
- Palchaudhuri, M., & Biswas, S. (2016). Application of AHP with GIS in drought risk assessment for Puruliya district, India. *Nat Hazards*, 84, 5–20.
- Pouryarmohammadi, M., Ahmadi, H., Salaripour, A., & Nadaf, S. (2022). The Assessment of Physical Vulnerability of Urban Settlements (Case Study: Ahvaz City). *Passive Defense Quarterly*, 12(4), 95–108 (In Persian).
- Rahnama, M.R., & Aftab, A. (2014). Locating the Fire Stations of Urmia City Using GIS and AHP. *Geography and development*, 12, 153–166 (In Persian).
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega (United Kingdom)*, 53, 49–57.
- Rezaeizadeh Mahabadi, K., & Jahani, M. (2016). Locating the construction of a fire station in the 22nd district of Tehran using the SWOT model. The second national conference on applied research in structural engineering and construction management (In Persian).
- Rikalovic, A., Cosic, I., & Lazarevic, D. (2014). GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia Eng*, 69, 54–63.
- Saaty, T.L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process*, RWS Publications, 4922 Ellsworth Ave. Pittsburgh, PA. 15213.
- Saaty, T.L. (1986). Absolute and relative measurement with the AHP. The most livable cities in the United States. *Socio-econ. Plum Sci.* 20(6), 3277331.
- Savsar, M. (2013). Simulation Modeling of Fire Station Locations under Traffic Obstacles. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Enginesering*, 7.
- Sequeira, M., Adlemo, A., & Hilletoft, P.A. (2023). hybrid fuzzy-AHP-TOPSIS model for evaluation of manufacturing relocation decisions. *Oper Manag Res* 16, 164–191.
- Shekar, P.R., & Mathew, A. (2023). Integrated assessment of groundwater potential zones and artificial recharge sites using GIS and Fuzzy-AHP: a case study in Peddavagu watershed, India. *Environ Monit Assess*, 195(7): 906.
- Shokohi, M.A., Shayan, H., & Doroudi, M.H. (2013). Optimum location of fire stations in Mashhad city. *Geography and Environmental Hazards*, 11 (In Persian).
- Singh, M., Singh, P., & Singh, P. (2019). Fuzzy AHP-based multi-criteria decision-making analysis for route alignment planning using geographic information system (GIS). *J Geogr Syst*, 1–38.
- Tatari, A., Tashakkori, E., & Aghavali Zanjani, Sh. (2014). Locating fire stations and organizing existing stations in districts 21 and 22 of Tehran using network analysis method and AHP model in GIS environment. *National Geomatics Conference* (In Persian).
- Torabi-Kaveh, M., Babazadeh, R., Mohammadi, S., & Zaresefat, M. (2016). Landfill site selection using combination of GIS and fuzzy AHP, a case study: iranshahr, Iran. *Waste Manag Res*, 34, 38–48.
- Vahdani Charzekhon, H., Harasani, A., AbediBizeki, V., & Ghadi, M. (2021). Site Selection of Multi-Purpose Urban Shelters with Passive Defense Approach (Case Study: Bojnourd City). *Passive Defense Quarterly*, 12(1), 49–58 (In Persian).

- Wahab, S.D., & Khayyat, A.H. (2014). Modeling the suitability analysis to establish new fire stations in erbil city using the analytic hierarchy process and geographic information systems. *J Remote Sens GIS*, 2.
- Wang, W. (2019). Site selection of fire stations in cities based on geographic information system and fuzzy analytic hierarchy process. *Ing Des Syst d'Information*, 24, 19–26.
- Wang, C.-N., Pan, C.-F., Nguyen, H.-P. & Fang, P.-C. (2023). Integrating Fuzzy AHP and TOPSIS Methods to Evaluate Operation Efficiency of Daycare Centers. *Mathematics*, 11, 1793.
- Wang, K., Yuan, Y.F., Chen, M.M., & Wang, D.Z. (2021). A POIs based method for determining spatial distribution of urban fire risk. *Process Saf. Environ. Prot.*, 154, 447–457.
- Xu, Z.S., Liu, D.L., & Yan, L. (2021). Evaluating spatial configuration of fire stations based on real-time traffic. *Case Stud. Therm. Eng.*, 25, 100957.
- Yagoub, M.M., & Jalil, A.M. (2014). Urban fire risk assessment using GIS: case study on sharjah, UAE. *Int Geoinformatics Res Dev J.*, 5, 1–8.
- Yao, J., Zhang, X., & Murray, A.T. (2019). Location optimization of urban fire stations: access and service coverage. *Comput Environ Urban Syst*, 73, 84–90.
- Zhang, Y. (2013). Analysis on Comprehensive Risk Assessment for UrbanFire: The Case of Haikou City. *Procedia Engineering*, 52, 618-623.
- Ziyari, Y., & Yazdan Panah, S. (2010). Location of fire stations using AHP model in GIS environment (case study: Amol city). *human settlements planning studies (geographic perspective)*, 6, 74-87 (In Persian).

Location of fire stations using AHP model and fuzzy method (Case study: Isfahan City)

Davood Akbari

Assistant Professor, Surveying Engineering Department, College of Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran,

Mehdi Saati*

Assistant Professor, Department of Civil and Surveying Engineering North, Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Fire stations, as places for the establishment and waiting of fire and rescue vehicles, are among the most important and vital service centers in cities, which play an important role in ensuring the safety and comfort of citizens and the development of cities. Therefore, locating fire stations and determining the number of stations in order to properly cover the city and provide services to citizens are vital and necessary measures in this field. The traditional location of these stations has mostly been subject to land ownership and management preferences and such things; Among the disadvantages of examining them in the traditional format, we can point out the inability to use all the effective parameters at the same time and being time-consuming. In this research, using GIS and information integration, correct and scientific location of fire stations has been tried.

Methodology: The current research method is analytical-descriptive-survey in terms of information analysis. Library and descriptive methods have been used to collect information. In this research, 6 main criteria have been introduced as the criteria for introducing land prone areas for the establishment of fire stations, which include: Access, density, size, type of land use, compatible neighbors and incompatible neighbors. In the proposed model of this research, it was assumed that if a piece of land is closer to communication ways, their access to other areas is greater and they are more important for allocation to fire stations. Population density is also considered based on the number of people settled in each urban unit (in terms of number per square meter in an urban block) and entered into the mentioned model as one of the main criteria in locating. The size of the land is one of the important conditions for assigning it to fire stations. Normally, areas with an average size of 1000 to 3000 square meters are considered as high priority areas as suitable places for establishing fire stations. The compatibility and incompatibility criteria are considered based on the potential of causing danger/accident (life and financial) and traffic generating uses, respectively. Finally, the type of land use (sixth criterion) was entered into the mentioned model as a factor that indicates the limitation or non-limitation of land for changing its use to fire stations. In this research, Vicor and Electra methods have been used to select the best location for fire stations in Isfahan city.

Results and discussion: In this research, first, all the required information is included in an integrated database with the same coordinate system, then the identified criteria and sub-criteria are weighted using the AHP process. In order to weight and determine priorities in this research, the criteria identified in the previous step were included in binary form in the form of comparison matrices. Then, referring to expert opinions and a basis prepared from numbers 1 to 9, a descriptive (qualitative) comparison of each pair of criteria involved in

decision making was done. Based on that, the greater the difference between the two criteria (or their priority over each other), the closer the assigned rank will be to the number 9. Finally, by converting the qualitative scale to a quantitative scale, the priority or rank of all criteria was determined. Also, the inconsistency coefficient was used as a factor to estimate the accuracy of pairwise comparisons made by experts' opinions. The obtained values of the inconsistency coefficient for all criteria and sub-criteria in each class were less than 83%, which shows the correctness of the comparisons made in this research. In the field of standardization of maps, different range of fuzzy membership functions based on experts' opinions were used. In the field of selecting fuzzy functions for neighborhood effects (both compatible neighbors and incompatible neighbors), a ranking function was used. However, a kernel function was used to generalize the fuzzy coefficients assigned to it to the neighboring users (and not the users themselves). In this way, the number of each function was assigned to the buffer range of the kernel function, instead of being assigned to the intended user, and then by divorcing the buffers with the main land use maps, the desired number was transferred from the buffer to the neighbor. The side areas were allocated up to a radius of 1000 meters. Finally, by preparing standardized maps for each sub-criterion and multiplying them by their respective weights, basic maps were prepared for carrying out the weighted linear combination method and the final output was prepared based on it.

Conclusion: In this research, by using multi-criteria decision analysis techniques in combination with GIS, the location of fire stations in the city of Isfahan has been addressed. To achieve this purpose, by referring to expert opinions and reviewing available resources in this field, a set of 6 main criteria and also sub-criteria related to it, which have a high potential in identifying the areas of fire stations, are identified, and were collected in an integrated manner in a location-oriented database. The use of fuzzy membership functions in the standardization of criteria was one of the other parameters influencing the identification of areas prone to the establishment of fire stations in this research. One of the remarkable results of the research is that areas with worn-out fabric are not given the first priority for creating fire stations. This issue shows that first of all, the necessary grounds for the renovation of these spaces should be made. In fact, instead of expanding the crisis management and firefighting centers in the danger areas, it is better to reduce the danger and risks in the region first.

Keywords: firefighting, Geographical information system (GIS), Hierarchical analysis process (AHP), fuzzy logic, Isfahan.

* (Corresponding Author) msaati@gmail.com