مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از تلفیق منطق Fuzzy و AHP در محیط GIS

(مطالعه موردی: ناحیه ۱ منطقه ۱۰ تهران)

مرضیه خان‌احمدی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- GIS، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

دکتر مهدی عربی
استادیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

دکتر علیرضا وفایی‌نژاد
استادیار دانشکده آب و محیط زیست،
پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی تهران

دکتر هانی رضائیان
استادیار دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران

چکیده

ایجاد امکانات جدید شهری، نیازمند مطالعه دقیق در زمینه نحوه استقرار صحیح آنها در مناطق مختلف یک شهر است. جهت تخصیص درست امکانات شهری، اولین نکته اساسی، انتخاب مکان بهینه با توجه به شرایط متفاوت و گاهاً متضاد است. این مسأله زمانی اهمیت می‌یابد که فاکتورهای بسیار مهمی مانند نجات جان انسان‌ها مدنظر قرار داده شوند. لذا انتخاب بهینه مراکز آتش‌نشانی به دلیل اهمیت جان افرادی که در معرض خطر واقع شده‌اند، مسأله اساسی تلقی می‌شود.

در این مقاله با در نظر گرفتن عدم قطعیت در رابطه با کفایت اطلاعات و جامعیت استنتاجات، ابزارهایی مثل سیستم اطلاعات مکانی و چگونگی تحت کنترل درآوردن تغییرات عوارض شهری، از مدل فازی در ترکیب با فرآیند سلسله مراتبی استفاده گردیده است. در گام اول این پژوهش، عوامل مؤثر در مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی تعیین و نقشه‌های معیار تهیه و آماده‌سازی گردید. در طول مطالعات با نظرسنجی که از کارشناسان صورت گرفت مشخص شد که این معیارها در مکانیابی ایستگاه‌ها تأثیر متفاوتی دارند. لذا بایستی بر اساس تأثیر و اهمیت آنها به معیارها وزنی متفاوت داد. برای وزندهی معیارهای فوق از بین روش‌های مختلف وزندهی، روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) و نرم‌افزار Export choice مورد استفاده قرار گرفتند. پس از جمع‌آوری نظرات کارشناسان و به منظور جلوگیری از ورود برخی نظرات احتمالی غیر کارشناسی، مقادیر سازگاری قضاوت‌ها، محاسبه گردید و پس از قابل قبول واقع شدن مقادیر CR، از این اوزان جهت بررسی‌های بعدی استفاده گردید.

در گام بعدی به منظور ارزش‌گذاری لایه‌ها، از منطق فازی استفاده شد و لایه‌های آماده شده، توسط توابع عضویت گوناگون که تعداد و نوع آنها بر اساس نظر کارشناسان انتخاب می‌گردد، فازی شدند. در انتها جهت تلفیق معیارهای فازی شده با توابع عضویت فازی و وزن‌های به دست آمده با روش AHP، روش ترکیب خطی وزندار (WLC) مورد استفاده قرار گرفت و پهنه‌های مناسب جهت احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی شناسایی و مشخص شدند. صرف تکیه بر نتایج این نقشه، عملاً نمی‌تواند کارایی لازم را جهت مکانیابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی داشته باشد. بنابراین، در گام نهایی پس از ایجاد شبکه شهری، شعاع عملکردی استاندارد ایستگاه‌های موجود به کمک تحلیل شبکه در محیط GIS تعیین شد. سپس با نظر کارشناسانه، در خارج از شعاع عملکردی این ایستگاه‌ها و در فاصله مناسبی از آنها، مکان‌های پیشنهادی که امتیاز بالایی برای استقرار ایستگاه داشتند و کل ناحیه را در زمان استاندارد تحت پوشش قرار می‌دادند، تعیین شدند. این پژوهش سعی داشته است کارایی به کارگیری تلفیقی منطق ارزش‌گذاری لایه‌ها را با مدل AHP در محیط GIS نشان دهد. مدل ترکیبی به کار رفته از توانایی بالایی برخودار است و این قابلیت را دارد که با تغییرات نسبی، برای اهداف مختلف (انتخاب مکان بهینه یک سایت) و در شرایط گوناگون مکانی به کار رود.

واژه‌های کلیدی: مکانیابی، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، تحلیل سلسله مراتبی(AHP)، منطق فازی(Fuzzy Logic)، تحلیل شبکه(Network Analyze).

۱- مقدمه

موجودیت شهرها عموماً با سرویس‌دهی و ارائه خدمات به ساکنان در محدوده قانونی و حریم شهرها آمیخته است. کاربری‌های امدادی با توجه به فعالیت‌هایی که برعهده دارد نسبت به سایر خدمات شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. ایستگاه‌های آتش‌نشانی به عنوان مکان‌هایی برای استقرار و انتظار خودروهای‌آتش‌نشانی 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. 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.

مکانیابی سنتی این ایستگاه‌ها بیشتر تابع مالکیت زمین و سلایق 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. حال آن که به دلیل تفاوت جنس و ماهیت شهرها از لحاظ قیمت اراضی، فشردگی فضا، تراکم جمعیتی و بافت وساختار شهر، لزوم تدقیق شاخص‌ها به چشم می‌خورد و بی توجهی 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. بنابراین استفاده از فن‌آوری اطلاعات بخصوص سامانه اطلاعات مکانی برای تحلیل حجم وسیعی از داده‌ها، ضروری است. در واقع مکان‌هایی که به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند، باید تا حد امکان پاسخگوی تغییرات آتی سیستم پویای شهری بوده و با انعطاف‌پذیری لازم، خدمات‌رسانی ایمنی شهر را جهت‌دهی نمایند.

۲- اهمیت و ضرورت تحقیق

باتوجه به گستردگی فیزیکی و کالبدی شهرها و افزایش خطرات مترقبه و غیرمترقبه پرداختن به کاربری‌های امدادرسانی اورژانسی نظیر ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهرها ضروری است. خدمات‌رسانی به‌موقع ایستگاه‌های آتش‌نشانی بیش از هر چیز مستلزم استقرار آنها در مکان‌های مناسب است که بتوانند در اسرع وقت و بدون مواجه شدن با موانع و محدودیت‌های محیط شهری از یک‌سو و با ایجاد کمترین آثار منفی بر زندگی ساکنان شهر از سوی دیگر، به محل حادثه برسند و اقدامات امداد را به انجام برسانند. انتخاب مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی یکی از مهمترین وظایف و اهداف مدیران شهری است که باید قبل از اجرا، در یک چارچوب سیستماتیک آماده‌سازی گردد.

سیاست کلی ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی در ایران سیاستی بدون برنامه خاص و مدون بوده است به گونه‌ای که برای ایجاد هر ایستگاه در محدوده‌های شهری مهمترین اصل خالی بودن زمین، بدون مالک بودن آن یا مواردی از این قبیل بوده است. این موضوع بر مکانیابی کلی ایستگاه‌ها در سطح شهرها تأثیرگذار بوده است.

در حال حاضر در شهرهای کشور، توزیع تأسیسات و تجهیزات از جمله ایستگاه‌های آتش‌نشانی، معمولاً مبتنی بر احساس نیازمندی به ارائه اینگونه تسهیلات توسط ارگان‌های مختلف از قبیل شهرداری‌ها و بر حسب درخواست ساکنان محل و نیز اراضی پیش‌بینی شده برای کاربری تأسیسات و تجهیزات در طرح‌های توسعه شهری مصوب، انجام می‌شود و در هر موقعیتی که مناسب تشخیص داده شوند، تسهیلات مربوطه مستقر می‌گردند. ***(http://www.NFSI.org)***

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 دارد. این مشکلا ت و نارسایی‌ها را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

-عدم انطباق مکان و شعاع پوشش ایستگاه‌ها با کانون‌های بالقوه آتش‌سوزی
- عدم تناسب توزیع مکانی ایستگاه‌ها با الزامات و بافت شهری
- عدم تناسب توزیع مکانی ایستگاه‌ها با استاندارد پوشش زمانی
- ناکافی بودن تعداد ایستگاه‌ها نسبت به هردو معیار جمعیت و مساحت شهرها.

باعنایت به لزوم استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی به صورت منطقی در سطح شهرها، در این تحقیق سعی شده با استفاده از متدهای جدید و همچنین در نظر گرفتن معیارهای کاربردی در مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مدلی مناسب جهت مکان‌گزینی ایستگاه‌ها ارائه شود تا بدین وسیله موجبات کارآیی بیشتر سیستم با هزینه اجرایی کمتر و مهار کامل آتش در کوتاه‌ترین زمان ممکن فراهم‌گردد.

۳- پیشینه تحقیق

به لحاظ اهمیت بسیار زیاد مسأله نجات انسان‌ها در اطفای حریق، پژوهش‌های بسیاری از دیرباز در کشورهای توسعه‌یافته در زمینه انتخاب مکان‌های مناسب احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی انجام گرفته است. پژوهش‌های اولیه در این مورد بر مبنای انتخاب مکان ایستگاه‌ها بر اساس سطح پوشش ارائه خدمات توسط هر یک از آنها قرار داشت.

در این زمینه به منظور طراحی و ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی، یک روش تحلیلی و تکرار شونده توسط Helly ارائه گردید. مراحل اجرای این روش عبارت‌است‌از:

۱- تعریف مناطق تحت پوشش ارائه خدمات توسط هر ایستگاه
۲- معرفی بهترین مکان هر ایستگاه آتش‌نشانی در منطقه تحت پوشش
۳- بهینه‌سازی مناطق ایستگاه‌ها

در نظر گرفتن مسأله مکانیابی بعنوان یک مسأله چند معیاره توسط Badri (۱۹۹۸) مطرح شد. وی با ارائه یک مدل بر اساس زمان سفر از ایستگاه تا نقطه حادثه دیده به جای مسافت، با ارائه ۱۱ فاکتور مؤثر بر مکانیابی مراکز آتش‌نشانی نواقص مدل قبلی را پوشش دادند. سپس Chen(2003) متد Helly را برای مکانیابی ایستگاه‌ها در چین به کار گرفت.

کلیه روش‌های فوق دارای معایب زیر بودند:

- فاصله ایستگاه تا نقطه حادثه دیده معمولاً به صورت خط مستقیم در نظر گرفته شده است در حالی که ماهیت اصلی این فاصله منحنی‌وار است.
- اینکه اطمینان حاصل کنیم که تمام نقاط حادثه دیده در کمترین زمان ممکن سرویس‌دهی می‌شوند یا خیر، مشکل است.

رفع نواقص فوق با ارائه یک مدل بر مبنای شبکه واقعی راه‌ها توسط Quo Qingsheng و Yo Yang انجام گرفت. آنها با در نظر گرفتن شبکه‌ای از راه‌های موجود در یک شهر، گرافی جهت‌دار تشکیل دادند. اجزای این گراف عبارتند از:

مجموعه‌ای از نودهای شبکه، مجموعه‌ای از یال‌های شبکه، مجموعه نقاط حادثه دیده، مجموعه مراکز انتخابی امدادرسانی، وزن یال‌های شبکه.

- از دیگر کارهای انجام گرفته شده در این زمینه می‌توان به تلفیق برنامه‌نویسی چند معیاره به همراه الگوریتم ژنتیک توسط ***Hua Yang, Brayan F.Jones, Lily Yang (2007)*** اشاره نمود. آنها با استفاده از فاکتورهای معرفی شده توسط

Badri، ۵ فاکتور اصلی را معرفی نمودند. در روش ارائه شده توسط این افراد، ابتدا کلیه معیارها، با استفاده از برنامه‌نویسی چند معیاره فازی، تبدیل به یک معیار واحد شده و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعداد و مکان‌های مناسب ایستگاه‌ها تعیین گردید.

– از دیگر کارهای انجام گرفته در این زمینه می‌توان به «تعیین مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی» توسط فروتن مقدم و همکاران (۱۳۸۸) اشاره کرد. در این تحقیق معیارهایی از قبیل جمعیت، نزدیکی به راه‌های اصلی، قیمت املاک، عدم پوشش محدوده ارائه خدمات ایستگاه‌های آتش‌نشانی، برای مکانیابی در نظر گرفته شد. جهت برطرف کردن نقص روش همپوشانی استفاده از شبکه‌های عصبی برای تعیین وزن هر یک از پارامترها، پیشنهاد گردید و مکان‌های بهینه ایستگاه‌ها تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که روش بکاررفته در حدود ۷۰ درصد در تعیین مناطق مناسب یا نامناسب بدرستی عمل کرده و مدل از توانایی بالایی برخوردار است.در زمینه مکانیابی مراکز خدماتی با استفاده از GIS در سال‌های اخیر مطالعاتی صورت پذیرفته که می‌توان به عنوان نمونه به موارد ذیل اشاره‌ای داشت:

با توجه به مطالعات زیادی که در زمینه مکانیابی دفن زباله صورت گرفته است می‌توان به مطالعات سوماتی و همکاران (۲۰۰۸) اشاره کرد. ایشان با در نظر گرفتن معیارهای زمین‌شناسی، منابع تأمین آب، کاربری اراضی، مکان‌های دارای حساسیت، کیفیت هوا، کیفیت آب زیرزمینی به تعیین مکان مناسب برای دفن مواد زائد شهری در محیط سیستم اطلاعات مکانی پرداختند. بعد از شناسایی معیارهای ارزیابی با انجام بازدیدهای میدانی از میان مکان‌های مناسب، سه مکان برای مقایسه از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مشخص شدند که نهایتاً با انجام مطالعات دقیق‌تر بر روی مکان‌های انتخاب شده و اعمال وزن‌های مناسب به هر یک از مکان‌ها، مکان‌های نهایی انتخاب گردید. وفایی و هادی‌پور (۲۰۱۲) در مقاله‌ای با عنوان «تعیین حساسیت خط ساحلی به نشت نفت از طریق مدل فازی و GIS» مدلی را از طریق ترکیب، مفاهیم تئوری مجموعه فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط GIS، برای تعیین حساسیت نواحی ساحلی دریای خزر به نشت نفت ارائه دادند. برای ایجاد این مدل، در ابتدا خط خطر در ناحیه ساحلی تعیین و سپس معیارهای مؤثر (پارامترهای فیزیکی، بیولوژیکی و اجتماعی– اقتصادی) بر اساس نظر کارشناسان مشخص شد. سپس، از دو روش فرایند آنالیز سلسله مراتبی و فرآیند آنالیز سلسله مراتبی فازی (FAHP)[1] به منظور وزن‌دهی لایه‌ها استفاده شد. در انتها، جهت تلفیق لایه‌های حاصل با استفاده از وزن‌های به دست آمده در بخش قبل، مدل فازی (عملگر فازی Gamma) استفاده گردید. در این مقاله با به کارگیری منطقه‌ای تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در محیط GIS نشان داده شد که مدل ترکیبی به کار رفته از توانایی بالایی برخوردار است.

٤– روش تحقیق و مراحل آن

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است، چرا که تلاشی برای پاسخ دادن به یک معضل و مشکل عملی است که در دنیای واقعی وجود دارد. با توجه به ماهیت موضوع و مؤلفه‌های مورد بررسی، از روش تحقیق اسنادی و میدانی استفاده شده است. به این صورت که در روش اسنادی از دستورالعمل‌های مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و از مقالات و پژوهش‌های علمی محققین استفاده شده است. در مطالعات میدانی و به منظور جمع‌آوری بخش دیگر از اطلاعات مورد نیاز، اقدام به مصاحبه با کارشناسان مسئول سازمان آتش نشانی شهر تهران و همچنین ایستگاه‌های موجود در ناحیه مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

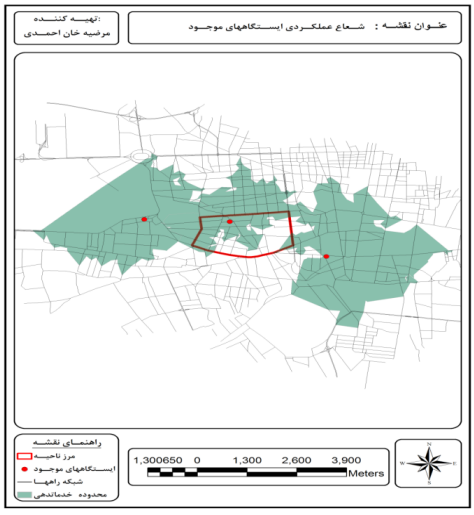
هدف اصلی تحقیق، مکانیابی بهینه تجهیزات شهری با تکیه بر سایت‌های آتش‌نشانی است. بدین منظور پس از شناسایی عوامل مؤثر در مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نقشه‌های معیار تهیه و آماده‌سازی گردید و پایگاه داده در سیستم اطلاعات مکانی تشکیل شد. با استفاده از تلفیق مدل تحلیل سلسله مراتبی[2](AHP) و ارزش گذاری لایه ها با منطق فازی[3] در محیط GIS، روشی جهت مکانیابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی ارایه می‌گردد. الگوریتم فرآیند مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در نمودار ۱ بیان شده است.

نمودار ۱: الگوریتم مکان‌یابی ایستگاه آتش‌نشانی (نگارنده)

۵– محدوده تحقیق

منطقه ۱۰ تهران به سه ناحیه تقسیم‌بندی می‌شود که محدوده مورد مطالعه (ناحیه یک)، از شمال به خیابان کمیل، از شرق به بزرگراه نواب، از جنوب به خیابان قزوین و از غرب به خیابان هرمزان محدود می‌شود (نقشه ۱). این ناحیه با مساحت ۳۳۷ هکتار، دارای جمعیتی معادل ۱۲۳،۵۷۱ نفر بوده که میانگین تراکم جمعیتی در آن ۵۹۰ نفر در هکتار می‌باشد. کلیه شاخص‌های وضعیت مسکن در این ناحیه نشان دهنده شکل‌گیری یک بافت مسکونی بسیار فشرده، تقریباً در تمام نقاط آن است. بررسی نحوه توزیع ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در ناحیه مطالعاتی و ایستگاه‌های اطراف و تعیین شعاع عملکردی استاندارد برای ایستگاه‌ها [4]، نشان می‌دهد که بخش زیادی از ناحیه، خارج از محدوده عملیاتی ایستگاه‌ها بوده که خود دلیل بر کمبود تعداد ایستگاه‌ها جهت پوشش کل فضای ناحیه است و نیاز به مکانیابی و استقرار ایستگاه‌های جدید می‌باشد(نقشه۲). لذا با مشورتی که با کارشناسان آتش‌نشانی صورت گرفت و تأکید ایشان بر آسیب‌پذیری شدید در برابر سوانح در این ناحیه، به عنوان محدوده مورد مطالعه برای مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی انتخاب شد.

نقشه ۱- چارچوب محدوده مورد مطالعه در منطقه ۱۰



نقشه ۲- شعاع عملکردی ایستگاه‌های موجود (نگارنده)

٦- یافته‌های تحقیق

٦-١- تعیین معیارها و زیر معیارهای مؤثر در مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی

با توجه به نظرات مختلف کارشناسان و مهمتر از آن در دسترس بودن اطلاعات از معیارهای مورد نظر، پنج معیار اصلی زیر به منظور مشخص کردن پهنه‌های مستعد برای احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی در ناحیه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است که عبارتند از:

٦-١-١- دسترسی (فاصله از معابر)

یکی از مهمترین معیارها در مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی توجه به عامل دسترسی می‌باشد. قرارگیری ایستگاه‌های آتش‌نشانی در کنار معابر شریانی (درجه ۱و۲) در اولویت می‌باشد چرا که از این طریق سرعت عکس‌العمل ایستگاه‌ها تا حد زیادی بیشتر می‌شود. بنابراین خیابان‌های حوزه مطالعاتی بر اساس سطح سرویس خیابان‌ها (نوع خیابان‌ها) و عرض آنها طبق نظر کارشناسان به سه دسته تقسیم شده‌اند:

معابر درجه ۱: خیابان‌های شریانی درجه یک و با عرض بالای ۳۰ متر

معابر درجه ۲: خیابان‌های شریانی درجه دو و با عرض بین ۲۰ تا ۳۰ متر

معابر درجه ۳: خیابان‌های جمع و پخش‌کننده و با عرض بین ۱۰ تا ۲۰ متر

در این معیار هر چه مکان‌های مورد نظر به معابر نزدیکتر باشند از اهمیت بیشتری برای احداث ایستگاه آتش‌نشانی برخوردار خواهند بود.

٦-١-٢- تراکم جمعیت

بنا به آموزه‌های دینی و اخلاقی با ارزش‌ترین چیزها، جان انسان‌ها می‌باشد و نیز بیشترین آمار آتش‌نشانی مربوط به مناطق مسکونی است. براساس معیار جمعیت، هر کجا که تعداد و تراکم انسان‌ها بیشتر باشد به خدمات بیشتری نیاز خواهند داشت. لذا دوری و نزدیکی سایت‌ها به مناطق با تراکم جمعیتی بیشتر به عنوان یکی از معیارهای مکانیابی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده است.

٦-١-٣- اندازه قطعه زمین

برای احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی، ضوابط فیزیکی بسیاری وجود دارد که یکی از مهمترین آنها اندازه قطعه زمین مورد نیاز برای احداث ایستگاه‌ها می‌باشد. به طور متوسط مساحت‌های بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمربع به منظور ساخت ایستگاه‌ها در بافت‌های پر، ارجحیت دارند.

٦-١-٤- همسایگی‌های ناسازگار

معیارهای ناسازگار معیارهایی هستند که بنا به دلایلی مانند ایجاد ترافیک مانع خدمات‌دهی به موقع نیروهای امدادرسانی می‌شوند و تا حد امکان ایستگاه‌های جدید نباید در مجاورت آنها قرار بگیرند؛ با توجه به کاربری‌های موجود در ناحیه مورد مطالعه برای معیار کاربری‌های ناسازگار سه زیر معیار در نظر گرفته شده است:

مراکز آموزشی، مراکز مذهبی، مراکز درمانی.

٦-١-٥- همسایگی‌های سازگار

پتانسیل ایجاد خطر و حادثه توسط برخی کاربری‌ها بیشتر از سایرین می‌باشد، همچنین خسارت‌های جانی و مالی ناشی از آسیب دیدن و حریق در برخی از کاربری‌ها بسیار زیاد می‌باشد و دامنه وسیعی دارد. سرعت عمل نیروهای آتش‌نشانی در این گونه حوادث باعث کاهش چشم‌گیر ضررهای مالی و جانی می‌شود. در نتیجه نزدیکی سایت‌ها به این گونه کاربری‌ها به عنوان یکی از معیارهای مکانیابی در نظر گرفته شده است. از جمله این کاربری‌ها می‌توان به پمپ بنزین‌ها و سایر محل‌های ذخیره سوخت، کاربری مسکونی، کاربری تجاری، تأسیسات حمل و نقل و انبارها، کاربری اداری

و دولتی، کاربری صنعتی و کارگاهی، مراکز تاریخی و فرهنگی و توریستی و همچنین سایر مراکز با میزان خطر بالا اشاره نمود. در ضمن در مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به همجواری با فضاهای سبز عمومی (پارک‌های ناحیه‌ای و منطقه‌ای)، پارکینگ عمومی و فضاهای ورزشی (ناحیه‌ای و منطقه‌ای) تأکید می‌شود.

٦-٢- جمع‌آوری و آماده‌سازی داده

در فرآیند مکانیابی، اولین مرحله از مراحل عملی تحقیق استخراج لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز می‌باشد. اطلاعات مربوط به ناحیه مطالعاتی از قبیل شبکه معابر، جمعیت، انواع کاربری‌های اراضی موجود، مساحت هر کدام از کاربری‌ها و... با فرمت Shap file در مقیاس ۱/۲۰۰۰ از شهرداری منطقه ۱۰ تهیه و جمع‌آوری شد. اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های موجود در ناحیه مطالعاتی و ایستگاه‌های اطرافی که این ناحیه در محدوده خدماتی آنها قرار می‌گیرد، از قبیل موقعیت و نوع آنها، از ستاد فرماندهی آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهر تهران جمع‌آوری شد. همچنین از تصویر ماهواره‌ای Quickbird سال ۱۳۸٦، برای دید یکپارچه منطقه و از بین بردن برخی از ناسازگاری‌ها بین نقشه‌های شهری و واقعیت زمینی استفاده شد.

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، بایستی تمامی لایه‌ها زمین مرجع گردیده و سیستم مختصات WGS-1984-UTM-ZONE-39N به آنها اختصاص داده شود و برای انجام مراحل بعدی وارد پایگاه داده GIS می‌شوند.

از میان معیارهای ذکر شده سه معیار دسترسی (فاصله از معابر)، همسایگی‌های ناسازگار و همسایگی‌های سازگار به دلیل اینکه معیار مورد نظر، فاصله از مراکز و پهنه‌ها می‌باشد بایستی لایه رستری فاصله[٥] از آنها تولید شود و در دو معیار دیگر یعنی تراکم جمعیت و اندازه قطعه زمین، نقشه‌ها جهت تجزیه و تحلیل به فرمت رستری تبدیل شوند که با استفاده از دستورات و توابع اکستنشن spatial Analyst نظیر distance و convert features to raster و ... در نرم‌افزار ArcGIS9.3 انجام می‌گیرد.

٦-٣- وزن‌دهی به معیارها و زیر معیارها

در طول مطالعات با نظرسنجی که از کارشناسان صورت گرفت مشخص شد که این معیارها در مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی تأثیر متفاوتی دارند. لذا بایستی بر اساس تأثیر و اهمیت آنها به معیارها وزنی متفاوت داد. بدین منظور وزن معیارها و زیر معیارها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با استفاده از نرم‌افزار Expert choice به دست می‌آید. لازم به ذکر است که نرم‌افزار فوق بر پایه روش AHP طراحی شده و قابلیت‌های زیادی در این حوزه دارد.

در این مرحله ابتدا با تشکیل ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها میزان اهمیت هر یک از معیارها نسبت به یکدیگر، مطابق جدول شماره ۱ که توسط پروفسور ساعتی[٦] ابداع شده است، به صورت دوبه دو مقایسه می‌شوند. اگر المان‌های ماتریس مقایسه زوجی را با a_{ij} نشان می‌دهیم. در روش AHP فرض بر این است که $a_{ij}=(a_{ji})^{-1}$ می‌باشد. بنابراین واضح است در صورتی که $i = j$ باشد، آن گاه $a_{ij} = 1$ خواهد بود.

جدول ۱- مقیاس نُه کمیتی پروفسور ساعتی برای مقایسه زوجی معیارها

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف، دو معیار اهمیت مساوی دارند.
۳	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت i کمی بیشتر از j است .
۵	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می دهد که اهمیت i بیشتر از j است .
۷	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می دهد که اهمیت i خیلی بیشتر از j است .
۹	اهمیت مطلق	اهمیت i نسبت به j به طور قطعی به اثبات رسیده است.
۲،۴،۶،۸	مقادیر بینابین	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد.

(قدسی‌پور، ۱۳۹۱: ۱۴)

عوامل مؤثر در مکانیابی ایستگاه‌ها دارای دو سطح می‌باشند. سطح اول مربوط به معیارها و سطح دوم مربوط به زیر معیارها است؛ که سه معیار دسترسی، همسایگی‌های ناسازگار و همسایگی‌های سازگار دارای زیر معیار و در نتیجه دو سطح می‌باشند. جدول مقایسه دوتایی برای سطوح مختلف ایجاد و در قالب پرسشنامه بین تعدادی از کارشناسان آتش‌نشانی توزیع شد. نتیجه نهایی این مقایسات با استفاده از میانگین‌گیری در جداول ۲ تا ۵ دیده می‌شود:

جدول ۲- مقایسات دوتایی زیر معیارهای دسترسی در سطح دوم

دسترسی	معابر درجه۱	معابر درجه ۲	معابر درجه۳
معابر درجه ۱	۱	۲	۳
معابر درجه ۲	۱/۲	۱	۲
معابر درجه۳	۱/۳	۱/۲	۱

(یافته‌های تحقیق)

جدول ۳- مقایسات دوتایی زیر معیارهای همسایگی‌های ناسازگار در سطح دوم

همسایگی ناسازگار	کاربری آموزشی	کاربری درمانی	کاربری مذهبی
کاربری آموزشی	۱	۲	۲
کاربری درمانی	۱/۲	۱	۲
کاربری مذهبی	۱/۲	۱/۲	۱

(یافته‌های تحقیق)

پس از جمع‌آوری نظرات کارشناسان و به منظور جلوگیری از ورود برخی از نظرات احتمالی غیر کارشناسی بایستی سازگاری در قضاوت‌های

جدول ۴- مقایسات دوتایی زیر معیارهای همسایگی‌های سازگار در سطح دوم

همسایگی سازگار	مراکز مسکونی	پمپ بنزین وگاز	فضای سبز عمومی	پارکینگ‌های عمومی	مراکز ورزشی	مراکز صنعتی	مراکز انبارداری	مراکز تجاری	مراکز اداری	تاریخی_ فرهنگی
مراکز مسکونی	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۷	۸
پمپ بنزین وگاز	۱/۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۴	۵
فضای سبز عمومی	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۴	۵
پارکینگ‌های عمومی	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۵
مراکز ورزشی	۱/۴	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱	۲	۲	۳	۳	۴
مراکز صنعتی	۱/۴	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۳	۳	۴
مراکز انبارداری	۱/۵	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۲	۳	۴
مراکز تجاری	۱/۶	۱/۳	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۳
مراکز اداری	۱/۷	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۲
مراکز تاریخی_فرهنگی	۱/۸	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱

(یافته‌های تحقیق)

جدول ۵- مقایسات دوتایی معیارهای اصلی در سطح اول

مکانیابی ایستگاه‌ها	تراکم جمعیت	دسترسی	همسایگی‌سازگار	همسایگی‌ناسازگار	اندازه زمین
تراکم جمعیت	۱	۲	۲	۳	۴
دسترسی	۰/۵	۱	۲	۳	۳
همسایگی‌های سازگار	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۳
همسایگی‌های ناسازگار	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳	۰/۵	۱	۲
اندازه قطعه تفکیکی	۰/۲۵	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳	۰/۵	۱

(یافته‌های تحقیق)

انجام شده بررسی گردد. به همین دلیل، ساعتی (۱۹۸۰) یک اندکس عددی منحصر به فرد برای بررسی استحکام ماتریس مقایسه دوبه دو مهیا کرد. نسبت استحکام (CR)[۷] به عنوان نسبت، اندکس استحکام (CI)[۸] بر اندکس میانگین (RI)[۹] تعریف شد:

$$\mathbf{CR} = \frac{\mathbf{CI}}{\mathbf{RI}}$$

ساعتی (۱۹۸۰) مقدار اندکس میانگین (RI)، را که برخی از مؤلفان به آن اندکس تصادفی نیز می‌گویند، به عنوان میانگین استحکام ماتریس‌های مربعی از مرتبه‌های مختلف که با مقادیر کاملاً تصادفی مقداردهی شده بودند، محاسبه کرد. بنابراین مقادیر استحکام متوسط این ماتریس‌ها از پیش تعیین شده‌اند. مقدار اندکس استحکام مستقیماً از ماتریس مقایسه و با استفاده از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$\mathbf{CI} = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

که در آن λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه و n مرتبه ماتریس می‌باشد. طبق دانش و تجربیات حاصل از عملی کردن‌های مختلف

AHP، ساعتی پیشنهاد کرد که اگر نسبت استحکام از مقدار «۰/۱» تجاوز کند، نیاز است که ماتریس مقایسه بازنگری شود.

میزان ضریب سازگاری(CR) ماتریس‌های مقایسه زوجی فوق در نرم‌افزار Expert choice محاسبه گردید و نتایج آن عبارتند از: ۰/۰٤=جدول ۲ CR و ۰/۰۰۸ =جدول ۳ CR و ۰/۰۵ =جدول ٤ CR و ۰/۰۲ =جدول ۵ CR . با توجه به این نکته که مقادیر مذکور باید کوچکتر و یا مساوی ۰/۱ باشد، پذیرفتنی هستند و ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها به دست آمده از روش AHP به طور خلاصه در جدول شماره ٦ دیده می‌شود:

٦-٤- ارزش‌گذاری لایه‌ها (مدل منطق فازی)

در فرآیند تصمیم‌گیری، پهنه بهینه محدوده‌ای است که در بررسی مجموع عوامل و معیارهای شناسایی دارای بهترین شرایط باشد. در این مرحله بایستی شرایطی فراهم شود تا جمع کلیه شاخص‌های مؤثر امکان‌پذیر باشد. بنابراین باید ارزش محدوده‌های شهر از لحاظ هر یک از شاخص‌ها به صورت کمی با واحد یکسان با سایر شاخص‌ها مشخص گردد، روش منتخب به منظور ارزش‌گذاری لایه‌های موضوعی، منطق فازی است.

منطق فازی توسط پرفسور ایرانی به نام عسگر لطفی‌زاده به عنوان ابزاری برای موقعیت‌هایی با عدم اطمینان معرفی گردید. یکی از سطوح بسیار مهم در روش تجزیه و تحلیل‌های مکانیابی این است که فرضیه‌ی اطمینان از دقت و صحت داده‌های ورودی به طور کامل غیر واقعی است. بدین منظور بایستی از ابزارهای ساده‌سازی نظیر منطق فازی برای مصالحه بین اطلاعات در دسترس GIS و میزان عدم قطعیت قابل قبول استفاده کرد.

جدول۶- ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها از روش AHP و با استفاده از نرم‌افزار Expert choice

عنوان	معیار	وزن	زیرمعیار	وزن
مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی	کاربری‌های سازگار	۰/۱۸۳	مراکز مسکونی	۰/۲۷۷
			پمپ بنزین و گاز	۰/۱۵۲
			فضای سبز عمومی	۰/۱۴۳
			پارکینگهای عمومی	۰/۱۲۴
			مراکز ورزشی	۰/۰۸۷
			مراکز صنعتی	۰/۰۷۲
			مراکز انبارداری	۰/۰۵۸
			مراکز تجاری	۰/۰۳۹
			مراکز اداری	۰/۰۲۹
			مراکز تاریخی_فرهنگی	۰/۰۲۱
	کاربری‌های ناسازگار	۰/۱۰۹	کاربری آموزشی	۰/۴۹۳
			کاربری درمانی	۰/۳۱۱
			کاربری مذهبی	۰/۱۹۶
	دسترسی	۰/۲۶۷	معابر درجه ۱	۰/۵۴۰
			معابر درجه ۲	۰/۲۹۷
			معابر درجه ۳	۰/۱۶۳
	تراکم جمعیت	۰/۳۶۹		
	اندازه قطعه زمین	۰/۰۷۲		

با استفاده از توابع عضویت فازی که تعداد و نوع آنها بر اساس نظر کارشناسان انتخاب می‌گردد، محدوده مورد مطالعه در هر یک از لایه‌ها در فاصله‌ای بین ۰ تا ۱ ارزش‌گذاری می‌شود؛ که هر چه ارزش یک سلول به یک نزدیکتر باشد نشان دهنده دارا بودن ویژگی‌های مکان بهینه بر اساس آن شاخص است.

به عبارت دیگر هدف استفاده از توابع عضویت برای هر معیار، اعمال وزندهی تدریجی و پیوسته برای آن معیار می‌باشد. در واقع وزن هر پیکسل منوط به مقدار عضویت آن پیکسل در مجموعه فازی تعیین می‌گردد. توابع اختصاص داده شده همگی از نوع خطی بوده و در نرم‌افزار ArcGIS9.3توسط ابزار Spatial Analyst قسمت Raster Calculator ساخته می‌شوند.

توابع عضویت فازی برای هر یک معیارها عبارتند از:

معیار همسایگی های ناسازگار	
مراکز آموزشی	
مراکز درمانی	$w_i = \begin{cases} 1 - \frac{500}{dd_i} & dd_i \geq 500 \\ 0 & other \end{cases}$
مراکز مذهبی	

معیار دسترسی	
معابر درجه ۱	$w_i = \begin{cases} 1 - \frac{d1_i}{500} & d1_i \leq 500 \\ 0 & other \end{cases}$
معابر درجه ۲	$w_i = \begin{cases} 1 - \frac{d2_i}{300} & d2_i \leq 300 \\ 0 & other \end{cases}$
معابر درجه ۳	$w_i = \begin{cases} 1 - \frac{d3_i}{200} & d3_i \leq 200 \\ 0 & other \end{cases}$

در روابط فوق:

wi : وزن فازی سلول **i**

ti : ارزش سلول **i** در لایه تراکم جمعیت

ai : ارزش سلول **i** در لایه اندازه زمین

d()i : فاصله سلول **i** از لایه مورد نظر

(نگارنده)

معیار تراکم جمعیت	
تراکم جمعیت	$w_i = \begin{cases} \frac{t_i}{1300} & t_i \leq 1300 \\ 1 & other \end{cases}$

معیار اندازه زمین		
اندازه زمین	$w_i = \begin{cases} 0 & a_i < 1000 \\ \frac{a_i}{3000} & 1000 \leq a_i \leq 3000 \\ \frac{3000}{a_i} & a_i > 3000 \end{cases}$	

معیار همسایگی‌های سازگار	
فضای سبز- پارکینگ‌ها- مراکز ورزشی	$w_i = \begin{cases} 1 - \frac{d1_i}{500} & d1_i \leq 500 \\ 0 & other \end{cases}$
پمپ بنزین- مراکز تاریخی	$w_i = \begin{cases} 1 - \frac{d2_i}{800} & d2_i \leq 800 \\ 0 & other \end{cases}$
مراکز تجاری- مسکونی	$w_i = \begin{cases} 1 - \frac{d3_i}{200} & d3_i \leq 200 \\ 0 & other \end{cases}$
مراکز اداری- صنعتی- انبارداری	$w_i = \begin{cases} 1 - \frac{d4_i}{500} & d4_i \leq 500 \\ 0 & other \end{cases}$

توابع عضویت فازی برای هر یک معیارها

(نگارنده)

۶-۵- همپوشانی و تلفیق نهایی لایه‌ها

جهت تلفیق معیارهای فازی شده با توابع عضویت فازی و وزن‌های به دست آمده با روش AHP، روش ترکیب خطی وزن‌دار[۱۰](WLC) مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون معیارهای مورد نظر در دو سطح (معیار و زیرمعیار) می‌باشند ابتدا این روش را در سطح دوم به کار برده و مناطق مستعد احداث ایستگاه آتش‌نشانی را از نظر دسترسی، همسایگی‌های ناسازگار و همسایگی‌های سازگار به دست می‌آوریم. با توجه به روش انتخاب شده جهت تلفیق، برای هر یک از معیارهای فوق وزن به دست آمده با روش AHP هر زیرمعیار در ارزش هر یک از پیکسل‌ها در لایه فازی شده آن زیرمعیار، ضرب شده و ارزش‌گذاری نهایی پهنه‌ها از نظر آن زیرمعیار به دست می‌آید و در نهایت تمام لایه‌های بدست آمده برای یک معیار با هم جمع شده و ارزش نهایی هر یک از پیکسل‌های آن بدست می‌آید.

پس از تلفیق لایه‌ها در سطح دوم نوبت به تلفیق لایه‌ها در سطح اول یا همان تلفیق نهایی لایه‌های تولید شده می‌رسد. با ضرب وزن‌های حاصل از AHP هر معیار در لایه‌های نهایی ارزش‌گذاری شده (فازی) آن معیار، ارزش‌گذاری نهایی پهنه‌های ناحیه از نظر آن معیار به دست می‌آید و با حاصل جمع تمام لایه‌های بدست آمده ارزش نهایی هر یک از پیکسل‌ها از نظر تمامی معیارهای مؤثر بدست می‌آید. توضیحات فوق در قالب فرمول‌های زیر بیان می‌شود:

۱- مرحله اول تلفیق زیر معیارها

$$W_{Fij} = \sum_{k=1}^{m} w_{fik} \times w_{ak}$$

که در آن:

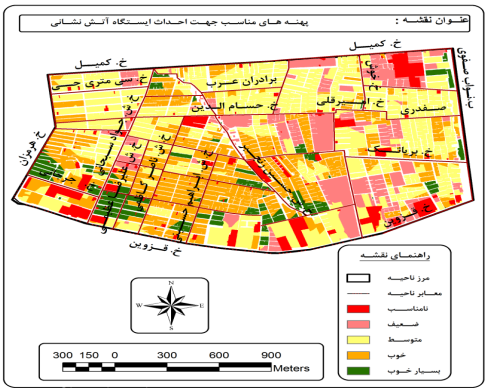
m: تعداد زیرمعیارهای معیار j و W_{fik}: وزن فازی سلول i زیرمعیار k و W_{ak}: وزن AHP زیرمعیار k و W_{Fij}: وزن فازی سلول i معیار j می‌باشد.

۲- مرحله دوم تلفیق نهایی لایه‌ها

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} W_{Fij} \times W_{Aj}$$

که در آن:

n: تعداد معیارهای مورد نظر و W_{Fij}: وزن فازی سلول i معیار j و W_{Aj}: وزن AHP معیار j و A_i : ارزش نهایی سلول i می‌باشد.



نقشه۳- پهنه‌های مناسب جهت احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی(نگارنده)

گام بعدی در شناسایی پهنه‌های مناسب احداث ایستگاه آتش‌نشانی حذف بعضی از کاربری‌ها و مناطق از نقشه تلفیق نهایی لایه‌ها می‌باشد که تحت عنوان کاربری نامناسب از آنها یاد می‌شود. از مهمترین دلایل حذف این مکان‌ها می‌توان معیارهای اقتصادی از جمله هزینه تخریب و قیمت بالای این اماکن، معیارهای سیاسی و ... را نام برد. مهمترین کاربری‌های ناسازگار که می‌توان نام برد عبارتند از: پهنه‌های اداری و دولتی، مراکز تجاری عمده و بالای سه طبقه، مراکز فرهنگی مانند مساجد و حسینیه‌ها، بیمارستان‌ها و مراکز توریستی و محدوده ممنوع اطراف آنها و سطوح خیابان‌ها را نام برد. نقشه شماره ۳ پهنه‌های مناسب جهت احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نقشه حاصل از تلفیق تمامی معیارها و حذف کاربری‌های نامناسب، را نشان می‌دهد.

خروجی فوق بیان می‌دارد که بلوک‌هایی که سبز رنگ می‌باشند از ارزش مکانی خوبی برای احداث ایستگاه آتش‌نشانی برخوردارند و هر چه این ارزش کمتر می‌شود به سمت رنگ قرمز پیش می‌رود. این نقشه حاصل ترکیب و تلفیق ضوابط مختلف، با اعمال اوزان منطقی می‌باشد. اما صرف تکیه بر نتایج این نقشه، عملاً نمی‌تواند کارایی لازم را جهت مکانیابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی داشته باشد. یکی دیگر از تحلیل‌هایی که قبل از تهیه نقشه خروجی، به عنوان ماحصل تحقیق، مورد نیاز است، تعیین محدوده خدماتی ایستگاه‌های موجود است، که به کمک تحلیل شبکه[۱۱] در محیط GIS تعیین می‌شود.

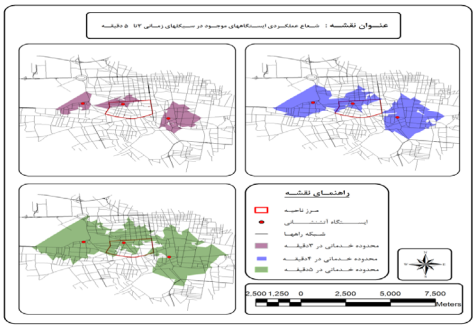
٦-٦- تعیین محدوده خدماتی ایستگاه‌ها

به منظور ایجاد و برقراری شبکه، بایستی پایگاه داده مربوط به لایه راه‌ها تکمیل گردد و در آن اطلاعات جامع و کاملی از چگونگی اتصالات خطوط شبکه جمع‌آوری گردد. بدین منظور برخی از داده‌های ضروری در ارتباط با وضعیت شبکه راه‌ها به جداول اطلاعات توصیفی معابر اضافه گردید. از جمله این اطلاعات می‌توان به مواردی مانند نوع خیابان از نظر ماهیت (بزرگراه، خیابان اصلی، فرعی، کوچه)، یکطرفه یا دوطرفه بودن مسیر حرکت در خیابان[۱۲]، طول خیابان، سرعت متوسط ماشین‌های آتش‌نشانی و مدت زمان طی مسیر آن خیابان اشاره کرد. لازم به ذکر است که سرعت متوسط وسایل نقلیه در خیابان‌های مختلف و همچنین مدت زمان طی مسیر یک مقطع طولی از خیابان (در اوج بار ترافیک شبکه شهری، ساعت۱۱/۵ صبح) در قالب عملیات میدانی به دست آمد. پس از ورود داده‌های مورد نیاز به سیستم، مرحله بعد، تهیه شبکه از عوارض بود که در نرم‌افزار ARC GIS9.3 ایجاد شد.

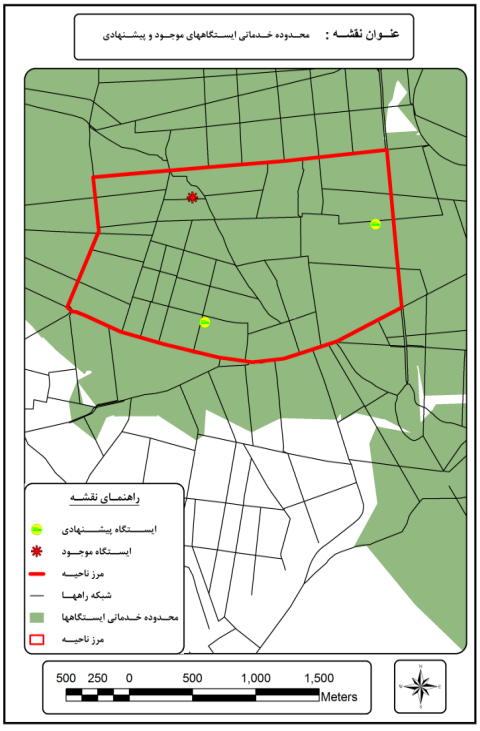
پس از ایجاد شبکه شهری، شعاع عملکردی ایستگاه‌های موجود در سیکل‌های زمانی ۳تا ۵ دقیقه، به کمک تحلیل شبکه در محیط GIS تعیین شد(نقشه ٤). نتایج حاصل از این آنالیز، کمک زیادی به مکانیابی ایستگاه‌ها نمود؛ زیرا مناطق مختلف شهر، از نظر میزان برخورداری از خدمات ایستگاه‌ها، از یکدیگر تمیز داده شدند.

طبق استانداردهای سازمان آتش‌نشانی این ناحیه با توجه به جمعیت بالای ۱۲۰ هزار نفر و وجود کاربری‌های گوناگون شهری نیازمند سه ایستگاه آتش‌نشانی می‌باشد ***(http://www.NFSI.org)***. با توجه به وجود یک ایستگاه در محدوده مورد مطالعه، با نظر کارشناسانه در خارج از شعاع عملکردی این ایستگاه‌ها و در فاصله مناسبی از آنها، دو سایت که امتیاز

بالایی برای استقرار ایستگاه داشتند (استفاده از نقشه ۳) و کل ناحیه را در زمان استاندارد با کمترین همپوشانی (به کمک تحلیل شبکه، نقشه ٤)، تحت پوشش قرار می‌دهند؛ به عنوان ایستگاه‌های آتشنشانی پیشنهادی در ناحیه مورد مطالعه تعیین شدند(نقشه ۵).



نقشه ۴- شعاع عملکردی ایستگاه‌های موجود در سیکل‌های زمانی ۳تا ۵ دقیقه (نگارنده)

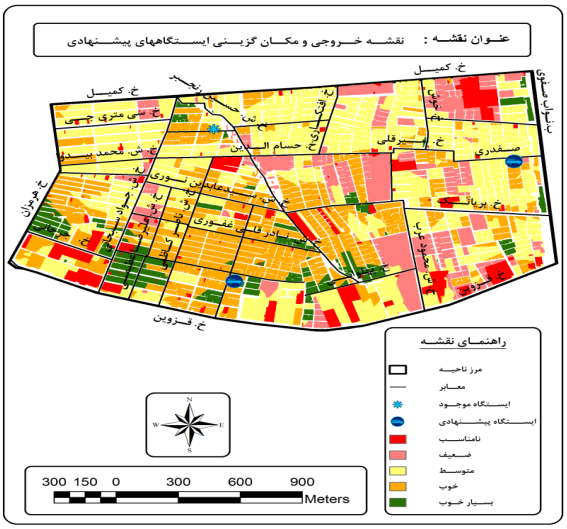


نقشه ۵- محدوده خدماتی ایستگاه‌های موجود و پیشنهادی (نگارنده)

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

یکی از مسائل مهم تخصیص منابع شهری، انتخاب مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی به منظور ارائه خدمات بهتر و نجات جان افراد در سوانح است. این پژوهش سعی داشته است کارایی به کارگیری تلفیقی منطق ارزش‌گذاری لایه‌ها را با مدل AHP در محیط GIS نشان دهد. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتایج حاصل از این تحقیق را به صورت زیر بیان نمود:

- با بررسی فاکتورهای موجود و مؤثر در استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی و همچنین نحوه توزیع ایستگاه‌های موجود در ناحیه مطالعاتی و ایستگاه‌های اطراف 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. با توجه به جمعیت بالای ۱۲۰ هزارنفری ناحیه و وجود تنها یک ایستگاه و همچنین امکانات شهرداری، نیاز به احداث دو ایستگاه جدید در این ناحیه می‌باشد.
- به کارگیری مدل (AHP) با استفاده از ابزار توانمند (GIS) در مکانیابی ایستگاه‌های آتش نشانی (به طور کلی در انتخاب مکان بهینه یک سایت) کارآیی بالایی دارد. این کارآیی بخاطر امکان مقایسه و ارزیابی مکان‌های مختلف و انتخاب مکان بهینه با توجه به معیارهای مورد نظر می‌باشد.
- فازی‌سازی در مورد پدیده‌ها و عوارضی که در آنها عدم اطمینان موجود است، در شرایطی که توابع فازی به صورت مناسب انتخاب شوند، می‌تواند راه حل مناسبی در شناسایی مناطق هدف در مسائل مکانیابی شهری باشند و منجر به ایجاد نقشه‌های خروجی دقیق‌تری از هدف در جهان واقعی شود.



نقشه ۶- مکانیابی ایستگاه‌های پیشنهادی بهینه (نگارنده)

- 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 کاربری نامناسب (از جمله‌ی این کاربری‌ها می‌توان به مراکز اصلی تجاری و اداری، بیمارستان‌ها، مساجد، سطح خیابان‌ها و ... اشاره نمود واز دلایل حذف آنها می‌توان به معیارهای اقتصادی از جمله هزینه تخریب، قیمت بالای این

اماکن، معیارهای سیاسی و ... را نام برد)، 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 مورد نظر، کارآیی بالایی دارد و می‌تواند حاکی از نقش بالای GIS در مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده زمانی و مکانی باشد.

• ماشین‌های آتش‌نشانی، مجاز به عبور از خیابان‌های یکطرفه می‌باشند. اما با توجه به بررسی‌های میدانی، عملاً در بسیاری از مسیرها، به دلیل کم عرض بودن خیابان‌های ناحیه مورد مطالعه، استفاده از خیابان‌های یکطرفه در خلاف مسیر حرکت ماشین‌های آتش‌نشانی، مقدور نمی‌باشد. لذا می‌بایست تمهیداتی نسبت به بهسازی و عریض نمودن خیابان‌ها به منظور بالا بردن سرعت ماشین‌های آتش‌نشانی در معابر بافت اندیشیده شود.

۸-پیشنهادات و راهکارها

پیشنهادات و راهکارهای قابل ارائه برای پیشبرد نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

• ارزش‌گذاری لایه‌ها با استفاده از سایر روش‌های فازی‌سازی نظیر، Near Gaussian، ... (در این تحقیق جهت ارزش‌گذاری لایه‌ها از روش فازی‌سازی خطی استفاده شده است)

• تهیه برنامه الحاقی[۱۳] در GIS براساس منطق فازی و انجام تمام عملیات مربوط به فازی کردن لایه‌ها و تلفیق آنها با در نظر گرفتن تابع عضویت برای خروجی مدل

• استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی[۱۴] به منظور تعیین وزن هر یک از پارامترهای مؤثر بر مکانیابی ایستگاه‌ها و تولید توابع عضویت فازی

• استفاده از سایر روش‌ها جهت ترکیب لایه‌ها نظیر روش مبتنی بر وزن‌دهی جمعی فازی (FSWA)[۱۵]، روش میانگین مرتب شده وزنی (OWA)[۱۶]، استفاده از عملگرهای فازی و ...

• استفاده از روش سلول‌های خودکار[۱۷] در جهت ارزیابی و بررسی مسیر توسعه آتی شهر، می‌تواند قابلیت‌های GIS را در جهت مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به منظور استفاده در زمان‌های طولانی‌تر، جهت‌دهی نماید. پیشنهاد می‌شود، در مطالعه‌ای جداگانه، به بررسی مسیر توسعه شهر با استفاده از این روش پرداخته شود.

• در این پژوهش، تنها به بررسی پارامترهای مکانی مؤثر بر مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی پرداخته شد و پارامتر زمانی ساعت درخواست کمک برای اطفای حریق و بازه‌های زمانی این درخواست‌ها، به دلیل دراختیار قرار ندادن این داده‌ها از سوی سازمان آتش‌نشانی، حذف گردید. لذا برای انجام کارهای آینده پیشنهاد می‌شود که با در نظر گرفتن پارامترهای زمانی، بتوان اقدامات مؤثرتری در انتخاب هر چه بهتر مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی انجام داد.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی مربوط به مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی از معیارها و پارامترهای بیشتری از جمله هزینه املاک، هزینه احداث ایستگاه و در نهایت مینیموم کردن این دو پارامتر، در نتایج تحقیق استفاده گردد.

منابع و مآخذ

۱- سایت جامع آتش‌نشانی ایران (*http://www.NFSI.org*)

۲- فروتن مقدم، متین، و وحیدنیا، محمدحسن، و مهرمنش، امین، ۱۳۸۸، تعیین مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، همایش و نمایش ملی ژئوماتیک ۸۸، سازمان نقشه‌برداری کشور.

۳- قدسی‌پور، سیدحسن، ۱۳۹۱، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، چاپ دهم، تهران.

4- Badri, M.A, & Mortagy, A.K, & Alsayed, C.A, 1998, A multi objective model for locating fire station, European Journal of Operational Research, volume 110, part 18, pp.243-260.

5- Chen, Chi, & Ren, Aizhu, 2003, Optimization of fire station location using computer, J T singhua Univ (Sci&Tech), volume 43, part 10, pp.1390-1393.

6- Saaty, T.L, 1980, The Analytic Hierachy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill, New York, NY, 437 pp.

7- Vafai, F, & Hadipour, V, & Hadipour, A, 2012, Determination of shoreline sensitivity to oil spills by use of GIS and fuzzy model, case study the coastal areas of Caspian Sea in north of Iran. Ocean and Coastal Management.

8- Yan, Yu, & Qingsheng, Quo, & Xinming, Tang, Gradual optimization of urban fire station location based on geographical network, available at: http://isprs-wgii-1.casm.ac.cn/source. Access time July 2011.

9- Yang, Lily, & jones, Brayan, & Yang, Hua, 2007, A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station location through genetic algorithms, European Journal of Operational Research, volume 181,pp.903-915.

پی‌نوشت

1-Fuzzy AHP

2- Analytic Hierarchy Process

3- Fuzzy Logic

٤-تعیین محدوده خدماتی ایستگاه‌های موجود به کمک تحلیل شبکه در محیط GIS تعیین شد.

۵- نقشه فاصله معمولاً برای لایه‌های برداری ایجاد می‌گردد. خروجی این عمل می‌تواند یک لایه رستری باشد که مقدار اختصاص یافته به هریک از پیکسل‌های آن نشان دهنده فاصله پیکسل مورد نظر تا نزدیکترین عارضه موجود در لایه‌برداری می‌باشد.

6- Thomas L.Saaty

7- Consistency Ratio

8-Consistency Index

9- Ratio Index

10- Weighted Linear Combination

11- Network Analyze

۱۲- ماشین‌های آتش‌نشانی، مجاز به عبور از خیابان‌های یک طرفه می‌باشند. اما با توجه به بررسی‌های میدانی، عملاً در بسیاری از مسیرها، به دلیل کم عرض بودن خیابان‌های ناحیه مورد مطالعه، استفاده از خیابان‌های یک طرفه در خلاف مسیر حرکت ماشین‌های آتش‌نشانی، مقدور نمی‌باشد. لذا در تحلیل شبکه نوع خیابان‌ها براساس یک‌طرفه و دوطرفه بودن از هم تمیز داده شده است.

13- Extensions

14- Artificial Neural Network

15- Fuzzy Additive Weighting Method

16- Ordered Weighted Averaging

17- Cellular Automata