



Research paper

(Received Oct. 17, 2023

Accepted Dec. 2, 2023)

Locating fire stations in the 16th district of Tehran using GIS-FAHP

Sina Eghbal^{*1}, Seyed Morteza Moosavirad²

¹ Department of urban planning, Faculty of art and architecture, The West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

² Department of Environment, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences , Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Abstract

The location of city service units such as fire stations in urban areas is always one of the issues of municipalities that should be investigated and determined very carefully. The effectiveness of service quality and efficiency of fire stations is highly dependent on their proper location. Therefore, in this study, an attempt is made to determine the appropriate place to use for the establishment of a fire station by examining location information in district 16 of Tehran municipality (Nazi Abad district). For this purpose, 8 indicators affecting the location of the station were determined. The Fuzzy Analytic Hierarchy Process was used in order to prioritize them and determine the weight of their effect. Then spatial information of each of the indicators for the studied area were prepared in ARCGIS and discussed. Finally, by combining the maps, suitable places to establish a fire station with maximum efficiency were determined. According to the results, the southern strip and a part of the northern area of the investigated area are completely suitable for building a fire station. There is no possibility to build a fire station in the northwest and west side of the area due to its usage. Also, the eastern and northeastern sides have a similar situation.

Keywords: Tehran municipality, location, fire station, fuzzy analytic hierarchy process, GIS

* Corresponding Author: Sina Eghbal
Email: sinaeghbal199494@gmail.com
Phone: +989389830909



مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۹/۱۲

مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی در محدوده منطقه ۱۶ شهر تهران با استفاده از GIS-FAHP

سینا اقبال*^۱، سید مرتضی موسوی راد^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه محیط زیست، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

چکیده

مکان یابی واحدهای خدمات شهر مانند ایستگاه های آتش نشانی در مناطق شهری همواره یکی از موضوعات شهرداری ها است که بایستی با دقت زیادی بررسی و تعیین شوند. اثرپذیری کیفیت خدمات و کارآمدی ایستگاه های آتش نشانی به جانمایی مناسب آنها بسیار وابسته است. از این رو، در این مطالعه سعی بر آن است تا با بررسی اطلاعات مکانی در ناحیه ۲ منطقه ۱۶ شهرداری تهران (محل نازی آباد) به تعیین مکان مناسب برای استفاده جهت استقرار ایستگاه آتش نشانی پرداخته شود. برای این منظور ۸ شاخص اثرگذار بر مکان یابی ایستگاه تعیین شدند. از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به منظور ارجحیت بندی آنها و تعیین وزن اثر آنها استفاده شد. سپس نقشه ها و اطلاعات مکانی هر یک از شاخص ها برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از GIS تهیه و مورد بحث قرار گرفت. در نهایت با تلفیق نقشه ها مکان های مناسب برای تأسیس ایستگاه آتش نشانی با حداکثر کارآمدی مشخص شد. طبق نتایج، نوار جنوبی و قسمتی از ناحیه شمالی محدوده مورد بررسی برای ایجاد ایستگاه آتش نشانی کاملاً مناسب است. ضلع شمال غربی و غرب ناحیه با توجه به نوع کاربری آن امکان احداث ایستگاه آتش نشانی وجود ندارد. همچنین ضلع شرقی و شمالی شرقی نیز وضعیت مشابهی را دارد.

کلمات کلیدی: شهرداری تهران، مکان یابی، ایستگاه آتش نشانی، تحلیل سلسله مراتبی فازی، GIS

۱- مقدمه

امروزه بحث ایمنی یکی از مهمترین مسائل شهری است که توجه مدیران شهری را به خود جلب نموده است. آتش سوزی یکی از تهدیدات ناشی از بحران های طبیعی و مصنوعی است که می تواند چالش های وسیعی را در ابعاد مختلف زندگی شهری پدید آورد. از میان کاربری ها و خدمات موجود در شهر، توزیع و مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی به دلیل اهمیت و توجه روز افزون به امر ایمنی در شهرها و ارائه ی تمهیداتی در زمینه ی پیشگیری و مقابله با آتش سوزی و حادثه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. مدیریت بحران مجموعه ای از تصمیم گیری هایی است که با هدف کاهش روند بحران، کنترل و رفع آن در مقابله با بحران انجام می گیرد و شامل اقداماتی قبل از وقوع بحران، هنگام بحران و پس از بحران می باشد. حوادث آتش سوزی از جمله حوادث بسیار شایع در محیطهای شهری همچون تهران است. تهران پنجمین شهر پر حریق جهان است و آمار حوادث نشان می دهد که تنها در ۱۲ روز نخست سال ۱۳۹۱، تعداد ۲۷۰ مورد حادثه ی آتش سوزی در تهران گزارش شده است. از آنجا که طبق نظر کارشناسان روند توسعه ی حریق منحنی نمایی دارد، فرایند امداد رسانی نیازمند سرعت عمل و اقدام فوری می باشد که تحقق این امر در مدت زمان مناسب، که به زمان طلایی معروف است، وابستگی بسیاری به مکان ایستگاه امداد رسان دارد. استاندارد زمان طلایی بین ۳ تا ۵ دقیقه می باشد. لذا، توزیع و مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی به دلیل اهمیت و توجه روزافزون به امر ایمنی در شهرها و ارائه تمهیداتی در زمینه پیشگیری و مقابله با آتش سوزی و حادثه بسیار مهم است.

جانمایی ایستگاه های آتش نشانی از جمله کارهای مهمی است که در فرایند برنامه ریزی شهری برای قبل از وقوع بحران باید صورت گیرد. به علت عدم توجه به مکان یابی صحیح ایستگاههای آتش نشانی، به ندرت تحقق زمان طلایی میسر بوده است. این امر ناشی از عدم توجه به شعاع عملکرد ایستگاههای آتش نشانی و عدم تناسب توزیع مکانی ایستگاهها با استاندارد پوشش زمانی می باشد. همچنین می توان از مشکلات دیگری نظیر توزیع مکانی نامناسب ایستگاهها با الزامات و بافت شهری و بی توجهی به پتانسیل خطر از آمار حوادث قبلی مناطق، ناکافی بودن تعداد ایستگاهها طبق استانداردهای جهانی در نظر گرفته شده برای جمعیت و مساحت شهرها و عدم توجه به تمام مسائل موثر در آسیب پذیری و ایمن سازی کاربری ها نام برد. این محدودیت ها با مکان یابی صحیح ایستگاههای آتش نشانی تا حد زیادی برطرف خواهد شد.

از طرفی در برنامه ریزی های شهری با توجه به مسئله ی سازگاری کاربری ها، ایستگاه آتش نشانی با برخی کاربری های بسیار آسیب پذیر از قبیل بیمارستان ها و مراکز آموزشی ناسازگار می باشد. بنابر این در شهری پر ترافیک همچون تهران و با توجه به فاصله ی ایستگاههای آتشنشانی از کاربری های ناسازگار آسیب پذیر، شاید زمان طلایی امداد رسانی باز هم تحقق نیابد. در نتیجه در کنار فرایند مکان یابی بهینه ایستگاههای آتش نشانی، توجه به نحوه ی تجهیز اماکن آسیب پذیر امری ضروری می باشد. رفع آتش سوزی به صورت خودکار در مراحل اولیه ی شروع آتش سوزی امری بسیار مهم است. در این راستا استفاده از سنسورها و تکنیک های اطفای حریق از راه دور بسیار حائز اهمیت می باشند. راه اندازی سیستم های مانیتورینگ آتش سوزی با ترکیب سنسورهای بی سیم نقش اساسی در کنترل آتش سوزی خواهند داشت. با قرار دادن سنسورهایی از این دست در مکان های پیشنهاد شده ، علاوه بر کاهش زمان لازم برای اعلام حادثه به مرکز امداد رسانی، مزاحمت های تلفنی مرکز آتشنشانی نیز رفع می شود.

این در حالی است که سیاست کلی ایجاد ایستگاه آتش نشانی در ایران سیاستی بدون برنامه خاص و مدون بوده است، به گونه ای که برای ایجاد هر ایستگاه در محدوده های شهری مهم ترین اصل خالی بودن زمین بوده است که این امر در مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی در سطح شهرها تأثیر گذار بوده است. استقرار بهینه فضا - مکانی ایستگاههای آتش نشانی به دلیل اهمیت و توجه روز افزون به ارائه خدمات ایمنی و تمهیدات پیش گیری و مقابله با حوادث آتش سوزی و مدیریت بحران در شهرها از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. بی شک خدمات رسانی به موقع ایستگاههای آتش نشانی بیش از هر چیز مستلزم استقرار آنها در مکان های مناسب بوده، تا بتوانند در اسرع وقت و بدون مواجهه با موانع و محدودیت های محیط شهری از یک سو، و نیز با ایجاد کمترین آثار منفی بر زندگی ساکنان شهر از سوی دیگر، به محل حادثه برسند. تهران بزرگ با جمعیت بیش از هشت میلیون نفر به عنوان بزرگ ترین شهر کشور، به علت گسترش موازی و نیز افزایش جمعیت، زمینه های ایجاد حریق را در سطح شهر افزایش داده است.

توزیع و مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی به دلیل اهمیت و توجه روزافزون به امر ایمنی در شهرها و ارائه تمهیداتی در زمینه پیشگیری و مقابله با آتش سوزی و حادثه بسیار مهم است. برنامه ریزی شهری از طریق وضع استانداردها و ضوابط و مقررات مربوطه سهم قابل توجهی در کاهش خسارات جانی و مالی و تأمین ایمنی برای شهروندان در بلند مدت دارد. مهمترین مشکل در خدمات رسانی ایستگاه های آتش نشانی محدوده نازی آباد شهر تهران، ناکافی بودن تعداد ایستگاه های موجود و محدود بودن شعاع عملکردی آن ها می باشد. بنابراین در این مطالعه، توزیع کمی و کیفی ایستگاه ها به طور علمی و تخصصی مورد بررسی قرار می گیرد.

در زمینه استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و تحلیل سلسله مراتبی AHP در مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی در داخل و خارج از کشور مطالعات متعددی صورت گرفته است به عنوان نمونه به موارد زیر می توان اشاره نمود.

باتوجه به تنگ بودن معابر بازار بزرگ تهران و تراکم جمعیت زیاد در آن، وثوقی (۱۳۹۷) پژوهشی با هدف پیشنهاد مکان هایی برای تاسیس ایستگاه های آتش نشانی سیار انجام داد [۱]. در این تحقیق با تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ارزش گذاری لایه ها با منطق فازی در محیط سیستم اطلاعات مکانی (GIS) با نرم افزار ArcGIS، مدلی جهت مکان یابی بهینه ایستگاه آتش نشانی ارائه شد. در این روش، ابتدا ضوابط موثر در مکان یابی ایستگاه آتش نشانی با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه مشخص و سپس با استفاده از داده های تهیه شده از سازمان های مختلف، نقشه های معیار تهیه و آماده سازی شد. در مرحله بعد، به منظور ارزش گذاری لایه های موضوعی، از منطق فازی استفاده و لایه های آماده شده، با توابع عضویت گوناگون که تعداد و نوع آنها براساس نظر کارشناسان انتخاب و فازی شدند. در گام بعدی، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای وزن دهی معیارها، در قالب مقایسه زوجی و براساس نظرات کارشناسان استفاده شده بود؛ سپس از روش ترکیب خطی و زندهار جهت تلفیق معیارهای فازی شده با توابع عضویت فازی بهره گرفته شد. نقشه حاصل، نقشه ای است که از ترکیب و تلفیق ضوابط مختلف، با اعمال اوزان منطقی به دست آمد و پهنه های مناسب برای جانمایی ایستگاه آتش نشانی را نشان داد. براساس یافته های پژوهش، مهمترین معیارهای در نظر گرفته شده برای مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی سیار در بازار بزرگ تهران، معیارهای دسترسی، همسایگی های سازگار و همسایگی های ناسازگار است.

حیدری و همکاران در سال (۱۳۹۷) عوامل موثر بر مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی با رویکرد مدیریت بحران با تاکید بر اسلامشهر را بررسی کردند [۲]. هدف این مقاله بیان ضرورت مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی و ارائه الگویی مناسب جهت این امر می باشد. نتیجه مکان یابی بهینه برای ایستگاه های آتش نشانی، جلوگیری از هدر رفتن هزینه های اضافی و تضمین کارایی بهینه ایستگاه ها در تقابل با سیستم شهری خواهد بود که در این تحقیق سعی شده به این مقوله و ضرورت های آن پرداخته شود. علاوه بر ارزیابی و تحلیل جانمایی وضع موجود مراکز آتشنشانی این شهر، از طریق بهینه سازی جانمایی این مراکز، قابلیت های مراحل پیشگیری و آمادگی مدیریت بحران بطور چشمگیری بهبود بخشیده شده است.

کوه شاهی و همکاران (۱۳۹۷) مکان گزینی ایستگاه های آتش نشانی با منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی AHP در منطقه یک شهری بندرعباس را انجام دادند [۳]. هدف پژوهش ایشان شناسایی اولویت های مکانی برای استقرار ایستگاه های آتش نشانی است. مهم ترین مشکل در خدمات رسانی ایستگاه های آتش نشانی منطقه یک شهر بندرعباس، ناکافی بودن تعداد ایستگاه های موجود و محدود بودن شعاع عملکردی آنها است. در این راستا، شاخص های مطرح به ترتیب اولویت، شامل نزدیکی به پارامترهای شبکه ارتباطی، تراکم جمعیت، مراکز تجاری، مراکز صنعتی، مراکز آموزشی، مراکز اداری، مراکز درمانی و فاصله از پوشش عملکردی هستند. اثر هر یک در ارتباط با مکان گزینی در قالب نقشه در محیط نرم افزاری ارایه شده است. بعد از تعیین وزن معیارها در محیط نرم افزار، لایه های اطلاعاتی فازی سازی شده و با تحلیل همپوشانی لایه های فازی وزن دار، مکان گزینی نهایی صورت گرفت. نتایج نشان داد که ایستگاه های موجود در محدوده ی شهرداری منطقه یک با اولویت مکانی، جانمایی شده اند. در نهایت با استفاده از داده های رقومی ماهواره ای و بازدیدهای میدانی، تعدادی مکان با ابعاد مناسب در شمال شرقی و غرب منطقه یک شهری به عنوان مکان های پیشنهادی احداث ایستگاه جدید معرفی شده است.

یزدانی اسفید واجانی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی و بهبود جانمایی ایستگاههای امداد و نجات شهر رشت در زمان وقوع زلزله پرداختند [۴]. در این مقاله به بررسی پوشش ایستگاههای آتش نشانی و مراکز اورژانس در شبکه کلانشهر رشت پرداخته شده است.

نخست پوشش شبکه در شرایط عادی مورد بررسی قرار گرفته و سپس پوشش این مراکز روی شبکه در شرایط وقوع زلزله تحلیل شده است. بررسی موقعیت ایستگاههای آتش نشانی و مراکز اورژانس به روش تحلیل مکانی انجام شده است. در نهایت مشخص شد که در جانیابی مجدد امکانات موجود در صورت امکان پوشش بهتری بدون افزایش ایستگاه جدید در شبکه فراهم خواهد شد.

عربی و همکاران (۱۳۹۸) اقدام به بررسی و مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی شهر فردیس با تلفیق منطق فازی و AHP نمودند [۵]. برای این منظور ابتدا عوامل موثر در مکان یابی را مورد بررسی قرار داده و سپس با در نظر گرفتن این فاکتور ها و باتوجه به اهمیت هر کدام از آن ها، محل مناسب برای احداث ایستگاه های جدید مشخص شده است. با توجه به استفاده تلفیقی استفاده منطق فازی و AHP از این پژوهش می تواند یک الگوی بهینه برای مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی باشد.

پیرهن فروش و کامیابی (۱۳۹۸) به ارزیابی معیارهای مکانی ایستگاه آتش نشانی منطقه ۷ تهران پرداختند [۶]. در این تحقیق ابتدا به قوانین و معیارهای موجود مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی پرداخته سپس با شناخت کاربری اراضی محدوده سایت انتخاب شده به نتایجی درباره میزان مناسب بودن این سایت برای ساخت ایستگاه آتش نشانی منطقه ۷ تهران پرداخته شده است.

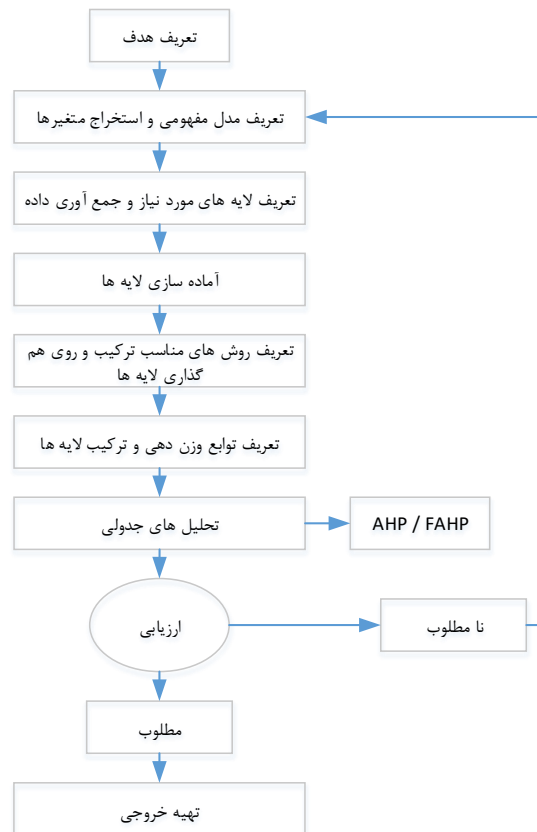
عرب امیری و همکاران (۲۰۱۴) مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی در ۵ منطقه شهر تهران را با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه و GIS انجام دادند [۷]. در ابتدا مناطق مناسب با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از بین کل مناطق شهری تهران و بر اساس شاخص های دسترسی به معابر اصلی، مجاورت به کاربری های سازگار، و دوری از کاربری های ناسازگار انتخاب شدند. محدوده ی پوشش ایستگاه های موجود نیز در نقشه نهایی در نظر گرفته شد. سپس توسط الگوریتم کلونی مورچه ای ایستگاه های مناسب از میان گزینه های مستعد (تلفیق فاصله ی مناسب میان ایستگاه های آتش نشانی و بیشینه کردن جمعیتی که توسط این ایستگاه های آتش نشانی در زمان استاندارد سرویس دهی می شوند) انتخاب شدند. نتایج نشان داد که الگوریتم ارائه شده میتواند جواب های مناسبی برای این گونه مسائل در زمانی کوتاه به دست آورد.

معتمدی و کیانفر (۱۴۰۲) به مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی در شهر اصفهان با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره قطعی و فازی و اطلاعات GIS پرداختند [۸]. سناریوهای مکانی برای ایستگاه با استفاده از ترکیب روش های تحلیل سلسله مراتبی فازی و تئوری فازی و سپس ترکیب آن ها با اطلاعات GIS مورد بررسی قرار گرفتند معیارهای مختلفی مانند تراکم جمعیت، نزدیکی به جاده اصلی، فاصله از ایستگاه آتش نشانی موجود، تراکم مواد خطرناک، شعاع پوشش آتش نشانی ها، شبکه ترافیک، کاربری اراضی، قدمت ساختمان ها و پتانسیل خطر به منظور مقایسه و تحلیل مکانی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. سه اولویت اول به ترتیب منطقه هشت، نه و چهار شهر اصفهان تعیین شدند.

مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی در محدوده نازی آباد نیز از این قاعده مستثنی نمی باشد. این محدوده با جمعیت بیش از ۵۰ هزار نفر، داشتن بافت مسکونی فشرده با کوچک بودن مساحت قطعات و عدم تأمین پارکینگ، شبکه دسترسی نامناسب با معابر بسیار باریک، کوتاه و یک طرفه، وجود کاربری های متعدد تجاری و صنعتی در سطح محدوده و اثرات منفی آن ها روی ترافیک عبوری و عدم تعادل فضایی در اکثر خدمات شهری به خصوص در زمینه مکان یابی درست و استقرار ایستگاه های آتش نشانی به تعداد کافی، منجر به بروز حوادث متعدد در محدوده نازی آباد شده است. لذا هدف از این تحقیق، تعیین محل بهینه ایستگاه های آتش نشانی محدوده نازی آباد از نظر معیارهای موثر در آن می باشد. این هدف از طریق شناخت عوامل تعیین کننده ای از قبیل جمعیت، شبکه معابر، ترافیک به عنوان عاملی دخیل در امداد رسانی که در برگیرنده عوامل تعیین کننده بوده و قادر باشد با استفاده از نرم افزار GIS بهترین مکان را برای ایستگاه های آتش نشانی تعیین کند حاصل می شود.

۲- مواد و روش ها

خلاصه روش تحقیق در ادامه ارائه شده است:



شکل ۱- خلاصه مراحل انجام تحقیق جانمایی ایستگاه آتش نشانی

۲-۱- مدل فرایند تحلیل سلسله مراتب در GIS

فرایند تحلیل سلسله مراتبی روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم گیری متضاد، انتخاب بین گزینه ها را با مشکل مواجه می سازد و تصمیم گیری باید در یک فضای چند بعدی صورت پذیرد مورد استفاده قرار می گیرد [۹]. در چنین شرایطی روش های ارزیابی چند معیاری، با توجه به این که در این روش ها فرض بر این است که هر یک از معیارها محور یا بعد جداگانه ای هستند می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

انتخاب مکان مناسب خدمات شهری نیاز به اطلاعات جزئی شهری در سطوح وسیع و همچنین عوامل مختلف طبیعی از قبیل آب و هوا، زلزله خیزی، بافت زمین، توپوگرافی و مسائل انسانی مثل راههای ارتباطی، دسترسی، مجاورت، جمع آوری، ترکیب و آنالیز آنها دارد که انجام چنین عملیاتی با استفاده از نرم افزارهای GIS عملی گشته است و این نرم افزار علاوه بر سنجش تأثیرات مختلف بر روی هم و همچنین بر روی کاربری های خدمات شهری قادر به تحلیل موقعیت کاربری ها نسبت به شعاع دسترسی و آستانه های جمعیتی می باشد [۱۰].

در AHP کلاسیک قضاوت ها با بکارگیری اعداد قطعی انجام می شود. اما بدلیل پیچیدگی و عدم قطعیت موجود در دنیای واقعی ممکن است تصمیم گیرنده قادر به انتقال نظرات و دیدگاه های خود در قالب یک عدد قطعی نباشد. تحلیل سلسله مراتبی فازی برای نخستین بار در سال ۱۹۸۰ توسط گران ارائه گردید [۱۱]. روشی که توسط گران برای استخراج بردار وزن از یک ماتریس مقایسات زوجی AHP با استفاده از ارزش گذاری فازی بکار برده شد دو مرحله داشت؛ در مرحله نخست وزن معیارها و در مرحله دوم وزن گزینه ها با توجه به معیارها، با بکارگیری اعداد فازی محاسبه می گردد در نهایت با فرمول های خاص محاسبات فازی بردار وزن حاصل می شود.

در این تحقیق برای انجام محاسبات تحلیل سلسله مراتبی فازی در مرحله انتخاب مکان بهینه برای احداث ایستگاه بازیافت از روش تحلیل توسعه ای استفاده شده است. روش تحلیل توسعه ای توسط یونگ چانگ در سال ۱۹۹۶ ارائه گردید [۱۲]. مراحل روش تحلیل توسعه ای به قرار زیر است:

دو عدد فازی $M_1=(L_1, m_1, u_1)$ و $M_2=(L_2, m_2, u_2)$ را در نظر بگیرید. در FAHP ماتریس مقایسات زوجی به شکل زیر خواهد بود.

$$\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\} = \begin{pmatrix} (1,1,1) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \cdots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (1,1,1) & \cdots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \cdots & (1,1,1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$$

$$\tilde{a}_{ji}^{-1} = (1/u_{ji}, 1/m_{ji}, 1/l_{ji}) \text{ for } i, j = 1, 2, \dots, n \text{ and } i \neq j.$$

در روش تحلیل توسعه ای هر سطر ماتریس یک ارزش بنام S_k دارد که به روش زیر محاسبه می شود [۱۲] [۱۳]:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \otimes \left[\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{kj} \right]^{-1} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij}} \right), i = 1, \dots, n \quad (2)$$

که در آن k نشان دهنده شماره سطر و i و j به ترتیب نشان دهنده گزینه ها و شاخص ها می باشند. در مرحله بعد درجه بزرگی S_k ها (V) طبق دستورالعمل زیر محاسبه می شود:

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = \text{SUP}_{y \geq x} [\min(\tilde{S}_j(x), \tilde{S}_i(y))] \quad (3)$$

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = \begin{cases} 1, & m_i \geq m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - m_i) + (m_j - l_j)}, & l_i \leq u_i; i, j = 1, \dots, n; i \neq j \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (4)$$

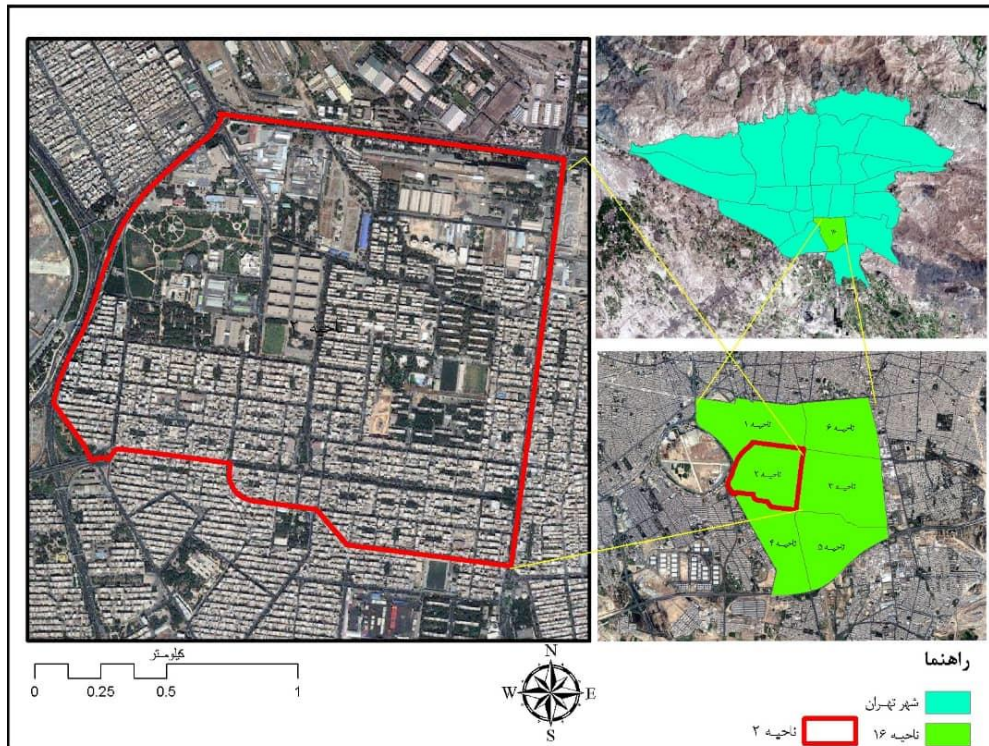
برای محاسبه وزن شاخص از رابطه زیر استفاده می شود:

$$W_i = \frac{V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j / j = 1, \dots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^n V(\tilde{S}_k \geq \tilde{S}_j / j = 1, \dots, n; j \neq k)}, i = 1, \dots, n \quad (5)$$

آخرین قدم نرمالیزه کردن بردار وزن است که پس از نرمال شدن مولفه های آن اعداد قطعی (غیر فازی) هستند که مبین وزن شاخص یا گزینه مورد نظر می باشند.

۲-۲- منطقه مورد مطالعه

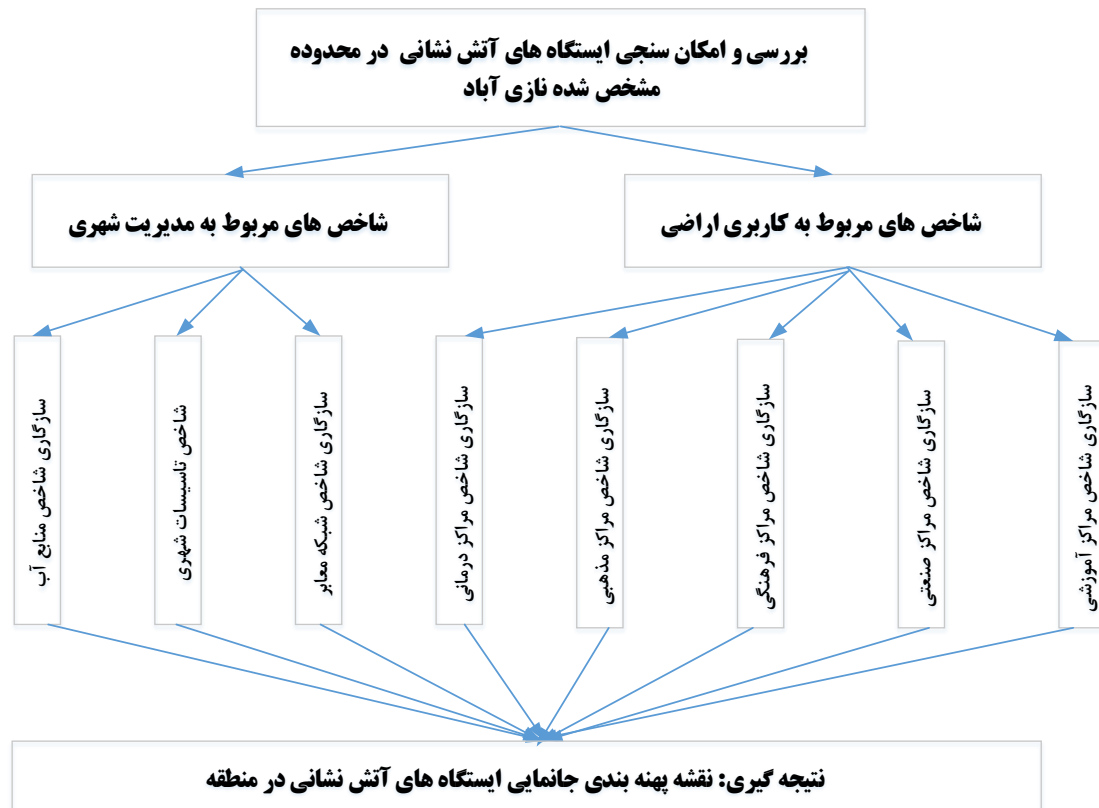
این منطقه در شمار مناطق کوچک شهر تهران بوده و در جنوب شهر تهران واقع شده است. مرتفع ترین نقطه منطقه با ۱۱۱۸ متر ارتفاع در شمال منطقه و پست ترین نقطه با ارتفاع ۱۰۸۶ متر در جنوب منطقه واقع شده است. محله نازی آباد با مساحت ۲/۳۶ کیلومتر مربع و جمعیت ۴۷۲۶۴ و جمعیت شناور ۱۰۰۰۰ نفری می باشد. همچنین دارای مساحت ۳۹۱۰ مترمربع بافت مسکونی ۵۲۰ مترمربع بافت تجاری و ۵۱۰ متر مربع بافت اداری می باشد.



شکل ۲- نقشه محدوده مورد مطالعه نسبت به منطقه شهرداری ۱۶

۲-۳- مدل مفهومی پیشنهادی

در ادامه بر اساس مطالعات مرتبط و مطالعه کتابخانه ای در حوزه موضوع تحقیق مدل مفهومی شکل ۳ جهت بررسی و امکان سنجی ایستگاه های آتش نشانی در محدوده محله نازی آباد در شهر تهران پیشنهاد می شود:



شکل ۳- چارت مدل مفهومی مدل پهنه بندی مکان مناسب ایستگاه آتش نشانی

۳- بحث و نتایج

۳-۱- شاخص های مکان یابی

طبق بررسی مطالعات مشابه، شاخص های اصلی مکان گزینی در جدول (۱) فهرست شده اند [۱۴-۱۶]. نقش آنها در بخش خصوصی مکان یابی موسسه با بخش عمومی (مکان یابی خدمات) تفاوت دارد. بعضی از آنها کاملاً ساده به کمک مدل ریاضی نمایش داده می شوند و در مورد بقیه به ندرت می توان از این روش استفاده کرد. معمولاً شاخص های هزینه در داخل تابع هدف و سایر معیارها در داخل شرایط محدودیت منظور می گردند. شاخص های مکان یابی به نوع خدمات و مشخصات آنها بستگی دارند که آنها مطابق با مراحل مختلف می توانند در فرآیند تصمیم تغییر کنند. در حالت پیچیده فرآیند مکان یابی، مراحل تصمیم بدین ترتیب خواهند بود: انتخاب ناحیه مکان، سپس انتخاب محلی در آن ناحیه و در نهایت انتخاب نقطه خاص در داخل آن محل. در هر کدام از این مراحل، ممکن است شاخص های معین وابسته به نوع تسهیلات خدماتی که مستقر خواهند شد غالب باشد برای مثال هزینه های حمل و نقل و مکان ناحیه بازار به انتخاب مکان ناحیه غلبه می کند دسترسی به کار و صرفه جویی های خارجی به انتخاب محل تأسیسات زیربنایی و شاخص های طبیعی برای انتخاب نقطه نهایی غلبه می کند.

جدول ۱- شاخص های مکان یابی ایستگاه آتش نشانی

شاخص های مرتبط با هزینه ها	شاخص های مرتبط با تقاضا	شاخص های محلی و منطقه ای	شاخص های غیر اقتصادی
هزینه حمل و نقل	نواحی بازار	تسهیلات بیرونی	مشخصات سیاسی، اجتماعی و فرهنگی
توزیع نیروی کار	توزیع فضای تقاضا	دسترسی مالی در نواحی	شرایط و محدودیت های حقوقی (قضایی)
مکان عرضه منابع	شبکه توزیع	عرضه انرژی	-
انگیزش یا سیستم های مالیاتی	-	دسترسی به زمین و غیره	-

۲-۳- معیارهای مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی

اکثر ضوابط مربوط به مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی به دنبال این هدف بوده اند که بیشترین تعداد مردم را در کمترین زمان ممکن تحت پوشش قرار دهند. با توجه به خصوصیات شهرهای ایران و بررسی تجارب کشورهای دیگر، می توان عوامل مؤثر در مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی را در ۸ عامل زیر خلاصه کرد:

۱) دسترسی

برخی از مهم ترین ضوابط مربوط به این عامل را می توان چنین تشریح کرد:

- محل ایستگاه های آتش نشانی برای سهولت ورود به جریان ترافیکی، در کنار یا موازی با شبکه معابر شریانی اصلی (درجه ۲ و ۱) تعیین گردد.
- محل ایستگاه در حد امکان نبش و یا مجاور چهار راهها و میدان های کوچک که گره ترافیکی ایجاد می کنند و سبب کندی حرکت می گردند انتخاب نشود.

۲) شعاع عملکرد مفید

برخی از مهم ترین ضوابط مربوط به این عامل اینها هستند:

- ضروری است در مکان گزینی ایستگاه های جدید مطالعه کافی در مورد ایستگاه های موجود و تعیین شعاع عملکرد مفید آنها صورت پذیرد و برنامه ریزی با آگاهی از خدمات و شعاع عملکرد ایستگاه های موجود صورت گیرد.
- با توجه به ضرورت دسترسی به محل حریق در کمترین زمان ممکن و در نظر گرفتن سرعت متوسط ۴۰ کیلومتر در ساعت، منطقه عملکردی و استحقاقی هر ایستگاه حداکثر می بایست در شعاع ۲۰۰۰ متری در نظر گرفته شود.
- فاصله میان ایستگاه های آتش نشانی بسته به تراکم جمعیت و کاربری زمین بسیار متفاوت است و شعاع خدماتی و عملکرد مفید ایستگاه ها نیز با هم فرق دارد و لذا در مکان گزینی ایستگاهها اصل دسترسی حداکثر و فاصله زمانی ۳ تا ۵ دقیقه عامل تعیین کننده به شمار می آید.

۳) جمعیت

برخی از مهم ترین ضوابط مربوط به این عامل عبارتند از :

- به ازای هر ۵۰۰۰۰ نفر وجود حداقل یک ایستگاه آتش نشانی ضروری است. ضرورت دارد که در برنامه ریزی شهری در شهرها به هنگام تنظیم جدول سرانه کاربری تأسیسات و تجهیزات شهری، سرانه حداقل به میزان ۰,۳ متر مربع به ازای هر نفر برای مکان ایستگاه های آتش نشانی و ۰,۸ متر مربع برای اراضی باز حاشیه ایستگاه ها منظور گردد؛ یعنی جمعاً یک مترمربع فاصله به ازای هر نفر میان ایستگاه های آتش نشانی که بسته به تراکم جمعیت و کاربری زمین بسیار متفاوت است و شعاع خدماتی و عملکرد مفید ایستگاه ها نیز با هم فرق دارد. لذا توجه به تراکم جمعیت در استقرار ایستگاه ها ضروری است.

۴) شعاع ترافیک

- سیستم حمل و نقل و شبکه ترافیک یکی دیگر از معیارهای مؤثر بر مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی است. عواملی چون عرض خیابان ها، کیفیت و حجم ترافیک، یک طرفه بودن خیابان و غیره در چگونگی محل استقرار ایستگاه ها مؤثرند.
- محل مناسب معمولاً در محل تلاقی چند خیابان و در نقاطی تعیین می شود که حجم ترافیک مانع حرکت خودروها و تیم آتش نشانی نگردد. خیابان های یک طرفه و خیابان هایی که وسایل نقلیه سنگین و کندرو از آنها عبور می نمایند، از عوامل کندکننده حرکت خودروهای آتش نشانی محسوب می شود. با توجه به ماهیت شهر صنعتی عمدتاً وسایل نقلیه سنگین در برخی از مسیرها وجود دارند.

- قرار گیری ایستگاه ها در مجاورت بزرگراه ها و خیابانهای اصلی درجه یک به ویژه تقاطع های اصلی از عوامل مثبت مکان یابی خواهد بود.

۵) کاربری اراضی

- کاربری های مختلف، آسیب پذیری های متفاوتی در مقابل آتش سوزی دارند. کاربری های مسکونی همیشه بیشترین آسیب پذیری را در مقابل حوادث آتش سوزی داشته اند. کاربری های تجاری و صنعتی و تولیدی بعد از کاربری مسکونی به ترتیب در رتبه های بعدی قرار دارند.
- تراکم جمعیت و شبکه حمل و نقل شهری در رتبه های بعدی قرار می گیرند. این امتیازات به عنوان ارزش های هر کاربری در وزن دهی آنها در مکان گزینی ایستگاه ها به کار گرفته خواهند شد و یکی از با اهمیت ترین معیارها در تعیین محل استقرار ایستگاه ها می باشد. در مورد کاربری های تجاری صنعتی و انبارها به علت وجود مواد قابل اشتعال معمولاً بیش از سایر کاربری ها در معرض خطر آتش سوزی قرار دارند.
- قرار گیری کاربری های خدمات شهری مثل بیمارستانها، مدارس و ادارات دولتی همگی از مجموعه کاربری هایی خواهد بود که در ساعاتی از روز با پیک ترافیکی روبه رو هستند. بنابراین برای مجاورت ایستگاه با چنین کاربری هایی باید محدودیت های فاصله ای قائل شد.

۶) پتانسیل خطر

- بررسی پتانسیل و ریسک خطر در مناطق مختلف شهری بر اساس بررسی میزان تعداد و تکرار حوادث در مناطق مختلف به مشخص شدن نقاط آسیب پذیر در حوادث آتش سوزی و مکان هایی با پتانسیل بالای خطر منجر خواهد شد. مکان ایستگاه ها باید به سمت چنین مناطقی کشش بیشتری داشته باشد.

۷) اندازه قطعه زمین

- برخی از مهم ترین ضوابط مربوط به این عامل عبارتند از :
 - مکان انتخابی برای ایستگاه باید به اندازه کافی برای نیازهای فعلی و آینده بزرگ باشد. (مساحت قطعه تفکیکی در حد استاندارد، برای ایستگاه های کوچک ۱۵۰۰ متر مربع و برای ایستگاه های متوسط ۳۰۰۰ متر مربع است.
 - برای مکان گزینی ایستگاه ها در بافت متراکم شهری، در صورت لزوم و ضرورت اندازه قطعه تفکیکی برای ایجاد ایستگاه کوچک حداقل ۱۰۰۰ متر است.
 - مساحت قطعه تفکیکی در حد استاندارد برای ایستگاه های بزرگ (مادر) برای شهرهایی با جمعیت بیشتر از ۷۵۰۰۰۰ نفر به میزان ۶۰۰۰ متر مربع است.

۸) جهت توسعه شهر

- برخی از مهم ترین ضوابط مربوط به این عامل عبارتند از :
 - در مکان گزینی ایستگاه های جدید ضروری است سمت و سوی توسعه شهر دقیق مورد نظر قرار گیرد و ایستگاه ها متناسب با جمعیت پذیری نواحی توسعه در ۱۰ تا ۲۰ سال آتی و تراکم های ساختمانی مربوط مکان گزینی گردند.
 - در طراحی و مکان گزینی ایستگاه های جدید در مناطق توسعه ضروری است الگوی نهایی توسعه شهر نیز مدنظر قرار گیرد.
 - مکان انتخابی برای ایستگاه های جدید در مناطق توسعه نباید در نزدیکی عوامل محدود کننده توسعه شهر مانند باغها، اراضی کشاورزی، کوهها، ارتفاعات و مانند اینها قرار گیرد، چرا که این عوامل عکس العمل ایستگاه را کاهش می دهند. همچنین مکان انتخابی نباید در موقعیتی باشد که ایستگاه پس از توسعه نواحی مجاور در وضعیت و مکان بدی قرار گیرد.
 - « در طراحی نواحی و مناطق با تراکم جمعیتی بسیار بالا (مناطق بلند مرتبه ساز) ضروری است به تناسب افزایش جمعیت،

پیش بینی اراضی مناسب برای احداث ایستگاه های مازاد بر استاندارد به عمل آید. لازم به ذکر است که این عوامل با توجه به خصوصیات و ویژگی های هر منطقه قابل بازبینی و تجدید نظرند و می توان عوامل دیگری را به آنها افزود.

۳-۳- امتیاز دهی شاخص ها

بر اساس اطلاعات موجود و ۳ پرسشنامه تکمیل شده بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی وزن شاخص ها در جدول ۲ ذکر شده است.

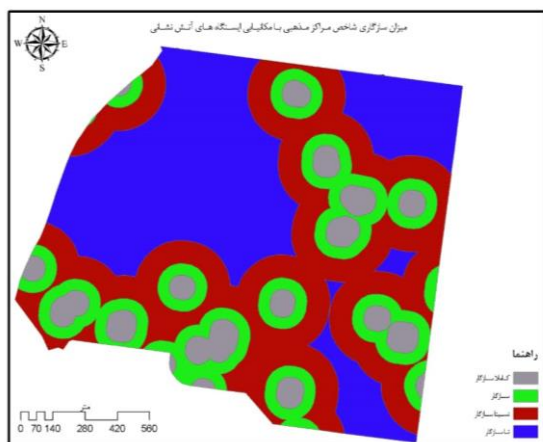
جدول ۲- وزن شاخص های مورد استفاده در جانمایی ایستگاه آتش نشانی در ناحیه ۲ شهرداری ۱۶

ردیف	شاخص های مکان یابی	امتیاز	ردیف	شاخص های مکان یابی	امتیاز
۱	شبکه معابر	۰,۰۹۵۴	۸	مراکز صنعتی	۰,۰۸۸۹
۲	منابع آب	۰,۰۹۶۵	۹	مراکز آموزشی	۰,۰۳۳۶
۳	مناطق مسکونی	۰,۰۹۲۱	۱۰	تعداد طبقات	۰,۰۶۹۳
۴	مراکز انبارداری	۰,۰۶۶۱	۱۱	مراکز درمانی	۰,۰۶۸۳
۵	تاسیسات شهری	۰,۰۷۸۰	۱۲	مراکز فرهنگی	۰,۰۵۵۳
۶	مراکز تجاری	۰,۰۵۵۳	۱۳	مناطق اداری	۰,۰۶۱۸
۷	مراکز نظامی	۰,۰۸۰۲	۱۴	مراکز مذهبی	۰,۰۵۸۵
	مجموع	۰,۹۹۹۳			

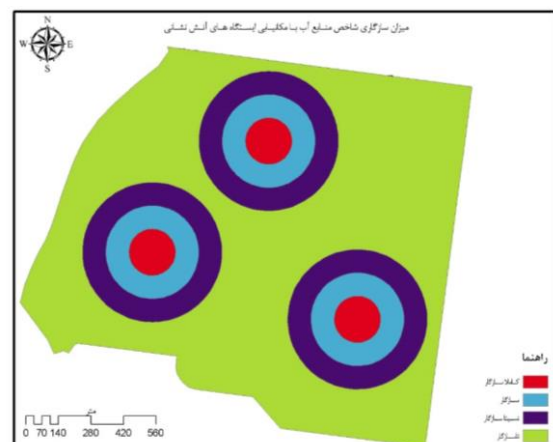
همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است بیشترین امتیاز اثرگذاری شاخص های جانمایی مربوط به دسترسی به منابع آب، سازگاری با شبکه معابر و دسترسی به مناطق مسکونی است. از طرف دیگر شاخص های نزدیکی به مراکز آموزشی، مراکز تجاری و مراکز فرهنگی و مذهبی کمترین امتیاز را دریافت کردند. این موضوع اهمیت ارائه خدمات آتش نشانی و ایمنی را به محدوده مسکونی نشان می دهد که البته با تعداد بالای آتش سوزی در مناطق مسکونی قابل درک است. قابل ذکر است، به دلیل محدودیت اطلاعات در دسترس تنها به استفاده از ۸ شاخص اکتفا شده است. در ادامه شاخص های مورد استفاده و نقشه های مربوط به آنها ارائه شده است.

۳-۴- نقشه های جانمایی ایستگاه ها

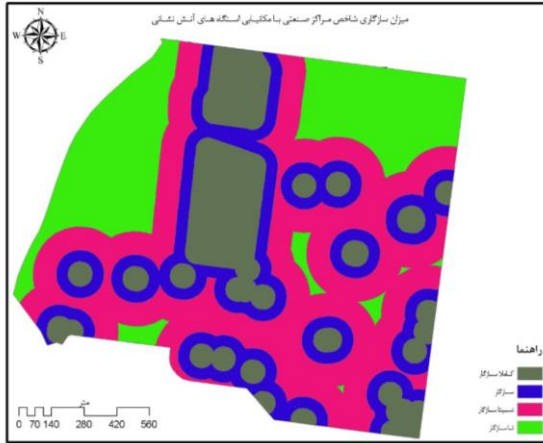
در ادامه طبق اطلاعات مکانی به دست آمده از سطح منطقه مورد مطالعه میزان سازگاری مکانی برای هر شاخص به دو صورت جداگانه بررسی و در شکل های ۴ الی ۱۱ نشان داده شده است.



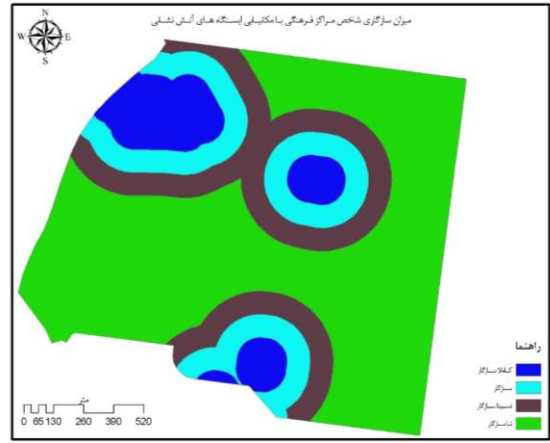
شکل ۵- میزان سازگاری شاخص مراکز مذهبی با مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی



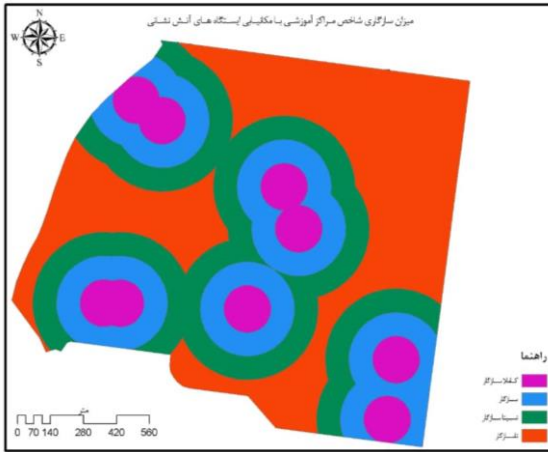
شکل ۴- میزان سازگاری شاخص منابع آب با مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی



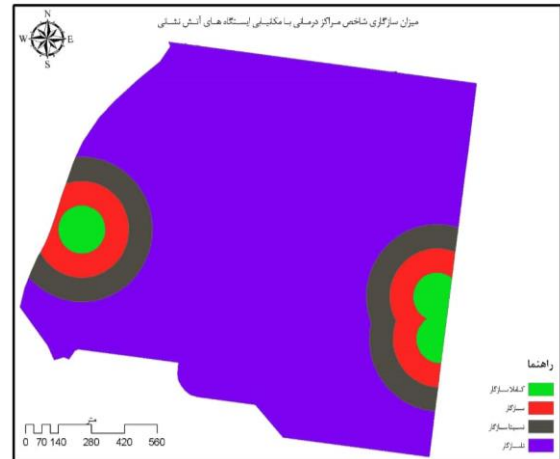
شکل ۷- میزان سازگاری شاخص مراکز صنعتی با مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی



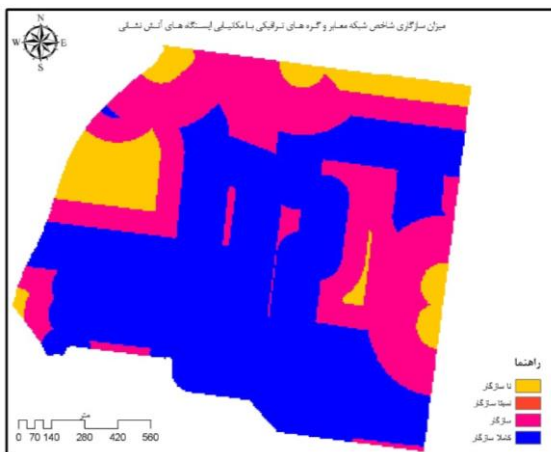
شکل ۶- میزان سازگاری شاخص مراکز فرهنگی با مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی



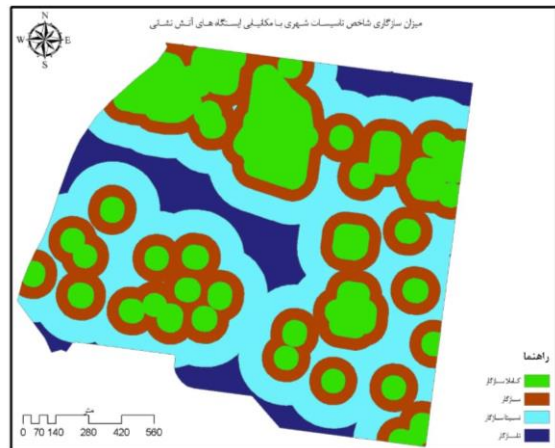
شکل ۹- میزان سازگاری شاخص مراکز آموزشی با مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی



شکل ۸- میزان سازگاری شاخص مراکز درمانی با مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی

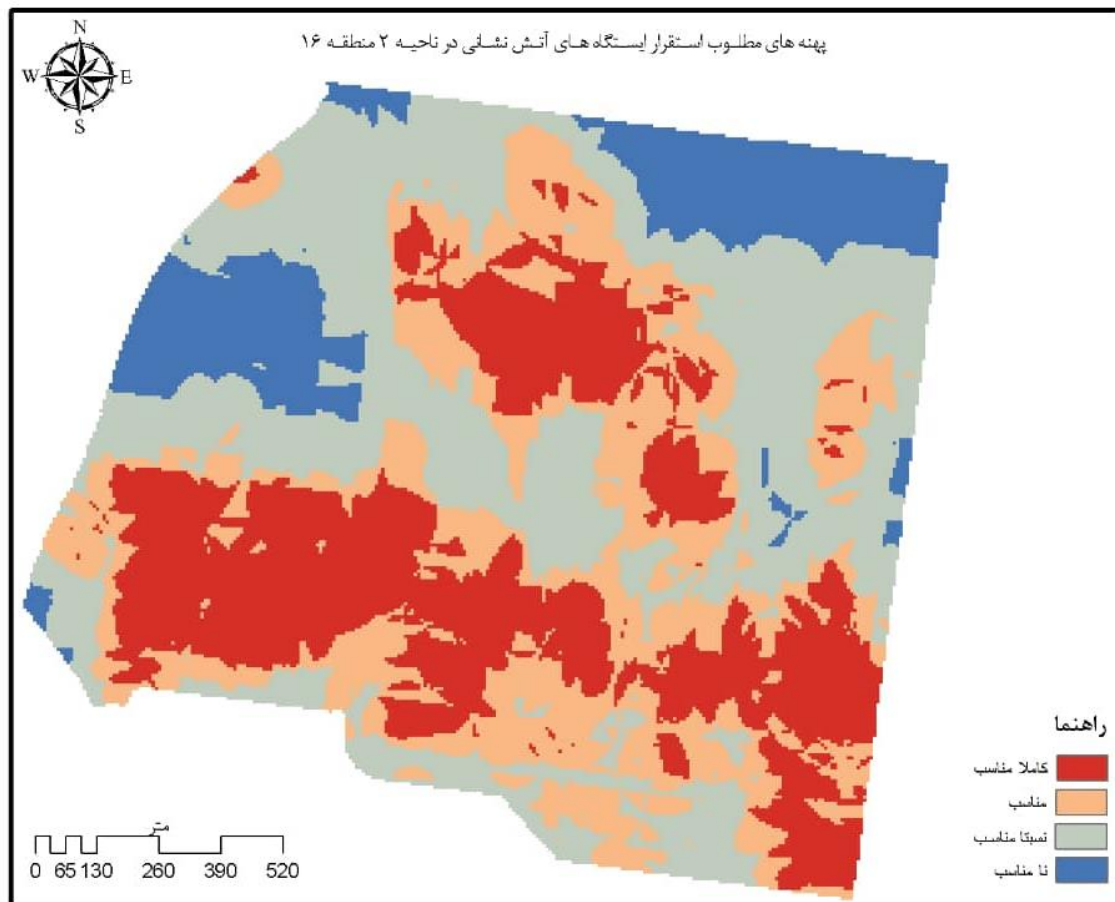


شکل ۱۱- میزان سازگاری شاخص شبکه معابر و گره های ترافیکی با مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی



شکل ۱۰- میزان سازگاری شاخص تاسیسات شهری با مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی

با تلفیق نقشه‌ها برای ۸ شاخص مورد بررسی و وزن اهمیت هر یک طبق جدول ۲، پهنه‌های مطلوب استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی در ناحیه ۲ منطقه ۱۶ شهرداری تهران به دست می‌آید که نقشه آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- پهنه‌های مطلوب استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی در ناحیه ۲ منطقه ۱۶ شهرداری تهران

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص است نوار جنوبی و قسمتی از ناحیه شمالی محدوده مورد بررسی برای ایجاد ایستگاه آتش‌نشانی کاملاً مناسب است. ضلع شمال غربی و غرب ناحیه با توجه به نوع کاربری آن امکان احداث ایستگاه آتش‌نشانی وجود ندارد. همچنین ضلع شرقی و شمال شرقی نیز وضعیت مشابهی را دارد.

با توجه به تراکم جمعیت مسکونی و تجاری منطقه در محدوده نوار مرکزی و جنوبی پیشنهاد می‌شود ایستگاه آتش‌نشانی در مرکز منطقه و در نوار جنوبی احداث شود تا بیشترین میزان دسترسی به مناطق مورد نیاز را داشته باشد.

لازم به ذکر است، در این مطالعه مرز ناحیه ۲ شهرداری منطقه ۱۶ تهران مورد بررسی قرار گرفته است و بایستی به منظور جانمایی نهایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی محدوده خدماتی نواحی مجاور نیز بررسی شده و امکان پوشش حداکثری برای ایستگاه آتش‌نشانی مورد نظر ایجاد شود.

۴- نتیجه‌گیری

برنامه ریزی شهری از طریق وضع استانداردها و ضوابط و مقررات مربوطه سهم قابل توجهی در کاهش خسارات جانی و مالی و تأمین ایمنی برای شهروندان در بلندمدت دارد. تعداد و مکان ایستگاه‌های آتش‌نشانی به طور قابل توجهی بر کارایی واکنش اضطراری در هنگام حوادث آتش‌سوزی تأثیر می‌گذارد. بایستی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در مناسب‌ترین مکان در محدوده مطالعاتی شهری تعیین شوند تا با توجه به شاخص‌های مدنظر مانند افزایش جمعیت، ترافیک، موقعیت مکانی در منطقه زلزله و ...، در سریع‌ترین زمان ممکن

به محل حادثه برسند و بتوانند مناسب ترین خدمات را به شهروندان ارائه دهند. مهمترین مشکل در خدمات رسانی ایستگاه های آتش نشانی محدوده نازی آباد شهر تهران، ناکافی بودن تعداد ایستگاه های موجود و محدود بودن شعاع عملکردی آن ها می باشد. بنابراین توزیع کمی و کیفی ایستگاه ها به طور علمی و تخصصی و با استفاده از ترکیب لایه های مختلف اطلاعات مکانی و اطلاعات توصیفی در نرم افزار GIS مورد بررسی قرار گرفته که نتیجه نهایی روی هم گذاری لایه ها در شکل ۱۲ ارائه شده و می توان وضعیت کلی منطقه مورد مطالعه را نسبت به احتمال خدمات ارائه شده توسط ایستگاه آتش نشانی فرضی مشاهده نمود. همانطور که مشخص است نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه از پتانسیل بهتری برای استقرار ایستگاه آتش نشانی برخوردار است. نتایج این مطالعه با گسترش منطقه مورد مطالعه و خصوصا افزایش ۵ الی ۱۵ کیلومتری مرز مطالعه می تواند بهبود بخشیده شود. همچنین افزایش شاخص های مورد بررسی و تکمیل و به روز رسانی اطلاعات مکانی در محدوده فعلی نیز میتواند اثر مثبتی بر افزایش اطمینان از تحلیل و تفسیر نتایج داشته باشد.

۵- منابع

۱. وثوقی، ع. بررسی مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی سیار در بازار بزرگ تهران جهت سهولت برای عملیات ها در معابر باریک با استفاده از تلفیق منطق فuzzy و AHP در محیط GIS، اولین همایش بین المللی و چهارمین همایش ملی آتش نشانی و ایمنی شهری، ۱۳۹۷، سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری تهران - دانشگاه صنعتی شریف.
۲. حیدری، م و همکاران عوامل موثر بر مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی با رویکرد مدیریت بحران با تاکید بر اسلامشهر، اولین کنگره بین المللی صنعت ساختمان با محوریت تکنولوژی های نوین در صنعت ساختمان، ۱۳۹۷.
۳. حسین پور کوهشاهی، ب.، مهدوی نجف آبادی، ر.، حلی ساز، ا. مکان گزینی ایستگاه های آتش نشانی با منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: منطقه یک شهری بندرعباس). جغرافیا و توسعه فضای شهری، ۱۳۹۷؛ (۲): ۱۴۵-۱۶۳. doi: 10.22067/gusd.v5i2.62850
۴. یزدانی اسفیدواجانی، ع. و همکاران، ارزیابی و بهبود جانمایی ایستگاه های امداد و نجات شهر رشت در زمان وقوع زلزله، شانزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، ۱۳۹۵.
۵. عربی، م.، ا. نجفی، م. شیرازیان، مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی شهر فردیس با تلفیق منطق فازی و AHP ششمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، ۱۳۹۸، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۶. پیرهن فروش، ب. س. کامیابی، ارزیابی معیارهای مکانی ایستگاه آتش نشانی منطقه ۷ تهران، دومین کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، ۱۳۹۸.
۷. عرب امیری، م.، م. رفیع پور، م. سعدی مسگری، مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه و GIS (مطالعه موردی شهر تهران). آمایش محیط، ۲۰۱۴. ۷(۲۵): ۲۲-۴۸.
۸. معتمدی، ز. ک. کیانفر، مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره قطعی و فازی و اطلاعات GIS (مورد مطالعه: شهر اصفهان). چشم انداز مدیریت صنعتی، ۲۰۲۳. ۱۳(۲): ۶۵-۹۸.
9. Mirabadi, M. and A. Hussein Abdi, *Landfill locate in Bukan by Boolean logic and analytical hierarchy process (AHP)*. Journal of Environmental Science and Technology, 2017. **19**(1): p. 149-168. DOI: 10.22034/JEST.2017.10342
10. Alavi, S.A., et al., *Location CNG fuel stations by using fusion techniques of fuzzy operators and GIS spatial analysis, case study: Mashhad District 7*. Journal of Urban Ecology Researches, 2016. **7**(13): p. 9-18. DOI: 20.1001.1.25383930.1395.7.13.1.1
11. Vahidi, H., et al., *Fuzzy Analytical Hierarchy Process Disposal Method Selection for an Industrial State; Case Study Charmshahr*. Arabian Journal for Science & Engineering (Springer Science & Business Media BV), 2014. **39**, 725-735. <https://doi.org/10.1007/s13369-013-0691-1>

- 12.Chang, D.-Y., *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP* European Journal of Operational Research, 1996(95): p. 649-655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- 13.Masoud Zare Naghadehi, Reza Mikaeil, and M. Ataei, *Expert Systems with Applications*, 2009(36): p. 8218-8226. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.006>
- 14.Nyimbili, P.H. and T. Erden, *GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey*. Socio-Economic Planning Sciences, 2020. **71**: p. 100860. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100860>
- 15.Han, B., et al., *Site selection of fire stations in large cities based on actual spatiotemporal demands: A case study of nanjing city*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021. **10**(8): p. 542. <https://doi.org/10.3390/ijgi10080542>
- 16.Vahidnia, M.H., et al., *A Spatial Decision Support System Based on a Hybrid AHP and TOPSIS Method for Fire Station Site Selection*. Journal of Geovisualization and Spatial Analysis, 2022. **6**(2): p. 30. <https://doi.org/10.1007/s41651-022-00125-x>