Journal Research and Urban Planning

Autumn 2022. Vol 13. Issue 50

ISSN (Print): 2228-5229 - ISSN (Online): 2476-3845

Research Paper

Spatial optimization of fire stations in terms of access and service coverage (Case study: Zabol city)

Hossein Yaghfoory [1], Vahid Pasban Essaloo [2*], Seyed Ali Hosseyni [3]

1, Associate Prof., Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan & Baloochestan University, Zahedan, Iran

2, PhD student in geography and urban planning, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan & Baloochestan University, Zahedan, Iran.

3, PhD student in geography and urban planning, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan & Baloochestan University, Zahedan, Iran.

Received: 2020/07/15
Accepted: 2021/03/07
PP: 147-159

Use your device to scan and read the article online

Keywords:
Locating, fire station, urban governance, access, maximum service coverage

Abstract

Today, the optimal location of fire stations is one of the important necessities in the field of efficiency and timely response of urban management to potential hazards. Spatial optimization methods are widely used in this field due to special and spatial features of issues related to urban facilities. Among the most important of these items are interpolation-based methods and maximum service coverage. In the current situation, the city of Zabol has two operational fire stations, which due to the large size of the city and its rapid physical development, are not able to adequately respond to urban incidents and events, so it needs serious revision and increase the number of stations to the desired level. The present research, in terms of methodology is descriptive, in terms of purpose is applied and is based on library studies and field studies. Based on the scenario, this study presents a multi-objective spatial optimization model that combines the objectives related to the middle limit and maximum service coverage in the field of fire stations in Zabol city and finally using the Pareto optimization method Displays the improve access intensity. Findings from the research scenarios showed that with a certain increase in the number of stations in different parts of the city, access improves with different intensities. For example, assuming 6 stations are located at certain distances from each other, access will improve by up to 9% compared to the current situation, and if this number increases to 12, access will increase by up to 60%.

Citation: Yaghfoory, H; Pasban Essaloo, V; Hosseyni, S A. (2022): Spatial optimization of fire stations in terms of access and service coverage(Case study: Zabol city), Journal Research and Urban Planning, Vol 13, No 50, PP 147-159.

DOI: 10.30495/JUPM.2022.5515

Corresponding author: Vahid Pasban Essaloo
Address: PhD student in geography and urban planning, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan & Baloochestan University, Zahedan, Iran.
Tell: +989150457527
Email: vahid.pasban30@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Today, relief and fire services are one of the most important urban services provided by city managers to protect the lives of citizens, their assets and the environment against fire and other urban hazards, Therefore, approaches related to fire prevention and, in fact, fire management require efficient and practical planning by urban planners. Because the operation of fire stations due to its systematic nature, in addition to the pre-factor of compliance with the required rules and standards, is affected and controlled by the structure of cities in terms of obstacles and urban constraints and forces causing time delays.

One of the main concerns in managing urban fires and minimizing their casualties is the issue of dispersing fire stations in suitable urban areas, as this is a vital step in responding in a timely manner to emergencies, most notably urban fires. In other words, the service area and its optimization process determine the area covered and services of each station and have a direct relationship with how the spatial distribution of those stations.

In this research, two important aspects in the field of locating fire stations, namely access and maximum service coverage, are discussed. The first refers to the ease of access to the areas where the fire occurred and the second relates to the service area of the fire station, which usually has a maximum distance of (2 or 3 km) or a travel time equal to (4 or 5 minutes) from The station is considered to be the scene of the accident. Both components reflect major concerns about the optimal response time in emergencies such as fire rescue and emergency services (EMS). Therefore, this article moves in order to identify the relevant hazards and reduce the resulting vulnerability in urban environments

Methodology

This research is descriptive-analytical in terms of methodology and applied in terms of purpose. The spatial optimizer model proposed in this research is an extended version of the LSCP and PMP models. This model has conditions in order to locate the selected facilities so that this type of facility is closer to the areas of demand with fire risk in addition, the current fire stations with the desired location are also considered in the final calculations of the model. This research model was performed using Gurobi optimization software (version 7.0.2) and Python programming language in the ArcGIS environment.

Results and discussion

The proposed model in this study has been used in a practical way to improve the efficiency of the firefighting system in Zabol. As mentioned, the purpose of this study is in the first step to improve the efficiency of existing fire stations and in the second step to optimally locate new fire stations. For this purpose, two scenarios have been considered: the first scenario, assumes the absence of existing fire stations, and the second scenario emphasizes the need to maintain a number of existing efficient stations.

Scenario 1: Optimal locations for fire stations

In this scenario, the model is solved assuming that in the current situation there are no fire stations in the city (q = 0). The result is the best solution proposed by the model, which shows the most potential locations for the construction of new fire stations. Using the two-objective solution method, the lower limit for the number of new fire stations (with a coverage time of 4 minutes) is 6 (Pmin = 6). In other words, in order to cover the standard urban area of Zabol, we need at least 6 fire stations.

Scenario 2: Based on maintaining existing stations

Scenario 1 showed that we need at least 6 fire stations to achieve a maximum and optimal coverage level. Since the establishment of 6 new stations seems unrealistic regardless of the distribution of existing stations, in order to find the most optimal locations for the establishment of new fire stations, the preservation and even relocation of existing stations is inevitable. The second scenario

moves in the same direction and its priority is to maintain one or two existing stations next to the new stations in the city.

The results showed that the existing station in Zone 2 has ideal conditions for maintenance due to various advantages such as proximity to the center of the district and suitable distance from other installed stations, while the station in Zone 3 due to improper placement compared to new stations (p) and unnecessary proximity to another (preserved) station does not have survival conditions and requires removal or relocation.

Conclusion

The results of this study indicate that although the existing stations in Zabul are located almost in the central part of districts 2 and 3 of the city, but with increasing the number of stations and even relocating existing stations, access and service coverage will increase significantly. The research findings also showed that of the two fire stations in Zabol, the station in District 2 due to suitable features such as adaptation and proper distance to the 5 proposed stations, proximity to crowded areas, access and proper service coverage, conditions for maintaining and continuing services, However, the existing station in District 3 of Zabol city does not have the conditions to continue providing services due to disadvantages such as lack of proper distance from new stations and finally access and double coverage level with other proposed stations, and if retained, impose additional costs on municipality and city management.

فصلنامه علمی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری

پاییز ۱۴۰۱، سال ۱۳، شماره ۵۰

شاپا چاپی: ۵۲۲۹- ۲۲۲۸ - شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵- ۲۴۷۶

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی فضایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در زمینه دسترسی و پوشش خدماتی (مطالعه موردی: شهر زابل)

حسین یغفوری [۱]، وحید پاسبان عیسی لو [۲]، سید علی حسینی [۳]

۱- دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۳- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

شماره صفحات: ۱۵۹-۱۴۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

چکیده

امروزه مکان‌گزینی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی یکی از ضروریات مهم در زمینه کارآمدی و واکنش به‌موقع مدیریت شهری به مخاطرات احتمالی است. روش‌های بهینه‌سازی فضایی به دلیل ویژگی‌های خاص فضایی و مکانی مسائل مرتبط با تسهیلات شهری کاربرد گسترده‌ای در این زمینه دارند. از عمده‌ترین این موارد می‌توان به روش‌های مبتنی بر میان‌یابی و حداکثر پوشش خدماتی اشاره کرد. شهر زابل در وضعیت موجود دارای دو ایستگاه آتش‌نشانی عملیاتی است که به دلیل وسعت زیاد شهر و توسعه فیزیکی سریع آن، توانایی پاسخ‌گویی مطلوب به حوادث و اتفاقات شهری را ندارد ازاین‌رو نیازمند تجدیدنظر جدی و افزایش تعداد ایستگاه‌ها تا حد مطلوب است. تحقیق حاضر از لحاظ روش‌شناسی توصیفی، ازلحاظ هدف کاربردی و مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی است. این پژوهش با تکیه‌بر سناریو نگاری یک مدل بهینه‌سازی فضایی چندهدفه را ارائه می‌نماید که اهداف مرتبط با حد میانه و حداکثر پوشش خدماتی در زمینه استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر زابل را باهم ترکیب کرده و درنهایت با استفاده از روش بهینه‌سازی پارتو شدت بهبود دسترسی با فرض مقادیر مختلف q (تعداد ایستگاه آتش‌نشانی) را نمایش می‌دهد. یافته‌های حاصل از سناریوهای پژوهش نشان داد که با افزایش تعداد معینی از ایستگاه‌ها در بخش‌های مختلف شهر، دسترسی با شدت‌های متفاوتی بهبود پیدا می‌کند، برای مثال با فرض استقرار تعداد ۶ ایستگاه در فواصل مشخصی نسبت به هم دیگر، دسترسی در مقایسه با وضعیت موجود تا ۹ درصد بهبود پیدا می‌کند و در صورت افزایش این تعداد تا ۱۲ مورد دسترسی تا ۶۰ درصد ارتقا پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی:
مکان‌یابی، ایستگاه آتش‌نشانی، دسترسی، حداکثر پوشش خدماتی

استناد: یغفوری، حسین؛ پاسبان عیسی لو، وحید، حسینی، سید علی (۱۴۰۱): **بهینه‌سازی فضایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در زمینه دسترسی و پوشش خدماتی** ، فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال۱۳، شماره ۵۰، مرودشت، صص ۱۵۹-۱۴۷.

DOI: 10.30495/JUPM.2022.5515

[۲] . **نویسنده مسئول:** وحید پاسبان عیسی لو

نشانی: دانشجوی دکترا، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

تلفن: ۰۹۱۵۰۴۵۷۵۲۷

پست الکترونیکی: vahid.pasban30@gmail.com

مقدمه:

آتش در طول تاریخ در کنار مزیت‌های مختلف آن در زمینه تکامل انسان، همواره از مهم‌ترین تهدیدات موجودیت بشر، سرمایه و محیط‌زیست نیز بوده که اغلب آسیب‌های جدی، ضعف اقتصادی، آلودگی زیست‌محیطی و حتی مرگ را در پی داشته است. بر اساس اطلاعات ارائه‌شده از سوی پژوهش‌های مختلف در زمینه آتش‌سوزی و خدمات امدادی (Brushlinsky, Ahrens, Sokolov & Wagner) در بین ۳۱ کشور مورد گزارش در سال ۲۰۱۵، به‌طور متوسط از بین ۱۰۰۰ واحد مسکونی تعداد ۳,۵ مورد آتش‌سوزی رخداده است که درنتیجه منجر به مرگ ۱۸۴۵۴ نفر و زخمی شدن بالغبر ۴۴۰۰۰ نفر شده است (Yao et al, 2019, 184).

سرویس‌های امدادی و آتش‌نشانی درواقع یکی از مهم‌ترین خدمات شهری محسوب می‌شوند که از طرف مدیران شهری به‌منظور حفظ جان شهروندان، دارایی‌ها و محیط‌زیست مربوط به آن‌ها در برابر آتش‌سوزی و دیگر مخاطرات شهری ارائه می‌شود. ازاین‌رو رویکردهای مرتبط با پیشگیری و درواقع مدیریت حریق، نیازمند برنامه‌ریزی کارآمد و عملی از سوی برنامه ریزان شهری است زیرا عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی علاوه بر پیش فاکتور رعایت ضوابط و استانداردهای موردنیاز، به علت ماهیت سیستماتیک آن، تحت تأثیر و کنترل ساختار شهرها ازنظر وجود موانع و محدودیت‌های شهری و نیروهای ایجادکننده تاخیرات زمانی قرار دارد (Aga babai, 2009: ۳۸). یکی از دغدغه‌های اساسی در زمینه مدیریت آتش‌سوزی‌های شهری و به حداقل رساندن تلفات آن، بحث پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی در پهنه‌های مناسب شهری است زیرا این مسئله یک اقدام حیاتی به‌منظور واکنش به‌موقع در وضعیت‌های اضطراری، و در رأس آن آتش‌سوزی‌های شهری است. به عبارتی محدوده خدماتی و فرایند بهینه‌سازی آن تعیین‌کننده منطقه تحت پوشش و خدمات هر ایستگاه بوده (Kevin, 2007: 108) و ارتباط مستقیمی با چگونگی توزیع فضایی آن ایستگاه‌ها دارد (Roknedin Eftekhari, 2012: ۹۱).

اصولاً مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در فضای جغرافیایی همواره یک مسئله چندبعدی است که به‌طورمعمول تحت تأثیر فاکتورهای بسیاری مانند هزینه ساخت، تراکم جمعیت، دسترسی به منابع آب، نزدیکی به پهنه‌های بالقوه آتش‌سوزی و اولویت‌های تصمیم گیران می‌باشد (Aktash, Ozaykin, Bozkaya, Ulengin & Onsel, 2013; Badri, Mortagy & Alsayed, 1998; Chevalier et al., 2012; Church & Li, 2016; Hodgart, 1978; Hogg, 1968; Kanoun, Chabchoub, & Aouni, 2010; Murray, 2013, 2015).

برای مثال در یک روش مبتنی بر سیستم پشتیبانی- تصمیم برای مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی که از سوی چوالیر و همکارن[۱] در سال ۲۰۱۲ ارائه شد، دسته‌ای از فاکتورهایی مانند تعداد کارکنان ایستگاه‌های آتش‌نشانی و هزینه‌ها در کنار دیگر فاکتورها در نظر گرفته شد، درصورتی‌که چاتای[۲] در سال ۲۰۱۱ و آکتاش[۳] و همکاران در سال ۲۰۱۳ به‌منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی از مؤلفه‌هایی مانند آمار مربوط به آتش‌سوزی پهنه‌های مختلف شهری استفاده کردند. علاوه بر آن در پژوهش‌هایی نیز به شکل گسترده‌ای به نقش ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در زمینه مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید توجه شده است (Kanoun et al ., 2010; Murray, 2015; Plane & Hendrick, 1977; Reilly & Mirchandani, 1985; Schilling, Revelle, Cohon & Elzinga, 1980).

در این پژوهش به دو جنبه مهم در زمینه مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی یعنی دسترسی و حداکثر پوشش خدماتی پرداخته می‌شود. اولی اشاره به سهولت دسترسی به پهنه‌هایی دارد که در آن آتش‌سوزی رخداده است و دومی مرتبط با ناحیه خدماتی مربوط به ایستگاه‌های آتش‌نشانی است، که معمولاً حداکثر مسافتی برابر با (۲ یا ۳ کیلومتر) یا زمان سفری برابری با (۴ یا ۵ دقیقه) از ایستگاه تا نقاط حادثه‌دیده در نظر گرفته می‌شود (Montazeri، ۱۳۸۲، ۷۵ & Yao et al, ۱۸۴ :۲۰۱۹). هر دو مؤلفه دغدغه‌هایی عمده در زمینه زمان مطلوب واکنش در حالت‌های اضطراری مانند رهایی از حریق و خدمات اورژانسی (EMS)[۴] را منعکس می‌کنند. ازاین‌رو این مقاله در راستای شناسایی مخاطرات مربوطه و کاهش آسیب‌پذیری حاصل از آن در محیطهای شهری حرکت می‌کند.

پیشینه و مبانی نظری تحقیق:

با توجه به این واقعیت که اصطلاحاتی مانند دسترسی و حداکثر پوشش خدماتی از مقوله‌های فضایی هستند، درنتیجه مسائل مرتبط با مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به‌صورت گسترده‌ای با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی فضایی که در ارتباط و ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های ریاضی هستند انجام می‌گیرد (Aktash et al., ۲۰۱۳; Chevalier et al., 2012; Liu, Huang & Chandramouli, 2006; Murray, 2013, 2015; Murray & Tong, 2009). در زمینه دسترسی روش‌هایی مانند (PMP)[۵]

۱- Chevalier et al. (2012)
۲- chatay (2011)
۳- Aktash et al (2013)
۴- Emergency medical service
۵- P median problem

به‌طور گسترده‌ای توسط حاکیمی (۱۹۶۴) به‌منظور به حداقل رساندن زمان سفر (یا مسافت کل سفر) از مبدأ ایستگاه‌های آتش‌نشانی به مقصد پهنه‌های خطرپذیر به‌کاررفته است و حتی در زمینه به حداکثر رساندن دسترسی به پهنه‌های هدف، به پژوهش رلی و میرچندانی (۱۹۸۵) می‌توان اشاره کرد. در رابطه با پوشش خدماتی روش‌هایی مانند مسئله پوشش مکانی (LSCP)[1] (Toregas, Swain, Revelle & Bergman, ۱۹۷۱) و مسئله حداکثر پوشش مکانی (MCLP)[2] (Church & ReVelle, 1974) ارائه‌شده است که به‌صورت فزاینده‌ای به‌منظور ارزیابی کارآمدی مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود و جست‌وجو به‌منظور مکان گزینی ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید به کار گرفته‌شده است (Chevalier et al., 2012; Church & Li, 2016; Murray, 2013; Murray & Tong, ۲۰۰۹). برای مثال به‌جای پوشش خدماتی بیشینه، مدل پوشش آستانه‌ای (Murray, 2013, 2015; Murray & Tong ۲۰۰۹) دستیابی به حداکثر پوشش فضایی با حفظ صرفه‌جویی‌های حاصل از وضعیت موجود کمک می‌کند (که اغلب به‌صورت درصدی نمایش داده می‌شود).

هر دو مدل اشاره‌شده در این پژوهش (PMP و LSCP) علیرغم کاربردهای گسترده‌ای که در زمینه برنامه‌ریزی‌های مرتبط با مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی داشته‌اند، دارای نقاط ضعفی نیز بوده‌اند. برای مثال اعمال مدل‌های میانه (PMP) نیازمند برآورد از پیش تعیین‌شده‌ای از تعداد ایستگاه‌هایی است که باید مکان‌یابی شوند که این امر به‌نوبه خود ممکن است باعث عدم دست‌یابی به اهداف پژوهش (حداکثر پوشش) و استانداردهای تعریف‌شده شود (Toregas et al., 1971). در نقطه مقابل روش‌های مبتنی بر LSCP فقط توانایی تعیین حداقل تعداد ایستگاه‌های لازم به‌منظور پوشش حداکثری را دارد (Murray, 2013, 2015) یعنی روش LSCP بدون توجه به دسترسی‌های فضایی و محدودیت‌های متفاوت مربوط به آن‌ها فرض را بر این می‌گیرد که مسافت و زمان سفر در چهارچوب یک استاندارد تعریف‌شده و شرایط مطلوب صورت می‌گیرد (Yao et al, 2019).

ترکیب ضعف‌های موجود در مدل‌های ذکرشده در تحقیق نشان‌دهنده یک خلأ عمده است، بر این اساس این پژوهش یک مدل بهینه‌سازی فضایی چندهدفه را به‌منظور بهبود دسترسی و پوشش حداکثری ارائه می‌دهد. علاوه بر آن در این پژوهش یک روش حل مبتنی بر قیدهای تعریف‌شده به‌منظور استنتاج راه‌حل پارتو به کار گرفته می‌شود تا به‌موجب آن، بررسی سناریوهای مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و آلترناتیوهای مربوطه تسهیل گردد.

مسئله مکان‌یابی سرویس‌های خدماتی همواره یکی از دغدغه‌های اساسی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای بوده است. از طرفی نیز با توجه به ماهیت موضوع، تحت تأثیر علومی مانند جغرافیا، سیاست‌های شهری، مهندسی و تحقیقات کاربردی است (Drezner & Hamacher, 2001; Hodgard, ۱۹۷۸). در بین مسائل مرتبط با مکان‌یابی تسهیلات شهری با ماهیت جغرافیایی، بهینه‌سازی فضایی یکی از روش‌های کارآمد برای نشان دادن عناصر مرتبط در زمینه انتخاب مکانی و همچنین پوشش تصمیم سازی‌های مرتبط است (Murray & Tong, 2009; Murray, 2010). در طول دهه‌های گذشته طیف گسترده‌ای از روش‌های مکان‌یابی مبتنی بر مدل در زمینه مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی توسعه‌یافته و مورداستفاده قرارگرفته (Church & Li, 2016) و در موارد عمده‌ای نیز با GIS تلفیق‌شده‌اند. بررسی کتابخانه‌ای انجام‌شده حاکی از آن است که اغلب روش‌های مرتبط با موضوع تحقیق به دودسته کلی مدل‌های پوششی و میانه‌ای تقسیم می‌شوند.

همان‌طور که اشاره شد، مدل‌های میانه (یا حد واسط) که به‌عنوان گونه‌ای از مدل PMP شکل‌گرفته و بسط یافته‌اند (Hakimi, 1964)، هدف عمده‌شان انتخاب تعداد معینی تسهیلات است به‌طوری‌که فاصله یا زمان کلی سفر برای رسیدن به نقاط تقاضا (هدف) به حداقل‌ترین حالت ممکن برسد که طبیعتاً در ادامه حداکثرترین دسترسی جغرافیایی را نیز در پی خواهد داشت.

Rahman و همکاران در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی تحت عنوان "مدل‌سازی تخصیص مکان برای برنامه‌ریزی تخلیه اضطراری با GIS و سنجش‌ازدور، مطالعه موردی: شمال شرقی بنگلادش" به‌منظور شناسایی و مکان‌یابی بهینه فضایی مراکز تخلیه اضطراری مانند مدارس، بیمارستان و ایستگاه آتش‌نشانی در برابر سیل از مدل PMP استفاده کرده‌اند. نتایج پژوهش نشان داد که مراکز موردنظر به‌طور مطلوب توزیع نشده‌اند و توانایی خدمات‌رسانی مطلوب را ندارند (یعنی در مدت‌زمان ۶۰ دقیقه سفر نمی‌توان به تمام نقاط تقاضا رسید). Reilly و Mirchandani در سال ۱۹۸۵ از مدل میانه به‌منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر نیویورک و باهدف افزایش حداکثری دسترسی به نقاط هدف و با شرط استقرار

[1]- location set covering problem
[2]- maximal covering problem

حداقل دو ایستگاه استفاده کردند. Richard, Beguin و Peeters در سال ۱۹۹۰ به‌منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در لوکزامبورگ بلژیک، یک مدل اصلاح‌شده PMP را با تعریف آستانه مشخص برای پاسخگویی به کار بردند.

در مقابل، مدل‌های پوششی معمولاً از یک استاندارد تعریف‌شده زمانی برای خدمات‌رسانی به نقاط هدف تبعیت می‌کنند. همان‌طور که اشاره شد دو مدل مرسوم در این زمینه LSCP و MCLP هستند (Church & ReVelle, 1974) که در رابطه با مکان گزینی حداقل‌ترین تسهیلات لازم به‌منظور خدمات‌رسانی به نقاط هدف (تقاضا) به کار گرفته می‌شود، به شرطی که تک‌تک نقاط تقاضا حداقل به‌وسیله یکی از ایستگاه‌های موجود خدمات‌رسانی شوند.

هر دو مدل مورداشاره (LSCP و MCLP) به‌طور گسترده‌ای در زمینه مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و دیگر فعالیت‌های خدماتی مرتبط مورداستفاده قرارگرفته‌اند. بعد از ارائه این مدل از طرف Hogg در سال ۱۹۶۸ تحقیقات مشابهی توسط تعداد زیادی از پژوهشگران ازجمله Plan و Hendrick در سال ۱۹۷۷، Schilling و همکاران در سال ۱۹۸۰، Schreuder در سال ۱۹۸۱، Chatay در سال ۲۰۱۱، Murray و Tong در سال ۲۰۰۹ و Chevalier در سال ۲۰۱۲ صورت گرفته است که اغلب سناریوهای مختلفی از مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را انجام داده‌اند. برای مثال Chevalier و همکاران در سال ۲۰۱۲ با شناسایی پهنه‌های خطرپذیرتر، از مدل LSCP برای مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در بلژیک استفاده کرده است. Murray در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی به‌منظور مکان گزینی ایستگاه‌های جدید شهری برای یکی از شهرهای کالیفرنیا یک مدل پوششی آستانه‌ای را ارائه کرد تا پهنه‌هایی که در محدوده حریم شهری قرار می‌گیرد به‌وسیله حداقل دو ایستگاه آتش‌نشانی مورد خدمات‌رسانی قرار گیرند. (Tong, ۲۰۱۲). Aktash و همکاران در سال ۲۰۱۳ هر دو مدل MCLP و LSCP را به‌منظور ارزیابی سناریوهای مختلفی از مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در استانبول به کاربردند.

همان‌طور که در بخش پیشینه پژوهش موردبحث و بررسی قرار گرفت، هرکدام از مدل‌های پوششی و میانه‌ای در زمینه مکان گزینی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به جنبه‌های مختلفی می‌پردازند. ازاین‌رو هدف این پژوهش ترکیب هر دو جنبه به‌منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید با حفظ ایستگاه‌های مطلوب فعلی است.

مواد و روش تحقیق:

این پژوهش از نظر روش‌شناسی توصیفی– تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است. مدل بهینه‌ساز فضایی پیشنهادی این پژوهش، حالت توسعه‌یافته مدل LSCP و PMP است. این مدل دارای شروطی به‌منظور مکان گزینی تسهیلات انتخابی است، به‌طوری‌که این نوع تسهیلات به پهنه‌های تقاضا با خطر آتش‌سوزی بیشتر نزدیک‌تر بوده و علاوه بر آن ایستگاه‌های آتش‌نشانی فعلی با جایگاه مطلوب نیز در محاسبات نهایی مدل در نظر گرفته می‌شوند. مدل این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی Gurobi (ورژن ۷,۰,۲) و زبان برنامه‌نویسی Python در محیط ArcGIS انجام‌شده است.

پارامترهای لازم به‌منظور پیاده‌سازی مدل تحقیق، به ترتیب زیر در نظر گرفته می‌شود.

I و J: به ترتیب شامل پهنه‌های تقاضا و مکان‌های بالقوه به‌منظور مکان گزینی ایستگاه‌های آتش‌نشانی

i و j: شاخص‌هایی از پارامتر I و J

W_i: برآورد خطرپذیری در پهنه تقاضای i ام.

d_{ij}: مسافت یا زمان سفر بین i و j

S: استانداردهای موجود در زمینه خدمات‌رسانی

C_i: تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی دارای ظرفیت مناسب امدادرسانی به تقاضای i ام

E: مجموع ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود

q: تعدادی از ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود که بعد از بهینه‌سازی در سیستم خدمات‌رسانی باقی می‌مانند

متغیرهای تصمیم به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$Y_j = \begin{cases} \text{وجود ایستگاه در محل } j \text{ ام} & ۱ \\ \text{عدم وجود ایستگاه در محل } j \text{ ام} & ۰ \end{cases}$$

X_{ij}: تعدادی از تقاضاهای موجود در i (پهنه‌های تقاضا) که از تسهیلات jام مورد خدمات‌رسانی قرار می‌گیرند.

درنهایت مدل پیشنهادی به شکل زیر فرمول‌بندی و تعریف می‌شود

$$minimize \sum_{j \in J} Y_j \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$minimize \sum_{i \in I} \sum_{j \in C_i} w_i d_{ij} X_{ij} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{Subject to } \sum_{j \in C_i} X_{ij} = ۱ \; \forall i \in I \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$X_{ij} \leq Y_j \; \forall i,j \in C_i \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sum_{j \in E} Y_j = q \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$Y_j = \{۰,۱\} \forall j \in J \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$X_{ij} \geq ۰ \forall i,j \in C_i \quad \text{رابطه (۷)}$$

لازم به ذکر است که به دلیل ماهیت چندهدفه مدل ارائه‌شده در این تحقیق از راه‌حل بهینه‌سازی کارا[۱](پارتو)

[۱]- Pareto optimal solution

استفاده‌شده است، زیرا چنین راه‌حلی بر این اصل استوار است که هدف موردنظر بدون تغییر دیگر اهداف قابل‌دستیابی نیست (Cohon, 1978; Deb, 2014).

این تحقیق به‌منظور بهینه‌سازی تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در شهر زابل دو گام اساسی زیر را پیاده می‌کند:

گام اول:

مدل را فقط با بهینه‌سازی رابطه شماره (۱) حل کرده و حداقل‌ترین تعداد ایستگاه لازم به‌منظور پوشش خدماتی شهر را پیشنهاد می‌کند که با علامت p_{min} شناخته می‌شود.

گام دوم:

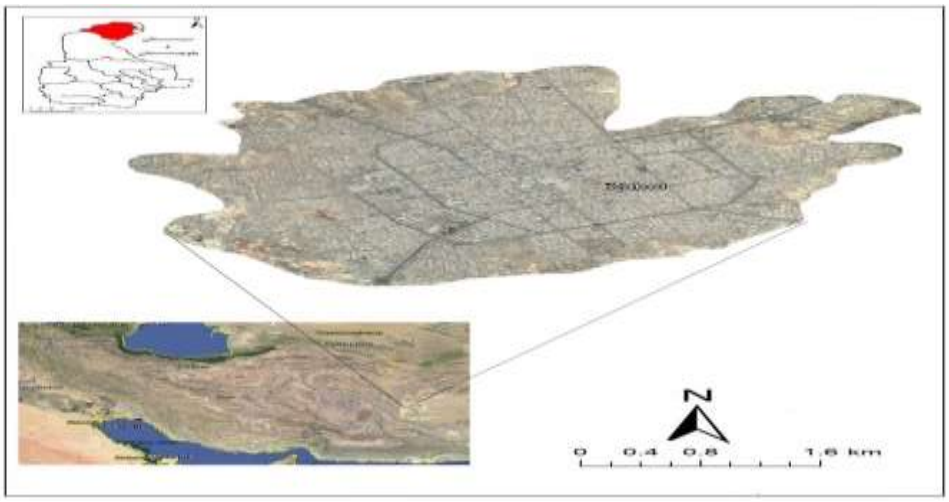
مدل را با پیوند دادن رابطه شماره (۱) به روابط تعریف‌شده بعدی بازتعریف کرده و به‌صورت مسئله بهینه‌سازی تک هدفه حل می‌کنیم. در این راستا می‌توان رابطه زیر را (رابطه شماره ۸) در پهنه‌هایی که $p \geq p_{min}$ باشد به مدل اضافه کرد:

$$\sum_{j \in J} Y_j \leq p \qquad \text{رابطه (۸)}$$

لازم به ذکر است که از طریق حل کردن مدل‌های تعریف‌شده در روابط ۲ تا ۸ (با فرض مقادیر متغیر p) راه‌حل‌های بهینه پارتو مختلفی می‌توان به دست آورد. بنابراین با حل مسئله تک هدفه برای تعداد مشخصی از ایستگاه‌های موجود (q) ابتدا حد پایین‌تری از p (یا ایستگاه نهایی) می‌تواند به دست آید (رابطه ۱). سپس راه‌حل بهینه پارتو از طریق افزایش مقدار p (تعداد ایستگاه نهایی) و حل مسئله تک هدفه مجاور (رابطه ۲) می‌تواند به دست آید.

منطقه مورد مطالعه:

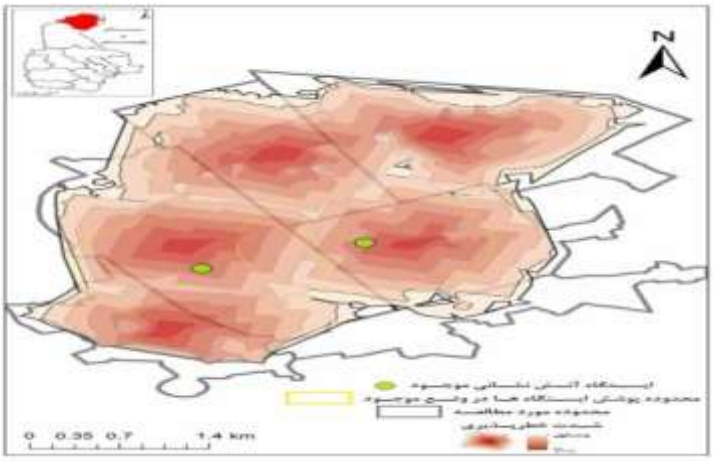
شهر زابل به‌عنوان یک شهر مرزی در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع‌شده است. مساحت کل محدوده موردپژوهش برابر با ۴۹۴۵ هکتار بوده و بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن دارای جمعیتی بالغبر ۱۶۵۶۶۶ نفر یا به عبارتی ۴۳۷۰۱ خانوار می‌باشد (مرکز آمار ایران، اطلاعات جمعیتی و خانوار ۱۳۹۵) که به دلیل مرکزیت آن روزانه پذیرای جمعیت زیادی از روستاها و بخش‌های تابعه است که طبیعتاً تأثیر قابل‌توجهی در نرخ جمعیتی آن ایجاد می‌کند. شهر زابل در حال حاضر توسط ۲ ایستگاه آتش‌نشانی عملیاتی مورد خدمات‌رسانی قرار می‌گیرد.



شکل ۱: موقعیت محدوده موردمطالعه منبع: Google Earth, 1399

بحث و ارائه یافته‌ها:

مدل پیشنهای در این پژوهش به‌صورت عملی بر روی ارتقای کارآمدی سیستم آتش‌نشانی شهر زابل به کار گرفته‌شده است. همان‌طور که اشاره شد هدف از این پژوهش در گام اول بهبود کارآمدی ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود و در گام دوم مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید می‌باشد. بدین منظور دو سناریو در نظر گرفته‌شده است: سناریو اول با فرض عدم وجود ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود و سناریو دوم بر لزوم حفظ تعدادی از ایستگاه‌های موجود کارآمد تأکید می‌کند. مدل این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی Gurobi (ورژن ۷,۰,۲) و زبان برنامه‌نویسی Python در محیط ArcGIS انجام‌شده است.

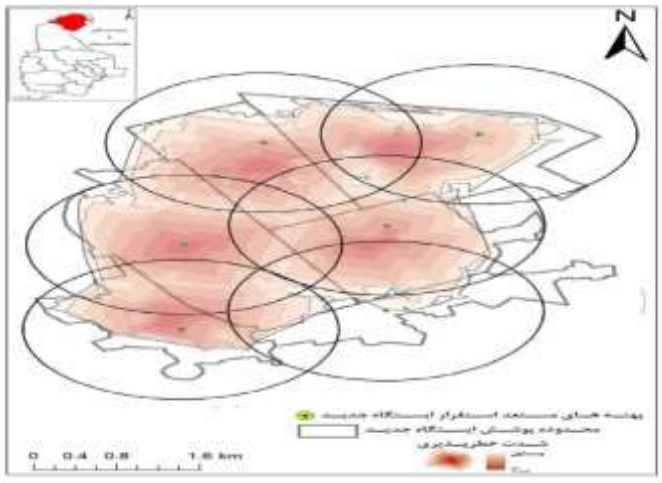


شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود منبع: نویسندگان، **۱۳۹۹**

شکل شماره ۲ وضعیت خطرپذیری نواحی ۵ گانه منطقه موردمطالعه و همچنین موقعیت ایستگاه‌های موجود را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشخص‌شده است، حوزه خدماتی ایستگاه‌های موجود صرفاً بخش عمده‌ای از ناحیه ۲ و ۳ و قسمتی از پهنه‌های کم‌خطرتر ناحیه ۱ (به عبارتی ۴۶٪ از زمین‌های شهر زابل) را دربر می‌گیرد و بقیه پهنه‌های شهر زابل (۵۴٪) عملاً از حد آستانه خدماتی استاندارد ایستگاه‌های آتش‌نشانی محروم هستند.

سناریو اول: مکان‌های بهینه استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی

در این سناریو، مدل با فرض اینکه در وضعیت موجود هیچ‌گونه ایستگاه آتش‌نشانی در سطح شهر وجود ندارد (q=0) حل می‌شود. نتیجه کار بهترین راه‌حل‌های ارائه‌شده از سوی مدل است که مستعدترین مکان‌ها را به‌منظور احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید نشان می‌دهد. با استفاده از روش حل دو هدفه ای که در رابطه شماره ۵ مورداشاره قرار گرفت، حد پایین تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید (با زمان پوشش ۴ دقیقه‌ای) برابر با ۶ است (P_{min}=۶). به عبارتی به‌منظور پوشش استاندارد پهنه شهری زابل حداقل نیاز به ۶ ایستگاه آتش‌نشانی داریم. شکل شماره ۳ وضعیت پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی در سطح شهر زابل با حداکثر پوشش خدماتی و دسترسی با فرض استقرار حداقل ۶ ایستگاه در سطح شهر را نشان می‌دهد.



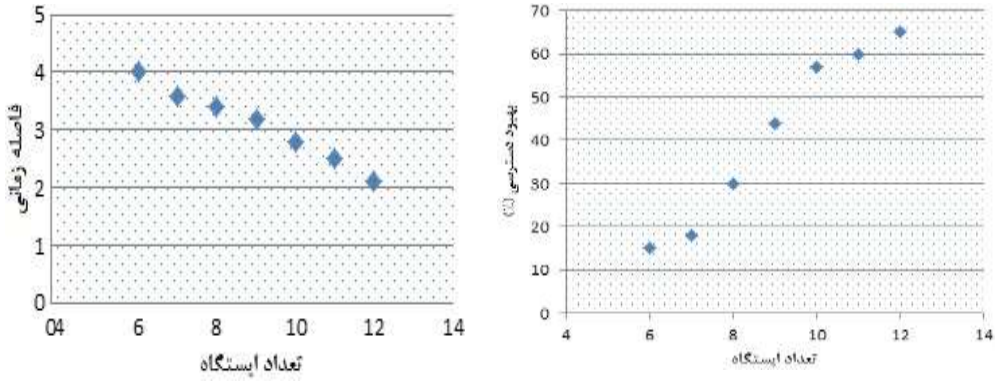
شکل ۳: وضعیت پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی پیشنهادی در سطح شهرمنبع: نویسندگان، **۱۳۹۹**

همان‌طور که در شکل مشخص است، ایستگاه‌های شش‌گانه با فواصل تقریباً مساوی نسبت به همدیگر و در بخش‌های مرکز نواحی شهری زابل مستقرشده‌اند. علاوه بر آن راه‌حل بهینه پارتو با افزایش متناوب ارزش p و حل دوباره مدل با هر تغییر در تعداد ایستگاه‌ها به دست آمد.

شکل شماره ۴ (الف) حل معادله با مقادیر متفاوت (**p**) (ایستگاه‌های آتش‌نشانی) از ۶ تا ۱۲ ایستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشهود است، فاصله وزنی کل ایستگاه‌ها با افزایش تعداد آن‌ها کاهش‌یافته و متوسط دسترسی با افزایش

تعداد ایستگاه‌ها افزایش‌یافته و در ادامه با سیستم خدماتی موجود (با تعداد ۲ ایستگاه آتش‌نشانی) ازلحاظ فاصله وزنی کل مقایسه می‌شود.

(ب) (الف)

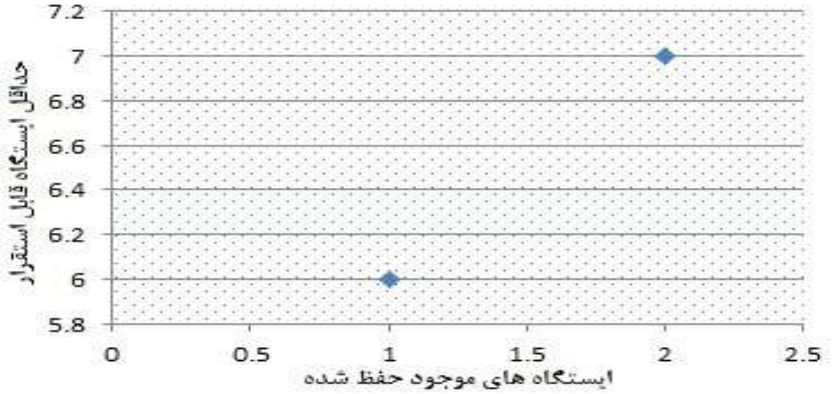


شکل ۴: وضعیت دسترسی با تعداد مختلف ایستگاه آتش‌نشانی منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹

همان‌طور که در شکل شماره ۴ (ب) به تصویر کشیده شده است، با افزایش تعداد ایستگاه‌های جدید در منطقه موردمطالعه دسترسی با شدت‌های مختلف بهبود پیدا می‌کند. همچنین با افزایش بیش‌ازحد لازم تعداد ایستگاه‌های جدید شدت ارتقا وضعیت مربوط به بهبود دسترسی نیز کاسته می‌شود. برای مثال در صورت برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی یک سرویس جدید مبتنی بر مدل ارائه‌شده در پژوهش با افزایش تعداد ایستگاه‌ها به ۶ مورد دسترسی تا ۱۵ درصد بهبود پیدا می‌کند. علاوه بر آن در صورت افزایش تعداد ایستگاه‌های جدید به ۸ و ۱۱ مورد، متعاقباً دسترسی نیز به ترتیب تا ۳۰ و ۶۰ درصد بهبود پیدا می‌کند.

سناریو دوم: مبتنی بر حفظ ایستگاه‌های موجود

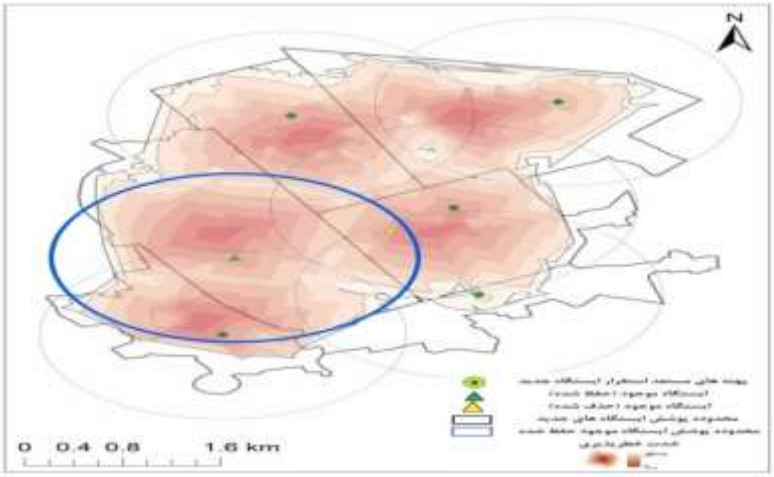
همان‌طور که در شکل شماره ۲ ذکر شد، ۲ ایستگاه موجود شهر زابل توانایی پوشش استاندارد (۴ دقیقه‌ای) محدوده موردمطالعه را ندارند. همچنین تحلیل انجام‌گرفته در سناریو شماره ۱ نشان داد که برای دست‌یابی به یک سطح پوشش حداکثری و بهینه نیاز به حداقل ۶ ایستگاه آتش‌نشانی داریم. ازآنجایی‌که استقرار ۶ ایستگاه جدید بدون توجه به پراکنش ایستگاه‌های موجود امری غیرواقع‌بینانه می‌نماید ازاین‌رو در راستای جست‌وجوی بهینه‌ترین مکان‌ها به‌منظور استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید، حفظ و حتی جابجایی ایستگاه‌های موجود امری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. سناریو دوم نیز در راستای همین هدف حرکت کرده و اولویت آن حفظ ۱ یا ۲ ایستگاه موجود در کنار ایستگاه‌های جدید شهر می‌باشد.



شکل ۵: حداقل تعداد ایستگاه جدید با حفظ تعداد متغیری از ایستگاه‌های موجود

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۹

شکل شماره ۵ حداقل تعداد ایستگاه جدید (P_{min}) با حفظ تعداد متغیری از ایستگاه‌های موجود (q) را نشان می‌دهد. برای مثال اگر در راستای پوشش خدماتی مطلوب محدوده هدف تنها یک مورد از ایستگاه‌های موجود در سیستم خدمات‌رسانی حفظ شود، ما در کل به ۶ ایستگاه آتش‌نشانی نیازمندیم. درحالی‌که در صورت حفظ هر دو ایستگاه آتش‌نشانی موجود، به‌منظور پوشش حداکثری و بهینه محدوده موردمطالعه در کل به ۷ ایستگاه آتش‌نشانی نیازمندیم.

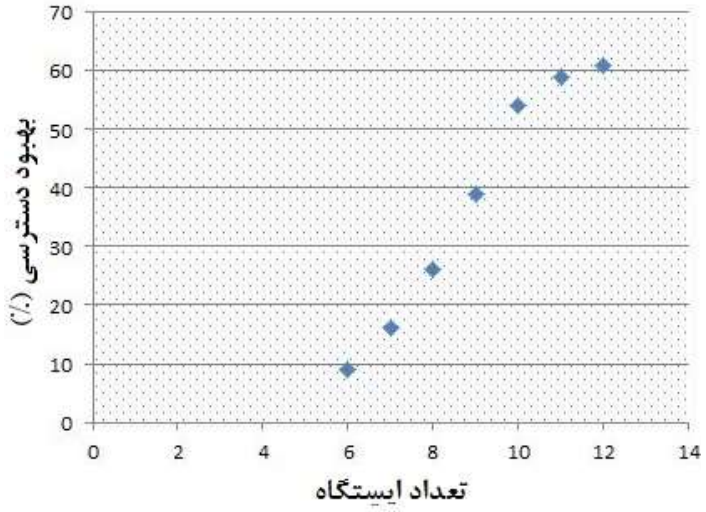


شکل ۶: پراکنش نهایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹

شکل شماره ۶ وضعیت پراکنش ایستگاه‌های آتش‌نشانی با حفظ یکی از ایستگاه‌ها (q=1) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ایستگاه موردنظر به دلیل مزیت‌های مختلفی مثل نزدیکی به مرکز ناحیه و فاصله مناسب از بقیه ایستگاه‌های تعبیه‌شده دارای شرایط ایده آلی به‌منظور حفظ کردن است، درحالی‌که ایستگاه قابل‌حذف به دلیل جایگیری نامناسب نسبت به ایستگاه‌های جدید (p) و نزدیکی غیر لازم به ایستگاه دیگر (حفظ‌شده) دارای شرایط بقا نبوده و نیازمند حذف یا جابجایی است.

همان‌طور که در شکل شماره ۴ نشان داده شد، راه‌حل بهینه پارتو برای سناریو دوم نیز با مقادیر مختلف q (ایستگاه‌های موجود) قابل‌بررسی و محاسبه است. شکل شماره ۷ مقدار بهبود دسترسی حاصل‌شده از طریق راه‌حل بهینه پارتو برای q=1 با مقادیر مختلف p= 6…12 را نشان می‌دهد.



شکل ۷: وضعیت بهبود دسترسی با حفظ یکی از ایستگاه‌های موجود

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹

شکل شماره ۷ نتیجه نهایی حاصل از اعمال روش بهینه‌سازی پارتو در زمینه بهبود دسترسی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با شرط حفظ یکی از ایستگاه‌های موجود شهر زابل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود با

فرض استقرار ۶ ایستگاه آتش‌نشانی دسترسی نسبت به وضعیت موجود تا ۹ درصد بهبود پیدا می‌کند. به‌عبارت‌دیگر با افزایش تعداد ایستگاه‌ها، دسترسی نیز با شدت‌های متغیر بهبود پیدا می‌کند. درنهایت با فرض استقرار ۱۲ ایستگاه آتش‌نشانی در شهر زابل دسترسی تا ۶۰ درصد ارتقا پیدا می‌کند که رقم قابل‌توجهی است.

نتیجه گیری

خدمات آتش‌نشانی و امداد و نجات از عوامل اساسی در زمینه حفظ سلامتی انسان‌ها، سرمایه و محیط فیزیکی محسوب می‌شوند به‌طوری‌که پیشگیری و حفاظت کارآمد در برابر آتش‌سوزی می‌تواند به‌اندازه قابل‌توجهی تلفات جانی و مالی شهروندان را به حداقل ممکن کاهش دهد.

در این پژوهش به‌منظور شناسایی بهترین پهنه‌ها به‌منظور استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی با در نظرگیری فاکتورهایی مانند دسترسی، پوشش خدماتی و تأثیر ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که گرچه در زمینه مسائل مرتبط با مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی پژوهش‌های متعددی انجام‌شده است ولی در این پژوهش با دیدی متفاوت نسبت به توزیع فضایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی اقدام به اندازه‌گیری وضعیت بهینگی در شرایط مختلف اقدام کردیم. در این پژوهش به‌منظور استخراج و بررسی راه‌حل بهینه‌ساز پارتو از تکنیک محدودسازی استفاده‌شده است. مدل پیشنهادی و روش حل ارائه‌شده، بر روی شهر زابل به‌عنوان منطقه موردمطالعه اعمال‌شده است. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که گرچه ایستگاه‌های موجود شهر زابل تقریباً در بخش مرکزی نواحی ۲ و ۳ این شهر مکان‌یابی شده‌اند ولی با افزایش تعداد ایستگاه‌ها و حتی تغییر و جانمایی دوباره ایستگاه‌های موجود دسترسی و پوشش خدماتی در حد قابل‌توجهی افزایش پیدا می‌کند.

در این پژوهش به‌منظور رسیدن به اهداف تحقیق دو سناریو عمده در نظر گرفته شد. در سناریو اول فرض بر این شد که در محدوده موردمطالعه هیچ‌گونه ایستگاه آتش‌نشانی وجود ندارد و در این راستا تعداد ۶ ایستگاه آتش‌نشانی در پهنه‌های پرجمعیت شهری و با حداکثر پوشش خدماتی استاندارد (۴ دقیقه‌ای) پیشنهاد شد. در سناریو دوم با در نظر گرفتن ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود مدل پژوهش اصلاح و دوباره اعمال شد. یافته‌های حاصل از سناریو دوم پژوهش نشان داد که از دو ایستگاه آتش‌نشانی موجود در شهر زابل، ایستگاه موجود در ناحیه ۲ به دلیل ویژگی‌های مناسبی مانند تطبیق و فاصله مناسب با ۵ ایستگاه پیشنهادی، نزدیکی به پهنه‌های پرتجمع ناحیه‌ای، دسترسی و پوشش مناسب خدماتی شرایط حفظ و ادامه خدمات‌رسانی را دارد ولی ایستگاه موجود در ناحیه ۳ شهر زابل به دلیل معایبی مانند عدم فاصله مناسب از ایستگاه‌های جدید (حتی ایستگاه موجود در ناحیه ۲) و درنهایت دسترسی و سطح پوشش مضاعف با دیگر ایستگاه‌های پیشنهادی شرایط ادامه خدمات‌رسانی را نداشته و در صورت ابقا هزینه‌های مضاعفی را بر شهرداری و مدیریت شهری تحمیل خواهد کرد.

References:

۱. Agha babai, Mahbobe (2009). Spatial analysis of fire stations and services in Khomeini Shahr using GIS, Master Thesis, University of Isfahan.

۲. Aktaş, E., Özaydın, Ö., Bozkaya, B., Ülengin, F., & Önsel, Ş. (2013). Optimizing fire station locations for the Istanbul metropolitan municipality. Interfaces, 43(3), 240–255.

۳. Badri, M. A., Mortagy, A. K., & Alsayed, C. A. (1998). A multi-objective model for locating fire stations. European Journal of Operational Research, 110(2), 243–260.

۴. Brushlinsky, N. N., Ahrens, M., Sokolov, S. V., & Wagner, P. (2017). World fire statistics. Center of Fire Statistics 22. 2017 Report http://www. ctif. org/sites/default/files/ctif_ report22_world_fire_statistics_2017.pdf, Accessed date: 30 September 2017.

۵. Çatay, B. (2011). Siting new fire stations in Istanbul: A risk-based optimization approach. OR Insight, 24(2), 77–89.

۶. 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, 46(2), 173–182.

۷. 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, 46(2), 173–182.

۸. 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, 46(2), 173–182.
۹. Church, R., & Li, W. (2016). Estimating spatial efficiency using cyber search, GIS, and spatial optimization: A case study of fire service deployment in Los Angeles County. International Journal of Geographical Information Science, 30(3), 535–553.
۱۰. Church, R., & ReVelle, C. R. (1974). The maximal covering location problem. Papers in Regional Science, 32(1), 101–118.
۱۱. Cohon, J. (1978). Multi-objective programming and planning. New York: Academic Press.
۱۲. Deb, K. (2014). Multi-objective optimization. In E. K. Burke, & G. Kendall (Eds.). Search methodologies: Introductory tutorials in optimization and decision support techniques (pp. 403–449). Boston, MA: Springer.
۱۳. Drezner, Z., & Hamacher, H. W. (Eds.). (2001). Facility location: Applications and theory. Springer Science & Business Media.
۱۴. Hakimi, S. L. (1964). Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. Operations Research, 12(3), 450–459.
۱۵. Hodgart, R. L. (1978). Optimizing access to public services: A review of problems, models and methods of locating central facilities. Progress in Geography, 2(1), 17–48.
۱۶. Hodgart, R. L. (1978). Optimizing access to public services: A review of problems, models and methods of locating central facilities. Progress in Geography, 2(1), 17–48.
۱۷. Hogg, J. M. (1968). The siting of fire stations. Journal of the Operational Research Society, 19(3), 275–287.
۱۸. Kanoun, I., Chabchoub, H., & Aouni, B. (2010). Goal programming model for fire and emergency service facilities site selection. INFOR: Information Systems and Operational Research, 48(3), 143–153.
۱۹. Liu, N., Huang, B., & Chandramouli, M. (2006). Optimal siting of fire stations using GIS and ANT algorithm. Journal of Computing in Civil Engineering, 20(5), 361–369.
۲۰. Montazery, Gholamhosein (2004), Location of municipal service centers with emphasis on fire stations in Sari, M.Sc. Thesis in Geography, Shahid Beheshti University, Tehran.
۲۱. Murray, A. T. (2010). Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. Journal of Geographical Systems, 12(3), 335–354.
۲۲. Murray, A. T. (2013). Optimising the spatial location of urban fire stations. Fire Safety Journal, 62, 64–71.
۲۳. Murray, A. T. (2015). Fire station siting. In H. A. Eiselt, & V. Marianov (Eds.). Applications of location analysis (pp. 293–306). Springer International Publishing.
۲۴. Murray, A. T., & Tong, D. (2009). GIS and spatial analysis in the media. Applied Geography, 29(2), 250–259.
۲۵. Plane, D. R., & Hendrick, T. E. (1977). Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. Operations Research, 25(4), 563–578.
۲۶. Plane, D. R., & Hendrick, T. E. (1977). Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. Operations Research, 25(4), 563–578.
۲۷. Rahman, M; Chen, N et al (2021), Location-allocation modeling for emergency evacuation planning with GIS and remote sensing: A case study of Northeast Bangladesh, Geoscience Frontiers, 3 (12), pp1-17.
۲۸. Reilly, J. M., & Mirchandani, P. B. (1985). Development and application of a fire station placement model. Fire Technology, 21(3), 181–198.
۲۹. Reilly, J. M., & Mirchandani, P. B. (1985). Development and application of a fire station placement model. Fire Technology, 21(3), 181–198.
۳۰. Richard, D., Beguin, H., & Peeters, D. (1990). The location of fire stations in a rural environment: A case study. Environment and Planning A, 22(1), 39–52.
۳۱. Roknedin Eftekhary, A; Ahed allah; Haji pour, Mojtaba (2012). Assessing the spatial distribution of quality of life in rural areas (Case study: Central part of Delfan city), Journal of Rural Research, 2 (2): 69- 94.
۳۲. Schilling, D. A., Revelle, C., Cohon, J., & Elzinga, D. J. (1980). Some models for fire protection locational decisions. European Journal of Operational Research, 5(1), 1–7.
۳۳. Schilling, D. A., Revelle, C., Cohon, J., & Elzinga, D. J. (1980). Some models for fire protection locational decisions. European Journal of Operational Research, 5(1), 1–7.
۳۴. Schreuder, J. A. M. (1981). Application of a location model to fire stations in Rotterdam. European Journal of Operational Research, 6(2), 212–219.
۳۵. Toregas, C., Swain, R., Revelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. Operations Research, 19(6), 1363–1373.
۳۶. Yao, Jing; Zhang, Xiaoxiang; Murray, Alan. (2019). Location optimization of urban fire stations: Access and service coverage, Computers, Environment and Urban Systems, Vol 73, pp 184-۱۹۰.
۳۷. Zyari, Karamatollah; Givech, Saeed, Adeli, Mohsen (2018). Optimizing the location of fire stations in Gorgan using classification method and colonial competition algorithm with earthquake crisis management approach, ournal of Space Planning and Planning, 21 (3): 257- 281.