University of Guilan

Urban Planning Knowledge

ISSN: 2645-5412

Optimizing the Location of Urban Uses with Combined Method of Delphi-BWM-PROMETHEE (Case Study of Ahvaz Fire Stations)

Hamzeh Amin-Tahmasbi [1,*], Seyed Mahmood Mirakbari [2] and Hossein Nasirzadeh [2]

[1.] Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, East of Guilan, University of Guilan, Iran
[2.] PhD student in Industrial Management, Islamic Azad University, International Unit of Bandar Anzali, Anzali, Iran

* Corresponding Author, amintahmasbi@guilan.ac.ir

ARTICLE INFO

UPK, 2020
VOL.4, Issue.3, PP, 89-110
Received: 07 Apr 2020
Accepted: 29 Jul 2020
Dep. of Urban Planning
University of Guilan

KEYWORDS: Fire Station, urban uses, Locating, BWM, PROMETHEE

ABSTRACT

Background: Due to the increasing growth of cities, the possibility of urbanization and condensation, according to the urban uses that can ask you for fire and shelter theory so that they can easily buy and can easily ask you. This consultation can be done by an expert, you can do your services, and we provide you with our services, and you can use these services to enjoy these services. Ahwaz made the most adjustments according to the conditions, according to the priorities.

Objectives: The present paper aims to optimize the self-confidence of urban uses on rankings.

Methodology: with a deep and extensive overview in the research literature, the most important criteria used in the locating of fire stations Identified and extracted. Then, in order to fit the criteria identified in the previous step, The Delphi technique is used and the criteria that Experts had less disagreement on them were chosen. In order to weigh and prioritize the criteria selected in the previous step, one of the most effective and innovative techniques in operation research Named Best Worst Method (BWM) was used. Finally, using the PROMETHEE technique, four potential locations for fire station construction were ranked.

Results: The final results from weighting the criteria indicated that The number of villages in the margin (the number of villages under the fire protection area of the city); Residential centers (neighborhoods with residential structures, settlements and towers); and distance (distance between stations from places with potential fire) respectively with weights of 0.092, 0.088 and 0.068 have been allocated in The first to third places.

Conclusion: The results of the ranking of potential locations showed that the location of the Paddah area located at Ayatollah Behbahani Boulevard is the most suitable location for the construction of a fire station. Subsequently, the locations of the Khorramshahr, Koi Farhangian, and steel houses' highways were ranked second to fourth respectively for the construction of the fire station.

Highlights:

Considering the need to maintain the security of fire stations as a logical explanation at the city level, this research is done and you can use new methods and new metrics and use it in the use of different materials, activities do your own thing. Most systems and complete fire control at the best time may be the limit.

Cite this article:
Amin-Tahmasbi, H., MirAkbari, S., & Nasirzadeh, H. (2020). Optimizing the location of urban uses with combined methods Delphi-BWM-PROMETHEE (Case study of Ahvaz fire stations). *Urban Planning Knowledge*, 4(3), 89-110. doi: 10.22124/upk.2020.16186.1438

ISSN: 2645-5412

بهینه‌سازی مکان‌یابی استقرار کاربری‌های شهری با روش ترکیبی Delphi- BWM- PROMETHEE (نمونه موردی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر اهواز)

حمزه امین‌طهماسبی[1*]، سیدمحمود میراکبری[2] و حسین نصیرزاده [2]

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی شرق، دانشگاه گیلان، ایران

۲. دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بین الملل بندرانزلی، انزلی، ایران

* نویسنده مسئول: amintahmasbi@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله

***دانش شهرسازی*، ۱۳۹۹**
دوره ۴، شماره ۳، صفحات ۸۹-۱۱۰
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۸
گروه شهرسازی، دانشگاه گیلان

کلید واژه‌ها: ایستگاه آتش‌نشانی، کاربری شهری، مکان‌یابی، BWM، PROMETHEE

چکیده

بیان مسئله: با توجه به رشد روزافزون شهرها، افزایش جمعیت و متراکم شدن بافت شهری، لازم است که کاربری‌های شهری اضطراری از قبیل آتش‌نشانی به‌طور بهینه تعیین موقعیت شوند تا به‌خوبی و به‌سرعت بتوانند پاسخگوی تقاضاها باشند. این مسئله ازآن‌جهت حائز اهمیت است که این تسهیلات، برای خدمات‌رسانی امدادی ایجاد می‌شوند پس باید به‌خوبی بتوانند تمام ناحیه تقاضا را پوشش دهند، لذا این پژوهش بر آن است تا ضمن شناسایی مهم‌ترین معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی که با شرایط شهر اهواز بیشترین تطابق را داشته باشند، آن‌ها را اولویت‌بندی نماید.

هدف: مقاله حاضر با هدف بهینه‌سازی مکان‌یابی استقرار کاربری‌های شهری تدوین شده است.

روش: در این پژوهش با مروری عمیق و گسترده در ادبیات پژوهش، مهم‌ترین معیارهای به‌کاررفته در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شناسایی و استخراج گردید. سپس به‌منظور تطبیق و ویژه سازی معیارهای شناسایی‌شده در مرحله قبل، از تکنیک Delphi استفاده کرده و معیارهایی که خبرگان اختلاف‌نظر کمتری بر روی آن‌ها داشتند، انتخاب شدند. آنگاه، به‌منظور وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارهای انتخاب‌شده در مرحله قبل، یکی از تکنیک‌های نوین و کارای تحقیق در عملیات به نام تکنیک بهترین_بدترین (BWM) بکار برده شد. درنهایت، با استفاده از تکنیک PROMETHEE چهار مکان بالقوه احداث ایستگاه آتش‌نشانی رتبه‌بندی شدند.

یافته‌ها: نتایج نهایی حاصل از وزن‌دهی به معیارها حاکی از آن بود که معیارهای تعداد روستاهای حاشیه‌ای (تعداد روستاهای تحت حوزه استحفاظی آتش‌نشانی شهر)؛ مراکز مسکونی (محله‌هایی با ساختار مسکونی، شهرک‌ها و برج‌ها)؛ و فاصله مسافتی به ترتیب با اوزان ۰/۰۹۲، ۰/۰۸۸ و ۰/۰۶۸ جایگاه‌های اول تا سوم اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند.

نتیجه‌گیری: حاصل از رتبه‌بندی مکان‌های بالقوه نشان داد که مکان مربوط به منطقه پاداد واقع در بلوار آیت‌الله بهبهانی مناسب‌ترین مکان به‌منظور احداث ایستگاه آتش‌نشانی است. مکان‌های مربوط به سه‌راه خرمشهر، کوی فرهنگیان و منازل صنایع فولاد به ترتیب در اولویت‌های دوم تا چهارم جهت احداث ایستگاه آتش‌نشانی قرار گرفتند.

نکات برجسته:

با عنایت به لزوم استقرار ایستگاه‌های آتش نشانی به صورت منطقی در سطح شهرها، در این پژوهش سعی شده است با استفاده از متدهای جدید و همچنین در نظر گرفتن معیارهای کاربردی در مکانیابی ایستگاه‌های آتش نشانی، بهینه ترین مکان‌ها انتخاب گردند تا بدین وسیله موجبات کارایی بیشتر سیستم و مهار کامل آتش در کوتاه‌ترین زمان ممکن فراهم گردد.

ارجاع به این مقاله: امین طهماسبی، حمزه، میراکبری، سیدمحمود و نصیرزاده، حسین. (۱۳۹۹). بهینه‌سازی مکان‌یابی استقرار کاربری‌های شهری با روش‌های ترکیبی Delphi- BWM- PROMETHEE (نمونه موردی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر اهواز). *دانش شهرسازی*، ۴(۳)، ۸۹-۱۱۰. doi: 10.22124/upk.2020.16186.1438

دانش شهرسازی، دوره ٤، شماره ۳، ۸۹-۱۱۰، پاییز ۱۳۹۹

بیان مسئله

در جهان کنونی، آمادگی و امنیت در برابر حوادث غیرمترقبه امری ضروری و بسیار مهم تلقی می‌شود. این موضوع به‌قدری دارای اهمیت است که کشورهای توسعه‌یافته بخش مهمی از برنامه‌ریزی‌های جامع و ملی خود را به آن اختصاص می‌دهند (سعید پور و کاشفی، ۱۳۹۷). شهرنشینی در ایران در طی دهه‌های اخیر رشد سریعی داشته و شتاب سریع این فرایند، مشکلات زیادی را برای شهرها که همانند یک سیستم پویا عمل می‌کنند، به بار آورده است. یکی از اجزای این سیستم که از فرآیند رشد سریع شهرنشینی تأثیر پذیرفته است، ایستگاه‌های آتش‌نشانی می‌باشند که در راستای تأمین امنیت شهر ایجاد گردیده‌اند. لذا با توجه به وجود بافت‌های فرسوده و قدیمی، افزایش سریع جمعیت و رشد غیرمنطقی شهرها، سیستم ایمنی شهر نیز باید بهبود پیدا کند تا پوشش کافی را بر کل شهر داشته باشد (پوراسکندری، ۱۳۸۱). آن‌چنان‌که مشخص است موجودیت شهرها به‌طورکلی با ارائه خدمات به ساکنان در محدوده قانونی و حریم شهرها آمیخته است. کاربری‌های امدادی با توجه به فعالیت‌هایی که بر عهده دارند نسبت به سایر سازمان‌های خدمات شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. ایستگاه‌های آتش‌نشانی به‌عنوان مکان‌هایی برای استقرار خودروهای آتش‌نشانی و نجات، ازجمله مراکز مهم و حیاتی خدمت‌رسانی در شهرها هستند که نقش مهمی در تأمین ایمنی شهروندان و توسعه شهرها دارند. خدمت‌رسانی به‌موقع ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مستلزم مکان‌یابی صحیح آن‌ها به‌منظور توزیع مناسب ایستگاه‌ها است؛ تا خسارات جانی و مالی را به حداقل برساند. مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و تعیین تعداد و موقعیت آن‌ها تضمین‌کننده ایمنی شهروندان در هنگام بروز حادثه می‌باشد (علی‌آبادی، نسترن، پیرانی و شیخ‌زاده، ۱۳۹۶). از میان کاربری‌ها و خدمات موجود در شهر، استقرار بهینه فضا_مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به دلیل اهمیت و توجه روزافزون به ارائه خدمات ایمنی و تمهیدات پیشگیرانه و مقابله با حوادث و مدیریت بحران در شهرها از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. بدون شک خدمت‌رسانی به‌موقع ایستگاه‌های آتش‌نشانی بیش از هر چیز مستلزم استقرار آن‌ها در مکان‌های مناسب بوده تا بتوانند در اسرع وقت و بدون مواجهه با موانع و محدودیت‌های محیط شهری از یکسو و با ایجاد کمترین آثار منفی بر زندگی ساکنان شهر از سوی دیگر، به محل حادثه برسند (علوی، سالاروند، احمدآبادی، فرخی‌سیس و اسحاق، ۱۳۹۲). لذا مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی جهت پوشش مناسب شهر و خدمات‌دهی به شهروندان با توجه به خصوصیات و ویژگی‌های شهر و توان مالی و تدارکاتی موجود و پیش‌بینی توسعه امکانات آتی از اقدامات حیاتی و الزام‌آور در این زمینه می‌باشد (خان احمدی، عربی، وفایی نژاد و رضائیان، ۱۳۹۳). یکی از بخش‌های مهم فرآیند مکان‌یابی در این حوزه، تعیین معیارهای ضروری و بااهمیتی می‌باشد که به‌منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در نظر گرفته می‌شوند، معمولاً این معیارها در دو دسته کلی شامل: الف) معیارهای مرتبط با خصوصیات مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و ب) معیارهای مرتبط با خصوصیات مکانی ایستگاه‌ها در ارتباط با سایر عناصر شهری تقسیم‌بندی می‌گردند (بهبهانی، قهرمانی، امینی و احمدی‌نژاد، ۱۳۷۳).

مبانی نظری

مدل‌های مکان‌یابی را ازنظر تکامل و توسعه زمانی به سه دوره تقسیم کرده‌اند (بصیرت، ۱۳۹۸): فرموله کردن مسئله (از ابتدای قرن ۲۰ تا سال ۱۹۴۰)، کاربرد مدل‌ها در بخش صنعت (دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰)، توسعه مدل‌ها در بخش عمومی و خدمات‌رسانی (۱۹۷۰ به بعد). در نگاه اول ممکن است کلیه مسائل مکان‌یابی شبیه به هم به نظر برسند، یعنی این‌طور وانمود نمود که یک هدف را دنبال می‌نمایند، ولی این مسائل با توجه به نوع فعالیت تسهیلات و بالطبع هدفی که دارند، متنوع می‌شود و درنتیجه مدل‌های ایجادشده نیز تفاوت می‌کند. برای اینکه تنوع مسائل را درک نماییم بایستی با انواع فعالیت‌ها و تسهیلات شهری در گروه‌های کلی آشنا شویم. به‌طورکلی فعالیت‌های شهری باتوجه به ماهیت هدفشان در یکی از گروه‌های ذیل جای می‌گیرد (اصغری علایی و حسین‌مردی، ۱۳۹۲):

۱- بخش خصوصی: ویژگی بارز تسهیلاتی که در این بخش فعالیت می‌کنند، دنبال حداکثر نمودن سود در فعالیتشان می‌باشد. این فعالیت‌ها یا تولیدی‌اند و یا توزیعی.۲- بخش عمومی: تسهیلات فعال در این بخش عمدتاً به دنبال حداکثر نمودن رفاه عموم شهروندان هستند این بنگاه‌ها شامل دودسته‌اند:

الف- خدمات عمومی: این تأسیسات شهری نظیر کتابخانه‌ها، مدارس، بیمارستان‌ها، دفاتر پستی و... عمدتاً باهدف افزایش رفاه عمومی تأسیس می‌گردند؛ و در مکان‌یابی آن‌ها تلاش بر این است که این تسهیلات در اختیار بیشترین شهروندان قرار بگیرد.

ب- خدمات اورژانسی: ایستگاه‌های آتش‌نشانی، اورژانس و پایگاه‌های پلیس مثال‌هایی از این تسهیلات شهری هستند. هدف برنامه‌ریزان از ایجاد این مراکز، ارائه خدمات در کودتاترین زمان ممکن به مردم است؛ بنابراین باتوجه به محدود بودن بودجه در تأسیس ایستگاه‌ها، مقصد بیشینه کردن پوشش شهروندان با توجه به مراکز موجود است.

مدل‌های تخصیص-مکان جهت پاسخگویی به مسائل فوق ایجادشده‌اند درنتیجه شاهد تنوع در شکل این مدل‌ها هستیم. مدل‌های تخصیص-مکان شامل مدل‌های زیر هستند (قربانی، ۱۳۹۶):

۱- مدل حداقل فاصله: در این مدل هدف به حداقل رساندن هزینه‌های حمل‌ونقل می‌باشد. ۲- مدل حداکثر تراکم: این مدل برای تعیین مکان خدماتی در نزدیکی مراکز جمعیتی به‌کاربرده می‌شود، در این مدل تراکم مشتری نسبت کاهش تعداد مشتریان در اولویت قرار می‌گیرد. این مدل در جستجوی تراکم مطلوب مشتری در یک شعاع موردنظر می‌باشد. ۳- مدل حداقل فاصله توان دار: در این مدل، هدف به حداقل رساندن تابع فاصله توان دار تجمعی (مربعی، مکعبی و...) می‌باشد. ۴- مدل حداقل فاصله محدودیت دار: در این مدل، هدف مشابه مسئله حداقل فاصله می‌باشد یعنی تعیین موقعیت تعدادی از مراکز خدماتی تا اینکه مجموع فاصله پیموده شده به حداقل برسد. ۵- مدل حداکثر پوشش: هدف این مدل به حداقل رساندن تعداد مشتریانی که در یک فاصله موردنظر زندگی می‌کنند این مدل به شناسایی مراکز جمعیتی نیاز ندارد. ۶- مدل حداکثر پوشش محدودیت دار: هدف این مدل تعیین تعداد ثابتی از مراکز خدماتی به‌منظور به حداکثر رساندن جمعیت تحت پوشش در آستانه فاصله‌ای می‌باشد که تضمین سازد حداکثر جمعیت تحت پوشش در یک فاصله بیشتری واقع شوند.

پیشینهٔ پژوهش

به‌منظور شناسایی معیارهای مرتبط با مکان‌یابی و انتخاب ایستگاه‌های آتش‌نشانی در مطالعات داخلی و خارجی مهم‌ترین پایگاه‌های اطلاعاتی مورد جستجو قرار گرفتند. در این راستا مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در منطقه ۳ اصفهان با هدف افزایش سطح ایمنی و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و در محیط GIS انجام و مکان جدید ایستگاه آتش‌نشانی پیشنهاد شد (علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۶). در مقاله‌ای دیگر، مکان‌گزینی پناهگاه‌های شهری با رویکرد پدافند غیرعامل از روش تحقیق توصیفی و تحلیلی و تکنیک فرآیند تحلیل شبکه‌ای انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد نقاطی از شهر که دارای فضاهای باز کافی و درعین‌حال سازگار با کاربری‌های اطراف می‌باشند، دارای پتانسیل نسبتاً بهتری برای استقرار آسیب‌دیدگان هستند (سعید پور و کاشفی، ۱۳۹۷). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از تلفیق منطق فازی و تکنیک AHP در محیط GIS با در نظر گرفتن عدم قطعیت در رابطه باکفایت اطلاعات و جامعیت استنتاجات، ابزارهایی مثل سیستم اطلاعات مکانی و چگونگی تحت کنترل درآوردن تغییرات عوارض شهری، از مدل فازی در ترکیب با فرایند سلسله مراتبی استفاده گردید (خان احمدی و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه‌ای به‌منظور مکان‌یابی تأسیسات و تجهیزات شهری شهرستان بیرجند در راستای بهره‌وری از زمان طلایی مدیریت بحران، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و AHP و پس از طی کردن مراحل تهیه لایه‌های اطلاعاتی، طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری درونی لایه‌ها و وزن دهی و هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی به اولویت‌بندی زمین‌های شهر بیرجند برای ایجاد مراکز آتش‌نشانی پرداخته شد (اسماعیل نژاد و اسکندری ثانی ، ۱۳۹۵). در مقاله‌ای دیگر با بهره‌گیری از تلفیق روش تحلیل شبکه و تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط سیستم GIS، توزیع فضایی و مکانی استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در منطقه ۶ تهران موردبررسی قرار گرفت (علوی و همکاران، ۱۳۹۲).

در پژوهشی جهت موقعیت‌یابی به‌منظور مدیریت ریسک آتش‌سوزی در اسپانیا نشان داد که بین عوامل مختلف ایجاد آتش-سوزی، اختلاف معناداری وجود دارد و هریک وزن خاصی را دارا هستند (آلکاسنو[1]، ۲۰۱۸). در مطالعه‌ای که در محیط شهر شیروان انجام پذیرفت، ایستگاه‌های پیشنهادی بر اساس معیارهایی نظیر جمعیت و تعداد روستاهای تحت پوشش هر ایستگاه اولویت‌بندی شدند (دربان آستانه، زیارتی، جعفری و سائلی، ۱۳۹۲).

[1] Alcasena, 2018

در مطالعه‌ای که در مصر انجام شد، اهدافی نظیر فاصله زمانی و فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از مراکز شهری با قابلیت بالقوه آتش‌سوزی به‌عنوان مهم‌ترین معیارها شناسایی گردید (بدری و همکاران، ۱۳۷۷). در مطالعه موردی ناحیه ۱ منطقه ۱۰ تهران مراکز فرهنگی تاریخی، مراکز تجاری، مراکز اداری، مراکز انبارداری، مراکز ورزشی، مراکز صنعتی، پارکینگ‌های عمومی، فضای سبز عمومی، پمپ‌بنزین و گاز و مراکز مسکونی به‌عنوان معیار مدنظر بودند (خان احمدی و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه موردی شهر قم، مراکز فرهنگی مذهبی، مراکز تجاری، مراکز اداری، مراکز انبارداری، مراکز صنعتی، پارکینگ‌های عمومی، فضای سبز عمومی، پمپ‌بنزین و گاز تأسیسات شهری، شبکه معابر، مراکز آموزشی، مراکز درمانی، شهربازی، سینما، حرم، شبکه آب‌رسانی آتش‌نشانی و مراکز مسکونی به‌عنوان مناطق مهم شهری تعیین شدند (هادیانی و کاظمی زاده، ۱۳۸۹). در پژوهشی باهدف شناسایی نوع کاربری‌های تحت تأثیر در زمان بحران و تعیین معیارهای مکان‌یابی این نوع کاربری‌ها از نگاه شاخص‌های فضایی-کالبدی با استفاده از روش AHP، نتایج نشان داد که معیارهای سازگاری، آسایش، کارایی، مطلوبیت، سلامتی و استانداردهای ایمنی در مکان‌یابی کاربری‌های آسیب‌پذیر دارای بیشترین اهمیت می‌باشند (اخوان عبداللهیان و تقوایی، ۱۳۹۶). در مطالعه موردی مکان‌یابی بهینه ایستگاه آتش‌نشانی در شهر مشهد در مجموع از ۵ معیار زمان، وضعیت کالبدی شهر، مسائل جمعیتی و اجتماعی، فراوانی و پراکندگی حریق‌ها و عوامل طبیعی و زیرساختی استفاده گردید (اجزاءشکوهی، شایان و درودی، ۱۳۹۳). در مطالعه موردی مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی پنج منطقه از شهر تهران با استفاده از الگوریتم مورچگان، دسترسی به معابر اصلی، مجاورت به کاربری‌های سازگار و دوری از کاربری‌های ناسازگار به‌عنوان معیار انتخاب شدند (عرب امیری، رفیع پور و سعدی مسگری، ۱۳۹۳). در مطالعه موردی مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی منطقه ۱۷ شهر تهران از معیارهای شبکه ترافیک (عرض معابر، فاصله از تقاطع) کاربری اماکن (صنعتی و انبارها، تجاری، مسکونی) و کیفیت ساختمان‌ها (کاملاً فرسوده، تقریباً فرسوده، متعادل) استفاده گردید (محمودی و فلاح خرسندی، ۱۳۹۷). در مطالعه انجام‌شده در نپال معیارهای انتخاب در چارچوب تحلیل سلسله مراتبی عبارت بودند از فاصله از رودخانه، وسعت منطقه خشکی، فاصله از جاده و تراکم جمعیت (چودهاری[1]، ۲۰۱۸). در مقاله‌ای دیگر بیان گردید که در زمان وقوع حوادث طبیعی و آتش‌سوزی در مناطق شهری، یکی از مؤلفه‌های اصلی تأثیرگذار بر کارایی خدمات ارائه‌شده توسط آتش‌نشانان و نیروهای خدماتی، تعداد و نحوه توزیع جایگاه‌های ارائه آب در مناطق مختلف شهر می‌باشد (وانگ و شین[2]، ۲۰۱۸). در پژوهشی دیگر برای بهینه‌سازی موقعیت جایگاه‌های آتش‌نشانی، از برنامه‌ریزی چندهدفه فازی استفاده‌شده و جهت حل مسئله، تکنیک الگوریتم ژنتیک بکار برده شد (یانگ[3]، ۲۰۰۷).

معیارهای کمی یا کیفی که برای اولویت‌بندی، انتخاب و مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در مقالات پیش‌گفته، معرفی‌شده بود؛ در قالب جداول تطبیقی مورد تحلیل قرار گرفتند. تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از مرور متون مذکور بر مبنای دو بعد زیر انجام گردید: الف) معیارهای مرتبط با خصوصیات مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی؛ و ب) معیارهای مرتبط با خصوصیات مکانی ایستگاه‌ها در ارتباط با سایر عناصر شهری. لیست معیارهای مورداستفاده برای اولویت‌بندی، انتخاب و مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در مقالات پیشین در جدول (۱) ارائه شده است.

پژوهش حاضر باهدف بهینه‌سازی مکان‌یابی استقرار کاربری‌های شهری و به دنبال پاسخ به دو پرسش می‌باشد:

۱- مهم‌ترین معیارهای به‌کاررفته در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شناسایی کدام‌اند؟

۲- رتبه‌بندی مکان‌های بالقوه جهت احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید شهر اهواز با توجه به مهم‌ترین معیارهای شناسایی‌شده به چه صورت است؟

[1] Chaudhary, 2018
[2] Wang & Shin, 2018
[3] Yang, 2007

جدول ۱

لیست معیارهای مورداستفاده برای اولویت‌بندی، انتخاب و مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در مقالات پیشین

کد	عنوان معیار	مفهوم معیار
C_1	نزدیکی به مراکز مذهبی	مراکزی از قبیل، مساجد، حسینیه‌ها، هیئت‌ها و غیره.
C_2	نزدیکی به مراکز آموزش علوم دینی	مراکزی از قبیل مدارس قرآنی، حوزه‌های علمیه و غیره.
C_3	پمپ‌بنزین (مراکز ذخیره سوخت)	پمپ‌بنزین‌ها و اماکن مربوط به دپو و یا شارژ سیلندرهای گاز مایع و صنعتی.
C_4	نزدیکی به شیرهای آب‌رسانی آتش‌نشانی	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از شیرهای که در خیابان‌ها و معابر مختلف در سطح شهر تعبیه شده‌اند.
C_5	تعداد روستاهای حاشیه	تعداد روستاهایی که تحت حوزه استحفاظی آتش‌نشانی شهر هستند.
C_6	دسترسی به معابر اصلی	امکان دسترسی سریع به معابر اصلی وجود داشته باشد.
C_7	نزدیکی به بیمارستان	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از مراکز درمانی، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها.
C_8	فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود	نیاز به احداث ایستگاه در فاصله بین ایستگاه‌های موجود.
C_9	فاصله زمانی	فاصله زمانی ایستگاه‌ها از مراکز با قابلیت بالقوه آتش‌سوزی در نظر گرفته شود.
C_{10}	فرودگاه	فرودگاه‌های حمل‌ونقل باری و مسافری.
C_{11}	فاصله مسافتی	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از مراکز با قابلیت بالقوه آتش‌سوزی در نظر گرفته شود.
C_{12}	ارزش ملک	ارزش ریالی مکان‌های که ایستگاه‌های آتش‌نشانی نصب می‌شوند.
C_{13}	کاربری زمین	مسکونی، تجاری یا اداری بودن زمینی که برای ایجاد ایستگاه آتش‌نشانی باید خریداری شود.
C_{14}	ویژگی‌های بنا	مشخصه‌هایی که زمین و ساختمان ایستگاه‌های آتش‌نشانی مانند عمر ساختمان، استحکام ساختمان، نقشه گسل زمین و غیره باید داشته باشند.
C_{15}	محل صنایع پرخطر	کارگاه‌هایی که مواد اولیه و یا ثانویه و یا فرآیند تولید آن‌ها پرخطر باشد.
C_{16}	نزدیکی به فضای سبز عمومی	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از پارک‌ها، بوستان‌ها و فضاهای سبز عمومی.
C_{17}	تأسیسات شهری	مخازن آب شهری سازمان آب، پست‌های برق، اماکن مربوط به گاز شهری.
C_{18}	عوامـل طبیعـی و زیرساختی	محله‌هایی که در معرض عوامل طبیعی مخرب مثل طغیان رودخانه‌ها قرار داشته باشند.
C_{19}	نزدیکی به میادین میوه و تره‌بار	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از مراکز تهیه و توزیع کالا و مراکز میادین میوه و تره‌بار.
C_{20}	مراکز انبارداری	بارانداز‌ها، انبار غله و مایحتاج روزمره مردم.
C_{21}	هتل و مهمان‌سراهای بزرگ	اماکن اسکان موقت مسافران ازجمله کمپ‌ها و متل‌ها.
C_{22}	نزدیکی به ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از ایستگاه‌ها و پایانه‌های اتوبوس‌رانی و تاکسیرانی درون‌شهری.
C_{23}	نزدیکی به پایانه‌های مسافربری	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از پایانه‌ها و پایانه‌های مسافربری بین‌شهری.
C_{24}	مسائل جمعیتی و اجتماعی	محله‌هایی با فراوانی نسبی بالای جمعیتی.
C_{25}	نزدیکی به میادین اصلی شهر	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از نقاط پرتردد و میادین اصلی شهر.
C_{26}	نزدیکی به مناطق جنگلی	فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از مناطق جنگلی.
C_{27}	مراکز صنعتی	کارگاه‌هایی که ازنظر اقتصادی بر روند زندگی مردم اثرگذار می‌باشد.
C_{28}	مراکز فرهنگی_تاریخی	فرهنگ‌سراها، سینماها، موزه‌ها و اماکن میراث فرهنگی، حرم‌ها و اماکن متبرک.
C_{29}	مراکز مسکونی	محله‌هایی با بافت مسکونی، شهرک‌ها، برج‌ها و نظیر آن‌ها.
C_{30}	مراکز تجاری	فروشگاه‌ها، بازار، پاساژهای بزرگ تجاری محله‌هایی با بافت تجاری.
C_{31}	مراکز اداری	وزارتخانه‌ها، ادارات و سازمان‌های دولتی مانند ثبت‌احوال و اسناد.
C_{32}	مراکز آموزشی	دانشگاه‌ها مراکز علمی و پژوهشی و مجتمع‌های آموزشی.
C_{33}	فراوانی و پراکندگی حریق‌ها	محله‌هایی که آمار نسبی حریق آن‌ها به‌طور چشمگیر بالا باشد.
C_{34}	نزدیکی به تأسیسات خطرزای شهری	محل‌های نگهداری مهمات و مراکز و سازمان‌های نظامی

مزیت و برتری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های پیشین را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد:

– با توجه به استانداردهای جهانی، تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در شهر اهواز نسبت به جمعیت آن در وضعیت مناسبی قرار ندارد و ضرورت انجام پژوهشی در این حوزه به‌شدت احساس می‌شود.

– در پژوهش حاضر با مروری گسترده و عمیق در ادبیات پژوهش، فهرستی نسبتاً جامع از معیارهای دخیل در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شناسایی و استخراج و سپس با نظرسنجی از خبرگان نسبت به پالایش، تطبیق و ویژه سازی معیارها با شرایط و موقعیت مسئله اقدام گردید.

– همان‌طور که در پیشینه مشاهده می‌شود اغلب پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی تنها با استفاده از یکسری تکنیک‌های محدود همچون AHP به ارزیابی معیار و سپس رتبه‌بندی مکان‌ها پرداخته‌اند و این در حالی است که تکنیک AHP به لحاظ ماهیت به‌گونه‌ای است که با افزایش تعداد معیارها، دستیابی به مقایسات سازگار بسیار دشوار می‌شود و لزوم مراجعات مکرر به خبرگان و درخواست تجدیدنظر در مقایسه‌های زوجی را ایجاب می‌نماید. حال‌آنکه تکنیک‌های مورداستفاده در پژوهش حاضر ازلحاظ ماهیت به‌گونه‌ای هستند که نه‌تنها تعداد مقایسات زوجی را به حداقل می‌رسانند و ازاین‌جهت کارا هستند؛ بلکه نرخ ناسازگاری مقایسات به‌راحتی در محدوده قابل‌قبول قرار می‌گیرد و درنتیجه قابلیت اعتماد و اطمینان نتایج پژوهش را تضمین می‌کند.

– تاکنون هیچ پژوهشی در خصوص شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر اهواز و سپس مکان‌یابی ایستگاه‌ها بر اساس معیارهای رتبه‌بندی شده انجام نشده است. چارچوب کلی فرایند اجرای پژوهش در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱. چارچوب کلی فرآیند اجرای پژوهش

محدودهٔ مورد مطالعه

شهر اهواز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ درجه طول شرقی یکی از کلان‌شهرهای کشور است. جمعیت این شهر در آخرین سرشماری سال ۹۵ حدود ۱۳۰۳۰۰۰ نفر بوده است. این شهر که سومین شهری بود که بعد از تهران و در سال ۱۳۰۴ دارای تشکیلات آتش‌نشانی گردید هم‌اکنون دارای ۱۵ ایستگاه آتش‌نشانی است که شکل شماره ۲ نقشه GIS پراکندگی ایستگاه‌های آتش‌نشانی فعلی موجود در محدوده مطالعه را به تصویر می‌کشد.

شکل ۲. نقشه پراکندگی ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در محدوده موردمطالعه

روش پژوهش

پژوهش حاضر بر مبنای هدف، کاربردی و ازنظر نحوهٔ گردآوری اطلاعات، توصیفی-پیمایشی است. بدین‌صورت که ابتدا جهت تدوین مبانی نظری از روش کتابخانه‌ای استفاده شده است. سپس برای شناخت محدوده موردمطالعه و جمع‌آوری داده‌ها از روش توصیفی-پیمایشی استفاده گردیده است. قلمرو مکانی پژوهش حاضر شهر اهواز می‌باشد. پس از مصاحبه با خبرگان و کارشناسان سازمان آتش‌نشانی چهار مکان بالقوه برای احداث ایستگاه جدید آتش‌نشانی شناسایی شد. در پژوهش حاضر از سه نوع پرسشنامه استفاده شده است. معیارها پس از مرور گسترده و عمیق از ادبیات پژوهش استخراج شده‌اند و درنهایت توسط پرسشنامه اول و با استفاده از تکنیک دلفی در دو مرحله، در خصوص اهمیت معیارها و لزوم بودن آن‌ها در معیارهای نهایی از خبرگان نظرسنجی شده است. پرسشنامه دوم از نوع پرسشنامه مقایسه زوجی مختص تکنیک BWM[1] است که در قالب جداولی معیارها به‌صورت دوبه‌دو یک‌بار با مهم‌ترین معیار و یک‌بار با کم‌اهمیت‌ترین معیار مقایسه می‌شوند. پرسشنامه سوم نیز که مختص تکنیک PROMETHEE است و در آن به هر یک از مکان‌های چهارگانه بر اساس معیارهای ۲۱ گانه امتیازاتی اختصاص داده می‌شود. همچنین این پژوهش ازلحاظ موضوعی در قلمرو مباحث مکان‌یابی و به‌طور خاص در حوزه مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی قرار می‌گیرد. داده‌های موردنیاز در پژوهش حاضر طی سه مرحله جمع‌آوری شد. بدین‌صورت که ابتدا با مروری دقیق و گسترده در ادبیات و پیشینه پژوهش، عوامل و معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی استخراج گردید؛ سپس به‌منظور تطبیق و ویژه سازی معیارهای استخراج‌شده، از خبرگان نظرسنجی به عمل آمد و پس از اجرای دو مرحله تکنیک دلفی، نهایتاً ۲۱ معیار به‌عنوان خروجی نهایی تکنیک دلفی انتخاب و به‌عنوان ورودی مرحله بعد مورداستفاده قرار گرفت. سپس با به‌کارگیری تکنیک BWM نسبت به وزن دهی و اولویت‌بندی معیارهای شناسایی‌شده در مرحله قبل مبادرت شد. درنهایت نیز چهار مکان بالقوه احداث ایستگاه آتش‌نشانی که پس از مشورت با کارشناسان آتش‌نشانی مشخص‌شده بود، با استفاده از تکنیک PROMETHEE رتبه‌بندی شدند. جامعه آماری پژوهش حاضر شامل کارشناسان و خبرگان سازمان آتش‌نشانی شهر اهواز که بالای بیست سال تجربه کار در این شهر را داشته و نیز اشراف کافی بر مشکلات حمل‌ونقل و ترافیک شهر و همچنین بافت‌های مختلف شهری اهواز را داشتند، می‌باشد. بر این اساس و پس از بررسی کارشناسان و مدیران سازمان آتش‌نشانی شهر اهواز، حجم جامعه ۱۵ نفر برآورد شد. لازم به ذکر است که در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره رابطه یا فرمول خاصی برای تعیین اندازه نمونه وجود ندارد بلکه به سبب کوچک بودن جامعه هدف، سعی در سرشماری از آحاد خبرگان است؛ بنابراین راهبرد نمونه‌گیری نیز هدفمند یا قضاوتی است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۵).

[1] Best-Worse Method

در خصوص تکمیل پرسش‌نامه‌های مقایسه زوجی نیز ۱۵ خبره در قالب ۳ جناح فکری دسته‌بندی‌شده و هر جناح فکری نسبت به تکمیل یک پرسش‌نامه مقایسه زوجی مبادرت نمودند. شباهت اعضای یک جناح فکری ازنظر جهان‌بینی، دانش و تجربه حداقل و در میان جناح‌های فکری حداکثر است. در پرسشنامه‌های مبتنی بر مقایسه زوجی احتمال این‌که یک متغیر در نظر گرفته نشود صفر است؛ بنابراین تمامی معیارها در این سنجش موردتوجه قرارگرفته است و طراح قادر به جهت‌گیری خاصی در طراحی سؤالات نیست. لذا پرسشنامه‌های مبتنی بر مقایسه زوجی فی‌نفسه از روایی برخوردار هستند (قدسی پور، ۱۳۸۲). به‌منظور بررسی پایایی مقایسات نیز از نرخ سازگاری مختص تکنیک BWM استفاده و پس از تجدیدنظر و تکمیل مجدد برخی از ماتریس‌های ناسازگار، نهایتاً نرخ ناسازگاری کلیه مقایسات کمتر از ۰,۱ گزارش شد که این موضوع حاکی از ماهیت تکنیک BWM در سهولت تشخیص مقایسه‌های سازگار و درنتیجه قابلیت اعتماد و اطمینان بالای نتایج حاصل از پژوهش می‌باشد. در ادامه گام‌های مربوط به پیاده-سازی تکنیک BWM و PROMETHEE تشریح شده است.

تکنیک BWM توسط رضایی (۲۰۱۵) پیشنهاد شد. تکنیک BWM یکی از جدیدترین و کاراترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به‌منظور وزن دهی عوامل و معیارهای تصمیم‌گیری به‌کار می‌رود. در این روش بهترین و بدترین شاخص‌ها و معیارها و زیرمعیارهای تصمیم‌گیری را می‌توان توسط مقایسه‌های زوجی و تحلیل نظرات خبرگان رتبه‌بندی نمود و آن‌ها را از ارجح‌ترین و بااهمیت‌ترین به کم‌اهمیت‌ترین مرتب نمود. ازجمله ویژگی‌های برجسته روش BWM نسبت به سایر تکنیک‌های MCDM موجود می‌توان به تعداد مقایسات زوجی کمتر و دستیابی به مقایسات زوجی سازگارتر اشاره نمود. نتایج با قابلیت اطمینان بالاتری را به دست می‌دهد. گام‌های تکنیک BWM در پنج مرحله به شرح زیراست.

گام ۱- مشخص کردن مجموعه معیارها

گام ۲- تعیین بهترین (به‌عنوان‌مثال مطلوب‌ترین، مهم‌ترین) و بدترین (به‌عنوان‌مثال کم‌اهمیت‌ترین، ناپسندترین) معیار.

گام ۳- مشخص کردن میزان عملکرد بهترین معیار در برابر سایر معیارها

گام ۴- مشخص کردن عملکرد همه معیارهای نسبت به بدترین معیار

گام ۵- یافتن وزن‌های بهینه ($w1^*,w2^*,\ldots,wn^*$) و محاسبه نرخ سازگاری

به‌منظور محاسبه نرخ ناسازگاری در تکنیک BWM از رابطه ۱ و جدول شماره ۲ استفاده می‌شود (اصغری و نصراللهی، ۱۳۸۶)

$$IR \cong \frac{\zeta^*}{CI} \qquad (۱)$$

جدول ۲

شاخص‌های سازگاری مختص تکنیک BWM

a_{BW}	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
CI	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

گام‌های اجرای روش PROMETHEE نیز در ذیل توضیح داده شده است:

گام ۱. مشخص کردن ماهیت هر معیار در ماتریس تصمیم (سود/هزینه)

گام ۲. تعیین تابع ارجحیت برای هر معیار: رتبه‌بندی چهار مکان پیشنهادی با مقایسه زوجی گزینه‌ها در هر شاخص انجام می‌شود. مقایسه بر پایه یک تابع برتری از پیش تعریف‌شده با دامنه [0, +1] اندازه‌گیری می‌شود. تابع برتری (ترجیح) P، برای مقایسه دو مکان پیشنهادی a و b ازنظر معیار j به‌عنوان‌مثال فاصله تا شهرک‌های مسکونی، به‌صورت رابطه ۲ است.

$$Pj(a,b)=P[dj(a,b)] \qquad (۲)$$

گام ۳. محاسبه تفاوت مکان‌های پیشنهادی نسبت به یکدیگر: رابطه ۳ بیانگر تفاوت مکان‌های پیشنهادی در معیار j است. این تفاوت برای معیارهای از جنس مثبت زمانی معنادار خواهد بود که $fj\ (a) > fj\ (b)$ باشد و برای معیارهای جنس منفی، این رابطه برعکس است.

$$d_j(a,b)=fj(a)-fj(b) \qquad (۳)$$

گام ۴. محاسبه میزان ارجحیت مکان‌های پیشنهادی نسبت به یکدیگر: پس از محاسبه میزان تفاوت مکان‌ها با یکدیگر، مقدار $Pj(a,b)$ و با توجه به توابع یادشده به دست خواهد آمد.

گام ۵. محاسبه مجموع موزون برتری مکان a نسبت به مکان b که آن را با $\pi(a,b)$ نشان می‌دهند و از رابطه ۴ به دست می‌آید. در این رابطه، $P_j(a,b)$: بردار میزان برتری مکان a نسبت به b در رابطه با معیار j ام و w_j: وزن معیار j ام می‌باشد.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{k} P_j(a,b) w_j \quad (۴)$$

گام ۶. محاسبه جریان خروجی: جریان خروجی مطابق رابطه ۵ محاسبه می‌شود. این رابطه بیان می‌کند یک مکان مانند a چقدر از مکان‌های دیگر برتر است. هرچه این مقدار بیشتر باشد این مکان برتر خواهد بود.

$$\mathrm{Phi}^{+}(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a,x) \quad (۵)$$

گام ۷. محاسبه جریان ورودی: جریان ورودی مطابق رابطه ۶ محاسبه می‌شود. این رابطه بیان می‌کند که مکان‌های دیگر چقدر از مکان a برتر می‌باشند. هرچه این مقدار کمتر باشد این مکان بهتر خواهد بود.

$$\mathrm{Phi}^{-}(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a,x) \quad (۶)$$

گام ۸. محاسبه جریان خالص برای هر مکان و رتبه‌بندی مکان‌ها: جریان خالص هر مکان عبارت است از تفریق جریان ورودی گام هفتم از جریان خروجی محاسبه‌شده در گام ششم هر مکان. با توجه به توضیح مفهوم جریان ورودی و خروجی، هرچه حاصل تفریق این دو عدد برای هر مکان بیشتر باشد نشان از برتری آن مکان دارد.

یافته‌ها و بحث

به‌منظور شناسایی و استخراج معیارها، پس از مروری گسترده و عمیق در ادبیات پژوهش و مشورت با خبرگان دانشگاهی ۳۴ معیار مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی استخراج شد. سپس به‌منظور تطبیق و ویژه سازی معیارهای شناسایی‌شده در گام قبل، از تکنیک دلفی استفاده شد. بدین‌صورت که پس از دو راند اجرای تکنیک دلفی، معیارهایی که خبرگان بر روی آن‌ها اجماع بیشتر و یا اختلاف‌نظر کمتری داشتند تعیین شدند. تکنیک دلفی یک روش ارتباطی ساختمند است که در اصل به‌منظور پیشگویی سامانمند و تعاملی با تکیه بر هم‌اندیشی خبرگان ابداع شده و توسعه پیدا کرده است. این روش که در آینده‌پژوهی استفاده می‌شود عمدتاً اهدافی چون کشف ایده‌های نوآورانه و قابل‌اطمینان یا تهیه اطلاعاتی مناسب به‌منظور تصمیم‌گیری را دنبال می‌کند.

در راند اول اجرای این تکنیک از خبرگان درخواست شد که از بین ۳۴ معیار، معیارهایی را که ازنظر آن‌ها نقش کلیدی در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی دارند، انتخاب کنند. سپس نظرات حاصل از راند اول در جدول ۳ تجمیع شد و آن دسته از معیارهایی را که مجموع آرای خبرگان نسبت به آن‌ها کمتر از میانگین کل آراء خبرگان (عدد ۹) بود، از مجموع معیارها حذف شدند. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ۸ معیار C1، C_2، C_{13}، C_{14}، C_{16}، C_{22}، C_{25} و C_{34} حذف و راند دوم با ۲۶ معیار باقی‌مانده آغاز شد.

در راند دوم از خبرگان درخواست شد که با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۴، میزان اهمیت هر یک از معیارهای استخراج‌شده از راند قبل را مشخص نمایند. سپس پرسش‌نامه‌های هر یک از خبرگان جمع‌آوری‌شده و نتایج حاصل از آن در جدول ۵ ارائه شد. هدف از راند دوم، شناسایی معیارهایی بود که خبرگان اختلاف‌نظر کمتری نسبت به میزان اهمیت آن‌ها داشتند. بدین منظور از شاخص ضریب پراکندگی استفاده و ضریب پراکندگی آراء خبرگان نسبت به هر معیار محاسبه شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، نتایج حاصل از آن تجمیع و ضریب پراکندگی هر سطر محاسبه و در ستون آخر نوشته می‌شود و از ستون آخر میانگین گرفته می‌شود (میانگین ضریب پراکندگی‌ها). درنهایت سطرهایی (معیارهایی) که ضریب پراکندگی آن‌ها از میانگین کل ضرایب پراکندگی بیشتر باشد، حذف می‌شود. معیارهای باقی‌مانده، کلیدترین و مهم‌ترین معیارهایی هستند که اختلاف‌نظر کمتری بر روی آن‌ها وجود دارد. درنهایت معیارهایی که ضریب پراکندگی مربوط به آن‌ها از میانگین کل ضرایب پراکندگی (عدد ۰/۲۳۱۹) بیشتر بود، از مجموع معیارها حذف شدند. در این راند که راند نهایی تکنیک دلفی بود، ۵ معیار که اختلاف‌نظر بیشتری نسبت به آن‌ها وجود داشت، حذف شدند و مراحل بعدی پژوهش بر مبنای ۲۱ معیار باقی‌مانده انجام شد.

جدول ۳

تکنیک دلفی- راند اول: انتخاب معیارهای کلیدی

کد معیارها	خبرگان															مجموع
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	
C1	*	*				*		*			*		*			۶
C2	*			*		*					*		*		*	۶
C3	*		*	*			*	*	*	*		*		*	*	۱۰
C4		*	*			*		*	*		*	*		*	*	۹
C5	*	*				*	*			*	*	*		*	*	۹
C6	*	*	*		*		*	*	*	*			*	*		۱۰
C7		*	*	*	*	*					*	*	*		*	۹
C8	*	*	*		*			*	*	*		*	*	*	*	۱۱
C9	*	*		*			*	*		*	*		*		*	۹
C10	*		*		*	*	*	*	*	*				*		۹
C11	*	*	*					*	*	*	*	*	*		*	۱۰
C12	*	*			*			*	*	*		*		*	*	۹
C13			*			*	*		*	*	*					۶
C14		*			*			*		*			*			۵
C15			*	*		*		*	*		*	*		*	*	۹
C16	*			*	*		*	*	*				*			۷
C17		*		*	*	*		*	*				*	*	*	۹
C18	*		*		*		*	*		*	*	*			*	۹
C19	*	*					*	*	*	*	*	*	*	*		۱۰
C20	*		*	*				*	*	*	*	*		*		۹
C21		*		*	*	*		*	*				*	*	*	۹
C22		*	*	*	*	*					*		*		*	۷
C23	*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*			۱۱
C24	*	*			*		*	*	*	*	*		*	*	*	۱۱
C25	*		*				*				*	*			*	۶
C26	*		*	*		*		*	*	*	*	*		*		۱۰
C27	*	*	*	*	*	*		*	*		*	*	*	*	*	۱۳
C28	*	*	*	*				*	*	*		*	*			۹
C29	*	*		*			*	*	*	*	*		*	*	*	۱۱
C30	*	*	*	*	*	*	*	*	*							۹
C31	*	*	*	*		*				*	*	*		*	*	۱۰
C32	*	*	*				*	*	*	*		*	*		*	۱۰
C33	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						۱۰
C34		*	*		*			*		*			*		*	۷

میانگین = ۹

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۴

تکنیک دلفی- راند دوم: درجه اهمیت و مقدار عددی متناظر

مقادیر عددی	۱	۲	۳	٤	٥
میزان اهمیت	بی‌اهمیت	اهمیت کم	اهمیت متوسط	مهم	بسیار مهم

جدول ۵

تکنیک دلفی- راند دوم: تجمیع نظر خبرگان و محاسبه ضریب پراکندگی (CV)

کد معیارها	خبرگان															ضریب پراکندگی
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	
C_3	۴	۴	۴	۲	۴	۴	۳	۴	۵	۴	۴	۲	۴	۵	۴	۰,۲۲۷۲
C_4	۲	۳	۲	۳	۳	۲	۲	۵	۲	۱	۲	۲	۴	۳	۲	۰,۳۸۰۸
C_5	۴	۳	۴	۵	۵	۵	۴	۴	۴	۳	۴	۳	۲	۳	۴	۰,۲۲۷۲
C_6	۲	۴	۵	۵	۴	۵	۵	۴	۳	۴	۵	۵	۵	۵	۲	۰,۲۰۵۴
C_7	۳	۳	۲	۳	۲	۱	۴	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۴	۳	۰,۳۷۹۶
C_8	۲	۴	۵	۵	۴	۵	۵	۴	۳	۴	۵	۵	۵	۵	۲	۰,۲۰۵۴
C_9	۲	۴	۵	۵	۴	۵	۵	۴	۳	۴	۵	۵	۵	۵	۲	۰,۲۰۵۴
C_{10}	۵	۴	۴	۵	۴	۳	۴	۴	۳	۴	۵	۵	۲	۳	۵	۰,۲۲۴۸
C_{11}	۴	۲	۵	۵	۴	۵	۴	۵	۴	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۰,۱۸۶۱
C_{12}	۲	۴	۲	۳	۳	۲	۲	۱	۲	۵	۲	۲	۱	۳	۲	۰,۴۳۲۲
C_{15}	۵	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۴	۳	۴	۴	۲	۲	۴	۵	۰,۲۲۲۷
C_{17}	۳	۴	۵	۳	۴	۳	۳	۴	۴	۴	۴	۲	۵	۵	۳	۰,۲۲۷۲
C_{18}	۵	۴	۵	۳	۴	۵	۵	۴	۳	۴	۳	۵	۵	۵	۵	۰,۱۸۵۲
C_{19}	۵	۴	۴	۵	۵	۵	۴	۴	۳	۴	۵	۲	۲	۴	۵	۰,۲۵۰۰
C_{20}	۴	۴	۵	۵	۴	۵	۵	۴	۳	۳	۴	۳	۳	۳	۴	۰,۲۰۳۲
C_{21}	۲	۳	۴	۳	۳	۳	۴	۴	۳	۴	۴	۵	۵	۴	۲	۰,۲۲۲۷
C_{23}	۴	۴	۵	۴	۴	۵	۵	۴	۳	۴	۵	۵	۵	۳	۴	۰,۱۶۳۲
C_{24}	۳	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۴	۳	۴	۵	۲	۵	۵	۳	۰,۲۲۰۷
C_{26}	۵	۳	۴	۵	۵	۵	۳	۲	۳	۳	۴	۳	۳	۴	۵	۰,۲۵۸۰
C_{27}	۳	۴	۵	۵	۴	۵	۵	۴	۳	۴	۵	۵	۵	۵	۳	۰,۱۶۴۴
C_{28}	۵	۴	۴	۵	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۵	۳	۲	۴	۵	۰,۲۰۳۲
C_{29}	۳	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۴	۵	۴	۴	۲	۵	۵	۳	۰,۲۰۴۰
C_{30}	۵	۴	۵	۳	۴	۵	۵	۴	۳	۴	۳	۵	۵	۵	۵	۰,۱۸۵۵
C_{31}	۳	۴	۵	۵	۵	۴	۴	۴	۲	۴	۴	۵	۵	۴	۳	۰,۲۰۱۰
C_{32}	۴	۵	۴	۴	۴	۳	۲	۴	۳	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۰,۲۱۱۲
C_{33}	۵	۳	۵	۴	۳	۵	۵	۳	۳	۴	۵	۳	۵	۳	۵	۰,۲۳۱۴

پس از شناسایی، استخراج، تطبیق و ویژه سازی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نوبت به وزن دهی و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از تکنیک BWM می‌رسد. در ادامه به این مهم پرداخته‌شده است.

وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها- تکنیک BWM

آن‌چنان‌که پیش‌تر نیز اشاره شد برای وزن دهی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی ازنظرت ۱۵ خبره در قالب سه جناح فکری استفاده شده است. ازآنجاکه تکنیک BWM به لحاظ ماهیت به‌گونه‌ای است که امکان دستیابی به مقایسات سازگار را حتی در مواقعی که تعداد معیارها زیاد باشد، میسر می‌سازد و از طرف دیگر نیاز به تعداد مقایسات زوجی در قالب این تکنیک بسیار کمتر از سایر تکنیک‌های مشابه همچون AHP است، استفاده از این تکنیک نوین برای اولین بار در مباحث مربوط به مکان‌یابی، قابل توجیه است. در ادامه به وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها با استفاده از گام‌های تکنیک BWM و بر اساس نظرات ۱۵ خبره در قالب ۳ جناح فکری پرداخته‌شده است.

گام ۱. تعیین مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم: ۲۱ معیار پژوهش پیش‌ازاین با استفاده از تکنیک دلفی شناسایی و در جدول ۵ ارائه‌شده‌اند.

گام ۲. تعیین بهترین (مهم‌ترین/مطلوب‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین/حداقل مطلوبیت) معیار: در این گام به تعیین مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار به تفکیک سه جناح فکری پرداخته‌شده است.

- ✓ **جناح فکری اول:** مهم‌ترین معیار: تعداد روستاهای حاشیه (C_5) و کم‌اهمیت‌ترین معیار: نزدیکی به مراکز آموزشی (C_{32})
- ✓ **جناح فکری دوم:** مهم‌ترین معیار: فاصله زمانی (C_9) و کم‌اهمیت‌ترین معیار: دسترسی به معابر اصلی (C_6)– (به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های لازم جهت کاهش ترافیک در معابر اصلی شهر اهواز در حال حاضر)
- ✓ **جناح فکری سوم:** مهم‌ترین معیار: مراکز مسکونی (C_{29}) و کم‌اهمیت‌ترین معیار: نزدیکی به فرودگاه (C_{10}).

گام ۳. تعیین میزان ارجحیت بهترین/مهم‌ترین معیار نسبت به سایر معیارها با استفاده از اعداد ۱ تا ۹: در این گام به مقایسه مهم‌ترین معیار با سایر معیارها به تفکیک سه جناح فکری پرداخته‌شده است. نتایج حاصل از این گام در جداول ۶ تا ۸ ارائه‌شده است.

جدول ۶

مقایسه مهم‌ترین معیار با سایر معیارها- جناح فکری اول

معیارها	C_3	C_5	C_6	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{15}	C_{17}	C_{18}	C_{20}	C_{21}	C_{23}	C_{24}	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
a_{Bj}	۲	**۱**	۳	۲	۴	۶	۴	۵	۵	۵	۴	۵	۴	۴	۴	۴	۴	۶	۷	**۹**	۵

جدول ۷

مقایسه مهم‌ترین معیار با سایر معیارها- جناح فکری دوم

معیارها	C_3	C_5	C_6	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{15}	C_{17}	C_{18}	C_{20}	C_{21}	C_{23}	C_{24}	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
a_{Bj}	۸	۶	**۹**	۲	**۱**	۳	۱	۳	۴	۴	۲	۳	۲	۲	۲	۵	۵	۶	۷	۸	۵

جدول ۸

مقایسه مهم‌ترین معیار با سایر معیارها- جناح فکری سوم

معیارها	C_3	C_5	C_6	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{15}	C_{17}	C_{18}	C_{20}	C_{21}	C_{23}	C_{24}	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
a_{Bj}	۶	۵	۷	۶	۷	**۹**	۷	۸	۸	۷	۵	۶	۴	۴	۶	۲	**۱**	۲	۳	۳	۲

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، ازنظر گروه مربوط به جناح فکری اول، معیارهای پمپ‌بنزین (C_3) و فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود (C_8) در درجه دوم اهمیت نسبت به تعداد روستاهای حاشیه (C_5) بوده و به همین ترتیب ارجحیت مهم‌ترین معیار مدنظر این گروه به بقیه معیارها اکثراً اعداد ۴ و ۵ را دریافت کرده است.

بر اساس نتایج جدول ۷، ارجحیت‌بندی معیار فاصله زمانی (مهم‌ترین معیار) ازنظر گروه مربوط به جناح فکری دوم، با معیار فاصله مسافتی (C_{11}) تقریباً برابر بوده و ارجحیت یکسانی دارد. در جدول شماره ۸ نیز ارجحیت مهم‌ترین معیار مدنظر گروه مربوط به جناح فکری سوم، نشان داده شده و به‌عنوان‌مثال ارجحیت نزدیکی به مراکز مسکونی نسبت به معیار مراکز انبارداری (C_{20})، عدد ۵ تعیین شده است.

گام ۴. تعیین میزان ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین/کم‌اهمیت‌ترین معیار با استفاده از اعداد ۱ تا ۹: در این گام به مقایسه سایر معیارها با کم‌اهمیت‌ترین معیار به تفکیک سه جناح فکری پرداخته‌شده است. نتایج حاصل از این گام در قالب جداول ۹ تا ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۹

مقایسه سایر معیارها با کم‌اهمیت‌ترین معیار- جناح فکری اول

معیارها	C_3	C_5	C_6	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{15}	C_{17}	C_{18}	C_{20}	C_{21}	C_{23}	C_{24}	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
a_{jw}	۶	**۹**	۵	۶	۴	۲	۴	۳	۳	۳	۴	۳	۴	۴	۴	۴	۵	۲	۲	**۱**	۳

در جدول شماره ۹، از نظر گروه مربوط به جناح فکری اول، سایر معیارها نسبت به کم‌اهمیت‌ترین معیار (نزدیکی به مراکز آموزشی) مقایسه و رتبه‌بندی گردید که عدد یک، نشان‌دهنده نزدیک‌ترین معیار به کم‌اهمیت‌ترین معیار و عدد نه دورترین معیار از کم‌اهمیت‌ترین معیار می‌باشد؛ بنابراین همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، معیارهای پمپ‌بنزین (C_3) و فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود (C_8) که در جدول ۶ دارای ارجحیت نزدیک‌تری به مهم‌ترین معیار نسبت به سایر معیارها بودند، در اینجا ارجحیت ۶ را دریافت کرده و نسبت به سار معیارها (به‌جز مهم‌ترین معیار) از کم‌اهمیت‌ترین معیار دورترند.

جدول ۱۰

مقایسه سایر معیارها با کم‌اهمیت‌ترین معیار- جناح فکری دوم

معیارها	C_3	C_5	C_6	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{15}	C_{17}	C_{18}	C_{20}	C_{21}	C_{23}	C_{24}	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
a_{jw}	۲	۲	**۱**	۶	**۹**	۵	۹	۵	۴	۴	۶	۵	۶	۶	۶	۳	۳	۳	۲	۲	۳

جدول ۱۱

مقایسه سایر معیارها با کم‌اهمیت‌ترین معیار- جناح فکری سوم

معیارها	C_3	C_5	C_6	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{15}	C_{17}	C_{18}	C_{20}	C_{21}	C_{23}	C_{24}	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
a_{jw}	۲	۴	۲	۲	۱	**۱**	۲	۱	۱	۲	۳	۲	۴	۴	۲	۶	**۹**	۶	۵	۵	۶

در جدول شماره ۱۰، ازنظر گروه مربوط به جناح فکری دوم، سایر معیارها نسبت به کم‌اهمیت‌ترین معیار (دسترسی به معابر اصلی) مقایسه و رتبه‌بندی گردید. آن‌گونه که ملاحظه می‌شود، معیار فاصله مسافتی (C_{11}) به همراه بااهمیت‌ترین معیار این جناح فکری، دورترین به کم‌اهمیت‌ترین معیار ارزیابی شده و بنابراین ارجحیت ۹ دریافت کرده است. در جدول شماره ۱۱ نیز، معیارهای فاصله زمانی (C_9)، محل صنایع پرخطر (C_{15}) و تأسیسات شهری (C_{17}) بسیار نزدیک به کم‌اهمیت‌ترین معیار (نزدیکی به فرودگاه) رتبه‌بندی شده و ارجحیت ۱ را دریافت کرده‌اند.

گام ۵. تعیین اوزان بهینه معیارها $(W_1^*, W_2^*, \dots, W_n^*)$: مدل برنامه‌ریزی غیرخطی تکنیک BWM به تفکیک سه جناح فکری در قالب جدول ۱۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است به‌منظور محاسبه اوزان نهایی معیارها، میانگین حسابی اوزان به‌دست‌آمده از حل مدل برنامه‌ریزی غیرخطی هر یک از جناح‌های فکری محاسبه و در قالب جدول ۱۳ ارائه شده است.

آن‌چنان‌که از جدول ۱۳ پیداست معیارهای تعداد روستاهای حاشیه شامل تعداد روستاهای تحت حوزه استحفاظی آتش‌نشانی شهر (C_5)، مراکز مسکونی شامل محله‌هایی با بافت مسکونی، شهرک‌ها، برج‌ها و نظیر آن‌ها (C_{29}) و فاصله مسافتی شامل فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از مراکز باقابلیت بالقوه آتش‌سوزی (C_{11}) به ترتیب با اوزانی معادل ۰/۰۹۲، ۰/۰۸۸ و ۰/۰۶۸ جایگاه‌های اول تا سوم اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند.

دانش شهرسازی، دوره ٤، شماره ۳، ۸۹-۱۱۰، پاییز ۱۳۹۹

جدول ۱۲

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختص تکنیک BWM به تفکیک جناح‌های فکری

جناح فکری اول	جناح فکری دوم	جناح فکری سوم
$\min \xi$	$\min \xi$	$\min \xi$
s. t.	s. t.	s. t.
$\lvert w_5 - 2w_3 \rvert \le \xi w_3$	$\lvert w_9 - 8w_3 \rvert \le \xi w_3$	$\lvert w_{29} - 6w_3 \rvert \le \xi w_3$
$\lvert w_5 - 3w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_9 - 6w_5 \rvert \le \xi w_5$	$\lvert w_{29} - 5w_5 \rvert \le \xi w_5$
$\lvert w_5 - 2w_8 \rvert \le \xi w_8$	$\lvert w_9 - 9w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{29} - 7w_6 \rvert \le \xi w_6$
$\lvert w_5 - 4w_9 \rvert \le \xi w_9$	$\lvert w_9 - 2w_8 \rvert \le \xi w_8$	$\lvert w_{29} - 6w_8 \rvert \le \xi w_8$
$\lvert w_5 - 6w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$	$\lvert w_9 - 3w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$	$\lvert w_{29} - 7w_9 \rvert \le \xi w_9$
$\lvert w_5 - 4w_{11} \rvert \le \xi w_{11}$	$\lvert w_9 - 1w_{11} \rvert \le \xi w_{11}$	$\lvert w_{29} - 9w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_5 - 5w_{15} \rvert \le \xi w_{15}$	$\lvert w_9 - 3w_{15} \rvert \le \xi w_{15}$	$\lvert w_{29} - 7w_{11} \rvert \le \xi w_{11}$
$\lvert w_5 - 5w_{17} \rvert \le \xi w_{17}$	$\lvert w_9 - 4w_{17} \rvert \le \xi w_{17}$	$\lvert w_{29} - 8w_{15} \rvert \le \xi w_{15}$
$\lvert w_5 - 5w_{18} \rvert \le \xi w_{18}$	$\lvert w_9 - 4w_{18} \rvert \le \xi w_{18}$	$\lvert w_{29} - 8w_{17} \rvert \le \xi w_{17}$
$\lvert w_5 - 4w_{20} \rvert \le \xi w_{20}$	$\lvert w_9 - 2w_{20} \rvert \le \xi w_{20}$	$\lvert w_{29} - 7w_{18} \rvert \le \xi w_{18}$
$\lvert w_5 - 5w_{21} \rvert \le \xi w_{21}$	$\lvert w_9 - 3w_{21} \rvert \le \xi w_{21}$	$\lvert w_{29} - 5w_{20} \rvert \le \xi w_{20}$
$\lvert w_5 - 4w_{23} \rvert \le \xi w_{23}$	$\lvert w_9 - 2w_{23} \rvert \le \xi w_{23}$	$\lvert w_{29} - 6w_{21} \rvert \le \xi w_{21}$
$\lvert w_5 - 4w_{24} \rvert \le \xi w_{24}$	$\lvert w_9 - 2w_{24} \rvert \le \xi w_{24}$	$\lvert w_{29} - 4w_{23} \rvert \le \xi w_{23}$
$\lvert w_5 - 4w_{27} \rvert \le \xi w_{27}$	$\lvert w_9 - 2w_{27} \rvert \le \xi w_{27}$	$\lvert w_{29} - 4w_{24} \rvert \le \xi w_{24}$
$\lvert w_5 - 4w_{28} \rvert \le \xi w_{28}$	$\lvert w_9 - 5w_{28} \rvert \le \xi w_{28}$	$\lvert w_{29} - 6w_{27} \rvert \le \xi w_{27}$
$\lvert w_5 - 4w_{29} \rvert \le \xi w_{29}$	$\lvert w_9 - 5w_{29} \rvert \le \xi w_{29}$	$\lvert w_{29} - 2w_{28} \rvert \le \xi w_{28}$
$\lvert w_5 - 6w_{30} \rvert \le \xi w_{30}$	$\lvert w_9 - 6w_{30} \rvert \le \xi w_{30}$	$\lvert w_{29} - 2w_{30} \rvert \le \xi w_{30}$
$\lvert w_5 - 7w_{31} \rvert \le \xi w_{31}$	$\lvert w_9 - 7w_{31} \rvert \le \xi w_{31}$	$\lvert w_{29} - 3w_{31} \rvert \le \xi w_{31}$
$\lvert w_5 - 9w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_9 - 8w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{29} - 3w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$
$\lvert w_5 - 5w_{33} \rvert \le \xi w_{33}$	$\lvert w_9 - 5w_{33} \rvert \le \xi w_{33}$	$\lvert w_{29} - 2w_{33} \rvert \le \xi w_{33}$
$\lvert w_3 - 6w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_3 - 1w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_3 - 2w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_6 - 5w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_5 - 2w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_5 - 3w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_8 - 6w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_8 - 6w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_8 - 2w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_9 - 4w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{10} - 5w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_9 - 1w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{10} - 2w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{11} - 9w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{11} - 2w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{11} - 4w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{15} - 5w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{15} - 1w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{15} - 3w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{17} - 4w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{17} - 1w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{17} - 3w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{18} - 4w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{18} - 2w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{18} - 2w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{20} - 6w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{20} - 3w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{20} - 4w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{21} - 5w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{21} - 2w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{21} - 3w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{23} - 6w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{23} - 4w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{23} - 4w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{24} - 6w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{24} - 4w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{24} - 4w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{27} - 6w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{27} - 2w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{27} - 4w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{28} - 3w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{28} - 6w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{28} - 4w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{29} - 3w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{29} - 9w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{29} - 4w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{30} - 2w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{30} - 6w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{30} - 2w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{31} - 2w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{31} - 5w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{31} - 2w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{32} - 2w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{32} - 5w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\lvert w_{33} - 3w_{32} \rvert \le \xi w_{32}$	$\lvert w_{33} - 3w_6 \rvert \le \xi w_6$	$\lvert w_{33} - 6w_{10} \rvert \le \xi w_{10}$
$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$	$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$	$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$
$w_j \ge 0$, for all j	$w_j \ge 0$, for all j	$w_j \ge 0$, for all j

جدول ۱۳

وزن و اولویت نهایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی

معیار	C_3 پمپ‌بنزین	C_5 تعداد روستای حاشیه	C_6 دسترسی به معابر اصلی	C_8 فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی	C_9 فاصله زمانی	C_{10} فرودگاه	C_{11} فاصله مسافتی	C_{15} محل صنایع پرخطر	C_{17} تأسیسات شهری	C_{18} عوامل طبیعی و زیرساختی	C_{20} مراکز انبارداری
وزن	۰,۰۴۴	۰,۰۹۲	۰,۰۳۱	۰,۰۴۵	۰,۰۶۳	۰,۰۲۹	۰,۰۶۸	۰,۰۶۳	۰,۰۶۶	۰,۰۳۲	**۰,۰۴۹**
رتبه	۱۳	۱	۱۷	۱۴	۵	۲۱	۳	۱۹	۴	۱۸	**۱۰**
معیار	C_{21} هتل و مهمانسراهای بزرگ	C_{23} نزدیکی به پایانه‌ای مسافربری	C_{24} مسائل جمعیتی و اجتماعی	C_{27} مراکز صنعتی	C_{28} مراکز فرهنگی- تاریخی	C_{29} مراکز مسکونی	C_{30} مراکز تجاری	C_{31} مراکز اداری	C_{32} مراکز آموزشی	C_{33} فراوانی و پراکندگی حریق‌ها	
وزن	۰,۰۳۶	۰,۰۵۲	۰,۰۵۲	۰,۰۴۷	۰,۰۵۴	۰,۰۸۸	۰,۰۴۵	۰,۰۳۳	۰,۰۲۹	۰,۰۵	
رتبه	۱۵	۷	۸	۱۱	۶	۲	۱۲	۱۶	۲۰	۹	

بعد از وزن دهی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر اهواز، نوبت به رتبه‌بندی مکان‌های بالقوه چهارگانه می‌رسد. در ادامه به این مهم پرداخته شده است. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها از روش PROMETHEE استفاده شد. شکل ۱، ستون سمت چپ، رتبه‌بندی گزینه‌ها را که همانا مکان‌های بالقوه برای احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی می‌باشند بر پایه Phi^+ نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مکان بالقوه واقع در منطقه پاداد واقع در بلوار آیت‌الله. بهبهانی با بیشترین Phi^+در رتبه اول قرارگرفته است. اولویت گزینه‌ها عبارت است از:

Padad > Khoramshahr > Farhangian > Foolad

ستون سمت راست نیز رتبه‌بندی گزینه‌ها را بر پایه Phi^- نمایش می‌دهد. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر پایه‌ی Phi^- نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. در جدول ۱۴ نیز نتایج حاصل از رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس دو پارامتر Phi^+ و Phi^- مشخص شده است.

جدول ۱۴

جریان‌های اولویت‌بندی بیرونی

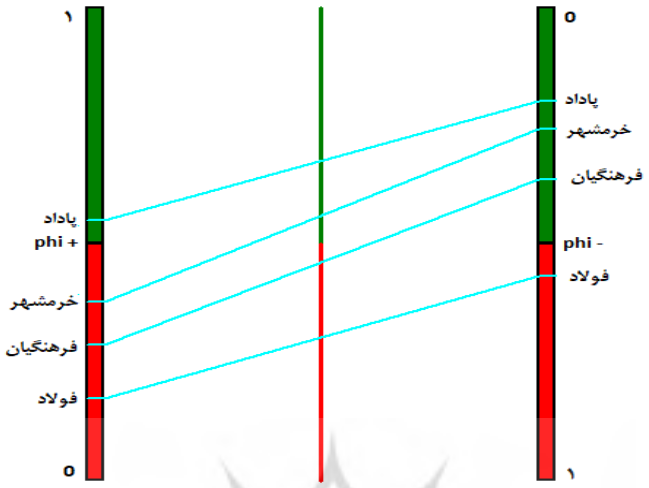
رتبه	مکان بالقوه احداث ایستگاه آتش‌نشانی	فی‌مثبت	فی‌منفی	فی
۱	منطقه پاداد- بلوار آیت‌الله بهبهانی، میدان جمهوری اسلامی، جنب خیابان پیروزی	۰/۵۵۰۷	۰/۱۹۸۶	۰/۳۵۲۱
۲	سه‌راه خرمشهر، حدفاصل میدان پلیس و ترمینال سه‌راه خرمشهر، بالاتر از قرارگاه پلیس‌راه	۰/۳۷۷۰	۰/۲۵۷۷	۰/۱۱۹۳
۳	کوی فرهنگیان، جنب کوچه وصال ۱	۰/۲۸۷۵	۰/۳۶۴۰	-۰/۰۷۶۶
۴	منازل صنایع فولاد، میدان منازل صنایع فولاد، خیابان سوم، جنب مسجد	۰/۱۷۳۴	۰/۵۶۸۳	-۰/۳۹۴۸

رتبه‌بندی گزینه‌ها در PROMETHEEI بر اساس شاخص جریان مثبت یا منفی به‌طور جداگانه انجام می‌گیرد. ازاین‌رو، در پاره ای موارد رتبه‌بندی گزینه‌ها با مشکلاتی مواجه می‌شود که نشئت‌گرفته از عدم توافق کامل بر رتبه‌بندی‌های ناشی از جریان‌های مثبت و منفی است.

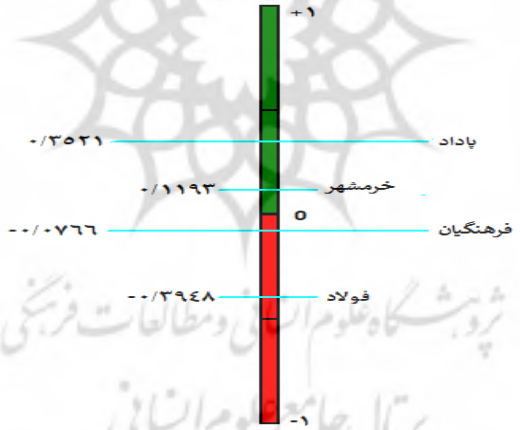
برای حل مشکل موجود در روش PROMETHEEI باید جریان خالص اولویت‌بندی بیرونی را محاسبه کرد که نشان‌دهنده میزان قدرت هر گزینه نسبت به گزینه‌های دیگر است. در این حالت همه گزینه‌ها قابل مقایسه خواهند بود و جریان خالص بزرگ‌تر به معنای گزینهٔ برتر است؛ یعنی اگر میزان جریان خالص a بیشتر از جریان خالص b باشد، آنگاه گزینه‌ی a به گزینه‌ی b ترجیح داده می‌شود و اگر میزان جریان خالص اولویت‌بندی دو گزینه باهم برابر باشد، آنگاه این دو گزینه در یک رتبه قرار خواهند گرفت. شکل ۵ معرف رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها بر اساس خروجی PROMETHEEII است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج

حاصل از رتبه‌بندی کامل PROMETHEEII نیز مشابه نتایج حاصل از رتبه‌بندی جزئی PROMETHEEI است. جدول ۱۵ نتایج حاصل از رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها را نشان می‌دهد.

رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها در شکل ۳ و رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود نتایج حاصل از رتبه‌بندی کامل PROMETHEEII نیز مشابه نتایج حاصل از رتبه‌بندی جزئی PROMETHEEI است.



شکل ۳. رتبه‌بندی جزئی در PROMETHEEI

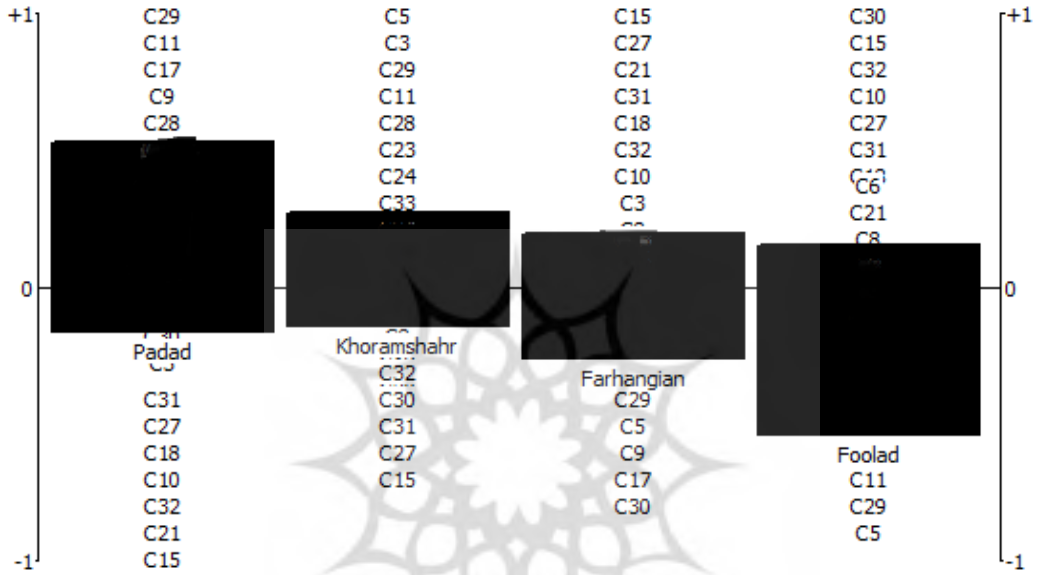


شکل ۴. رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها در PROMETHEEII

نمودار ارائه‌شده در شکل ۵ که رنگین‌کمان پرامتی نام دارد، گزینه‌ها را از چپ به راست، از بالاترین رتبه تا پایین‌ترین رتبه نشان می‌دهد. رنگین‌کمان پرامتی یک دیدگاه تفکیکی پرامتی ۲ می‌باشد که رتبه‌بندی را کامل می‌کند. تکه‌های انباشته برای هر گزینه، نشان‌دهنده عناصر جریان خالص هر گزینه است. معیارهایی که در قسمت بالای تکه‌های انباشته مربوط به هر گزینه قرار دارند، تأثیر مثبتی در رتبه‌بندی گزینه مربوطه دارند و برعکس معیارهایی که در قسمت پایین تکه‌های انباشته‌ی مربوط به هر گزینه قرار دارند، تأثیر منفی در رتبه‌بندی گزینه مربوطه دارند. برای مثال:

- ✓ پاداد: معیارهای شماره ۹، ۱۱، ۱۷، ۲۸ و ۲۹ تأثیر مثبتی در رتبه مربوط به گزینه پاداد دارند و برعکس معیارهای شماره ۱۰، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۷، ۳۱ و ۳۲ تأثیر منفی در رتبه مربوط به گزینه پاداد دارند.

- ✓ خرمشهر: معیارهای شماره‌ی ۳، ۵، ۱۱، ۲۳، ۲۴، ۲۸، ۲۹ و ۳۳ تأثیر مثبتی در رتبه مربوط بـه گزینـه خرمشـهر دارنـد و برعکس معیارهای شماره ۱۵، ۲۷، ۳۰، ۳۱ و ۳۲ تأثیر منفی در رتبه مربوط به گزینه خرمشهر دارند.
- ✓ فرهنگیان: معیارهای شماره ۱۰، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۷، ۳۱ و ۳۲ تأثیر مثبتی در رتبه مربـوط بـه گزینـه فرهنگیـان دارنـد و برعکس معیارهای شماره ۵، ۹، ۱۷، ۲۹، ۳۰ تأثیر منفی در رتبه مربوط به گزینه فرهنگیان دارند.
- ✓ فولاد: معیارهای شماره ۶، ۸، ۱۰، ۱۵، ۲۱، ۲۷، ۳۰، ۳۱ و ۳۲ تأثیر مثبتی در رتبه مربوط به گزینه فولاد دارند و برعکس معیارهای شماره ۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ تأثیر منفی در رتبه مربوط به گزینه فولاد دارند.



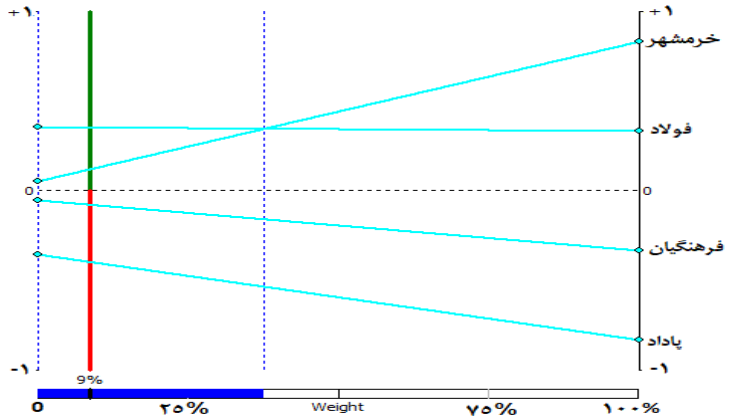
شکل ۵. نمودار تفکیکی رنگین‌کمان پرامتی

تحلیل حساسیت بر پایه زیرمعیار سوانح و تصادفات

در این بخش از پژوهش با استفاده از تحلیل حساسیت به بررسی میزان پایایی و قابلیت اعتماد به نتـایج پـژوهش پرداختـه‌شـده است. همچنین در تحلیل حساسیت به این نکته پرداخته می‌شود که با افزایش/کاهش تـدریجی وزن یـک معیـار، چـه تغییـری در رتبه‌بندی گزینه‌ها رخ می‌دهد. ابزار یادشده به تصمیم‌گیرندگان درباره بازنگری در وزن شاخص‌ها و نتایج آن کمک شایانی می‌کند. شکل ۶ معرف تحلیل حساسیت گزینه‌ها بر اساس معیار C_5 (تعداد روستاهای تحت حوزه استحفاظی آتش‌نشانی شهر) می‌باشد کـه بر اساس نتایج حاصل از وزن دهی با روش BWM، به‌عنوان مهم‌ترین معیار شناخته شد.

تحلیل نمودار شکل ۶ بدین شرح است که با افزایش/کاهش تدریجی وزن معیار تعداد روستاهای حاشیه چه تغییری در رتبه‌بندی گزینه‌ها رخ می‌دهد؟ آن‌چنان‌که از شکل ۶ پیداست، با کاهش وزن معیار تعداد روستاهای حاشیه به بیشتر از ۳۷/۶۳ درصـد، مکـان مربوط به منطقه پاداد که اکنون در رتبه اول قرار دارد، جای خود را به مکان مربوط به سه‌راه خرمشهر می‌دهـد. بـه عبـارتی رتبـه گزینه‌های یک و دو عوض می‌شود. شکل ۷ نیز مکان‌های بالقوه برای احداث ایستگاه آتش‌نشانی را به همراه مکان ایسـتگاه‌هـای موجود نشان می‌دهد.

دانش شهرسازی، دوره ٤، شماره ۳، ۸۹-۱۱۰، پاییز ۱۳۹۹



شکل ۶. نمودار تحلیل حساسیت ترجیح رتبه‌ها بر اساس معیار تعداد روستاهای حاشیه

شکل ۷. نقشه مکان‌های بالقوه احداث ایستگاه آتش‌نشانی به همراه مکان ایستگاه‌های موجود

نتیجه‌گیری

بروز حوادث مختلف در کشور ایران با توجه به گستردگی و تنوع اقلیمی آن، مخاطرات انسان‌ساخت، شکاف بین محیط‌های شهری و روستایی، توزیع ناعادلانه امکانات و خدمات و فقدان سلسله‌مراتب خدمات‌رسانی در جامعه روستایی، مشکلات فاجعه‌آمیزی را در پی دارد. ازآنجاکه شهرها محل تمرکز و تراکم جمعیت و دارایی‌های انسان هستند، در برابر عوامل خطرآفرین آسیب و خسارات چشمگیر و گسترده‌ای را شاهد می‌باشند، بنابراین تعیین بهینه محل احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی در جهت صیانت از جان شهروندان و کاهش آسیب‌ها در حوزهٔ انسانی می‌باشد و این مکان‌ها به‌عنوان مکانی امن برای جامعه آسیب‌دیده باید دارای شرایط لازم از جنبه‌های مختلف زیرساختی، فرهنگی، اجتماعی، امنیتی و انتظامی باشند تا در قالب یک برنامه ملی و محلی مدیریت بحران بتوانند هنگام وقوع بحران بیشترین بهره را داشته باشند. لذا یکی از مسائل مهم تخصیص منابع شهری، انتخاب بهینه مکان‌های ایستگاه‌های آتش‌نشانی به‌منظور ارائه خدمات بهتر و نجات جان افراد در سوانح است. چنانکه مشخص است با توجه به مطالعات بررسی‌شده و نیز نظرات خبرگان حوزه ایمنی شهر اهواز، مهم‌ترین معیارهایی که بایستی به آن پرداخته شود معیار

تعداد روستاهای حاشیه‌ای شامل تعداد روستاهای تحت حوزه استحفاظی آتش‌نشانی شهر (C_5)، تعداد مراکز مسکونی شامل محله‌هایی با بافت مسکونی، شهرک‌ها، برج‌ها و نظیر آن‌ها (C_{29}) و معیار فاصله مسافتی شامل فاصله مسافتی ایستگاه‌ها از مراکز باقابلیت بالقوه آتش‌سوزی (C_{11}) به ترتیب با اوزانی معادل ۰/۰۹۲، ۰/۰۸۸ و ۰/۰۶۸ جایگاه‌های اول تا سوم اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین سایر معیارهای مؤثر در جدول (۱۳) ارائه‌شده‌اند که می‌توانند در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی مفید واقع شوند. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش خان احمدی و همکاران (۱۳۹۳) در انتخاب معیارهای نزدیکی به مراکز فرهنگی و تاریخی، نزدیکی به مراکز تجاری، مراکز انبارداری مراکز صنعتی همخوانی دارد و به پژوهش دربان آستانه و همکاران (۱۳۹۲) در معیار تعداد روستاهای حاشیه نزدیک می‌باشد. ولی با معیارهای پژوهش محمودی و فلاح خورسند (۱۳۹۶) همخوانی ندارد. با پژوهش بدری و همکاران (۱۹۹۸) در انتخاب معیارهای فاصله زمانی و مسافتی با مراکز شهری نزدیک است، با معیار فاصله از جاده و تراکم جمعیت در پژوهش چادهاری و همکاران (۲۰۱۶) نزدیک است ولی با معیارهای نزدیکی به رودخانه و وسعت منطقه خشکی این پژوهش همخوانی ندارد. با معیار فاصله از جاده‌های اصلی و فاصله از نواحی خطرناک پژوهش اردن و کاسکان (۲۰۱۰) نزدیک و از انتخاب معیار تراکم ساختمان‌های چوبی این پژوهش دور است. انتخاب معیارهای فوق‌الذکر تا حدی می‌تواند راهگشای مکان‌یابی‌های مذکور در سایر شهرستان‌های کشور نیز باشند که در کنار معیارهای مخصوص آن منطقه جغرافیایی و فرهنگی قرار گیرند. پس از وزن دهی و اولویت‌بندی معیارها، به رتبه‌بندی چهار مکان بالقوه احداث ایستگاه آتش‌نشانی در شهر اهواز با استفاده از تکنیک PROMETHEE مبادرت شد. منطقه پاداد در معیارهای مؤثر فاصله زمانی، فاصله مسافتی، تأسیسات شهری، مراکز فرهنگی و تاریخی و مراکز مسکونی دارای امتیاز بالاتری است. معیارهای دارای تأثیر مثبت در انتخاب مکان سه‌راه خرمشهر عبارت‌اند از تعداد روستاهای حاشیه، پمپ‌بنزین، فراوانی و پراکندگی حریق‌ها، مسائل جمعیتی و اجتماعی، فاصله مسافتی، نزدیکی به پایانه‌ی مسافربری و مراکز مسکونی. مکان فرهنگیان حائز امتیاز بالاتر در معیارهای محل صنایع پرخطر مراکز صنعتی مراکز تجاری مراکز اداری مراکز آموزشی می‌باشد. همچنین در انتخاب مکان فولاد، معیارهای دسترسی به معابر اصلی، فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی، فرودگاه، محل صنایع پرخطر، هتل و مهمانسراهای بزرگ، مراکز صنعتی، مراکز تجاری، مراکز اداری و مراکز آموزشی تأثیر مثبت داشتند. نتایج حاصل از رتبه‌بندی مکان‌های بالقوه با توجه به اوزان محاسبه‌شده برای معیارها، نشان داد که منطقه پاداد واقع در بلوار آیت‌الله بهبهانی مناسب‌ترین مکان به‌منظور احداث ایستگاه آتش‌نشانی است. پس‌ازآن، سه‌راه خرمشهر، کوی فرهنگیان و منازل صنایع فولاد به ترتیب در اولویت‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند.

همچنین پیشنهادهای زیر برای پژوهش‌های آتی قابل‌ارائه می‌باشند: به‌کارگیری مدل و معیارهای پیشنهادشده در پژوهش حاضر به‌منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در سایر استان‌ها و شهرها؛ تعیین میزان تأثیر هر یک از مؤلفه‌های تأثیرگذار بر مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از روش معادلات ساختاری در قالب نرم‌افزارهایی مانند Lisrel و Smart PLS؛ استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به‌منظور ارائه تصویری بهتر و واضح‌تر از مناطق بالقوه احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی که به کاربران این امکان را می‌دهد که به‌سادگی اطلاعات مکانی و داده‌های توصیفی را برای ایجاد نقشه‌ها، جداول و نمودارها به‌کارگیرند.

منابع

اسماعیل نژاد، مرتضی و اسکندری ثانی، محمد. (۱۳۹۵). مکان‌یابی تأسیسات و تجهیزات شهری در راستای بهره‌وری از زمان طلایی مدیریت بحران (مطالعه: ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر بیرجند). *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۶ (۳)، ۲۶۳-۲۵۲.

اجزاءشکوهی، محمد، شایان، حمید و درودی، محمدهادی. (۱۳۹۳). مکان‌یابی بهینه ایستگاه آتش‌نشانی در شهر مشهد. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۳ (۱۱)، ۱۲۷-۱۰۷.

اخوان عبداللهیان، محمدرضا و تقوایی، مسعود. (۱۳۹۶). تعیین نوع کاربری‌های آسیب‌پذیر و معیارهای مکان گزینی فضایی- کالبدی آن‌ها با تأکید بر بحران‌های غیرطبیعی (پدافند غیرعامل) به روش AHP (نمونه موردی شهر سبزوار). *تحقیقات جغرافیایی*، ۳۲، (۱)، ۱۳۶-۱۲۱.

اصغری زاده، عزت‌الله و نصراللهی، مهدی. (۱۳۸۶). رتبه‌بندی شرکت‌ها بر اساس معیارهای مدل سرآمدی-روش PROMETHEE. *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ۱۱(۱۱)، ۵۹-۸۴.

اصغری علایی، سعید و حسین‌مردی، مهدی. (۱۳۹۲). *مکان‌یابی بهینه اراضی شهری (مفاهیم و مدل‌های کاربردی)*. تهران: نشر کالج برتر.

بصیرت، میثم. (۱۳۹۸). *برنامه‌ریزی شهری در ایران*. تهران: نشر فرهنگ و هنر جهاد دانشگاهی.

بهبهانی، حمید، قهرمانی، حسین، امینی، بهنام و احمدی‌نژاد، محمود. (۱۳۷۳). *مهندسی ترافیک (تئوری و کاربرد)*. تهران: انتشارات سازمان حمل‌ونقل و ترافیک.

پور اسکندری، عباس. (۱۳۸۰). *سنجش توزیع فضایی سوانح آتش‌سوزی در شهر با استفاده از GIS (مطالعه موردی شهر کرج)*. پایان نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری.

خان احمدی مرضیه، عربی، مهدی، وفایی نژاد، علیرضا و رضائیان، هانی. (۱۳۹۳). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از تلفیق منطق fuzzy و AHP در محیط GIS. *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۳ (۸۹)، ۹۸-۸۸.

دربان آستانه، علیرضا، زیارتی، اسماعیل، جعفری، سارا و سائلی، رباب. (۱۳۹۲). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی روستایی با استفاده از تحلیل شبکه و AHP مطالعه موردی: شهرستان شیروان چرداول. *پژوهش‌های روستایی*، ۴ (۴)، ۸۵۰-۸۲۵.

زمانی، وحید (۱۳۸۹). *کتاب سبز شهرداری‌ها*. جلد دوم. کاربری زمین شهری. تهران: انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.

سعید پور، شراره و کاشفی دوست، دیمن. (۱۳۹۶). مکان‌گزینی پناهگاه‌های شهری بار رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی شهر سقز). *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۶ (۱۰۴)، ۱۴۴-۱۲۹.

صادقی دروازه، سعید، قاسمی، احمدرضا، رسولی‌تیله‌نوئی، ندا و شول، عباس. (۱۳۹۶). مکان‌یابی پارکینگ‌های مکانیزه با رویکرد توسعه پایدار (موردمطالعه: شهر قم). *اقتصاد و مدیریت شهری*، ۶ (۱)، ۱۲۷-۱۱۱.

علی‌آبادی، زینب، نسترن، مهین، پیرانی، فرزانه و شیخ‌زاده، فرزانه. (۱۳۹۶). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از روش تلفیقی AHP و GIS (مطالعه موردی: منطقه ۳ اصفهان). *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۶ (۱۰۳)، ۱۳۶-۱۲۳.

عرب امیری، محمد، رفیع پور، مهرداد و سعدی مسگری، محمد. (۱۳۹۳). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه و GIS (مطالعه موردی شهر تهران). *فصلنامه آمایش محیطی*، ۷ (۲۵)، ۴۸-۲۲.

علوی، سید علی، سالاروند، اسماعیل، احمدآبادی، علی، فرخی‌سیس، سعیده و اسحاق، محمدرضا. (۱۳۹۲). تحلیل فضا_مکانی عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی بر پایه مدیریت بحران با استفاده از روش تلفیقی MCDM و تحلیل شبکه (مطالعه موردی: منطقه ۶ تهران). *دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۲، ۶۵-۵۷.

غفوری، حسین، فتوحی، صمد و مسجدی، نجمه. (۱۳۹۵). بررسی توزیع فضایی-مکانی پارکینگ‌های عمومی و مکان‌یابی بهینه آن (مطالعه موردی: منطقه ۲ و ۸ شهرداری شیراز). *نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی*، ۷ (۲۴)، ۱۹۰-۱۷۳.

قاسمی، احمدرضا، ملکی، محمدحسن و کریمی، آصف. (۱۳۹۴). اولویت‌بندی توسعه روابط برون‌سازمانی مبتنی بر ارزش فرهنگی با بهره‌گیری از تحلیل خوشه‌ای و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. *نشریه مدیریت سازمان‌های دولتی*، ۱۰، ۵۷-۷۲.

قاضی عسکر نائینی، آرمان. (۱۳۸۳). *ارائه روشی مناسب جهت مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهر اصفهان)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی.

قدسی پور، حسن. (۱۳۸۱). *فرآیند تحلیل سلسله مراتبی*. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

قربانی، رسول. (۱۳۹۶). *اصول و مبانی برنامه‌ریزی شهری*. تهران: نشر سمت.

محمودی، مهتاب و فلاح‌خورسند، موسی. (۱۳۹۶). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: منطقه ۱۷ شهر تهران). *دوماهنامه نخبگان علوم و مهندسی*. ۲ (۲)، ۴۰۰-۴۰۹.

هادیانی، زهره و کاظمی زاد، شمس الله. (۱۳۸۹). مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از روش تحلیل شبکه و مدل AHP در محیط GIS مطالعه موردی (شهر قم). *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۸ (۱۷)، ۱۱۲-۹۹.

References

Ajza Shekohi, M., Shayan, H. & Doroudi, M. (2014). Optimal location of fire station in Mashhad. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *3*(11), 107-127. (in Persian)

Akhavan Abdullahian, M. & Taqvaee, M., (2017). Determining the type of vulnerable land uses and their spatial-physical location criteria with emphasis on unnatural crises (passive defense) by AHP method (case study of Sabzevar city). *Journal of Geographical Research*. *32*(1), 136-121. (in Persian)

Alavi, S, A., Salarvand, I., Ahmadabadi, A., Farrokhisis, S. & Ishagh, M. (2013). Spatial-Spatial Analysis of Fire Stations Based on Crisis Management Using Combined MCDM and Network Analysis (Case Study: Tehran District 6). *Crisis Management Journal*, 2,. 57-65. (in Persian)

Alcasena, F., Ager, A., Salis, M., Day, M. & Vega-Garcia, C. (2018). Optimizing prescribed fire allocation for managing fire risk in central Catalonia. *Science of the Total Environment*. 621, 872-885

Aliabadi, Z., Pirani, M. & Sheikhzadeh, F. (2018). Location of Fire Stations Using Integrated AHP and GIS Method (Case Study: Isfahan District 3). *Journal of Geographical Information (Sepehr)*, *26*(103), 123-136. (in Persian)

Arab Amiri, M., Rafi Pour, M. & Saadi Mesgari, M. (2014). Location of Fire Stations Using Ant Colony Algorithm and GIS (Tehran City Case Study). *Environmental Preparation Quarterly*, *7*(25), 22-48. (in Persian)

Asghari Alaei, S. & Hossein Mardi, M. (2013). *Optimal location of urban lands (practical concepts and models).* Tehran: Top College Publishing. (in Persian)

Asghari Zadeh, E. & Nasrollahi, M. (2007). Companies rankings based on the criteria of the PROMETHEE method of payroll model. *Quarterly Journal of Humanities*, *11*(11), 59-84. (in Persian)

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

Basirat, M. (2019). *Urban planning in Iran.* Tehran: University Jihad Culture and Art Publishing. (in Persian)

Behbahani, H., Ghahramani, H., Amini, B. & Ahmadinejad, M. (1994). *Traffic Engineering (Theory and Practice).* Tehran: Transportation and Traffic Organization Publications. (in Persian)

Chaudhary, P., Chhetri, S., Joshi, K., Shresth, B. & M and Kayastha, K. (2016). Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Socio-Economic Planning Sciences*, 53, 60-71.

Darban ahesteh, A., Ziarati, I., Jafari, S. & Saeli, R. (2013). Location of Fire Stations and Rural Safety Services Using Network Analysis and AHP Case Study: Shirvan County Chardwell. *Journal of Rural Research*, *4*(4), 825-850. (in Persian)

Erden, T. & Coskun, M. (2010). Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 2127-2134.

Ghafouri, H., Fotouhi, S. & Masjedi, N. (2016). Spatial-spatial distribution of public parking lots and its optimal location (Case study: District 2 and 8 of Shiraz municipality). *Journal of Research and Planning*, *7*(24), 190-173. (in Persian)

Ghasemi, A. & Karimi, M. (2015). Prioritize the development of external value relationships based on cultural value using cluster analysis and hierarchical analysis process. *Journal of Management of Government Organizations*, 10, 57-72. (in Persian)

Ghazi Askar Naeini, A. (2004). *Providing an Appropriate Method for Locating Public Parking Using GIS (Case Study: Central Isfahan City).* Master thesis, Shahid Beheshti University. (in Persian)

Ghodsipour, H. (2002). *Analytical Hierarchy Process*. Tehran: Amirkabir University of Technology Publications. (in Persian)

Ghorbani, R. (2017). *Principles and Foundations of Urban Planning*. Tehran: Samat Publishing. (in Persian)

Hadiani, Z. & Kazemizad, S. (2010). Location of Fire Stations Using Network Analysis and AHP Model in GIS Case Study (Qom City). *Journal of Geography and Development*, *8*(17), 99-112. (in Persian)

Ismail Nejad, M. & Eskandari Thani, M. (2016). Location located directly in the city in order to exploit and from the golden age of crisis management (study: Birjand fire stations). *Quarterly Journal of Crisis Prevention and Management Knowledge*, *6*(3), 263-252. (in Persian)

Khan Ahmadi, M., Arabi, M., Vafaee Nejad, A. & Rezaeian, H., (2014). Locating fire stations using fuzzy logic and AHP integration in GIS. *Journal of Geographical Information (Sepehr)*, *23*(89), 88-98. (in Persian)

Mahmoudi, M. & Fallah Khorsand, M. (2018). Location of fire stations using GIS (Case study: District 17 of Tehran). *Elite Biennial of Science and Engineering*, *2*(2), 400-409. (in Persian)

Pour Eskandari, A. (2001). *Spatial Distribution Measurement of Fire Accidents in the City Using GIS (Karaj Case Study)*. Unpublished Thesis, Tarbiat Modares University, Department of Geography and Urban Planning. (in Persian)

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.

Sadeghi Darvazeh, S., Ghasemi, A., Rasooli Talehnoie, N. & Shul, A., (2018). Locating mechanized parking lots with a sustainable development approach (Case study: Qom City). *Journal of Urban Economics and Management*, *6*(1), 127-111. (in Persian)

Saeedpour, S. & Kashafi Doost, D., (2018). Locating Urban Shelters for the Passive Defense Approach Times (Saqez City Study Study). *Journal of Geographical Information (Sepehr)*, *26*(104), 129-144. (in Persian)

Wang, Ch. P. & Shih, B. (2018). Research on the integration of fire water supply. *Procedia Engineering*, 211, 778-787.

Yang, L., Jones, B. & Yang, S. (2007). A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 181, 903-915.

Zamani, V. (2010). *Green Book of Municipalities.* Volume II. Urban land use. Tehran: Publications of Municipalities and Villages Organization. (in Persian)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی