

حل مسئله تخصیص ایستگاه‌های آتش‌نشانی منطقه ۲۲ تهران با استفاده از یک رویکرد ترکیبی در محیط سیستم اطلاعات مکانی

سمیرا بلوری^۱، علیرضا وفایی‌نژاد^{۲*}، علی اصغر آل‌شیخ^۳ و حسین آقامحمدی^۴

^۱ دانشجوی دکتری تخصصی رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، تهران، ایران
^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی
^۳ استاد گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
^۴ استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۵

چکیده

توسعه ناهمگون شهری و عدم پیش‌بینی صحیح در زمینه توسعه شهرها مشکلات متعددی را در شهرها ایجاد می‌کند از جمله این مشکلات، کمبود تسهیلات شهری و نامناسب بودن مکان قرارگیری تسهیلات مانند بیمارستان، ایستگاه آتش‌نشانی و ... جهت خدمات‌رسانی به مردم است. در این میان منطقه ۲۲ شهر تهران که بزرگ‌ترین قطعه پایتخت محسوب می‌شود، در سال‌های اخیر شاهد رشدی فزاینده بوده است. این منطقه که دربردارنده برج‌ها و ساختمان‌های بلندمرتبه است و جمعیت زیادی را در خود جای داده است، نیازمند توجه بیشتری از لحاظ نحوه خدمات‌رسانی تسهیلات اورژانسی و از آن جمله ایستگاه‌های آتش‌نشانی می‌باشد. با توجه به این که ایستگاه‌های آتش‌نشانی جهت خدمات‌رسانی بهینه باید در زمانی کمتر از ۵ دقیقه به محل حادثه برسند، هدف این پژوهش کمینه کردن زمان رسیدن ماشین‌های آتش‌نشانی به محل حادثه و بررسی وضعیت تخصیص یا تعداد مردمی است که می‌توانند از خدمات بهره‌مند شوند. جهت حل این مسئله از رویکرد ترکیبی مدل میانه تخصیص برداری که رویکردی کاملاً نو در زمینه مکانیابی و تخصیص است در محیط سیستم اطلاعات مکانی استفاده می‌شود. از آنجایی که مسائل تخصیص در زمره مسائل سخت قرار دارند، از الگوریتم جستجوی ممنوعه جهت حل مسئله استفاده گردید. پس از انجام آنالیز حساسیت و تنظیم بهترین پارامترها برای الگوریتم جستجوی ممنوعه، مدل تخصیص‌برداری در منطقه ۲۲ اجرا شد. نتایج پژوهش نشان داد که ۷ ایستگاه موجود قادر نیستند در کمتر از ۵ دقیقه به تمام جمعیت منطقه خدمات‌رسانی کنند و ۲۸۰۴۰ نفر بدون دسترسی به خدمات باقی خواهند ماند. در نتیجه لازم است که حداقل ۲ ایستگاه دیگر نیز جهت خدمات‌رسانی بهینه در منطقه ایجاد شود؛ همچنین با وجود دشوار بودن مدل میانه تخصیص برداری مشخص شد که این الگوریتم قادر است در حل مسائل با سایز متوسط جواب‌های راضی‌کننده‌ای را در مدت زمان کوتاهی فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه آتش‌نشانی، الگوریتم جستجوی ممنوعه، مدل میانه تخصیص برداری، منطقه ۲۲ تهران

مقدمه و طرح مسئله

رشد و توسعه ناهمگون شهرها، مشکلات عدیده‌ای را ایجاد کرده است. یکی از مهم‌ترین مشکلات موجود در

شهرها، توزیع و پراکنش نامناسب و غیرعادلانه تسهیلات شهری است که موجب کاهش بازدهی و خدمات‌رسانی بهینه تسهیلات خواهد شد. در این میان نیز یکی از اهداف توسعه پایدار شهری، ایجاد عدالت اجتماعی یا توزیع عادلانه تسهیلات و در دسترس بودن

*نویسنده مسئول: alesheikh@kntu.ac.ir

گام تهران است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که منطقه ۲۲ شهر تهران نیازمند بسیاری از امکانات و تسهیلات شهری از جمله ایستگاههای آتش‌نشانی است.

تاکنون سیاست کلی ایجاد ایستگاههای آتش‌نشانی اغلب براساس اصل خالی بودن زمین، بدون مالک بودن آن و مواردی از این قبیل بوده است (علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۴) در حالی که استقرار نامناسب تسهیلات از کارایی آنها می‌کاهد و موجب عدم برخورداری تقاضاها از خدمات ارائه شده توسط تسهیلات خواهد شد؛ همچنین هزینه‌ای که صرف ساخت آنها خواهد شد، اتلاف می‌گردد؛ بنابراین مسئله مکانیابی و تخصیص^۱ ایستگاههای آتش‌نشانی از اهمیت زیادی برخوردار است.

پژوهش‌هایی که از حیث روش و موضوع مکانیابی و تخصیص ایستگاههای آتش‌نشانی در منابع علمی یافت شد به صورت زیر مطرح می‌شود.

برخی پژوهش‌ها (Plane & Hendrick, 1977: 564)، (Schilling et al., 1980: 2)، (Chrissis, 1980: 64) و (Schreuder, 1981: 213)، مزیت و کارایی استفاده از مدل‌های مکانیابی و تخصیص در تعیین موقعیت بهینه ایستگاههای آتش‌نشانی را نشان می‌دهد. بدری^۲ و دیگران نیز در سال ۱۹۹۸ از مدل‌های مکانیابی و تخصیص برای اندازه‌گیری و بررسی توزیع ایستگاههای آتش‌نشانی موجود در شهر دوی استفاده کردند. آنها در این پژوهش موقعیت ایستگاههای آتش‌نشانی را تعیین کردند و برای تعیین نقاط بهینه از مدل چند شرطه با استفاده از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح استفاده کردند (Badri et al., 1998: 243).

در سال ۲۰۰۶، بلاژیچ^۳ برای بهینه کردن موقعیت تانکرهای هوای اطفاء حریق بخش جنگلداری و حفاظت از آتش کالیفرنیا، از مدل‌های مکانیابی و تخصیص استفاده کرد (Blazevic, 2006: 1). در سال ۲۰۰۷، Yang و دیگران برای تعیین موقعیت بهینه ایستگاههای آتش‌نشانی از روش برنامه‌ریزی چندهدفه

تسهیلات برای تمام مردم است. این مسئله نشان می‌دهد که در دسترس بودن تسهیلات از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی، موقعیت قرارگیری تسهیلات اضطراری مانند ایستگاههای آتش‌نشانی اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا این تسهیلات وظیفه حفاظت از جان و مال مردم را برعهده دارند. بنابراین، خدمات‌رسانی بهینه ایستگاههای آتش‌نشانی علاوه بر نیاز به تجهیزات و نیروهای ماهر، نیازمند قرارگیری این تسهیلات در مکان‌هایی مناسب است.

در مکانیابی این تسهیلات لازم است که عوامل و پارامترهای مؤثر مانند کمینه کردن زمان رسیدن به محل حادثه، هزینه، فاصله، تعداد جمعیت، تعداد حوادث و ... در نظر گرفته شود. یکی از مهم‌ترین این عوامل، پارامتر زمان است، زیرا هر چه زمان رسیدن خودروهای آتش‌نشانی به محل حادثه بیشتر شود سطح آسیب بیشتر و مهار آتش دشوارتر خواهد بود. خودروهای آتش‌نشانی مطابق با استانداردهای جهانی باید در زمانی کمتر از ۵ دقیقه به محل حادثه برسند و یا با استفاده از خودروهایی حامل تانکرها، فاصله‌ای به طول ۲ تا ۲٫۷ کیلومتر را پوشش دهند (فقهی‌فرهمند و حاجی‌کریمی، ۱۳۸۹: ۵۷).

هر چه وسعت، تعداد جمعیت و ترافیک منطقه مورد مطالعه بیشتر باشد، به تعداد بیشتری ایستگاه آتش‌نشانی نیاز است تا خودروهای آتش‌نشانی بتوانند در زمان استاندارد به محل حادثه برسند. مطابق با بررسی‌های انجام شده، منطقه ۲۲ شهر تهران با مساحتی برابر ۶۲۰۰ هکتار که بزرگترین قطعه پایتخت و جدیدترین منطقه شهری تهران است، تنها دارای ۷ ایستگاه آتش‌نشانی است. از طرفی پس از مواجهه مسئولان شهر با مشکلات کلانشهر تهران، آنها به این نتیجه دست یافتند که منطقه ۲۲ می‌تواند به محدوده‌ای برای خدمات‌رسانی به شهر تهران و جبران کمبودهای رفاهی دیگر مناطق تبدیل شود؛ همچنین در سال‌های اخیر با افزایش رشد و توسعه شهری در کلانشهر تهران، جمعیت این منطقه به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است؛ همچنین این منطقه با بالاترین میزان برج‌سازی و ارتفاع بلند برج‌ها تا ۴۲ طبقه پیش

1. Location- Allocation
2. Badri
3. Blazevic

ممنوعه استفاده کردند و نشان دادند که این الگوریتم در حل مسائل با سایز بزرگ بسیار تواناست و می‌تواند جواب‌هایی با کیفیت را در زمانی کوتاه تولید کند (Lei et al., 2016: 515).

در سال‌های اخیر تحقیقات دیگری نیز در زمینه سایر مدل‌های مکانیابی و تخصیص انجام شده است، اما با توجه به این‌که تاکنون از مدل ترکیبی میانه تخصیص برداری در هیچ پژوهشی استفاده نشده است، این پژوهش برای نخستین بار با استفاده از مدل ترکیبی مکانیابی و تخصیص (مدل میانه تخصیص برداری)^۴ که یک رویکرد نو در حل مسائل مختلف مکانیابی و تخصیص است و با هدف کمینه کردن زمان رسیدن آتش‌نشانی به محل تقاضا در کمتر از ۵ دقیقه، وضعیت تخصیص در منطقه مورد مطالعه را در محیط سیستم اطلاعات مکانی^۵ بررسی خواهد کرد. در صورت کافی نبودن تعداد ایستگاههای موجود جهت خدمات‌رسانی به مردم، مکان‌های مناسبی جهت ایجاد تسهیلات در منطقه مکانیابی خواهد شد. با توجه به این‌که مسئله مکانیابی و تخصیص جزء مسائل سخت^۶ است (Abdollahi et al., 2011:954) حل آن به روش‌های مرسوم ممکن نیست، به همین جهت برای حل این مسئله باید از روش‌های فراالبتکاری مانند الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده کرد که زمان حل مسئله را به طرز چشم‌گیری کاهش می‌دهند؛ بنابراین با برنامه‌ریزی صحیح و بهینه تسهیلات اضطراری، شمار حوادث ناگوار تا حد امکان کاهش می‌یابد و تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان شهری جهت اتخاذ تصمیم‌های مناسب و مدیریت بهتر شهرها می‌توانند از نتایج این پژوهش استفاده کنند.

مبانی نظری تحقیق

طبقه‌بندی‌های مختلفی برای مسائل مکانیابی-تخصیص وجود دارد که بر مبنای رویکرد محققان انجام گرفته است، اما یک تعریف جامع از مسئله به صورت زیر مطرح می‌شود.

فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند (Yang et al., 2007: 904).

عباسپور در سال ۱۳۹۰ برای تخصیص بهینه شهروندان در مکان‌های از پیش تعیین شده به منظور مدیریت سوانح در حوادث غیر مترقبه از مدل عرضه و تقاضا استفاده کرد. مدل پیشنهادی او سعی دارد خانوارهای ساکن در مناطق مسکونی را به نزدیک‌ترین فضای سبز موجود در منطقه منتسب کند (عباسپور، ۱۳۹۰: ۶۱). در سال ۱۳۹۱ شورورزی و همکاران در حل مسئله مکانیابی ایستگاههای آتش‌نشانی چندین الگوریتم را با هم مقایسه کردند و اعلام کردند که الگوریتم جستجوی ممنوعه جواب‌هایی با دقت و کیفیت را در شرایطی بدون محدودیت زمانی ایجاد خواهد کرد (شورورزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲).

در سال ۲۰۱۱، الغریب^۱ پوشش ایستگاههای آتش‌نشانی موجود در شهر کویت را با استفاده از مدل‌های مکانیابی و تخصیص در محیط سیستم اطلاعات مکانی مورد ارزیابی قرار داد. نتیجه ارزیابی توزیع ایستگاههای آتش‌نشانی موجود، نشان داد که بعضی از بخش‌ها، خارج از مناطق سرویس‌دهی (با استاندارد زمان حضور ۴ دقیقه) هستند (Algharib, 2011: 1-126). بلوری^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۸ برای مکانیابی و تخصیص ایستگاههای آتش‌نشانی با در نظر گرفتن چندین شرط از الگوریتم ژنتیک و تبرید و GIS استفاده کردند (Bolouri et al., 2018: 2). امروزه از GIS برای حل مسائل بهینه‌یابی و تجزیه و تحلیل‌ها استفاده می‌شود (امامی و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۸) (پناهی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۳).

در سال ۲۰۱۴، لی و چرچ^۳ رویکرد ترکیبی را جهت حل مسائل مکانیابی و تخصیص با عنوان مدل میانه تخصیص برداری توسعه دادند که می‌تواند بسیاری از مسائل مختلف را حل کند و از روش ILP برای حل آن استفاده کردند (Lei & Church, 2014: 195). او و همکارانش در سال ۲۰۱۶ جهت حل سریع‌تر همان مسئله با رویکرد توسعه‌یافته از الگوریتم جستجوی

4. Vector Assignment Ordered Problem (VAOMP)
5. GIS
6. NP-Hard

1. Algharib
2. Bolouri
3. Lei and Church

مدل میانه ترتیبی: نیکل و پوئرتو^۷ نیز مسئله مرکز را با مسئله میانه ترکیب کردند که این مدل را مدل میانه ترتیبی^۸ نامیدند (Nickel and Puerto, 1999: 283-290).

مدل میانه ترتیبی تخصیص برداری: لی و چرچ در سال ۲۰۱۴ مدل میانه ترتیبی تخصیص برداری را توسعه دادند که خلاصه‌ای از مدل میانه ترتیبی و مسئله میانه تخصیص بردار می‌باشد (Lei et al., 2016: 515). آنها نشان دادند که این مدل می‌تواند مسائل موقعیتی متفاوت را حل کند. مدل ارائه شده به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Minimize } Z = \sum_i \sum_{k=1}^n \lambda_k Z_i^k \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n w_k = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l=1}^L a_i \theta_{il} d_{ij} c_{ij}^l \quad (2)$$

$$d_{ij} \leq 5 \text{ min} \quad (3)$$

I جمعیت

J ایستگاههای آتش‌نشانی

a_i جمعیت در نقطه i

λ_k $k=1, 2, \dots, n$ وزن در سطح ترتیبی

d_{ij} زمان بین هر ایستگاه آتش‌نشانی تا جمعیت

θ_{il} سطح ترتیبی (در این تحقیق ۱ است)

$$c_{ij}^l = \begin{cases} 1 & \text{اگر یک مشتری به یک آتش‌نشانی تخصیص یابد} \\ 0 & \text{در غیر صورت} \end{cases}$$

رابطه ۲ جمع جزئی وزندار فواصل یا هزینه‌ها برای هر تقاضای i برحسب متغیرهای تخصیص c_{ij}^l و بردار تخصیص θ_{il} است. تابع هدف ۱، جمع مقادیر جزئی وزندار (را که به وسیله λ_k با ترتیب k وزندار شده‌اند) کمینه می‌کند (Lei et al., 2016: 515). رابطه ۳ نیز بیان می‌کند که هزینه یا زمان رسیدن به تقاضا نباید بیش از ۵ دقیقه باشد. در این پژوهش از تابع هدف نامبرده در بالا استفاده خواهد شد. معیارهای مختلفی جهت حل مسئله تخصیص ایستگاههای آتش‌نشانی می‌تواند مطرح شود اما با توجه به این که معیار زمان، مهم‌ترین معیار در حل این مسئله است، در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۱) مدل مفهومی تحقیق را نشان می‌دهد.

مکانیابی و تخصیص: عبارت است از مکانیابی m تسهیل موجود برای برآورده کردن اهدافی لازم، جهت تخصیص بهینه n تقاضا (Fortenberry and Mitra, 1986: 77). منظور از تسهیلات همان سرویس‌دهنده‌ها و منظور از تقاضاها همان جمعیت سرویس‌گیرنده یا مشتری‌ها هستند. با وجودی که مدل‌های بسیاری برای حل مسائل مکانیابی و تخصیص وجود دارد همه این مدل‌ها در واقع برگرفته از سه مدل اصلی هستند.

مدل‌های اصلی مکانیابی و تخصیص: به‌طور کلی سه مدل اصلی برای مسئله مکانیابی و تخصیص وجود دارد. ۱- مسئله میانه^۱، که هدف آن یافتن موقعیت چندین تسهیل بر روی یک شبکه برای کاهش هزینه‌های تردد یا فاصله سفر بین نقاط تقاضا و نزدیک‌ترین تسهیلات است. ۲- مسئله مرکز^۲ که هدف آن کمینه کردن بیشینه فاصله بین تقاضا و تسهیل است. ۳- مسئله پوشش^۳ که هدف آن بیشینه کردن فاصله یا زمان است (Lei and Church, 2014: 195).

امروزه استفاده از مدل‌های ترکیبی که مدل‌های مختلف را خلاصه و ترکیب می‌کند در فهم بهتر مسائل و حل آنها بسیار مؤثر است. این پژوهش از یک مدل ترکیبی جهت حل مسئله استفاده می‌کند بنابراین برخی از مهم‌ترین مدل‌های ترکیبی دخیل در مدل میانه تخصیص برداری مورد بحث قرار می‌گیرند.

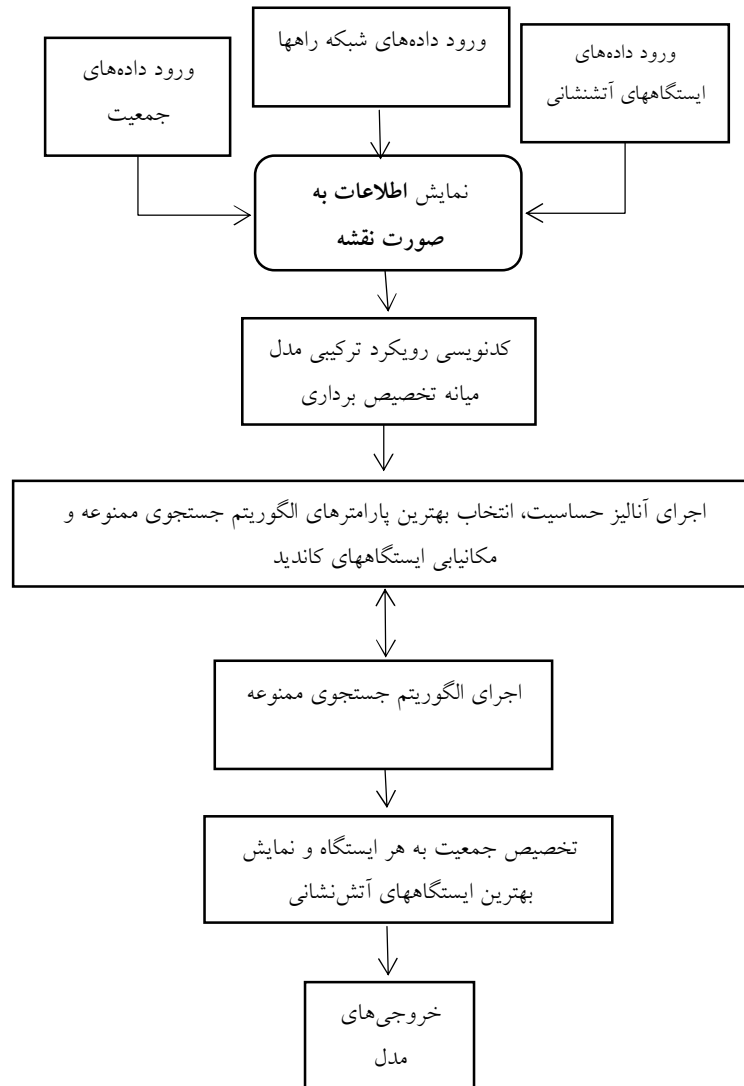
تبدیل مدل پوشش به میانه: چرچ و ریویل^۴ در سال ۱۹۷۶ به این نتیجه دست یافتند که مدل پوشش با تبدیل فاصله از تقاضای i به تسهیل j به یک فاصله متریک، می‌تواند به صورت یک مسئله میانه مطرح شود (Church and ReVelle, 1976: 408).

مدل ترکیبی میانه تخصیص بردار: چرچ و ویویر^۵ نیز مسئله میانه تخصیص بردار را توسعه دادند (Weaver and Church, 1986: 1-19).

1. P-Median
2. P-Center
3. Coverage
4. Church and ReVelle
5. Church and Weaver
6. Vector Assignment P-Median Problem (VAPMP)

7. Nickel and Puerto

8. Ordered Median Problem (OMP) Church و ReVelle



شکل ۱: مدل مفهومی تحقیق

روش تحقیق

این پژوهش بر مبنای روش توصیفی-تحلیلی است. بدین ترتیب نحوه انتخاب تکنیک در این پژوهش بر مبنای پژوهش‌ها اسنادی و کتابخانه‌ای و روش جمع‌آوری اطلاعات نیز بر مبنای آمارهای موجود، آخرین سرشماری جمعیت، بازدیدهای میدانی و مراجعه به سازمان‌های مربوطه مانند شهرداری، آمار، آتش‌نشانی و... جهت جمع‌آوری اطلاعات جمعیتی، زون‌های آماری، تعداد حوادث، نقشه راه‌ها، ایستگاههای آتش‌نشانی موجود و ... انجام شده است.

جهت اجرای مدل در منطقه مورد مطالعه ابتدا لازم است که داده‌های مربوط به شبکه راهها تهیه گردد. این داده‌ها باید کاملاً عاری از خطا باشند زیرا پارامتر زمان

براساس فاصله و متوسط سرعت تردد در هر بخش مسیر به‌دست می‌آید. زمان رسیدن خودروهای آتش‌نشانی به محل حادثه از طریق آنالیز OD Cost Matrix و متوسط سرعت تردد نیز بر اساس متوسط ترافیک روزانه هر بخش از مسیر به‌دست آمده است. سپس به داده‌های محل ایستگاههای موجود و کاندید (جهت احداث ایستگاههای جدید) نیاز است که محل ایستگاههای کاندید از طریق مکان‌یابی ایستگاههای آتش‌نشانی مانند (گلوردزاده و همکاران، ۲۰۱:۱۳۹۷) در محیط سیستم اطلاعات مکانی به‌دست آمده است. آنگاه، به کمک زبان برنامه‌نویسی متلب، رویکرد ترکیبی مدل می‌شود. پس از آن صحت مدل یاد شده به کمک اجرای آن در یک منطقه کوچک مشخص

جهت بررسی انتخاب شد. شکل (۲) منطقه مورد مطالعه و ایستگاههای آتش‌نشانی موجود را نشان می‌دهد.

بحث اصلی و یافته‌های تحقیق

جهت اجرای مدل در منطقه مورد مطالعه لازم است که ابتدا آنالیز حساسیت انجام بگیرد. استفاده از این آنالیز موجب می‌شود که بتوانیم بهترین پارامترهای تأثیرگذار بر روی مدل را بیابیم و در نتیجه، الگوریتم بتواند در زمان کوتاه‌تری به جواب‌های بهینه دست یابد و در دام بهینه‌های محلی نیفتد و بعد بررسی وضعیت مکانیابی و تخصیص منطقه مورد مطالعه انجام می‌گیرد. ابتدا آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای الگوریتم مورد نظر انجام می‌گیرد. کارایی و اجرای مؤثر الگوریتم مورد نظر به پارامترهایی مانند تعداد تکرار، تعداد همسایگی‌ها و مدت ممنوعیت بستگی دارد. اگرچه این پارامترها می‌توانند مقادیر مختلفی را بپذیرند جهت سادگی پردازش، مقادیری برای آنها در نظر گرفته شده است. شکل (۳) جزئیات چگونگی آنالیز حساسیت در این نوع مسئله مکانیابی و تخصیص را نشان می‌دهد.

تأثیر تعداد تکرار: منظور از تعداد تکرار، کلیه پروسه تکرار مراحل الگوریتم است. این مقدار می‌تواند از ۱ تا مثبت بی‌نهایت باشد. در این پژوهش تأثیر این پارامتر از ۵ تا ۱۰۰ بررسی می‌گردد (Fan and Machemehl, 2008: 512) و نتیجه آن در شکل (۳-الف) نشان داده شده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد با افزایش تعداد تکرار، از مقدار تابع هدف کاسته می‌شود. کمترین مقدار تابع هدف در تعداد تکرار ۸۰ مرتبه اتفاق می‌افتد بنابراین پیشنهاد می‌شود که همین تعداد تکرار به عنوان بهینه انتخاب گردد.

تأثیر مدت ممنوعیت: تأثیر مدت یا تعداد ممنوعیت در بازه ۵ تا ۴۰ (Fan and Machemehl, 2008: 512) بررسی می‌گردد و نتایج آن در شکل (۳-ب) نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است حداقل مقدار تابع هدف با ۲۰ ممنوعیت اتفاق می‌افتد؛ بنابراین این مقدار به عنوان تعداد بهینه ممنوعیت انتخاب می‌گردد.

می‌گردد. پس از تنظیم پارامترهای این الگوریتم به کمک آنالیز حساسیت (که زمان رسیدن به جواب بهینه را کاهش می‌دهد)، در نهایت الگوریتم به مکانیابی و تخصیص در منطقی مورد مطالعه می‌پردازد.

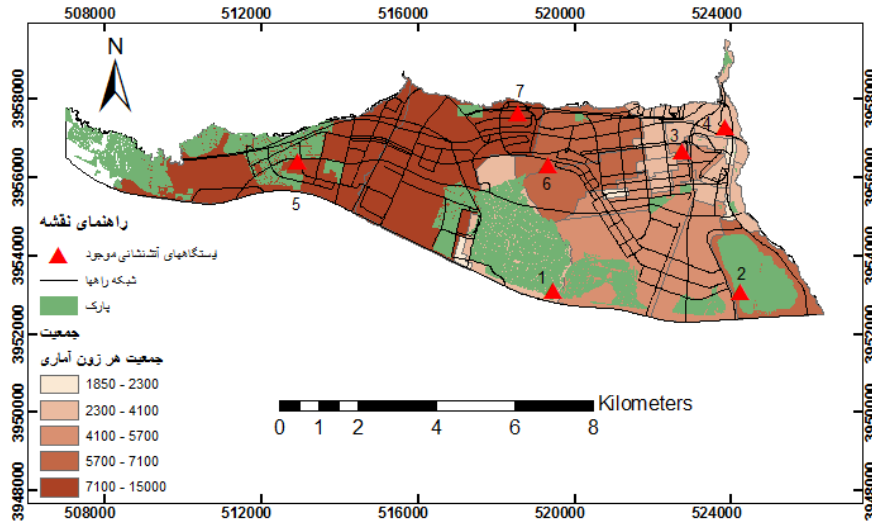
الگوریتم جستجوی ممنوعه: جستجوی ممنوعه^۱ از جمله فراابتکاری‌های پر مراجعه و پر مصرف در مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است. الگوریتم جستجوی ممنوعه هم برای گریز از کمینه‌های محلی و هم برای پیاده‌سازی، صریح از سابقه جستجو یا حافظه کوتاه مدت بهره می‌برد. حافظه کوتاه‌مدت به صورت یک لیست ممنوع است که راه‌حل‌های اخیر را نگهداری کرده و حرکت به سمت آنها را قذغن می‌کند. پس همسایه راه‌حل فعلی، به راه‌حلی محدود می‌شود که به لیست ممنوع تعلق ندارند. در هر تکرار بهترین راه‌حل متعلق به این لیست حذف می‌شود. با رسیدن به شرط خاتمه یعنی زمانی که کلیه راه‌حل‌های موجود توسط لیست ممنوع، قذغن شده باشند، الگوریتم پایان می‌یابد.

محدوده و قلمرو پژوهش

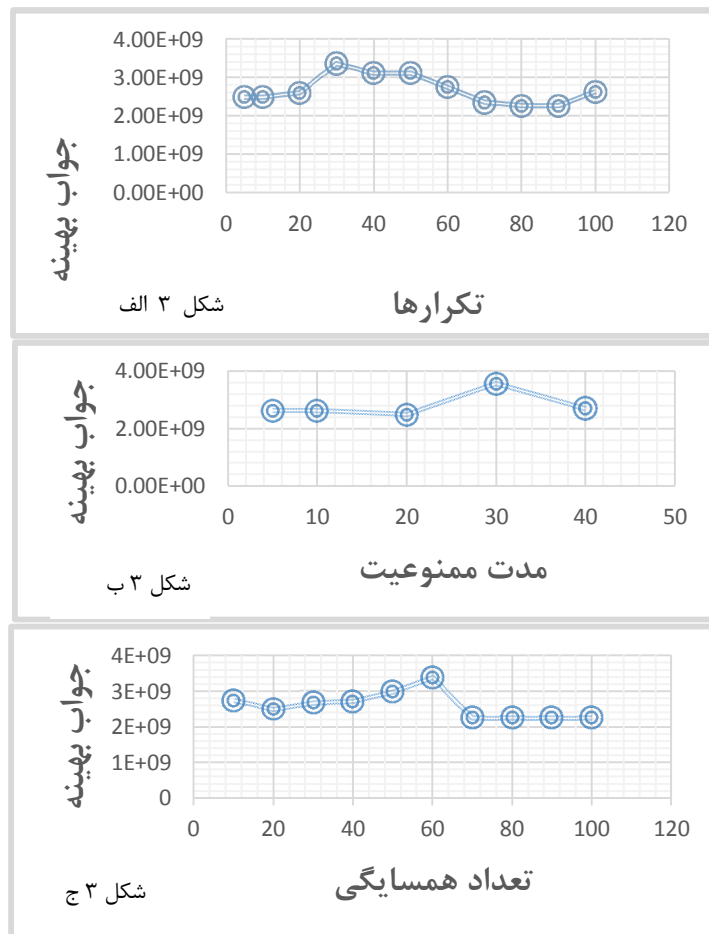
منطقه ۲۲ شهر تهران جدیدترین منطقه شهری تهران است که بین طول‌های شرقی $51^{\circ}5'10''$ تا $51^{\circ}20'40''$ و عرض‌های شمالی $35^{\circ}32'16''$ تا $35^{\circ}57'19''$ واقع شده است. مساحت این منطقه حدود ۶۲۰۰ هکتار است. مطابق با آخرین سرشماری انجام شده جمعیت این منطقه بالغ بر ۱۵۰۰۰۰ نفر است که براساس طرح تفصیلی تا سال ۱۴۰۴ به ۴۵۰۰۰۰ نفر خواهد رسید. با توجه به این که مطابق با استانداردهای جهانی هر ایستگاه آتش‌نشانی باید در زمان کمتر از ۵ دقیقه به محل حادثه برسد و یا در فاصله ۲ تا ۲٫۷ کیلومتری (فقهی‌فرهمند و حاجی‌کریمی، ۱۳۸۹) از محل حادثه باشد؛ بنابراین با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه، جمعیت زیاد و رو به رشد آن و وجود ساختمان‌های بلندمرتبه، برج‌ها و کارخانه‌ها در این منطقه، خدمات‌رسانی بهینه ایستگاههای آتش‌نشانی در آن بسیار اهمیت می‌یابد بنابراین منطقه ۲۲ تهران

همسایگی می‌بایست بهینه باشد و همین تعداد همسایگی در اجرای الگوریتم توصیه می‌شود.

تأثیر تعداد همسایگی‌ها: تأثیر همسایگی در بازه ۱۰ تا ۱۰۰ همسایگی بررسی می‌گردد. نتیجه در شکل (۳ج) نشان داده شده است که بیان می‌کند تعداد ۷۰



شکل ۲: منطقه ۲۲ شهر تهران



شکل ۳: آنالیز حساسیت

طریق مکانیابی ایستگاههای آتش‌نشانی ایجاد شده‌اند دو ایستگاه با کمک الگوریتم جستجوی ممنوعه در منطقه انتخاب می‌شود و سپس وضعیت تخصیص همه جمعیت موجود در منطقه بررسی خواهد شد. شکل (۶) ایستگاههای آتش‌نشانی کاندید را نشان می‌دهد که از روی هم‌گذاری لایه‌های مؤثر در مکانیابی ایستگاههای آتش‌نشانی به دست آمده‌اند.

جدول ۱: تعداد تخصیص هر ایستگاه و مجموعه تقاضاهای تخصیص نیافته

شماره ایستگاه	تعداد تخصیص
۱	۲۵۲۰۰
۲	۲۹۲۰۰
۳	۱۳۲۴۰
۴	۱۸۵۲۰
۵	۲۲۳۶۰
۶	۱۷۸۰۰
۷	۸۸۸۰
مجموع تقاضاهای تخصیص یافته	۱۲۱۹۶۰
مجموع تقاضاهای تخصیص نیافته	۲۸۰۴۰
مجموع کل تقاضا	۱۵۰۰۰۰

شکل (۷) وضعیت مکانیابی و تخصیص ایستگاههای موجود و جدید و شکل (۸) نمودار همگرایی الگوریتم را بعد از ۸۰ مرتبه تکرار نشان می‌دهد. جدول ۲ وضعیت تخصیص ایستگاهها را نشان می‌دهد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

از آنجایی که منطقه ۲۲ شهر تهران بزرگ‌ترین قطعه پایتخت است و جمعیت زیادی را در خود جای داده است لازم است که وضعیت خدمات‌رسانی تسهیلات جهت مدیریت بهینه شهری در آن بررسی گردد.

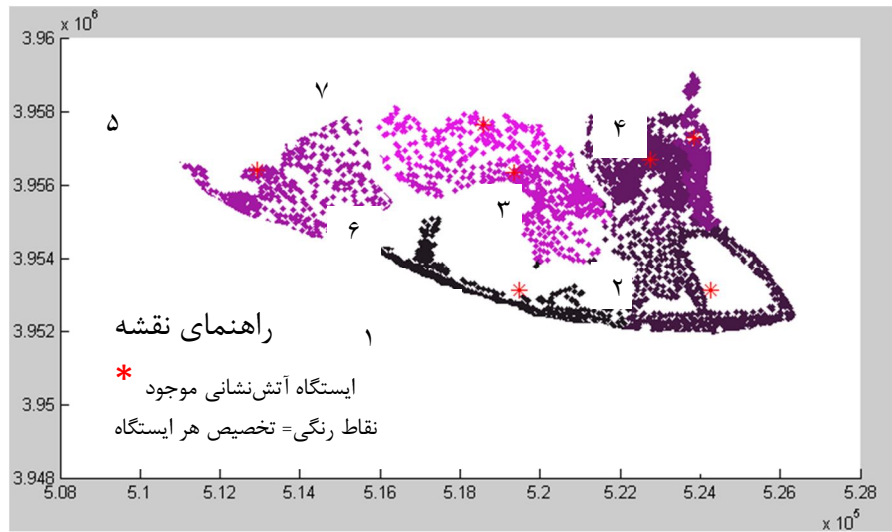
پس از اجرای آنالیز حساسیت و تنظیم پارامترهای الگوریتم موردنظر، خروجی‌ها و نتایج حاصل از الگوریتم بر روی یک منطقه کوچک با تعداد تخصیص محدود بررسی شد. نتایج و همچنین نمودار همگرایی الگوریتم، صحت عملکرد آن را نشان داد؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که الگوریتم می‌تواند جواب‌های خوبی را برای منطقه تولید کند.

بررسی وضعیت تخصیص جمعیت به ایستگاههای

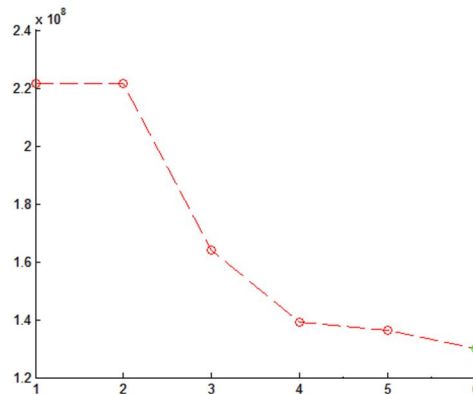
آتش‌نشانی موجود: در ابتدا باید وضعیت تخصیص جمعیت موجود در منطقه مورد مطالعه به ۷ ایستگاه موجود بررسی شود تا مشخص گردد که آیا با در نظر گرفتن هدف کمینه کردن زمان رسیدن ماشین‌های آتش‌نشانی تا محل تقاضا در کمتر از ۵ دقیقه، ایستگاههای موجود در منطقه قادر به پاسخگویی به جمعیت موجود در منطقه خواهند بود یا نه. پارامترهای بهینه مطابق بالا برای الگوریتم تنظیم می‌گردد. حال با کمک مدل میانه تخصیص برداری، الگوریتم جستجوی ممنوعه به جستجوی جواب‌های بهینه می‌پردازد. شکل (۴) وضعیت تخصیص ایستگاههای موجود و شکل (۵) نمودار همگرایی الگوریتم را نشان می‌دهد. تخصیص هر ایستگاه به یک رنگ خاص نمایان شده است (هر نقطه معادل ۴۰ نفر یا متوسط جمعیت ساکن در هر بلوک ساختمانی در نظر گرفته شده است). نقاط بدون تخصیص از شکل حذف شده‌اند. جدول ۱ تعداد تخصیص هر ایستگاه و مجموعه تقاضاهای تخصیص نیافته را نشان می‌دهد.

مکانیابی و تخصیص دوباره ایستگاههای کاندید

جهت تخصیص کلیه تقاضاهای موجود: پس از بررسی تخصیص ایستگاههای موجود و با توجه به بدون خدمات ماندن برخی از مردم، لازم است که جهت خدمات‌رسانی به همه مردم، تعدادی ایستگاه در منطقه ایجاد شود؛ بنابراین از میان ایستگاههای کاندید که از



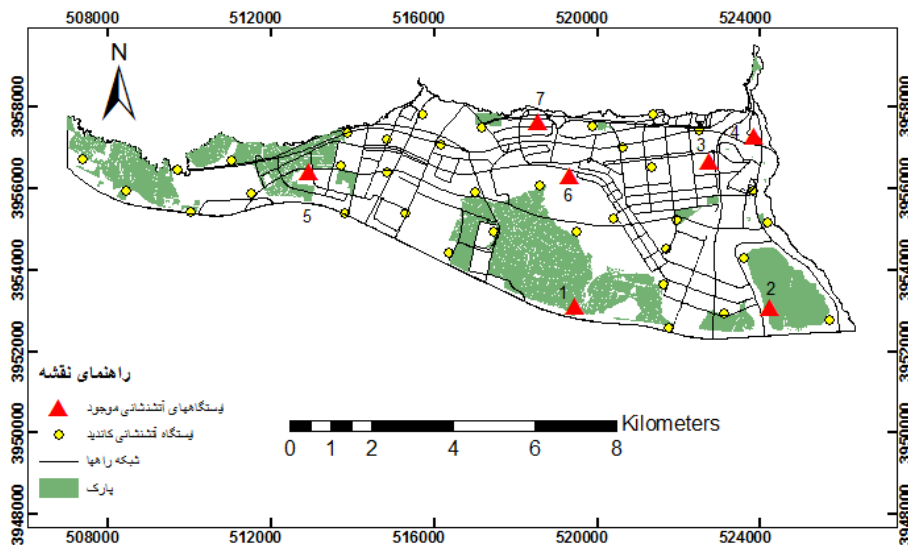
شکل ۴: وضعیت تخصیص ایستگاههای موجود



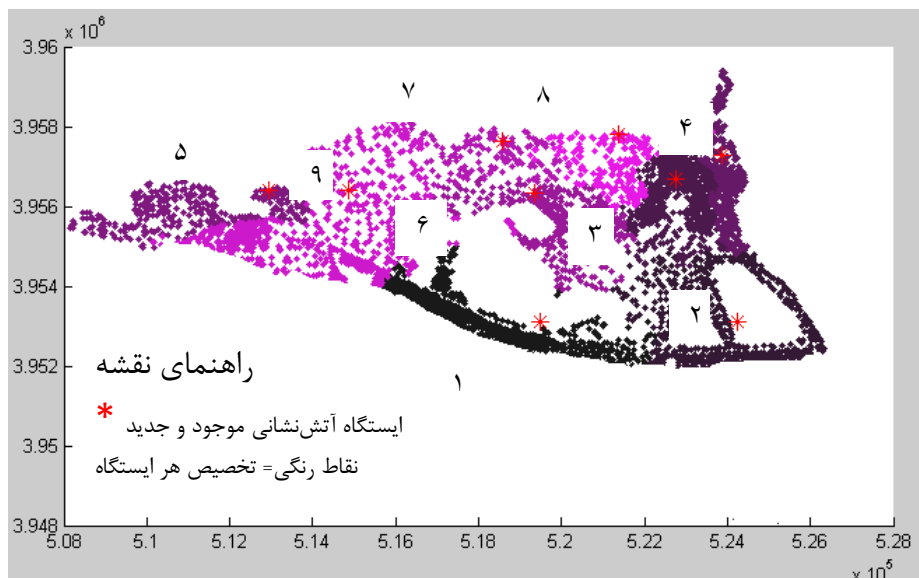
شکل ۵: نمودار همگرایی الگوریتم با ۷ ایستگاه موجود (محور X تکرارهای بحرانی و محور Y مقدار بهینه تابع)

دشواری است و در زمره مسائل سخت قرار دارد و حل آن به روشهای معمول امکان پذیر نیست بنابراین با توجه به کارا بودن الگوریتم جستجوی ممنوعه، از این الگوریتم برای حل مسئله مکانیابی و تخصیص ایستگاههای آتش نشانی واقع در منطقه ۲۲ شهر تهران استفاده شد که تا کنون از این مدل ترکیبی که یک رویکرد نو در حل مسائل مکانیابی و تخصیص است در هیچ مسئلهای استفاده نشده است.

به همین جهت لازم است که از مدل های مکانیابی و تخصیص وضعیت تخصیص در منطقه بررسی شود. یکی از مدل های مؤثر در زمینه حل مسائل مکانیابی و تخصیص، رویکرد ترکیبی مدل میانه تخصیص برداری است که قادر است بسیاری از مسائل مکانیابی و تخصیص را در حوزه های مختلف از مسائل میانه با هدف کمینه کردن تا مسائل پوشش با هدف بیشینه کردن و حتی مسائل مرکز را حل کند. این رویکرد،



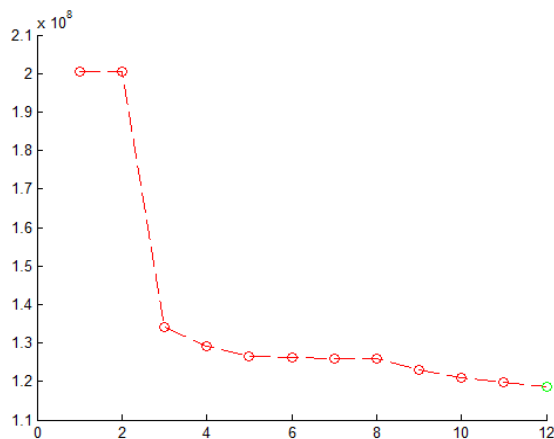
شکل ۶: ایستگاههای کاندید آتش نشانی



شکل ۷: وضعیت مکانیابی و تخصیص ایستگاههای موجود و ایستگاههای جدید

محل تقاضاها در کمتر از ۵ دقیقه کافی نیست و ۲۸۰۴۰ نفر در منطقه بیش از ۵ دقیقه با ایستگاههای آتش نشانی فاصله دارند که این در مواقع بروز بحران می تواند شدت آسیبها را بسیار افزایش دهد.

نتیجه استفاده از این رویکرد ترکیبی در تلفیق با الگوریتم جستجوی ممنوعه به کمک سیستم اطلاعات مکانی نشان داد که تعداد ۷ ایستگاه موجود در منطقه جهت خدمات رسانی به کلیه تقاضاهای موجود با هدف کمینه کردن زمان رسیدن ماشینهای آتش نشانی به



شکل ۸: نمودار همگرایی الگوریتم با ۷ ایستگاه موجود و ۲ ایستگاه کاندید (محور X تکرارهای بحرانی و محور Y مقدار بهینه تابع)

خدمات رسانی کند؛ همچنین با وجود پیچیده و دشوار بودن مدل میانه تخصیص برداری این الگوریتم قادر است در حل مسائل با سایز متوسط جواب‌های راضی کننده‌ای را در مدت زمان کوتاهی فراهم کند. بنابراین برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان در امور برنامه‌ریزی، طراحی شهری و به‌ویژه امور مربوط به مدیریت بحران می‌توانند از یافته‌های این پژوهش یا از این مدل مطرح شده جدید در تصمیم‌گیری‌ها و طراحی بهینه شهرها کمک بگیرند تا استفاده از تسهیلات شهری به‌خصوص تسهیلات اورژانسی برای تمام ساکنان شهرها امکانپذیر باشد و منطقه پوشش ایستگاههای آتش‌نشانی در زمان کمتر از ۵ دقیقه بررسی گردد زیرا در کمتر از این زمان مهار حوادث آسان‌تر خواهد بود؛ بنابراین استفاده از این پژوهش می‌تواند در زمینه بهبود مدیریت شهری و کاهش حوادث ناگوار مؤثر باشد.

پیشنهادها

با توجه به این‌که این رویکرد ترکیبی قادر است که بسیاری از مدل‌های مکانیابی و تخصیص را حل کند یا حتی به صورت چندهدفه استفاده گردد؛ همچنین می‌توان کارایی سایر الگوریتم‌ها را در حل بهینه این مدل بررسی نمود.

جدول ۲: وضعیت تخصیص ایستگاهها

شماره ایستگاه	تعداد تخصیص
۱	۲۴۵۶۰
۲	۲۶۱۲۰
۳	۱۱۲۴۰
۴	۱۲۰۰۰
۵	۲۲۳۶۰
۶	۱۴۱۶۰
۷	۸۶۴۰
۸	۱۰۱۲۰
۹	۲۰۸۰۰
مجموع تقاضاهای تخصیص یافته	۱۵۰۰۰۰
مجموع تقاضاهای تخصیص نیافته	۰
مجموع کل تقاضا	۱۵۰۰۰۰

بنابراین با اضافه کردن ۳۵ ایستگاه جدید و کاندید (که از مکانیابی و روی هم گذاری لایه‌های مؤثر در مکانیابی ایستگاههای آتش‌نشانی حاصل شدند) و انتخاب ۲ ایستگاه از میان ایستگاههای کاندید همراه ۷ ایستگاه موجود، انجام مکانیابی و تخصیص دوباره نتایج نشان داد که الگوریتم مورد نظر قادر است با وجود تعداد زیاد تقاضا (۳۷۵۰ نقطه معادل ۱۵۰۰۰۰ نفر) در منطقه، در زمان ۳۳۹ ثانیه جواب‌های خوبی را ایجاد کند و تعداد ۹ ایستگاه شامل ۷ ایستگاه موجود و ۲ ایستگاه کاندید به خوبی می‌تواند کلیه تقاضاهای منطقه را با هدف کمینه کردن زمان رسیدن ماشین‌های آتش‌نشانی به محل تقاضاها در کمتر از ۵ دقیقه

9. Algharib, Saad. 2011. Distance and Coverage: An Assessment of Location-Allocation Models for Fire Stations in Kuwait City, Kuwait. For the Degree of Doctor of Philosophy, Kent State University.
10. Badri, Masood. Amr Mortagy and Ali Alsayed, A. 1998. A Multi-Objective Model for Locating Fire Stations. *European Journal of Operational Research*, 110(2): 243-260.
11. Blazevic, Antonio. 2006. Using Location-Allocation to Optimize Location of Fire Tanker Airbases in California. For the Master of Science Degree, approved by Dr. Wanxiao Sun, Chair Dr. Raja R. Sengupta Dr. S. Jeffery Underwood, Department of Geography and Environmental Resources in the Graduate School Southern Illinois University Carbondale.
12. Bolouri, Samira. Alireza Vafaeinejad, Aliasghar. Alesheikh and Hossein Aghamohammadi. 2018. The Ordered Capacitated Multi-Objective Location-Allocation Problem for Fire Stations. *Isprs International Journal of Geo-Information*. 7(44).
13. Chrissis, James. 1980. Locating Emergency Service Facilities in a Developing Area. *Fire Technology*, 16: 63-69.
14. Church, Rechar. and Charles ReVelle. 1976. Theoretical and Computational Links between the P-Median, Location Set-Covering, and the Maximal Covering Location Problem. *Geographical Analysis*, 8 (4): 407-415.
15. Church, Richard and Weaver Jerard. 1986. Theoretical Links between Median and Coverage Location Problems. *Annals of Operations Research*, 6: 1-19.
16. Fan, Wei and Randy Machemehl. 2008. Tabu Search Strategies for the Public Transportation Network Optimizations with Variable Transit Demand. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23: 502-520.
17. Lei, Thing and Richard Church. 2014. Vector Assignment Ordered Median Problem: A Unified Median Problem. *International Regional Science Review*, 37 (2): 194-224.

منابع

۱. امامی، میترا. سید حامد میرکریمی و عبدالرسول سلمان ماهیتی. ۱۳۹۷. مسیریابی بهینه خطوط لوله انتقال گاز طبیعی به کمک روش LCPA: منطقه مورد مطالعه: دهنة زاو استان گلستان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال هشتم، شماره مسلسل بیست و هفتم*.
۲. پناهی، علی. فرناز عباسپور و پریا عابدینی. ۱۳۹۷. بررسی و ساماندهی مکانگزینی مراکز آموزشی ابتدایی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مطالعه موردی: منطقه ۴ شهرداری تبریز. مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال هشتم، شماره مسلسل بیست و هفتم*.
۳. شوروزی، حسین. محمد مسگری، عباس علی محمدی و حسین آقامحمدی. ۱۳۹۱. مقایسه قابلیت‌های الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسئله مکانیابی مراکز آتش‌نشانی، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳.
۴. عباسپور، رحیم. خرداد ۱۳۹۰. تخصیص بهینه شهروندان در مکان‌های از پیش تعیین شده به منظور مدیریت سوانح پس از زمین لرزه، نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره دوم، شماره ۲.
۵. علی‌آبادی، زینب. مهین نسترن، فرزانه پیرانی و فرزانه شیخزاده. پاییز ۱۳۹۶. مکانیابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از روش تلفیقی AHP و GIS مطالعه موردی: منطقه ۳ اصفهان، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۶، شماره ۱۰۳.
۶. فقهی‌فرهمنند، ناصر و بابک حاجی کریمی. ۱۳۸۹. مکان‌یابی ایستگاه آتش‌نشانی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه TOPSIS و SAW و انتخاب مکان بهینه با استفاده از روش بردا (شهر صنعتی البرز قزوین)، *مطالعات کمی در مدیریت*، شماره ۳.
۷. گلوردزاده، رضا. حبیب اله سهامی و سید موسی پور موسوی. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی راهبردی بافت‌های فرسوده شهری از منظر پدافند غیرعامل. *مورد مطالعه: شهر یزد. مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال هشتم، شماره مسلسل بیست و هفتم*.
8. Abdollahi, Maryam. Mahsa Ghandehari and Saeedeh Ketabi. 2011. A Location-allocation model for loss minimization in large-scale Emergency situation. *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*, 3(8): 954-964.

- Denver Fire Department. Operation Research, Vol 25, PP 563-578.
22. Schilling, David. Charles Revelle, Jared Cohon and Jack Elzinga. 1980. Some Models for Fire Protection Locational Decisions. European journal of operation Research, Vol 5, PP 1-7.
23. Schreuder, Jam. 1981. Application of a Location Model to Fire Stations in Rotterdam. European Journal of Operation Research, Vol 6, PP 212-219.
24. Yang, Lili. Bryan F. Jones and Shuanghua Yang. 2007. A Fuzzy Multi-Objective Programming for Optimization of Fire Station Locations through Genetic Algorithms. European Journal of Operational Research, Vol 181, PP 903-915.
18. Lei, Thing. Richard Church and Zhen Lei. 2016. A Unified Approach for Location-Allocation Analysis: Integration GIS, Distributed Computing and Spatial Optimization. International Journal of Geographic Information Science, Vol 30, PP 515-534.
19. Mitra, Amitava and Jessie Fortenberry. 1986. The Location-Allocation Problem Using Multi-Objectives. Engineering Costs and Production Economics, Vol 10, No 2, PP 113-120.
20. Nickel, Stefan and Justo Puerto. 1999. A Unified Approach to Network Location Problems. Networks, Vol 34, PP 283-290.
21. Plane, Donald and Thomas Hendrick. 1977. Mathematical Programming and the Location of Fire Companies for

