دوفصلنامهٔ علمی- پژوهشی
«جغرافیای اجتماعی شهری»
دانشگاه شهید باهنر کرمان
سال ۵، شمارهٔ ۱، پیاپی ۱۲، بهار و تابستان ۱۳۹۷

ارزیابی پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی با مدلسازی تحلیل شبکه (مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر تهران)[۱]

دکتر اسماعیل صالحی
دانشیار دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مهندس سیده آل محمد[۲]
دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
دکتر مجید رمضانی مهریان
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 ارائهٔ خدمات به طور عادلانه و در کم‌ترین زمان ممکن صورت پذیرد. با استفاده از مدل‌سازی تحلیل شبکهٔ دسترسی به خدمات آتش‌نشانی و با در نظر گرفتن سرعت و جهت حرکت در بخش‌های مختلف این شبکه، می‌توان محدودهٔ خدمات‌رسانی هر ایستگاه را با تعریف محدودهٔ 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 پایهٔ مفاهیم تئوری گراف ارائه شده‌است. به‌منظور ارزیابی توزیع مکانی، مناطق مختلف از نظر دسترسی به این خدمات، مورد مقایسه قرار گرفته و نواحی خارج از محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی برای توسعهٔ آتی، مشخص گردیده‌اند. بر اساس نتایج، منطقهٔ ۱۰ بیش‌ترین و منطقهٔ ۲۱ کم‌ترین نسبت محدودهٔ خدمات‌رسانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را دارند.

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

---

[۱]- صفحات: ۳۱-۱۷ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۷/۲۸ بازنگری مقاله: ۱۳۹۷/٤/۱۰ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/٦/۲۰
DOI: 10.22103/JUSG.2018.1959
[۲]- نشانی پست الکترونیک نویسندهٔ مسئول: sh.alemohammad@ut.ac.ir

مقدّمه

مدیریت بحران فقط واکنش در هنگام رخداد بحران نیست؛ بلکه فرآیندی پیشگیرانه برای آمادگی در مقابل بحران است (سوری، ۱۳۹٤: ۹۸). امروزه جمعیت متراکم و توسعهٔ 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 ۰/٤ درصد از تولید ناخالص ملی هر کشور است (ویلموت، ۲۰۰۲: ۹). از سوی دیگر، هزینهٔ احداث، نگهداری و بهره-برداری ایستگاه‌های آتش‌نشانی در مقایسه با سایر خدمات، پرهزینه‌ترین است (مورای، ۲۰۱۳: ٦٤)؛ همچنین، به دلیل مسائل دسترسی و ترافیک بالا، زمان پاسخ‌گویی به آتش‌سوزی طولانی شده و تلفات افزایش می‌یابد (هرا و آنتونی، ۲۰۱۱: ۳٦۷)؛ به همین سبب، برای خدمات‌رسانی مطمئن ایستگاه‌های آتش‌نشانی، پراکنش متعادل آن‌ها ضروری است (هورتن، ۲۰۰٦: ۱).

مکان‌یابی کارآمد ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نیازمند در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل است که کاهش زمان یا فاصلهٔ سفر مهم‌ترین آن‌هاست (لی‌لی و همکاران، ۲۰۰۷: ۹۰۳)؛ اما توجه کمّی 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 (شوالیر 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، ۲۰۱٦: ۹۱)؛ اما سیاست کلی ایجاد ایستگاه‌های آتش-نشانی 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 فزایندهٔ 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، ۲۰۱٦: ۲۹۸).

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

راستا، برنامه‌ریزان سعی دارند با ارائهٔ الگوی مناسب مکان‌یابی کاربری زمین در راستای تأمین رفاه، آسایش و ایمنی شهروندان و در نتیجه، زیست‌پذیری بهتر گام بردارند (ولی‌زاده، ۱۳۸٤: ۷). در کلان‌شهر تهران، در اغلب موارد، شبکهٔ 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 شبکهٔ دسترسی در محدودهٔ تقاضای امداد در نظر گرفته باشند. به این ترتیب، زمان یا فاصلهٔ 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 مقرّر شدن استانداردهای زمان و فاصله وجود داشته باشد (ریولی، ۱۹۹۱: ٤۷۱)؛ 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 نظریهٔ گراف[1]، مدل‌سازی به شیوهٔ تحلیل شبکهٔ[2] دسترسی و فواصل زمانی و تعیین نواحی داخل و خارج از محدودهٔ 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 آتش-نشانی 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 داده-است. 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 سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، توزیع ایستگاه‌های آتش‌نشانی هستهٔ مرکزی کلان‌شهر تهران (منطقهٔ ٦) را مورد بررسی قرار داده و محل‌هایی برای احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی پیشنهاد نموده‌اند. زیاری و یزدان‌پناه (۱۳۹۰)، در مقاله‌ای با

1- Graph Theory
2- Network Analyze

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 سامانهٔ 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 ناعادلانهٔ فضایی خدمات‌رسانی ایمنی شهر باشد.

صحراییان و زنگی‌آبادی (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، در سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی برای ایجاد ایستگاه‌های جدید آتش‌نشانی در شهر جهرم پرداخته‌اند. د

ربان 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 سامانهٔ 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 نشان‌دهندهٔ 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، استفادهٔ 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.

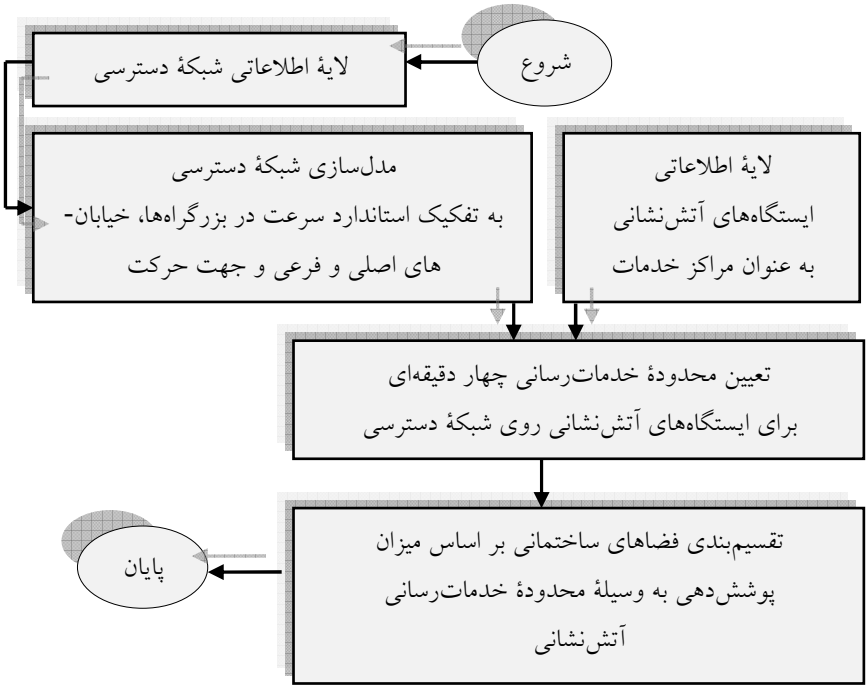
روش منطقی‌تر آن است که با توجه به شبکهٔ دسترسی، محدودهٔ خدمات‌رسانی برای یک ایستگاه امدادرسانی، بر اساس فاصلهٔ زمانی یا فاصلهٔ مکانی محاسبه گردیده و مورد توجه قرار گیرد. تاکنون در مطالعات بسیار معدودی، از مدل‌سازی به شیوهٔ تحلیل شبکه برای بررسی‌های فضایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی استفاده گردیده‌است. گذشته از نقطهٔ قوّت و مزیّت 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 روش‌شناسی

روش اصلی پژوهش حاضر، تحلیلی- توصیفی است که با به‌کارگیری نظریهٔ گراف و مدل‌سازی تحلیل شبکه در ابزار سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی انجام گردیده‌است. داده‌های مربوط به شبکهٔ دسترسی و موقعیت مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰ مربوط به سال‌های ۱۳۸٤ و ۱۳۹٤ 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 نظریهٔ گراف و مدل‌سازی تحلیل شبکه در ارزیابی پراکنش ایستگاه‌های آتش-نشانی و معرفی مختصر منطقهٔ مطالعاتی پرداخته شده‌است؛ سپس، مدل‌سازی شبکهٔ دسترسی انجام گردیده و با ایستگاه‌های آتش‌نشانی به عنوان مرکز خدمات روی‌هم‌اندازی شده‌است. محدودهٔ خدمات‌رسانی چهار دقیقه‌ای برای هر ایستگاه آتش‌نشانی بر روی شبکهٔ دسترسی، برای سال‌های ۱۳۸٤ و ۱۳۹۳ تعیین گردیده-است. جزئیات مراحل پژوهش مطابق مدل مفهومی (شکل ۱) است.



شکل۱- مدل مفهومی پژوهش

ارزیابی نهایی پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی با تقسیم‌بندی فضاهای ساختمانی، بر اساس میزان پوشش-دهی به وسیلهٔ محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی انجام شده‌است. در این مطالعه، برای به‌کارگیری عملی نظریهٔ گراف در تحلیل پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی، از ابزار الحاقی[1] به نام تحلیل شبکهٔ موجود در نرم-افزار ArcMAP 9.3 استفاده گردیده‌است.

نظریهٔ گراف و مدل‌سازی تحلیل شبکه

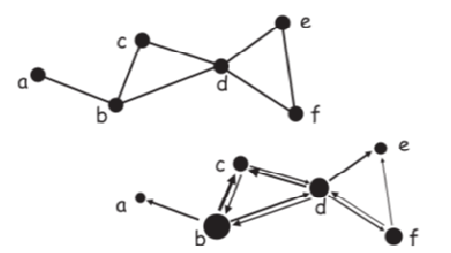
در دنیای اطراف ما، پدیده‌های فراوانی وجود دارد که می‌توان با نموداری که شامل مجموعه‌ای از نقاط و خطوطی است که برخی از این نقاط را به یکدیگر متصل می‌کند، به توصیف و شبیه‌سازی آن‌ها پرداخت؛ به

1- Extension

عنوان مثال، برای نشان دادن یک شبکهٔ ارتباطی، از نموداری استفاده می‌کنیم که در آن، نقاط نمایانگر مراکز ارتباطی و خطوط نشان‌دهندهٔ 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 واژهٔ گراف برای نامیدن این مدل‌های ریاضی استفاده نمود (باندی و مورتی، ۱۳۷۸: ۱۳– ۳۸).

نظریهٔ 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، شبکهٔ حمل و نقل و تعیین محدودهٔ خدمات‌رسانی یک کاربری خاص به‌شمار می‌رود (لینیهان و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۸۳). گره[1]، پیوند[2] و مقاومت[3]، 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 نظریهٔ گراف برای ارزیابی توزیع مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی استفاده نمود.

شبکه، معمولاً به وسیلهٔ 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 l_{ed} گره‌های e و d را به هم مرتبط می‌کند. گرافی که در آن، پیوندها دارای خصوصیاتی کمّی‌شده مانند فاصله باشد، گراف وزن‌دار[4] و اگر جهت جریان در پیوندها مشخص باشد، گراف جهت‌دار[5] نامیده می‌شود.



شکل۲– بالا: شبکهٔ ساده (بدون وزن). پایین: شبکهٔ وزن‌دار و جهت‌دار
(مأخذ: اربن 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 فاصلهٔ زمانی به طور متوسط ٤ دقیقه در نظر گرفته می‌شود؛ یعنی فاصلهٔ زمانی از لحظهٔ خروج از ایستگاه تا رسیدن به محل حریق، نباید بیش از ٤ دقیقه باشد (قاسملو، ۱۳۸۱: ۷۸).

با در نظرگیری زمان ٤ دقیقه، باید حداکثر فاصلهٔ ایستگاه آتش‌نشانی تا محل حریق حدود ۲۰۰۰ متر باشد. در این پژوهش، سرعت حرکت ماشین آتش‌نشانی در بزرگراه‌ها ٤۰ کیلومتر، در خیابان‌های اصلی ۳۰ و در خیابان‌های فرعی و کوچه‌ها ۲۵ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده‌است. با شبیه‌سازی مناسب شبکهٔ دسترسی و در نظر گرفتن ویژگی‌های شبکه (جهت حرکت، سرعت حرکت یا محدودیت‌ها در گردش به چپ) در دنیای واقعی، می‌توان محدودهٔ خدمات‌رسانی هر ایستگاه آتش‌نشانی را با تعریف مدت زمان یا فاصلهٔ خاصی تعیین کرد.

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

شکل۳- بخشی از شبکهٔ طراحی‌شدهٔ پژوهش (ترسیم: نگارندگان)

شبکهٔ کامل طراحی‌شده برای کلان‌شهر تهران در (اشکال ۵ و ٦)، موجود است. با تعیین محدودهٔ 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 مقایسهٔ مناطق مختلف محدودهٔ مورد مطالعه از لحاظ میزان خدمات‌رسانی مورد نظر، می‌توان از شاخص نسبت محدودهٔ خدمات‌رسانی[1] استفاده کرد. مطابق (رابطهٔ ۱)، نسبت محدودهٔ خدمات‌رسانی درصدی از محدودهٔ مورد نظر است که در محدودهٔ خدمات‌رسانی واقع شده باشد (کیوشیک و جیونگ، ۲۰۰۷).

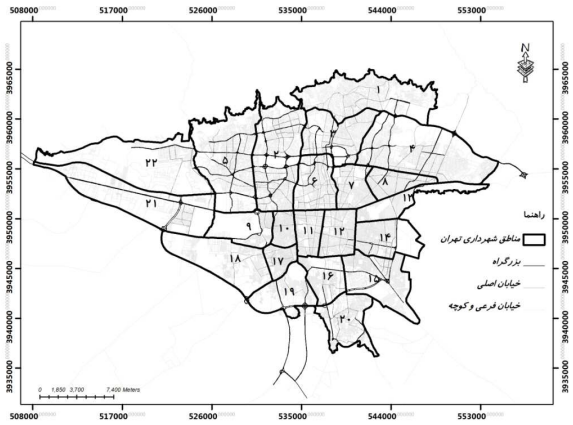
رابطهٔ (۱)
$$\text{نسبت محدوده خدمات‌رسانی (٪)} = \frac{\text{مساحت محدوده خدمات‌رسانی کاربری مورد نظر}}{\text{مساحت کل محدوده مورد مطالعه - مساحت کاربری مورد نظر}} \times 100$$

1- Service Area Ratio

قلمرو پژوهش

کلان‌شهر تهران در عرض جغرافیایی ۳۵/۵۷ تا ۳۵/۸۳ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱/۱ تا ۵۱/٦ شرقی واقع شده‌است و از طرف جنوب و شمال، تحت‌تأثیر کویر مرکزی و دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی است و رود درّه 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 آتش-نشانی در سطح این کلان‌شهر افزایش یافته‌است؛ به طوری که در سال ۱۳۹٤، تعداد این ایستگاه‌های 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 ٤)، موقعیت مناطق و شبکهٔ دسترسی کلان‌شهر تهران موجود است.



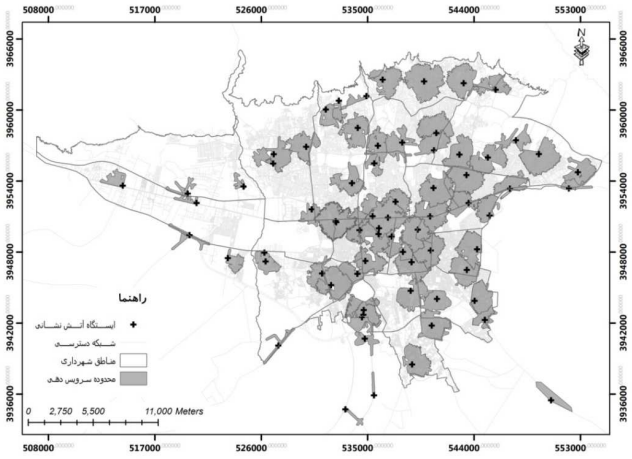
شکل ٤- مناطق بیست و دوگانه و شبکهٔ دسترسی کلان‌شهر تهران (ترسیم: نگارندگان)

بحث

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

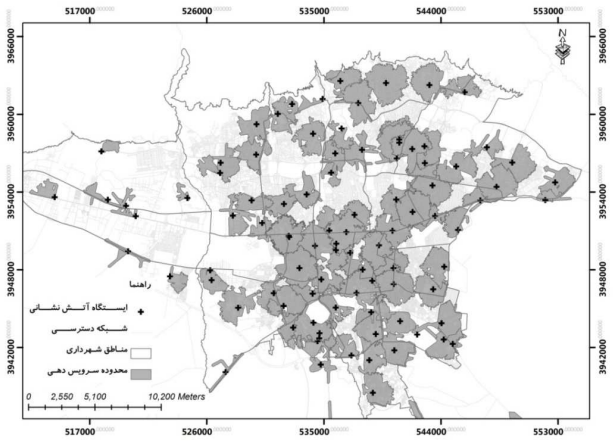
(شکل ۵)، نقشهٔ محدودهٔ خدمات‌رسانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را در سال ۱۳۸٤ نشان می‌دهد. تعداد ایستگاه‌ها در این سال، ۷٤ واحد بوده‌است. در تمام نقاط محدودهٔ خدمات‌رسانی مربوط به سال ۱۳۸٤، فاصلهٔ زمانی درخواست امداد تا ارائهٔ خدمات کمتر از ٤ دقیقه است (سرعت حرکت در شبکه)؛ اما تمرکز ایستگاه‌های آتش‌نشانی، بیشتر در مرکز شهر بوده و ۷۰ درصد از فضای ساختمانی کل شهر در سال ۱۳۸٤،

خارج از محدودهٔ خدمات‌رسانی قرار داشته‌است. از سال ۱۳۸٤ تا سال ۱۳۹٤، ۲٦ ایستگاه آتش‌نشانی جدید در سطح کلان‌شهر تهران استقرار یافته‌است.



شکل ٥- محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی و شبکهٔ دسترسی کلان‌شهر تهران ۱۳۸٤ (ترسیم: نگارندگان)

(شکل ٦)، نقشهٔ محدودهٔ خدمات‌رسانی و موقعیت مکانی این ۱۰۰ ایستگاه آتش‌نشانی را در کلان‌شهر تهران نشان می‌دهد.



شکل ٦- محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی و شبکهٔ دسترسی کلان‌شهر تهران ۱۳۹٤ (ترسیم: نگارندگان)

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

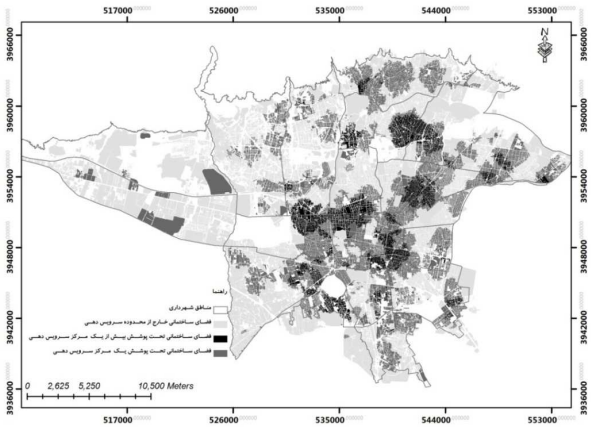
۱) فضاهای ساختمانی خارج از محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی

۲) فضاهای ساختمانی تحت پوشش خدمات‌رسانی یک ایستگاه آتش‌نشانی

۳) فضاهای ساختمانی تحت پوشش خدمات‌رسانی بیش از یک ایستگاه آتش‌نشانی

(شکل (۷) نقشهٔ فضاهای ساختمانی کلان‌شهر تهران را در سال ۱۳۹٤، نسبت به محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی نشان می‌دهد. در این نقشه، فضاهای ساختمانی خارج از محدودهٔ خدمات‌رسانی، فضاهای ساختمانی در محدودهٔ خدمات یک ایستگاه آتش‌نشانی و همچنین فضاهای ساختمانی در محدودهٔ بیش از یک ایستگاه آتش‌نشانی برای مناطق مشخص شده‌است. با توجه به این تقسیم‌بندی‌ها، می‌توان یافته‌های حاصل از تحلیل شبکهٔ دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی کلان‌شهر تهران را جمع‌بندی نمود:

با در نظر گرفتن زمان ٤ دقیقه، نسبت محدودهٔ خدمات‌رسانی در فضای ساختمانی با افزایش ۲٦ ایستگاه جدید در طول دههٔ اخیر، تنها ۱۰ درصد افزایش یافته‌است؛ به این ترتیب، ٦۰ درصد فضای ساختمانی در سال ۱۳۹٤ هنوز خارج از محدودهٔ 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 محدودهٔ خدمات‌رسانی کامل نیستند. در هیچ منطقه‌ای، محدودهٔ خدمات‌رسانی ایستگاه‌های موجود آتش-نشانی، کل فضای ساختمانی را پوشش نمی‌دهد.



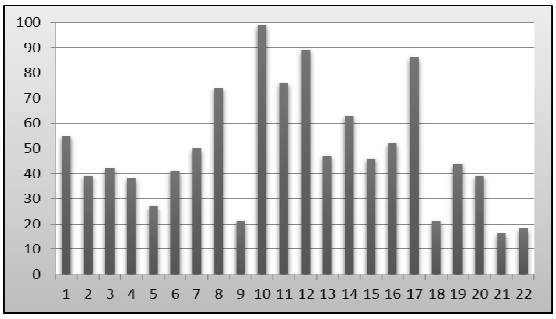
شکل ۷- تقسیم‌بندی فضای ساختمانی کلان‌شهر تهران نسبت به محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی ۱۳۹٤ (ترسیم: نگارندگان)

در جدول (۱)، مساحت کل فضای ساختمانی و مساحت محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی برای مناطق ارائه گردیده‌است. مساحت کل فضای ساختمانی از داده‌های سال ۱۳۹٤ شهرداری تهران تهیه شده‌است. مساحت محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی با روش تحلیل شبکه به‌دست آمده‌است.

جدول ۱- مساحت کل فضای ساختمانی در مناطق کلان‌شهر تهران با استفاده از داده‌های اوّلیهٔ شهرداری تهران و محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی با استفاده از روش تحلیل شبکه

مناطق	محدوهٔ خدمات‌رسانی (M^2)	کل فضای ساختمانی (M^2)
۱	۱۲۰۸۲٤٥۲	۲۱۸۸۲۳۷٦
۲	۹۸۲۲٥٦۳	۲٥۳٦۸۳٤۰
۳	۷٥۸٤۸٦٥	۱۷۹٤۱۲٤٥
٤	۱٦۱۰۱۸٦۲	٤۱۸۳۱۸۹٦
٥	٦٦۷٦۳٦۱	۲٥۰۳۳٥۲٥
٦	٥٥۷۰۹۹۹	۱۳۷۲٥۷۲٥
۷	٥۸۱۹۷۰۱	۱۱٦٥٥۳٤٦
۸	٦٥٤٤۹۰۸	۸۸۳۲۷۱۷
۹	۱٤۱۸۳۱٤	٦٦۲٦٥۳۹
۱۰	٥۷۷٦٤۱۸	٥۸۱۰۲۳٦
۱۱	٦٤۸۳۰٤۲	۸٥۳٥٦۸۹
۱۲	۸۳٥٦۸٤٤	۹٤۲٥۲۱٦
۱۳	٤۷٦۷۳۹۷	۱۰۰٦۰۹۳٦
۱٤	٥۷۸۹٦۳٥	۹۱٦٦۷۱۲
۱٥	۷۷۸۱٦٦٦	۱٦۷٦٥۸۸۹
۱٦	٥٤٥۱۹۹۸	۱۰٤٤٦۰۳۰
۱۷	٤۳۸۹۷۳۲	٥۱۳۰۹٤۳
۱۸	٥۷۹٦۹٦۱	۲۷۱۳۰٦٥٥
۱۹	۷۱۳۲٦۹۳	۱٦۱۸۲۲۰۰
۲۰	٦۱۰۹٥۸۲	۱٥٦۹٤۱٥٦
۲۱	٥۷۳۲۹۹٥	۳٤۸۰٤۸٥۷
۲۲	٤۱۱۷۰۲٤	۲۲۸۷٦٦٤۹

در (شکل ۸)، درصد (نسبت) محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی نسبت به فضای ساختمانی برای ۲۲ منطقهٔ کلان‌شهر تهران نشان داده شده‌است. منطقهٔ ۱۰ با ۹۹ درصد، بیش‌ترین میزان سطح خدمات و منطقهٔ ۲۱ با ۱٦ درصد، کم‌ترین میزان سطح خدمات را نسبت به فضای ساختمانی، بر اساس تحلیل شبکه و با در نظرگیری زمان استاندارد ٤ دقیقه دارند.



شکل ۸- نسبت محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی مناطق کلان‌شهر تهران به درصد (ترسیم: نگارندگان)

مناطق ۲۲، ۲۱، ۱۸، ۹ و ۵، از نظر دسترسی به خدمات آتش‌نشانی، بسیار فقیر بوده و در سطح بسیار ضعیف قرار دارند. به عنوان پیشنهادات راهبردی، ایجاد ایستگاه‌های جدید آتش‌نشانی در مناطق نام‌برده‌شده به شدت ضروری است. در مورد محدوده‌هایی که تحت پوشش بیش از یک محدودهٔ خدمات‌رسانی هستند، برنامه‌ریزی در جهت جابه‌جایی و توزیع بهینهٔ خدمات آتش‌نشانی برای گسترش محدوده‌های تحت پوشش یک ایستگاه آتش‌نشانی ضروری است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از تحلیل شبکه و بر پایهٔ مفاهیم موجود در نظریهٔ گراف، شرایط حاکم در دنیای واقعی شبیه‌سازی گردیده‌است؛ به این ترتیب، بر اساس محاسبهٔ زمان دسترسی به خدمات آتش‌نشانی در نقاط مختلف کلان‌شهر تهران، محدوده‌های خدمات‌رسانی و توزیع فضایی دسترسی تعیین شده‌است. آنچه از مجموع مراحل و تجزیه و تحلیل‌های این پژوهش قابل درک است، چنین است:

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

بر اساس نتایج و یافته‌های این مطالعه و به ویژه، نقشهٔ محدوده خدمات‌رسانی آتش‌نشانی ایستگاه‌ها، می‌توان در مطالعات آینده، ایستگاه‌های جدید مورد نیاز را برای فضاهای ساختمانی خارج از محدودهٔ خدمات‌رسانی آتش‌نشانی مکان‌یابی کرد؛ همچنین می‌توان برای جابجایی ایستگاه‌های موجود در فضاهای ساختمانی تحت پوشش خدمات‌رسانی، بیش از یک ایستگاه آتش‌نشانی برنامه‌ریزی نمود. شایان ذکر است که با استفاده از روش مدل‌سازی به‌کارگرفته شده در این پژوهش، که قابلیت شبیه‌سازی دقیق‌تر و عینی‌تر واقعیت را بر اساس شبکهٔ دسترسی به مراکز خدماتی دارد، می‌توان نحوهٔ توزیع مکانی هر نوع مرکز خدمات‌رسانی دیگر را در سایر مناطق کشور و به ویژه شهرهای بزرگ، در راستای بهینه‌سازی مکان‌یابی خدمات آتش‌نشانی و برای بهبود کیفیت مدیریت بحران جهت پدآفند غیرعامل تحلیل نمود.

لازم است برای پژوهش‌های آینده نیز پیشنهادهایی ارائه دهیم. اوّل، 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 اهمیّت عامل شبکهٔ دسترسی و نحوهٔ گسترش شاهراه‌های آن در بهینه شدن کارایی خدمات شهری، ضروری است که مطالعات جدی امکان‌سنجی اصلاح شبکهٔ دسترسی برای ایجاد بهترین مسیرهای ممکن خدمات‌رسانی و امدادرسانی 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). **نظریهٔ گراف و کاربردهای آن**. ترجمهٔ حمید ضرابی‌زاده، تهران: نشر مؤسسهٔ 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 (مطالعهٔ موردی: شهرستان شیروان چرداول)**. فصلنامهٔ پژوهش‌های روستایی، دورهٔ ٤، شمارهٔ ٤.

٤- زیاری، یوسفعلی؛ (۱۳۸۸). **بررسی و مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر سمنان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی**. فصلنامهٔ جغرافیایی سرزمین، سال ٦، شمارهٔ ۲۳.

۵- زیاری، یوسفعلی؛ یزدان پناه، سمانه؛ (۱۳۹۰). **مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از مدل AHP در محیط GIS (مطالعهٔ موردی: شهر آمل)**. فصلنامهٔ چشم‌انداز جغرافیایی، سال ٦، شمارهٔ ١٤.

٦- سوری، علیرضا؛ (١٣٩٤). **اصول، مبانی و رویکردهای مدیریت بحران**. فصلنامهٔ مدیریت بحران، سال ۷، شمارهٔ ٢٤، صص١٣٩- 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**. فصلنامهٔ و مطالعات محیطی، سال ۳، شمارهٔ ۹.

۸- صحراییان، زهرا؛ زنگی آبادی، علی؛ (۱۳۹۲). **کاربرد روش AHP در مکان‌یابی مراکز آتش‌نشانی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونهٔ موردی: شهر جهرم)**. فصلنامهٔ امداد و نجات، سال ۵، شمارهٔ ۲.

۹- عادلی، محسن؛ (۱۳۹۰). **مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر گرگان با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی**. فصلنامهٔ جغرافیا و آمایش سرزمین، سال ۱، شمارهٔ ۲.

۱۰- علوی، سیدعلی؛ سالاروند، اسماعیل؛ احمدآبادی، علی؛ فرخی سیس، سعیده؛ بسحاق، محمدرضا؛ (۱۳۹۱). **تحلیل فضا- مکانی عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی بر پایهٔ مدیریت بحران با تلفیق تحلیل شبکه و MCDM (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ٦ تهران)**. دو فصلنامهٔ مدیریت بحران، شمارهٔ ۲، صص ٦٥-۵۷.

۱۱- قاسملو، فرشید؛ (۱۳۸۱). **تاریخچهٔ آتش‌نشانی در ایران**. سازمان شهرداری‌ها، چاپ ۱

۱۲- مشکینی، ابولفضل؛ حبیبی، کیومرث؛ تفکری، اکرم؛ (۱۳۸۹). **تحلیل فضایی- مکانی تجهیزات شهری و کاربست مدل تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS (مطالعهٔ موردی: ایستگاه‌های آتش‌نشانی هستهٔ مرکزی تهران)**. مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شمارهٔ ۷٤.

۱۳- نظریان، اصغر؛ کریمی، ببراز؛ (۱۳۸۸). **ارزیابی فضایی مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شیراز توسط GIS**. فصلنامهٔ جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس، شمارهٔ ۲، صص ۱۹-۵.

۱۴- ولی‌زاده، رضا؛ (۱۳۸٤). **مکان‌یابی مراکز آموزشی با استفاده از GIS مورد مطالعهٔ مدارس ابتدایی تبریز**. پایان‌نامهٔ 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 (مطالعهٔ موردی: شهر قم)**. مجلهٔ جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۱۷.

16- Chevalier, P., Thomas, I., Geraets, D., Goetghebeur, E., Janssens, O., Peeters, D., Plastria, 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 optimizination 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.