

دوفصلنامه علمی - پژوهشی

«جغرافیای اجتماعی شهری»

دانشگاه شهید باهنر کرمان

سال ۵، شماره ۱، پیاپی ۱۲، بهار و تابستان ۱۳۹۷

ارزیابی پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی با مدل‌سازی تحلیل شبکه

(مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران)^۱

دکتر اسماعیل صالحی

دانشیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مهندس سیده آل محمد^۲

دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر مجید رضائی مهران

دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کارایی خدمات آتش‌نشانی در سطح کلان‌شهرها، کاهش زمان رسیدن به محل حادثه است. این موضوع باید در مکان‌یابی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شود. توزیع مکانی ایستگاه‌ها باید به نحوی باشد که ارائه خدمات به طور عادلانه و در کم‌ترین زمان ممکن صورت پذیرد. با استفاده از مدل‌سازی تحلیل شبکه دسترسی به خدمات آتش‌نشانی و با در نظر گرفتن سرعت و جهت حرکت در بخش‌های مختلف این شبکه، می‌توان محدوده خدمات‌رسانی هر ایستگاه را با تعریف محدوده زمانی تعیین نمود. هدف این پژوهش، ارزیابی توزیع مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی کلان‌شهر تهران با استفاده از مدل‌سازی تحلیل شبکه است؛ همچنین روش پژوهش حاضر، به صورت تحلیلی - توصیفی بوده و بر پایه مفاهیم تئوری گراف ارائه شده است. به منظور ارزیابی توزیع مکانی، مناطق مختلف از نظر دسترسی به این خدمات، مورد مقایسه قرار گرفته و نواحی خارج از محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی برای توسعه آتی، مشخص گردیده‌اند. بر اساس نتایج، منطقه ۱۰ بیش‌ترین و منطقه ۲۱ کم‌ترین نسبت محدوده خدمات‌رسانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را دارند.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه‌های آتش‌نشانی، تحلیل شبکه، توزیع مکانی، تهران.

مقدمه

مدیریت بحران فقط واکنش در هنگام رخداد بحران نیست؛ بلکه فرآیندی پیشگیرانه برای آمادگی در مقابل بحران است (سوری، ۱۳۹۴: ۹۸). امروزه جمعیت متراکم و توسعه شدید کلان‌شهرها، نیازمند مجموعه تمهیداتی در جهت پوشش‌دهی کل سطح شهر با سیستم ایمنی مناسب است. کارایی تخصیص خدمات شهری به ویژه در شرایط بحران، نیازمند دسترسی سریع، به موقع و ارزان است. هر یک از این خدمات، باید نسبت به یکدیگر مکان مناسبی داشته باشند (علوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۸).

خسارات ناشی از حوادث آتش‌سوزی غیرمترقبه در منازل مسکونی، هر ساله حدود ۰/۱ تا ۰/۴ درصد از تولید ناخالص ملی هر کشور است (ویلموت، ۲۰۰۲: ۹). از سوی دیگر، هزینه‌های احداث، نگهداری و بهره‌برداری ایستگاه‌های آتش‌نشانی در مقایسه با سایر خدمات، پرهزینه‌ترین است (مورای، ۲۰۱۳: ۶۴)؛ همچنین، به دلیل مسائل دسترسی و ترافیک بالا، زمان پاسخ‌گویی به آتش‌سوزی طولانی شده و تلفات افزایش می‌یابد (هرا و آنتونی، ۲۰۱۱: ۳۶۷)؛ به همین سبب، برای خدمات‌رسانی مطمئن ایستگاه‌های آتش‌نشانی، پراکنش متعادل آن‌ها ضروری است (هورتن، ۲۰۰۶: ۱).

مکان‌یابی کارآمد ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نیازمند در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل است که کاهش زمان یا فاصله سفر مهم‌ترین آن‌هاست (لی‌لی و همکاران، ۲۰۰۷: ۹۰۳)؛ اما توجه کمی صرف به ساخت و استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی و عدم توجه به وضعیت توزیع مکانی، امداد‌رسانی به موقع را کاهش می‌دهد (جانسون، ۲۰۰۰: ۱)؛ از این رو، بهینه‌سازی توزیع مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، یکی از چالش‌های پیش روی برنامه‌ریزان شهری به حساب می‌آید (شوالبر و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۷۳).

انتخاب مکان مراکز خدمات‌رسانی، باید به گونه‌ای صورت پذیرد که با گذشت زمان از مطلوبیت آن کاسته نشود یا تغییر چندانی نداشته باشد (رنجبر و همکاران، ۲۰۱۶: ۹۱)؛ اما سیاست کلی ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی در ایران، نامناسب است؛ به نحوی که برای ایجاد هر ایستگاه در محدوده‌های شهری، بیشتر ارزش زمین از نظر عدم وجود کاربری و مالکیت مورد توجه قرار گرفته‌است (ایمانی جاجرمی، ۱۳۷۵: ۵).

مدیریت بحران، نیازمند سیاست‌های مداخله‌گرانه برای کاهش زمان دسترسی مراکز خدمات‌رسانی به محل حادثه است. این امر، تنها با بهینه‌سازی سیستم پاسخ‌گویی به بحران در مقیاس منطقه‌ای ممکن می‌گردد (اریکا و جاناتان، ۲۰۱۳: ۳۲). به دلیل روند فزاینده رشد جمعیت شهری در کشورهای در حال توسعه، باید وضع موجود پراکنش مراکز خدمات‌رسانی در سطح مناطق شهری و کلان‌شهرها تجزیه و تحلیل گردد (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۹۸).

با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه شتاب‌زده و غیرمنطقی کلان‌شهر تهران و همچنین حاکم شدن اقتصاد بازار و افزایش سهم نسبی کاربری‌های مسکونی نسبت به خدمات عمومی، دخالت دولت و برنامه‌ریزی برای گسترش عدالت اجتماعی و دسترسی یکسان و متعادل خدمات، امری ضروری است. در این

راستا، برنامه‌ریزان سعی دارند با ارائه الگوی مناسب مکان‌یابی کاربری زمین در راستای تأمین رفاه، آسایش و ایمنی شهروندان و در نتیجه، زیست‌پذیری بهتر گام بردارند (ولی‌زاده، ۱۳۸۴: ۷). در کلان‌شهر تهران، در اغلب موارد، شبکه ایستگاه‌های آتش‌نشانی با ضرب‌العجل و بدون توجه به ارزیابی چگونگی کیفیت خدمات‌رسانی به لحاظ پراکنش متعادل و توزیع مکانی مناسب، گسترش یافته‌اند.

مناسب‌ترین مدل‌های ارزیابی توزیع مکانی ایستگاه‌های امداد، آن‌هایی هستند که استقرار ایستگاه‌های امداد را بر اساس اصل در نظر گرفتن شبکه دسترسی در محدوده تقاضای امداد در نظر گرفته باشند. به این ترتیب، زمان یا فاصله میان محل عرضه و تقاضای امداد باید مورد بررسی قرار گیرد. مکان‌یابی خدمات امداد‌رسانی، باید به نحوی صورت پذیرد که برای تمامی موارد تقاضا، حداقل یک ایستگاه امداد‌رسانی برای مقرر شدن استانداردهای زمان و فاصله وجود داشته باشد (ریولی، ۱۹۹۱: ۴۷۱)؛ بنابراین، برای ارتقای کیفیت پراکنش خدمات آتش‌نشانی کلان‌شهر تهران، طبیعتاً باید به کفایت تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی و زمان قابل قبول پاسخ‌دهی توجه نمود. با توجه به مقدمه و ضرورت مطرح شده، هدف این پژوهش، ارزیابی توزیع مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی کلان‌شهر تهران با استفاده از نظریه گراف^۱، مدل‌سازی به شیوه تحلیل شبکه^۲ دسترسی و فواصل زمانی و تعیین نواحی داخل و خارج از محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی برای توسعه‌های آتی است؛ در ادامه، به برخی از مطالعات مرتبط با پژوهش حاضر و سپس به کاستی‌های آن‌ها اشاره می‌گردد:

هادیانی (۱۳۸۸) در مقاله‌ای برای شهر قم با روش توصیفی-تحلیلی و با بهره‌گیری از روش تحلیل شبکه و سیستم اطلاعات جغرافیایی، توزیع فضایی، مکان استقرار و شعاع پوشش عملکردی ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در شهر قم را مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌است. نتایج تحقیق، حاکی از آن بوده است که الگوی پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر قم در وضع موجود مناسب نیست.

زیاری (۱۳۸۸) در مقاله‌ای به بررسی و مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر سمنان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله‌مراتبی پرداخته و پنج ایستگاه جدید آتش‌نشانی را پیشنهاد داده‌است. نظریان و کریمی (۱۳۸۸)، در مقاله‌ای برای شهر شیراز به تحلیل مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی از نظر معیارهای ایمنی، دسترسی و عوامل کالبدی-فضایی پرداخته‌اند. طبق نتایج، ایستگاه‌های شهر شیراز کافی نبوده و اغلب خارج از شعاع پوشش عملکردی هستند.

مشکینی و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله‌ای با به‌کارگیری مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، در سامانه اطلاعات جغرافیایی، توزیع ایستگاه‌های آتش‌نشانی هسته مرکزی کلان‌شهر تهران (منطقه ۶) را مورد بررسی قرار داده و محل‌هایی برای احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی پیشنهاد نموده‌اند. زیاری و یزدان‌پناه (۱۳۹۰)، در مقاله‌ای با

بررسی معیارهای سلسله‌مراتبی مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر آمل در نرم‌افزارهای Expert Choice و Arc GIS، دو ایستگاه پیشنهاد داده‌اند.

عادلی (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، به مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر گرگان پرداخته‌است. بر اساس نتایج این مطالعه، وجود هم‌پوشانی مکانی بالا در بین محدوده‌های تحت پوشش برخی ایستگاه‌ها و در عین حال، عدم خدمات‌رسانی در بخش‌های دیگر شهر، می‌تواند مؤید مکان‌یابی ناعادلانه فضایی خدمات‌رسانی ایمنی شهر باشد.

صحراييان و زنگی‌آبادی (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، در سامانه اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی برای ایجاد ایستگاه‌های جدید آتش‌نشانی در شهر جهرم پرداخته‌اند. در بیان آستانه و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با استفاده از تحلیل شبکه و تحلیل سلسله‌مراتبی به مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی روستایی پرداخته‌اند. صابری‌فر و مزرعه (۱۳۹۳)، در مقاله‌ای با تلفیق مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، وضعیت مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر اهواز را تعیین و مکان‌های مناسب ایستگاه‌های جدید را معرفی نموده‌اند.

در مطالعات پیشین، ارزیابی در خور توجهی از کیفیت توزیع و چگونگی پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی، انجام نشده‌است. این مطالعات، اغلب با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و به ویژه برای مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید صورت گرفته‌اند؛ به علاوه، اغلب این مطالعات، بر اساس شعاع پوشش عملکردی ایستگاه‌های آتش‌نشانی صورت پذیرفته‌اند. این امر نشان‌دهنده استفاده از روش بافر زدن مستقیم بر روی ایستگاه آتش‌نشانی است که به دلیل بسیار ساده انگاشتن واقعیت است؛ درحالی‌که در مورد ایستگاه‌های امداد‌رسانی شهری، استفاده صرف از روش شعاع پوشش عملکردی با منطق حاکم بر دنیای واقعی ناهماهنگ است؛ زیرا دسترسی به خدمات و امداد‌رسانی از طریق شبکه‌های دسترسی موجود در دنیای واقعی انجام می‌گیرد؛ پس ارزیابی پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نیازمند تحلیل شبکه است.

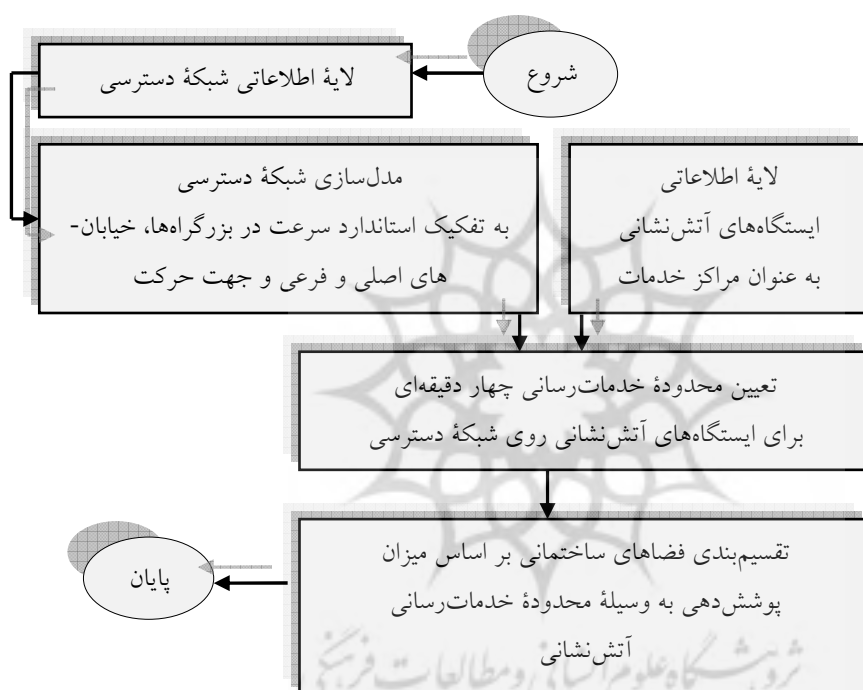
روش منطقی‌تر آن است که با توجه به شبکه دسترسی، محدوده خدمات‌رسانی برای یک ایستگاه امداد‌رسانی، بر اساس فاصله زمانی یا فاصله مکانی محاسبه گردیده و مورد توجه قرار گیرد. تاکنون در مطالعات بسیار معدودی، از مدل‌سازی به شیوه تحلیل شبکه برای بررسی‌های فضایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی استفاده گردیده‌است. گذشته از نقطه قوت و مزیت این روش به لحاظ داشتن بیش‌ترین شباهت و دقت نسبت به واقعیت، نوآوری دیگر این پژوهش، اجرای این روش برای کلان‌شهر تهران است.

داده‌ها و روش شناسی

روش اصلی پژوهش حاضر، تحلیلی- توصیفی است که با به‌کارگیری نظریه گراف و مدل‌سازی تحلیل شبکه در ابزار سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام گردیده‌است. داده‌های مربوط به شبکه دسترسی و موقعیت مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ مربوط به سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ شهرداری تهران

جمع‌آوری شده‌است که شامل اطلاعات بزرگراه‌ها، خیابان‌های اصلی، خیابان‌های فرعی، کوچه‌ها، بن‌بست‌ها و یک یا دو طرفه بودن مسیرها می‌شود.

در ادامه، ابتدا به معرفی نظریه گراف و مدل‌سازی تحلیل شبکه در ارزیابی پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی و معرفی مختصر منطقه مطالعاتی پرداخته شده‌است؛ سپس، مدل‌سازی شبکه دسترسی انجام گردیده و با ایستگاه‌های آتش‌نشانی به عنوان مرکز خدمات روی هم‌اندازی شده‌است. محدوده خدمات‌رسانی چهار دقیقه‌ای برای هر ایستگاه آتش‌نشانی بر روی شبکه دسترسی، برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ تعیین گردیده‌است. جزئیات مراحل پژوهش مطابق مدل مفهومی (شکل ۱) است.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

ارزیابی نهایی پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی با تقسیم‌بندی فضاهای ساختمانی، بر اساس میزان پوشش‌دهی به وسیله محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی انجام شده‌است. در این مطالعه، برای به‌کارگیری عملی نظریه گراف در تحلیل پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی، از ابزار الحاقی^۱ به نام تحلیل شبکه موجود در نرم‌افزار ArcMAP 9.3 استفاده گردیده‌است.

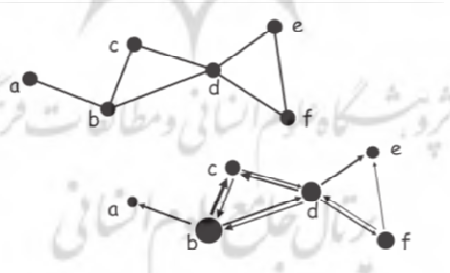
نظریه گراف و مدل‌سازی تحلیل شبکه

در دنیای اطراف ما، پدیده‌های فراوانی وجود دارد که می‌توان با نموداری که شامل مجموعه‌ای از نقاط و خطوطی است که برخی از این نقاط را به یکدیگر متصل می‌کند، به توصیف و شبیه‌سازی آن‌ها پرداخت؛ به

عنوان مثال، برای نشان دادن یک شبکه ارتباطی، از نموداری استفاده می‌کنیم که در آن، نقاط نمایانگر مراکز ارتباطی و خطوط نشان‌دهنده پیوندهای ارتباطی بین مراکز است. گراف، یکی از نظریه‌های مهم ریاضیات گسسته است که با استفاده از آن می‌توان به سادگی، نقشه‌ای بسیار بزرگ یا شبکه‌ای عظیم از ارتباطات را در درون یک ماتریس قرار داد و تحلیل نمود. جیمز جوزف سیلوستر، نخستین کسی بود که در سال ۱۸۷۸ میلادی از واژه گراف برای نامیدن این مدل‌های ریاضی استفاده نمود (باندی و مورتی، ۱۳۷۸: ۱۳-۳۸).

نظریه گراف که در علوم طبیعی، اجتماعی و مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مبانی نظری و ابزاری قدرتمند برای تحلیل و بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده فراهم می‌کند؛ همچنین تحلیل شبکه، شیوه‌ای مناسب برای تحلیل توزیع جریان آبراهه‌ها، شبکه حمل و نقل و تعیین محدوده خدمات‌رسانی یک کاربری خاص به‌شمار می‌رود (لینهان و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۸۳). گره^۱، پیوند^۲ و مقاومت^۳، عناصر کلیدی در این تحلیل هستند. با در نظر گرفتن ایستگاه‌های آتش‌نشانی (به عنوان گره‌های شبکه)، مسیرهای دسترسی (به عنوان پیوندها) و سرعت حرکت در شبکه (به عنوان مقاومت پیوندها)، می‌توان از مفاهیم موجود در نظریه گراف برای ارزیابی توزیع مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی استفاده نمود.

شبکه، معمولاً به وسیله یک گراف $G(N,L)$ ، شامل مجموعه‌ای گره $N(G)$ و مجموعه‌ای پیوند $L(G)$ نمایش داده می‌شود (زتربرگ و همکاران، ۲۰۱۰). به طور مثال، مطابق (شکل ۲)، پیوند led گره‌های e و d را به هم مرتبط می‌کند. گرافی که در آن، پیوندها دارای خصوصیتی کمی شده مانند فاصله باشد، گراف وزن‌دار^۴ و اگر جهت جریان در پیوندها مشخص باشد، گراف جهت‌دار^۵ نامیده می‌شود.



شکل ۲- بالا: شبکه ساده (بدون وزن). پایین: شبکه وزن‌دار و جهت‌دار

(مأخذ: ارین و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۶۱)

استاندارد سرعت میانگین ماشین آتش‌نشانی با تانکر پر از آب، ۳۰ کیلومتر در ساعت تخمین زده می‌شود

(نظریان و کریمی، ۱۳۸۸: ۱۱). استاندارد سرعت دسترسی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به محل وقوع بحران، از

- 1- Node
- 2- Link
- 3- Impedance
- 4- Weighted graph
- 5- Directed graph

نظر فاصله زمانی به طور متوسط ۴ دقیقه در نظر گرفته می‌شود؛ یعنی فاصله زمانی از لحظه خروج از ایستگاه تا رسیدن به محل حریق، نباید بیش از ۴ دقیقه باشد (قاسملو، ۱۳۸۱: ۷۸).

با در نظرگیری زمان ۴ دقیقه، باید حداکثر فاصله ایستگاه آتش‌نشانی تا محل حریق حدود ۲۰۰۰ متر باشد. در این پژوهش، سرعت حرکت ماشین آتش‌نشانی در بزرگراه‌ها ۴۰ کیلومتر، در خیابان‌های اصلی ۳۰ و در خیابان‌های فرعی و کوچه‌ها ۲۵ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده‌است. با شبیه‌سازی مناسب شبکه دسترسی و در نظر گرفتن ویژگی‌های شبکه (جهت حرکت، سرعت حرکت یا محدودیت‌ها در گردش به چپ) در دنیای واقعی، می‌توان محدوده خدمات‌رسانی هر ایستگاه آتش‌نشانی را با تعریف مدت زمان یا فاصله خاصی تعیین کرد.

امکان نمایش واضح جزئیات کل شبکه در مقیاس گسترده کلان‌شهر تهران وجود ندارد؛ بنابراین در (شکل ۳)، بخش کوچکی از شبکه طراحی شده این مطالعه، فقط برای درک جزئیات نشان داده شده‌است. این شبکه، یک شبکه وزن‌دار و جهت‌دار است که در آن سرعت حرکت و طول پیوندها و همچنین جهت حرکت (یک‌طرفه یا دوطرفه بودن) شبیه‌سازی شده‌است.



شکل ۳- بخشی از شبکه طراحی شده پژوهش (ترسیم: نگارندگان)

شبکه کامل طراحی شده برای کلان‌شهر تهران در (اشکال ۵ و ۶)، موجود است. با تعیین محدوده خدمات‌رسانی تمامی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در سطح یک شهر، می‌توان نقاط خارج از این محدوده و همچنین نقاط تحت پوشش بیش از یک ایستگاه آتش‌نشانی را مشخص کرد و بدین وسیله، توزیع فضایی مراکز خدمات‌رسانی را مورد ارزیابی قرار داد. برای مقایسه مناطق مختلف محدوده مورد مطالعه از لحاظ میزان خدمات‌رسانی مورد نظر، می‌توان از شاخص نسبت محدوده خدمات‌رسانی^۱ استفاده کرد. مطابق (رابطه ۱)، نسبت محدوده خدمات‌رسانی درصدی از محدوده مورد نظر است که در محدوده خدمات‌رسانی واقع شده باشد (کیوشیک و جیونگ، ۲۰۰۷).

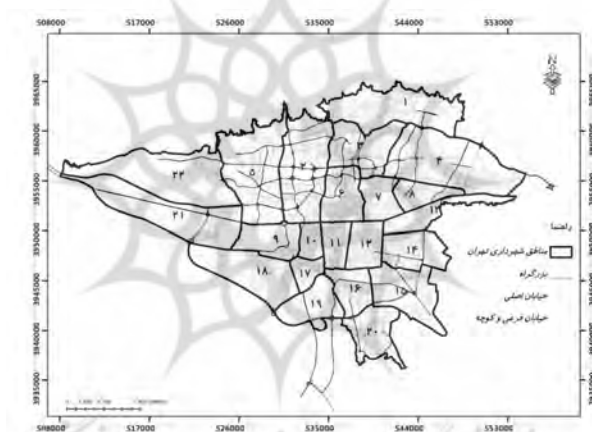
$$\text{نسبت محدوده خدمات‌رسانی (۱)} = \frac{\text{مساحت کل محدوده مورد مطالعه} - \text{مساحت کاربری مورد نظر}}{\text{مساحت محدوده خدمات‌رسانی کاربری مورد نظر}}$$

رابطه (۱)

قلمرو پژوهش

کلان‌شهر تهران در عرض جغرافیایی ۳۵/۵۷ تا ۳۵/۸۳ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱/۱ تا ۵۱/۶ شرقی واقع شده‌است و از طرف جنوب و شمال، تحت تأثیر کویر مرکزی و دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی است و رود دره جاجرود و کرج در شرق و غرب آن واقع شده‌است. طی دو قرن اخیر، وسعتش ۱۵۰ برابر شده و جمعیت آن از ۱۵۰۰۰ نفر به بیش از ۷ میلیون رسیده‌است (فریادی و طاهری، ۲۰۰۹: ۲۰۰).

در سال‌های اخیر، تعداد حوادث و آتش‌سوزی‌ها در سطح کلان‌شهر تهران به شدت افزایش یافته‌است؛ در همین راستا، با اعمال مدیریت بحران و برنامه‌ریزی‌هایی در جهت بهبود امکانات، تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی در سطح این کلان‌شهر افزایش یافته‌است؛ به طوری که در سال ۱۳۹۴، تعداد این ایستگاه‌ها به ۱۰۰ واحد رسیده‌است؛ اما به دلیل تأکید بیشتر به افزایش تعداد ایستگاه‌ها، توجه کافی به کیفیت توزیع مکانی، چگونگی پراکنش و مکان‌یابی بهینه نشده‌است. در (شکل ۴)، موقعیت مناطق و شبکه دسترسی کلان‌شهر تهران موجود است.



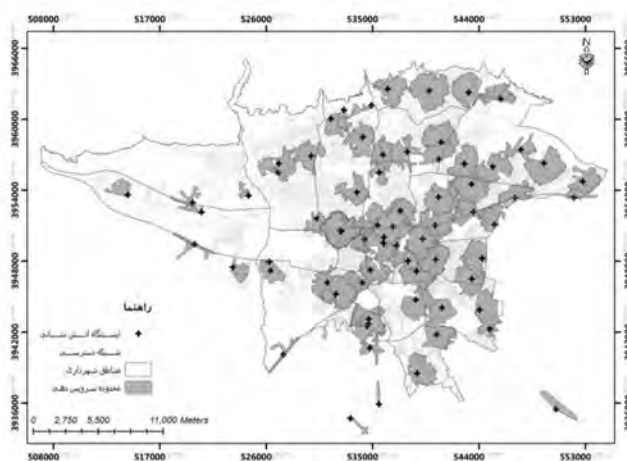
شکل ۴- مناطق بیست و دوگانه و شبکه دسترسی کلان‌شهر تهران (ترسیم: نگارندگان)

بحث

یادآوری می‌گردد که محدوده خدمات‌رسانی برای هر یک از ایستگاه‌های آتش‌نشانی به وسیله ابزار الحاقی تحلیل شبکه در نرم‌افزار ArcMAP 9.3 بر اساس مفاهیم نظریه گراف، یعنی گره‌ها (ایستگاه‌های آتش‌نشانی)، پیوندها (شبکه دسترسی) و مقاومت مورد نظر (سرعت حرکت در شبکه) به دست آمده‌است.

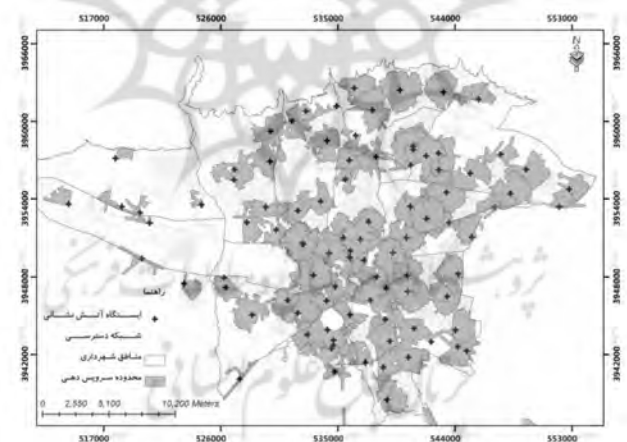
(شکل ۵)، نقشه محدوده خدمات‌رسانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را در سال ۱۳۸۴ نشان می‌دهد. تعداد ایستگاه‌ها در این سال، ۷۴ واحد بوده‌است. در تمام نقاط محدوده خدمات‌رسانی مربوط به سال ۱۳۸۴، فاصله زمانی درخواست امداد تا ارائه خدمات کمتر از ۴ دقیقه است (سرعت حرکت در شبکه)؛ اما تمرکز ایستگاه‌های آتش‌نشانی، بیشتر در مرکز شهر بوده و ۷۰ درصد از فضای ساختمانی کل شهر در سال ۱۳۸۴،

خارج از محدوده خدمات‌رسانی قرار داشته‌است. از سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۹۴، ۲۶ ایستگاه آتش‌نشانی جدید در سطح کلان‌شهر تهران استقرار یافته‌است.



شکل ۵- محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی و شبکه دسترسی کلان‌شهر تهران ۱۳۸۴ (ترسیم: نگارندگان)

(شکل ۶)، نقشه محدوده خدمات‌رسانی و موقعیت مکانی این ۱۰۰ ایستگاه آتش‌نشانی را در کلان‌شهر تهران نشان می‌دهد.



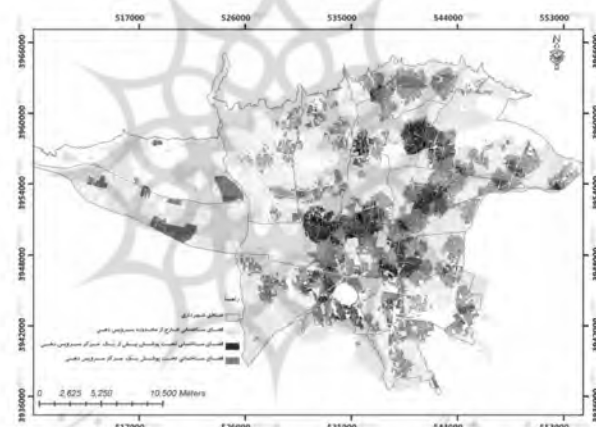
شکل ۶- محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی و شبکه دسترسی کلان‌شهر تهران ۱۳۹۴ (ترسیم: نگارندگان)

بر اساس نظریه گراف و با استفاده از داده‌های نسبت محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی و لایه کاربری اراضی (به تفکیک واحدهای ساختمانی) می‌توان فضاهای ساختمانی را به سه بخش تقسیم نمود:

- ۱) فضاهای ساختمانی خارج از محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی
- ۲) فضاهای ساختمانی تحت پوشش خدمات‌رسانی یک ایستگاه آتش‌نشانی
- ۳) فضاهای ساختمانی تحت پوشش خدمات‌رسانی بیش از یک ایستگاه آتش‌نشانی

شکل (۷) نقشه فضاهای ساختمانی کلان‌شهر تهران را در سال ۱۳۹۴، نسبت به محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی نشان می‌دهد. در این نقشه، فضاهای ساختمانی خارج از محدوده خدمات‌رسانی، فضاهای ساختمانی در محدوده خدمات یک ایستگاه آتش‌نشانی و همچنین فضاهای ساختمانی در محدوده بیش از یک ایستگاه آتش‌نشانی برای مناطق مشخص شده‌است. با توجه به این تقسیم‌بندی‌ها، می‌توان یافته‌های حاصل از تحلیل شبکه دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی کلان‌شهر تهران را جمع‌بندی نمود:

با در نظر گرفتن زمان ۴ دقیقه، نسبت محدوده خدمات‌رسانی در فضای ساختمانی با افزایش ۲۶ ایستگاه جدید در طول دهه اخیر، تنها ۱۰ درصد افزایش یافته‌است؛ به این ترتیب، ۶۰ درصد فضای ساختمانی در سال ۱۳۹۴ هنوز خارج از محدوده خدمات‌رسانی است. این در حالی است که ۱۰ درصد فضای ساختمانی در مجاورت بیش از یک ایستگاه قرار گرفته‌است. بر اساس (شکل ۷)، هیچ کدام از مناطق، از نظر نسبت محدوده خدمات‌رسانی کامل نیستند. در هیچ منطقه‌ای، محدوده خدمات‌رسانی ایستگاه‌های موجود آتش‌نشانی، کل فضای ساختمانی را پوشش نمی‌دهد.



شکل ۷- تقسیم‌بندی فضای ساختمانی کلان‌شهر تهران نسبت به محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی ۱۳۹۴ (ترسیم: نگارندگان)

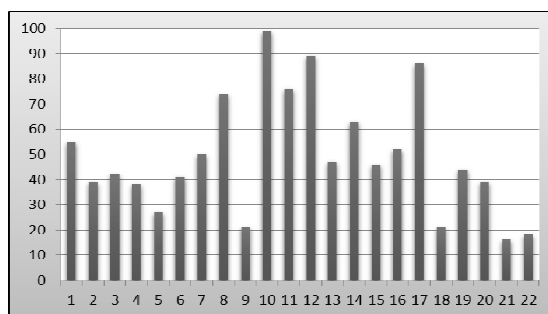
در جدول (۱)، مساحت کل فضای ساختمانی و مساحت محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی برای مناطق ارائه گردیده‌است. مساحت کل فضای ساختمانی از داده‌های سال ۱۳۹۴ شهرداری تهران تهیه شده‌است. مساحت محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی با روش تحلیل شبکه به دست آمده‌است.

جدول ۱- مساحت کل فضای ساختمانی در مناطق کلان‌شهر تهران با استفاده از داده‌های اولیه شهرداری تهران

و محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی با استفاده از روش تحلیل شبکه

مناطق	محدوده خدمات‌رسانی (M^2)	کل فضای ساختمانی (M^2)
۱	۱۲۰۸۲۴۵۲	۲۱۸۸۲۳۷۶
۲	۹۸۲۲۵۶۳	۲۵۳۶۸۳۴۰
۳	۷۵۸۴۸۶۵	۱۷۹۴۱۲۴۵
۴	۱۶۱۰۱۸۶۲	۴۱۸۳۱۸۹۶
۵	۶۶۷۶۳۶۱	۲۵۰۳۳۵۲۵
۶	۵۵۷۰۹۹۹	۱۳۷۲۵۷۲۵
۷	۵۸۱۹۷۰۱	۱۱۶۵۵۳۴۶
۸	۶۵۴۴۹۰۸	۸۸۳۲۷۱۷
۹	۱۴۱۸۳۱۴	۶۶۲۶۵۳۹
۱۰	۵۷۷۶۴۱۸	۵۸۱۰۲۳۶
۱۱	۶۴۸۳۰۴۲	۸۵۳۵۶۸۹
۱۲	۸۳۵۶۸۴۴	۹۴۲۵۲۱۶
۱۳	۴۷۶۷۳۹۷	۱۰۰۶۰۹۳۶
۱۴	۵۷۸۹۶۳۵	۹۱۶۶۷۱۲
۱۵	۷۷۸۱۶۶۶	۱۶۷۶۵۸۸۹
۱۶	۵۴۵۱۹۹۸	۱۰۴۴۶۰۳۰
۱۷	۴۳۸۹۷۳۲	۵۱۳۰۹۴۳
۱۸	۵۷۹۶۹۶۱	۲۷۱۳۰۶۵۵
۱۹	۷۱۳۲۶۹۳	۱۶۱۸۲۲۰
۲۰	۶۱۰۹۵۸۲	۱۵۶۹۴۱۵۶
۲۱	۵۷۳۲۹۹۵	۳۴۸۰۴۸۵۷
۲۲	۴۱۱۷۰۲۴	۲۲۸۷۶۶۴۹

در (شکل ۸)، درصد (نسبت) محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی نسبت به فضای ساختمانی برای ۲۲ منطقه کلان‌شهر تهران نشان داده شده‌است. منطقه ۱۰ با ۹۹ درصد، بیش‌ترین میزان سطح خدمات و منطقه ۲۱ با ۱۶ درصد، کم‌ترین میزان سطح خدمات را نسبت به فضای ساختمانی، بر اساس تحلیل شبکه و با در نظرگیری زمان استاندارد ۴ دقیقه دارند.



شکل ۸- نسبت محدوده خدمات رسانی آتش نشانی مناطق کلان شهر تهران به درصد (ترسیم: نگارندگان)

مناطق ۲۲، ۲۱، ۱۸، ۹ و ۵، از نظر دسترسی به خدمات آتش نشانی، بسیار فقیر بوده و در سطح بسیار ضعیف قرار دارند. به عنوان پیشنهادات راهبردی، ایجاد ایستگاه‌های جدید آتش نشانی در مناطق نام برده شده به شدت ضروری است. در مورد محدوده‌هایی که تحت پوشش بیش از یک محدوده خدمات رسانی هستند، برنامه‌ریزی در جهت جابه‌جایی و توزیع بهینه خدمات آتش نشانی برای گسترش محدوده‌های تحت پوشش یک ایستگاه آتش نشانی ضروری است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از تحلیل شبکه و بر پایه مفاهیم موجود در نظریه گراف، شرایط حاکم در دنیای واقعی شبیه‌سازی گردیده است؛ به این ترتیب، بر اساس محاسبه زمان دسترسی به خدمات آتش نشانی در نقاط مختلف کلان شهر تهران، محدوده‌های خدمات رسانی و توزیع فضایی دسترسی تعیین شده است. آنچه از مجموع مراحل و تجزیه و تحلیل‌های این پژوهش قابل درک است، چنین است:

مدل‌سازی بر اساس نظریه گراف و شیوه تحلیل شبکه در ارزیابی پراکنش ایستگاه‌های آتش نشانی به لحاظ دسترسی خدماتی، توانایی بالایی دارد؛ زیرا روش تحلیل شبکه، به عنوان ابزاری برای اجرای نظریه گراف و بالعکس نظریه گراف، پایه‌ای برای تحلیل صحیح شبکه است.

بر اساس نتایج و یافته‌های این مطالعه و به ویژه، نقشه محدوده خدمات رسانی آتش نشانی ایستگاه‌ها، می‌توان در مطالعات آینده، ایستگاه‌های جدید مورد نیاز را برای فضاها ساختارمانی خارج از محدوده خدمات رسانی آتش نشانی مکان‌یابی کرد؛ همچنین می‌توان برای جابجایی ایستگاه‌های موجود در فضاها ساختارمانی تحت پوشش خدمات رسانی، بیش از یک ایستگاه آتش نشانی برنامه‌ریزی نمود. شایان ذکر است که با استفاده از روش مدل‌سازی به کارگرفته شده در این پژوهش، که قابلیت شبیه‌سازی دقیق‌تر و عینی‌تر واقعیت را بر اساس شبکه دسترسی به مراکز خدماتی دارد، می‌توان نحوه توزیع مکانی هر نوع مرکز خدمات رسانی دیگر را در سایر مناطق کشور و به ویژه شهرهای بزرگ، در راستای بهینه‌سازی مکان‌یابی خدمات آتش نشانی و برای بهبود کیفیت مدیریت بحران جهت پدافند غیرعامل تحلیل نمود.

لازم است برای پژوهش‌های آینده نیز پیشنهادهایی ارائه دهیم. اول، اینکه ضروری است در مطالعات بعدی، نقش عامل تراکم کاربری‌ها نیز در امر مکان‌یابی خدمات شهری مورد تحلیل قرار گیرد؛ زیرا با افزایش تراکم کاربری‌ها، معمولاً خدمات‌رسانی حیاتی‌تر و سخت‌تر می‌گردد. دوم، اینکه با توجه به اهمیت عامل شبکه دسترسی و نحوه گسترش شاهراه‌های آن در بهینه شدن کارایی خدمات شهری، ضروری است که مطالعات جدی امکان‌سنجی اصلاح شبکه دسترسی برای ایجاد بهترین مسیرهای ممکن خدمات‌رسانی و امداد رسانی صورت پذیرد.



فهرست منابع

- ۱- ایمانی جاجرمی، حسین؛ (۱۳۷۵). مطالعه‌ای در باب ایجاد سازمان‌های مرکزی آتش‌نشانی کشور. تهران: نشر مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری.
- ۲- باندی، جی. ای؛ مورتی، یو. اس. ار؛ (۱۳۷۸). نظریه گراف و کاربردهای آن. ترجمه حمید ضرابی‌زاده، تهران: نشر مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران.
- ۳- دربان آستانه، علیرضا؛ زیارتی، اسماعیل؛ جعفری، سارا؛ سائلی، رباب؛ (۱۳۹۲). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی روستایی با استفاده از تحلیل شبکه و AHP (مطالعه موردی: شهرستان شیروان چرداول). فصلنامه پژوهش‌های روستایی، دوره ۴، شماره ۴.
- ۴- زیاری، یوسفعلی؛ (۱۳۸۸). بررسی و مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر سمنان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال ۶، شماره ۲۳.
- ۵- زیاری، یوسفعلی؛ یزدان پناه، سمانه؛ (۱۳۹۰). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از مدل AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر آمل). فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی، سال ۶، شماره ۱۴.
- ۶- سوری، علیرضا؛ (۱۳۹۴). اصول، مبانی و رویکردهای مدیریت بحران. فصلنامه مدیریت بحران، سال ۷، شماره ۲۴، صص ۱۳۹-۹۸.
- ۷- صابری فر، رستم؛ مزرعه، مسعود؛ (۱۳۹۳). تحلیل تناسب توزیع فضایی و مکان‌یابی مراکز آتش‌نشانی با استفاده از تلفیق مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه و مطالعات محیطی، سال ۳، شماره ۹.
- ۸- صحرایان، زهرا؛ زنگی آبادی، علی؛ (۱۳۹۲). کاربرد روش AHP در مکان‌یابی مراکز آتش‌نشانی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر جهرم). فصلنامه امداد و نجات، سال ۵، شماره ۲.
- ۹- عادل، محسن؛ (۱۳۹۰). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر گرگان با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه جغرافیا و آمایش سرزمین، سال ۱، شماره ۲.
- ۱۰- علوی، سیدعلی؛ سالاروند، اسماعیل؛ احمدآبادی، علی؛ فرخی سیس، سعیده؛ بسحاق، محمدرضا؛ (۱۳۹۱). تحلیل فضا- مکانی عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی بر پایه مدیریت بحران با تلفیق تحلیل شبکه و MCDM (مطالعه موردی: منطقه ۶ تهران). دو فصلنامه مدیریت بحران، شماره ۲، صص ۶۵-۵۷.
- ۱۱- قاسملو، فرشید؛ (۱۳۸۱). تاریخچه آتش‌نشانی در ایران. سازمان شهرداری‌ها، چاپ ۱
- ۱۲- مشکینی، ابولفضل؛ حبیبی، کیومرث؛ تفکری، اکرم؛ (۱۳۸۹). تحلیل فضایی- مکانی تجهیزات شهری و کاربست مدل تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: ایستگاه‌های آتش‌نشانی هسته مرکزی تهران). مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۴.
- ۱۳- نظریان، اصغر؛ کریمی، بیراز؛ (۱۳۸۸). ارزیابی فضایی مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شیراز توسط GIS. فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس، شماره ۲، صص ۱۹-۵.

۱۴- ولی‌زاده، رضا؛ (۱۳۸۴). مکان‌یابی مراکز آموزشی با استفاده از GIS مورد مطالعه مدارس ابتدایی تبریز.

پایان‌نامه دانشگاه تربیت معلم تهران.

۱۵- هادیانی، زهره؛ کاظمی‌زاد، شمس‌الله؛ (۱۳۸۸). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از روش تحلیل

شبکه و مدل AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر قم). مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۷.

- 16- Chevalier, P., Thomas, I., Geraets, D., Goetghebeur, E., Janssens, O., Peeters, D., Plaetria, F., (2012). **Locating fire stations: An integrated approach for Belgium**. Socio-Economic Planning Sciences, No 46, pp: 173-182.
- 17- Eric K. Forkuo., Jonathan A. Quaye-Ballard., (2013). GIS Based Fire Emergency Response System, International Journal of Remote Sensing and GIS, No 2, pp: 32-40.
- 18- Faryadi, S., Taheri, S., (2009). **Interconnections of urban green spaces and environmental quality of Tehran**. International Journal of Environmental Research, No 2, pp: 199-208.
- 19- Heru Sufianto, Anthony R. Green (2011). **Urban Fire Situation in Indonesia, journal of fire Technology**. No 48 , pp: 367-387.
- 20- Howerton, Cheryl., (2006). **GIS Network Analysis of Fire Department Response Time Dallas, Texas**. University of North Texas.
- 21- Johnson, R., (2000). **Public Safety Industry Solutions Manager**. Geographic Information Systems: A Powerful New Tool for Fire and Emergency Services, pp: 1-6.
- 22- Kyushik, o., Jeong, S., (2007). **Assessing the spatial distribution of urban parks using GIS**. [doi: 10.1016/j.landurbplan.2007.01.014], Landscape and Urban Planning, No 82, pp: 25-32.
- 23- Lilli, Yang., Bryan, F.jones b., Shuang-hua, Yang c., (2007). **A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms**. European Journal of operational Research, No 181, pp: 903-915.
- 24- Linehan, J., Gross, M., Finn, J., (1995). **Greenway planning: developing a landscape ecological network approach**. Landscape and Urban Planning, No 33, pp: 179-193.
- 25- Murray, Alan T., (2013). **Optimizing the Spatial Location of Urban Fire Stations**. Fire Safety Journal, No 62, pp: 64-71.
- 26- Ranjbar nia, B., Ghasemi Khoei, M., Taghizadeh Fanid, A., Saleki Maleki, M A., (2016). **Provide a model for logical establish of fire stations (Case study: Tabriz)**.<http://jorar.ir/article-1-221-en.html>
- 27- ReVelle, C., (1991). **Siting Ambulances and Fire Companies: New Tools for Planners**. Journal of the American Planning Association, No 57, pp: 471-484.
- 28- Urban, D.L., Minor, E.S., Treml, E.A., Schick, R.S., (2009). **Graph models of habitat mosaics**. [doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01271.x], Ecology Letters, No 12, pp: 260-273.
- 29- Wilmot, R., (2002). **Information bulletin of the world fire statistics**. The Geneva association, No 10.
- 30- Zetterberg, A., Mörtberg, U.M., Balfors, B., (2010). **Making graph theory operational for landscape ecological assessments, planning, and design**. Landscape and Urban Planning, No 95, pp: 181-191.