

بهینه‌سازی مکانی پایگاه‌های امداد و نجات با رویکرد ارتقاء پوشش خدمات در محورهای اصلی کشور

ابراهیم جهانگیر¹، بهاره سادات موسوی²، محمدرضا جلوخانی نیارکی^{3*}

¹ دانشجوی دکتری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران

jahangir.ebrahim@ut.ac.ir

² دانشجوی دکتری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران

bahare.moosavi@ut.ac.ir

³ دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

mrjelokhani@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت: مهر 1401، تاریخ تصویب: دی 1401)

چکیده

ایران کشوری است که در طول تاریخ با انواع حوادث و سوانح طبیعی و غیرطبیعی مواجه بوده‌است. لزوم پاسخگویی موثر به حوادث و سوانح رخ داده در کشور، به دلیل گستره جغرافیایی وسیع آن یکی از چالش‌های اساسی مدیران بحران به‌شمار می‌رود. برنامه‌ریزی برای به حداقل رساندن زمان پاسخگویی یکی از راهکارهایی است که می‌تواند به دلیل حفظ زمان طلایی نجات در این زمینه موثر باشد. در این تحقیق پایگاه‌های امداد و نجات جمعیت هلال احمر به عنوان یکی از عناصر پاسخگویی به حوادث و سوانح که دارای وظایف ذاتی و قانونی در مدیریت بحران است، از نظر نحوه پوشش براساس زمان بهینه پاسخگویی مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. هدف و نوآوری این تحقیق شناسایی مناطق مناسب برای توسعه مراکز امداد و نجات و تعیین شعاع عملکردی پایگاه‌ها با در نظر گرفتن شاخص‌های توپوگرافی و محیط جغرافیایی منطقه در محورها و شبکه معابر مختلف و زمان رسیدن مراکز امدادی به محل مخاطره می‌باشد، بدین منظور از روش تحلیل شبکه‌ای، تصمیم‌گیری چندمعیاره و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) استفاده شد. همچنین، برای بهره‌مندی از آن به عنوان یک تحقیق کاربردی تمام شاخص‌های مورد نظر در دستورالعمل‌های ایجاد پایگاه امداد و نجات به صورت مکانی برای بهینه‌سازی مدل استفاده شده‌است. اعمال محدودیت‌ها و مطلوبیت‌های مکانی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در بستر شبکه ارتباطی بین شهری اصلی کشور مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. نتایج نشان می‌دهد سطح راه‌های تحت پوشش خدمات امداد و نجات از 33.61 درصد در وضع موجود به 55.46 درصد ارتقاء یافته‌است.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی مکانی، پایگاه امداد و نجات، تحلیل شبکه‌ای، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، شعاع عملکردی.

1- مقدمه

با توجه به اهمیت مسئله حوادث و ایمنی و پوشش بخش عمده‌ای از سفرها توسط حمل و نقل زمینی، یکی از مهمترین مسائل قابل طرح در عرصه برنامه‌ریزی، سیستم‌های حمل و نقل می‌باشند و ارتقای ایمنی در این مسیرها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است [1]. اهمیت این موضوع ضرورت توجه به بخش امداد و نجات و توسعه و تجهیز آن، با در نظر گرفتن مکان‌یابی درست و بهینه پایگاه و عملکرد مطلوب در این خصوص را خاطر نشان می‌کند [2]. بر این اساس مدیریت کارا و بهینه این حوادث در کنترل و رسیدگی و کاهش آثار تصادفات تأثیر به‌سزایی دارد و زمان رسیدن به محل حادثه و انجام فعالیت‌های امدادی بسیار مهم است. بنابراین، انجام مطالعات پایه مبنی بر شناسایی توزیع مکانی و زمانی نقاط پرحادثه و تعیین مکان‌های بهینه استقرار پایگاه‌های امداد و نجات امری ضروری می‌باشد. در این خصوص، مشکلات و نارسایی‌هایی از جمله نامتناسب بودن تعداد پایگاه‌های فعال در کشور با تعداد جمعیت تحت پوشش، نامتناسب بودن توزیع مکانی پایگاه‌ها با استاندارد پوشش زمانی، ناکافی بودن تعداد پایگاه‌ها نسبت به معیار، جمعیت و مساحت تحت پوشش وجود دارد. برای اجرای یک مکان‌یابی موفق، لازم است همه عوامل مؤثر در سطح منطقه مطالعاتی بررسی شود و مکان‌های مناسب در قالب خروجی فرایند مکان‌یابی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان نهایی قرار گیرد. تراکم جمعیت از عوامل اصلی مؤثر در نحوه استقرار پایگاه‌ها می‌باشد، در مناطقی از شهر که تراکم جمعیتی در سطح بالایی قرار دارد احتمال وقوع حوادث بیشتر است. بنابراین، برنامه‌ریزی مراکز باید بر حسب تراکم جمعیت در مناطق تحت پوشش و میزان رخداد حوادث صورت گیرد. مساحت مناطق مختلف شهری و شعاع عملکردی پایگاه‌ها نیز در برنامه‌ریزی استقرار آنان از عوامل عمده به حساب می‌آید [3]. همکاری و هماهنگی سازمان هلال‌احمر، پلیس راهور، شهرداری و دیگر سازمان‌های دخیل در رسیدگی به تصادفات، برای کسب اطلاعات به روز در مورد آمار جمعیت، کاربری‌های مختلف و نیز وضعیت ترافیک خیابان‌ها مورد نیاز است. در این بین، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مکان‌یابی پایگاه‌ها کارایی بالایی

دارد. این کارایی به دلیل امکان مقایسه و ارزیابی مکان‌های مختلف و انتخاب مکان بهینه با توجه به معیارهای مورد نظر است. علاوه بر سه عامل انسان، جاده و وسیله نقلیه، عوامل طبیعی نیز نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در تصادفات دارند. به ویژه بازه‌های زمانی مانند فصول زمستان و اوایل بهار، که به دلیل بروز پدیده یخبندان، بارش و همچنین عوارض ناشی از آن مثل سقوط بهمن، کاهش فاصله دید و غیره و عوارض ژئومورفولوژیکی مثل شیب زمین، زمین‌لغزش، ریزش سنگ و غیره شدت اثرات این عوامل را تشدید می‌کند [4]. وقوع تعداد زیاد تصادفات جاده‌ای در ایران، توجه بیش از پیش به بخش امداد و نجات، مکان‌یابی صحیح پایگاه‌های امداد و نجات جاده‌ای و توسعه و تجهیز آن را ضروری می‌نماید. مراکز امداد و نجات جمعیت هلال احمر به عنوان یکی از مهمترین ارکان پاسخگویی به حوادث و سوانح به ویژه در محیط‌های برون شهری نقش بسیار مهمی در افزایش تاب‌آوری جامعه در حوادث و سوانح دارد. مکان‌یابی بهینه این مراکز در کنار کاهش زمان پاسخگویی به حوادث و سوانح مختلف می‌تواند موجب ارتقاء سطح تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح و در نتیجه اثر بخشی آن شود. در کشور ایران نیز باتوجه به شرایط خاص طبیعی و انسانی لازم است شبکه پاسخگویی به حوادث و سوانح به نحو بهینه‌ای توسعه داده شود تا با به‌کارگیری حداقل هزینه (منابع) پاسخ موثری به حوادث و سوانح داده شود. این موضوع ضرورت توجه به مکان‌یابی مراکز امداد و نجات برنامه توسعه آتی آن را در کشور بیش از پیش گوشزد می‌نماید [5].

در کشور ایران به دلیل تنوع گسترده جغرافیایی و همچنین شرح خدمات متنوع جمعیت هلال احمر به حوادث مکانیابی بهینه پایگاه‌های امداد و نجات در کشور از ارجحیت بالایی برخوردار است به ویژه با در نظر گرفتن لزوم توسعه شبکه امداد و نجات کشور لازم است تا رویکردی مبتنی بر دانش برای مکانیابی و ایجاد پایگاه‌های امداد و نجات ایجاد گردد. در این تحقیق به منظور ساماندهی مکانی پایگاه‌های هلال احمر، ابتدا مناطق خطر در سطح کشور تعیین می‌شود. سپس، با توجه به اهمیت وجود خطر و شرایط پاسخگویی به حوادث در شرایط جغرافیایی مختلف، شعاع عملکردی پایگاه‌ها با در نظر گرفتن شاخص‌های توپوگرافی و محیط جغرافیایی به صورت بهینه ساماندهی و مکان‌یابی می‌شود.

هدف از انجام این تحقیق، شناخت شاخص‌های موثر در عملکرد بهینه مراکز امداد نجات، ارتقاء و توسعه شبکه امداد و نجات بین شهری با حداقل هزینه و بهینه‌سازی شبکه امداد و نجات با استفاده از تحلیل شبکه‌ای و تعیین مکان بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) می‌باشد.

لازم به ذکر است شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق بر اساس دستورالعمل‌های ابلاغی هلال احمر در ارتباط با مکان‌یابی مراکز امداد و نجات استخراج شده‌است.

2- مروری بر تحقیقات پیشین

موضوع بهینه‌سازی مکانی مراکز پاسخگویی اضطراری مانند مراکز آتش‌نشانی، امداد و سایر مراکز پشتیبانی عملیات، از جمله مراکز موارد توجه محققین بوده‌است، زیرا اثر بخشی این مراکز به وضوح می‌تواند در کاهش تلفات حوادث و سوانح تأثیر داشته باشد. لذا استفاده از روش‌های مختلف بهینه‌سازی مکانی مراکز پاسخگویی در حوادث و سوانح از موارد مورد علاقه پژوهشگران بوده‌است. استفاده از هوش مصنوعی و الگوریتم‌های ابتکاری یا فرابتکاری برای این منظور بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته‌است. بررسی منابع مختلف نمایانگر استفاده روش‌های مختلف در این زمینه می‌باشد. طالشی و قبادی (1392)، با استفاده از منطق فازی در چهار چوب تحلیل سلسله مراتبی، بهترین مکان‌ها و اولویت‌ها را برای احداث مراکز آتش‌نشانی مشخص کردند [6]. ناصر بای و همکاران (1394)، با استفاده از یک روش سلسله‌مراتبی، عوامل تأثیرگذار در تصادفات جاده‌ای را شناسایی کردند و در نهایت نقشه الویت امداد و نجات موجود و مکان‌گزینی مراکز پیشنهادی پایگاه‌های امداد و نجات به دست آمد. نتایج نشان داد تراکم نقاط حادثه‌خیز در حد فاصل دو ایستگاه امداد و نجات جاده‌ای قرار دارد که عواملی چون اقلیم، فرهنگ، جمعیت و مهندسی جاده در این امر دخیل است [7]. نوریان و اسفندی (1394)، با استفاده از روش تاپسیس، اولویت مکانی پایگاه در سطح ناحیه را تعیین کردند و در نهایت مکان تقریبی احداث پایگاه معین شد [8]. ابراهیمی و همکاران (1396)، با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) و تحلیل‌های فضایی نتیجه گرفتند؛ پایگاه‌های پشتیبانی مدیریت بحران در منطقه 18 شهر تهران از الگوی توزیع

تصادفی و غیراصولی پیروی کرده و به لحاظ مکانی، در پهنه‌های فضایی مناسبی استقرار نیافته‌است [5]. میری و همکاران (1398)، به مکان‌یابی بهینه مراکز امداد و نجات در زلزله احتمالی شهرستان نهاوند با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل FAHP پرداختند تا در صورت وقوع حادثه امداد رسانی در کمترین زمان صورت گیرد، درنهایت سه محدوده در منطقه به عنوان الویت‌های ایجاد مراکز امداد و نجات پیشنهاد شد [9]. کرمی و همکاران (1399)، ضریب اهمیت هر کدام از معیارها را با مدل-AHP FUZZY تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد معیارهای طبیعی وزن کمتری از معیارهای انسانی دارند. از نظر مکان-یابی نیز شهرستان بانه وضعیت مناسبی را برای استقرار پایگاه‌های پشتیبانی مدیریت بحران ندارد و مناسب‌ترین مکان مناطق میانی شهرستان می‌باشد [10]. خرقانی و همکاران (1400)، با استفاده از فرآیند سلسله‌مراتبی لایه‌های اطلاعاتی را وزن‌دهی کردند. سپس، با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و به کمک معیارهای فاصله، نقطه بهینه برای احداث ایستگاه آتش‌نشانی را پیشنهاد دادند. نتایج عملکرد الگوریتم نشان داد؛ الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در زمان کمتری نسبت به الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه می‌رسد [11]. اجتماعی و همکاران (1400)، به اولویت‌بندی نقاط مختلف برای ایجاد پایگاه‌های امداد و نجات در شرایط وقوع زلزله پرداختند. نتایج نشان داد در بخش‌های مرکزی و چاهورز مناسب‌تر است که چهار سطح مدیریتی در نظر گرفته شود تا در مواقع بروز حادثه امداد رسانی به موقع و مناسب‌تر در تمام نقاط صورت گیرد [12]. Li Rongrong و همکاران (2015)، مدلی را در مورد مکان ایستگاه مرکزی ساختند و سپس الگوریتم ژنتیک ایمنی را برای حل مدل اعمال نمودند. مدل و الگوریتم ایجاد شده مشکل مکان‌یابی ایستگاه مرکزی را به‌طور موثر حل کرد و یک روش بهینه‌سازی مکان را با ارزش اقتصادی مناسب را در اختیار واحدهای مدیریتی قرار داد. در نهایت، تجزیه و تحلیل موردی با استفاده از متلب برتری و اعتبار مدل را تأیید کرد [13]. Monica Patrascu و همکاران (2016)، یک مفهوم کنترل مسیر را برای وسایل نقلیه اضطراری از طریق ترافیک شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه دادند [14]. Jyotirmoy و Üster (2018)، یک مسئله طراحی شبکه اضطراری را بررسی کردند که این مدل تأکید نسبی را بر بدترین حالت و

به حداقل رساندن هزینه‌های جریان و بررسی نتایج کلی هزینه‌ها و تنظیمات شبکه بررسی می‌کند [15]. بلوری و همکاران (2018)، با استفاده از الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده (SA) و ژنتیک با اهدافی مانند به حداقل رساندن فاصله و زمان و همچنین به حداکثر رساندن پوشش، مسئله تخصیص مکان چند هدفه را برای ایستگاه‌های آتش نشانی منطقه 11 تهران ارزیابی کردند. با توجه به کارآمدتر بودن الگوریتم ژنتیک از الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده، در مراحل بعدی از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل می‌تواند با موفقیت هفت مکان بهینه را ارائه کند [16]. بهرام سعیدیان و همکاران (2018)، تخصیص مراکز امداد رسانی در منطقه 1 تهران را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تکنیک ترتیب اولویت با مدل تصمیم‌گیری ایده‌آل TOPSIS، و دو الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و بهینه‌سازی کلنی مورچه (ACO) انجام دادند. با استفاده از TOPSIS، سایت‌هایی که شرایط اولیه را با توزیع کافی در منطقه دارند، انتخاب شدند. سپس، انتخاب مراکز مناسب و تخصیص بسته‌ها به آن‌ها با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی حل شد. نتایج پیاده‌سازی، کیفیت کلی TOPSIS، روش خوشه‌بندی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی را نشان داد. نتایج ارزیابی نشان داد، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم بهینه‌سازی کلنی مورچه پاسخ‌های بهتر را پیدا می‌کند، سریعتر همگرا می‌شود و هماهنگی بالاتری دارد [17]. Aleisa (2018)، روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه فازی، پوشش حداکثر، سیستم اطلاعات جغرافیایی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچه، جستجوی تابو (TS) و بازپخت شبیه‌سازی شده را مورد مقایسه قرار دادند. ترکیب الگوریتم ژنتیک با سیستم اطلاعات جغرافیایی مدیریت مجموعه داده‌های فضایی بزرگ را بهبود بخشیده و منجر به نتایج دقیق‌تری بر اساس فاصله شبکه به جای فاصله خط مستقیم شد. سایر روش‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم مورچه، جستجوی تابو، بازپخت شبیه‌سازی شده و TCP-S برای بهبود خواص راه‌حل مورد استفاده قرار گرفتند. تمامی روش‌های پیشنهادی برای حل مسئله به اهداف در نظر گرفته‌شده وزن مساوی می‌دهند، به جز روش‌هایی که از تحلیل سلسله‌مراتبی برای تعیین وزن به معیارهایی که برای مکان‌یابی در نظر گرفته شده‌اند استفاده می‌کنند. تخصیص وزن به معیارها می‌تواند نتایج نهایی مطالعات را بهبود بخشد و وزن‌های متفاوت به معیارها را در

نظر بگیرد [18]. Yao و همکاران (2018)، یک مدل بهینه‌سازی فضایی دو هدفه را پیشنهاد کردند که پوشش و اهداف متوسط را در خدمت مناطق تقاضا یکپارچه می‌کند. نتایج ارزش بهینه‌سازی فضایی را در کمک به برنامه‌ریزی ایستگاه آتش‌نشانی و استقرار منابع نجات نشان داد [19]. داوودی و مسگری (2018)، از یک مدل ترکیبی بر اساس تحلیل شبکه و مسئله مکان پوشش مجموعه (SCLP) برای مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر تهران استفاده کردند. با بررسی ماتریس پوشش 112 ایستگاه آتش‌نشانی، 86 درصد مناطق تحت پوشش زمان استاندارد امداد قرار گرفتند. با حل سناریو، 29 زیرمنطقه برای دستیابی به پوشش 100 درصدی زیرحوزه‌ها طراحی شدند [20]. Abubakar و Boye (2019)، از طریق فرآیندهای بافر، طبقه‌بندی مجدد ویژگی‌های ورودی و عملیات هم‌پوشانی وزنی، سریع‌ترین مسیر برای تحویل خدمات اضطراری از ایستگاه آتش‌نشانی را استخراج کردند و بررسی سرعت سفر در ساعت، نشان داد که با سرعت سفر 80 کیلومتر در ساعت می‌توان به کل منطقه مورد مطالعه رسید تا استاندارد بین المللی 4 دقیقه زمان پاسخ‌گویی را برآورده کند. آن‌ها همچنین یک طرح ارائه خدمات اضطراری را پیشنهاد کردند که توسط GNFS برای به حداقل رساندن تاخیر در ارائه خدمات اضطراری در کشور اتخاذ شود [21]. Ramli و همکاران (2019)، مسیر بهینه امداد و نجات ایستگاه آتش‌نشانی به منطقه مسکونی در منطقه تجاری مرکزی در ماکاسار را با استفاده از توسعه یک پلاگین در QGIS ارائه دادند [22]. بلوری و همکاران (2019)، با استفاده از مدل VAOMP (مسئله میانه ترتیبی انتساب برداری) با در نظر گرفتن معیار ظرفیت و با استفاده از دو الگوریتم تابو و ژنتیک، مشکل مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیک در مدت زمان کوتاه‌تری راه‌حل‌های با کیفیت‌تری تولید می‌کند. دو الگوریتم به طور جداگانه با هدف به حداکثر رساندن شعاع پوشش برای ایستگاه‌های موجود، تقاضاها را به تأسیسات در منطقه مورد مطالعه تخصیص دادند که هر دو الگوریتم نتایج مشابهی دادند، اما سرعت هم‌گرایی ژنتیک در رسیدن به جواب‌های بهینه بالاتر بود [23]. گلی و مالیر (2019)، یک مدل تخصیص و مسیریابی برای وسایل نقلیه امدادی در مناطق آسیب دیده از یک فاجعه با روش بهینه‌سازی بر اساس نظریه اعتبار طراحی و یک الگوریتم جستجوی هارمونی با شبیه‌سازی

تصادفی ارائه دادند. تحلیل الگوریتم جستجوی هارمونی با مقایسه حل‌کننده CPLEX و الگوریتم GRASP نشان داد الگوریتم پیشنهادی در مدت زمان کوتاهی عملکرد خوبی دارد [24]. علی نقیان و همکاران (2019)، یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی بهبود یافته مبتنی بر جستجوی پراکندگی همراه با جستجوی همسایگی متغیر را ارائه دادند. مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی، جستجوی پراکندگی پایه و الگوریتم ژنتیک نشان‌دهنده عملکرد خوب الگوریتم پیشنهادی بود [25]. وفایی‌نژاد و همکاران (2020)، مکان-یابی تخصیص ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر تهران با هدف به حداقل رساندن زمان رسیدن ماشین‌های آتش‌نشانی به محل حادثه تا بیش از 5 دقیقه، را با استفاده از هر دو الگوریتم جستجوی تابو و الگوریتم بازیخت شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد الگوریتم جستجوی Tabu عملکرد مؤثرتری دارد و این مدل می‌تواند نتایج خوب و نزدیکی را با روش‌های دقیق با حجم عظیمی از داده‌ها ایجاد کند [26]. بلوری و همکاران (2020)، از روش‌های فرا ابتکاری الگوریتم‌های تابو و ژنتیک برای به حداقل رساندن زمان رسیدن از ایستگاه‌های آتش‌نشانی به تقاضا، در دو سطح، حداکثر تا 5 دقیقه استفاده نمودند. نتایج دو الگوریتم برای تحلیل جابجایی و تخصیص مجدد در دو سطح با وزن‌های متفاوت برای 13 ایستگاه آتش‌نشانی بالقوه و موجود نشان داد که حداقل 3 ایستگاه جدید نیاز است. هم-چنین، الگوریتم ژنتیک نتایج کیفی بهتری را در مقادیر بهینه، دقت تخصیص و بازه زمانی در مقایسه با الگوریتم تابو تولید کرد [27]. Beiki و همکاران (2020)، یک مدل مسیریابی موقعیت مکانی را برای ارزیابی افراد مجروح و توزیع امدادی تحت عدم اطمینان ارائه دادند. نتایج نشان داد کاهش ظرفیت مراکز توزیع، میزان کمبود منابع را افزایش می‌دهد و ظرفیت این مراکز کاهش میزان کمبود منابع را کاهش می‌دهد [28]. Okkan و Kirdemir (2020)، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات را یکی از کاربردی‌ترین روش‌های فراابتکاری دانسته و هدف آن را توسعه قابلیت جستجوی محلی عنوان کردند. نتایج استفاده ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت (LM) نشان داد PSO-LM ترکیبی راه‌حل جهانی پایداری را در نتیجه هر آزمایش تصادفی در برنامه برای چهار داده مختلف سیل ارائه می‌دهد و در مقایسه با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و یک نوع ترکیبی دیگر به نام

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات جهش یافته به همگرایی سریعتری دست می‌یابد [29]. Nyimbili و Erden (2020)، با استفاده از گسترش فازی روش تصمیم‌گیری چند معیاره فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی را پیشنهاد کردند و در مجموع 34 سایت ایستگاه آتش‌نشانی جدید انتخاب شد که مکمل 121 ایستگاه آتش‌نشانی موجود بودند. سپس، یک تحلیل اولویت‌بندی از کم، متوسط به بالا، برای برنامه‌ریزی مراحل ساخت ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید با توجه به نیازهای بودجه رقابتی و محدودیت‌های منابع انجام شد [30]. Chen و همکاران (2020)، روش ارزیابی جامع فازی (FCE) را برای تجزیه و تحلیل مسئله تصمیم و وزن هر یک از شاخص‌های موجود در سیستم را بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین نمودند. در نهایت، یک ایستگاه آتش‌نشانی در ژنگ ژووسیتی برای تأیید اثربخشی سیستم ایجاد شده در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد قابلیت امداد و نجات اضطراری ایستگاه آتش‌نشانی در سطح کلی است [31]. Pae و همکاران (2021)، به مشکل یافتن قربانیان در یک محیط جستجو و نجات با استفاده از یک تیم رباتیک که روند جستجوی بازماندگان را سرعت می‌بخشد، پرداختند. این روش مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات توزیع‌شده (DPSO) است که در آن هر ازدحام ذرات یک ربات واحد را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، الگوریتم به گروه اجازه می‌دهد تا از موانع اجتناب کند و قربانیان احتمالی را پیدا کند [32]. Wenda Wang و همکاران (2021)، با ارزیابی تحلیل چگالی هسته و بر اساس داده‌های MTS، یک شبکه جاده‌ای چند سناریویی ساختند. نتایج مدل «مکان-تخصیص» و تحلیل شبکه در منطقه مورد مطالعه نمایانگر پوشش کلی (96.51%) در مدت زمان پاسخ پنج دقیقه‌ای می‌باشد. نتایج بهینه‌سازی نیز نشان داد؛ برای پوشش کافی به 15 ایستگاه آتش‌نشانی اضافی نیاز است [33]. Jing Zhou و Yunhong Shao (2022)، مدل انتخاب مکان مرکز P با الگوریتم ژنتیک را برای ایستگاه‌های خدمات اضطراری حمل‌ونقل ریلی شهری در نظر گرفتند. نتایج نشان داد این مدل تعداد ایستگاه‌های خدمات اضطراری را به حداقل می‌رساند در حالی که تابع هدف بهینه را برآورده می‌کند و هزینه ساخت ایستگاه‌های خدمات اضطراری را کاهش می‌دهد. این رویکرد تأثیر قابل توجهی در بهبود قابلیت اطمینان سیستم و کاهش خطرات اضطراری دارد [34]. Yang و همکاران (2022)، با استفاده از خوشه‌بندی و الگوریتم کلنی مورچه بهبود یافته-PA-C

(IACO) به شناسایی مکان‌های ایستگاه‌های نجات و برنامه‌ریزی مسیرهای نجات پرداختند. نتایج نشان داد که PA-C-IACO راه‌حل بهتری نسبت به روش‌های موجود دارد و استحکام و امکان‌سنجی خوبی را نشان می‌دهد [35]. Xu و همکاران (2022)، با استفاده از نقشه حرارتی جمعیت و الگوریتم برنامه‌ریزی مسیر با در نظر گرفتن تأثیر ساختمان‌های فرو ریخته، یک مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته (DES) از بیمارستان‌ها، بر اساس تطبیق افراد مجروح و زمان سفر آنها، برای محاسبه تغییرات زمانی در قابلیت نجات پزشکی طراحی کردند. نتایج نشان داد بیمارستان قادر به پاسخگویی به تقاضای امداد و نجات در 72 ساعت پس از زلزله نیست [36]. Mahariba و همکاران (2022)، با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین زمان سفر (MSSTT) تعیین مسیر با زمان سفر محدود را برای رسیدن به مقصد پیشنهاد دادند [37]. Tan و همکاران (2022) یک ابزار تصمیم‌گیری برای مشکل استقرار یکپارچه وسایل نقلیه نجات حوادث ترافیکی در منطقه شهری را ارائه دادند، آن‌ها از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای بهینه‌سازی استفاده کردند. نتایج عددی نشان داد که همیشه افزایش تعداد منابع نجات جاده‌ای منجر به افزایش کارایی نجات جاده‌ای نمی‌شود [38]. Zhang و همکاران (2022) با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات بهبودیافته، یک مدل بهینه‌سازی برای نقاط نجات چندگانه را طراحی کردند که می‌تواند زمان بهینه‌سازی را کاهش دهد و از ضرر زودرسی جلوگیری کند، رویکرد پیشنهادی اثربخشی نجات را در یک شبکه پراکنده افزایش داد و توزیع منابع اضطراری را بهینه نمود [39]. Mourad و همکاران (2022) سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی را برای پیش‌بینی خطر با هزینه جمع‌آوری شده تصادف در حمل و نقل جاده‌ای پیشنهاد کردند، این روش یک طرح واره ترکیبی است که مزیت اصلی منطق فازی و شبکه عصبی را ترکیب می‌کند. همچنین، با تنظیم پارامترهای مدل پیشنهادی توسط بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم کرم شب‌تاب، الگوریتم رقابتی امپریالیستی و بهینه‌سازی رفتار مبتنی بر انسان و در نتیجه بهینه‌سازی عملکرد ANFIS است. نتیجه شبیه‌سازی این کار و تحلیل مقایسه‌ای نشان داد، عملکرد ANFIS و ANFIS-PSO در مرحله آموزش برجسته بودند، در حالی که ANFIS-FA نتایج بهتری را در فرآیند تست ارائه می‌دهد [40].

در تحقیقات داخلی و خارجی روش‌های متفاوت و متنوعی برای تخصیص بهینه سایت‌های مکان‌یابی مراکز امداد و نجات یا کاربردهای مشابه را پیشنهاد داده‌اند. شایان ذکر است به دلیل ساختار متفاوت مدیریت بحران در کشورهای مختلف و نحوه عملکرد متفاوت مراکز پاسخ‌گویی به حوادث و سوانح در کشور ایران، به‌ویژه در مناطق برون شهری، نمونه‌های بین‌المللی در ارتباط با بهینه‌سازی مکانی مراکز پاسخ‌گویی اضطراری، مطابق با شرح وظایف و خدمات ارائه شده در مراکز امداد و نجات کشور، نمی‌تواند عیناً مورد استفاده و بررسی قرار گیرد. هرچند در مطالعات و منابع خارجی به این روش‌ها پرداخته شده‌است، اما بررسی‌ها نشان داد، کارایی این روش‌ها در منابع داخلی به ویژه با موضوع مراکز امداد و نجات جمعیت هلال احمر با رویکرد پاسخ‌گویی به حوادث و سوانح بین شهری چندان مورد اقبال نبوده‌است. به همین دلیل در این تحقیق صرفاً روش‌های مورد استفاده در بهینه‌سازی مراکز اضطراری مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. در مجموع به نظر می‌رسد استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری توانسته‌است نتایج مطلوبی به‌جهت تخصیص بهینه مراکز امداد و نجات ارائه دهد. همچنین، استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای از روش‌های موثری می‌باشد که در خصوص هم‌پوشانی و یا عدم پوشش پایگاه‌های امداد و نجات جاده‌ای و بهینه‌سازی دسترسی پایگاه‌ها و شبکه معابر می‌تواند میسر باشد. برای تعیین شعاع عملکردی بهینه پایگاه‌ها در این تحقیق، از روش تحلیل شبکه‌ای با در نظر گرفتن زمان استاندارد 14 دقیقه استفاده می‌شود. به‌منظور دستیابی به هدف اصلی تحقیق که شناسایی مناطق مناسب برای توسعه مراکز امداد و نجات و تعیین شعاع عملکردی با توجه به شرایط منطقه در محورها و شبکه معابر مختلف و زمان رسیدن مراکز امدادی به محل مخاطره می‌باشد، از روش تحلیل شبکه‌ای و تصمیم‌گیری چندمعیاره و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده خواهد شد.

مکان‌یابی پایگاه‌های امداد و نجات در تحقیقات و پژوهش‌های گذشته عموماً مبتنی بر بررسی و پیشنهادات در سطح محلی بوده‌است در حالی که در تحقیق حاضر به دلیل اهمیت اثر فضایی و همجواری، محدوده مورد مطالعه، در سطح کشوری در نظر گرفته شده‌است. همچنین علی‌رغم تحقیقات متنوعی که در مورد ارائه الگوی مکانی توسعه مراکز انجام شده‌است، تاکنون شاخص‌های واحدی برای این موضوع مورد توافق قرار

3-2- داده‌های مورد نظر

- حوادث و سوانح رخ داده در 5 سال گذشته در کشور ایران (1395-1400) - استخراج شده از سامانه DMIS جمعیت هلال احمر
- پراکندگی جمعیت و سکونت‌گاه‌ها (ویژگی‌های جمعیتی) - مرکز آمار ایران
- شرایط جغرافیایی (کوه، شیب، دشت و...)
- لایه راه‌های ارتباطی کشور-سازمان راهداری کشور
- تاسیسات و تجهیزات بین شهری-سازمان راهداری کشور

3-3- مراحل تحقیق

باتوجه به اهداف مورد نظر در این تحقیق، بهینه‌سازی شبکه امداد و نجات به منظور پوشش حداکثری محورهای مواصلاتی اصلی کشور با رعایت ضوابط و معیارهای اجرایی برای پوشش خدمات امداد و نجات در کشور انجام می‌شود. همچنین، به‌منظور توسعه شبکه امداد و نجات کشور، معیارهای مکانی استخراج، وزن‌دهی و مناطق بهینه پیشنهاد می‌شود. در نهایت، میزان اثربخشی مدل پیشنهادی در بهبود پوشش خدمات امداد و نجات در محورهای اصلی اندازه‌گیری خواهد شد. برای سنجش میزان پوشش وضع موجود و پیشنهادی از تحلیل شبکه (Network Analyst) استفاده شده‌است. نمودار (1) فرآیند کلی تحقیق را نشان می‌دهد.

3-3-1- شناسایی معیارها

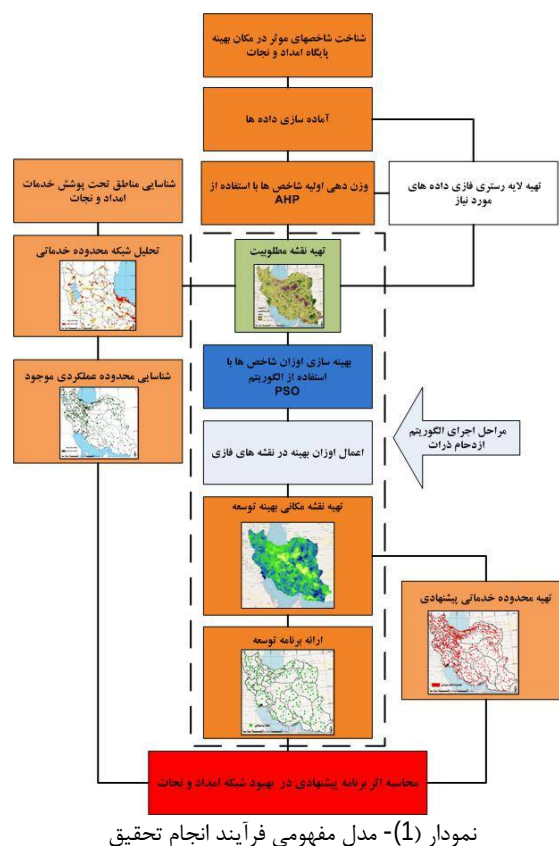
معیارهای مورد استفاده در این تحقیق از مطالعه اسناد بالادستی (دستورالعمل پایگاه‌های امداد و نجات جمعیت هلال احمر، دستورالعمل‌های اجرایی قانون مدیریت بحران کشور)، مصاحبه با کارشناسان امداد و نجات و مرور کتب و منابع مرجع داخلی و انجمن ملی آتش نشانی آمریکا (NFPA) جمع آوری شده‌است. جدول (1) شاخص‌های مورد استفاده و نوع داده مورد استفاده در آن شاخص را نشان داده‌است.

نگرفته‌است. لذا در این تحقیق به منظور شناسایی شاخص‌های موثر در آن، قوانین و دستورالعمل‌های اجرایی برای تاسیس مراکز امداد و نجات مورد کنکاش قرار گرفته است، به‌نحوی که سعی شده‌است تمامی شاخص‌های ارزیابی و صدور مجوز تاسیس پایگاه به صورت مکانی تعریف و در شاخص‌ها گنجانده شود.

3- مواد و روش‌ها

3-1- محدوده پژوهش

جمعیت هلال احمر جمهوری اسلامی ایران با برخورداری از حدود 600 پایگاه امداد و نجات ثابت، خدمات تخصصی امداد و نجات را در تمام طول سال به مردم در سراسر کشور ارائه می‌کند. در این میان پایگاه‌های جاده‌ای به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین فعالیت‌های این جمعیت قریب به نیمی از این پایگاه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد که در طول بیش از 75000 کیلومتر از جاده‌های بین شهری یا برون شهری کشور پراکنده‌اند. با توجه به گستردگی و همچنین تنوع عملکرد و وظایف در مناطق جغرافیایی متغیر باید سطح برخورداری یا محرومیت پایگاه‌های امداد و نجات جاده‌ای هلال احمر کشور به‌عنوان یکی از ارکان اصلی مدیریت حوادث و سوانح رانندگی کشور تعیین شود. خدمات امداد و نجات جمعیت هلال احمر به‌طور عام در 600 پایگاه امداد و نجات فعال در زیرمجموعه شعب شهرستانی آن انجام می‌شود. این پایگاه‌ها از نظر خدمات تخصصی به انواع جاده‌ای، بین شهری، کوهستانی، دریایی، هوایی و آنست مرکز آموزش و نگهداری سگ‌های تجسس، تقسیم‌بندی شده‌اند. این پایگاه‌ها به فراخور نوع و نحوه آسیب‌پذیری و سوانح غالب هر منطقه دارای پراکندگی بسیار گسترده‌ای در کشور می‌باشند. در این بین پایگاه‌های امداد و نجات جاده‌ای با بیشترین تعداد فراوانی (499 پایگاه ثابت) در بین انواع پایگاه‌ها، از اهمیت به‌سزا و توزیع و پراکندگی گسترده‌ای برخوردار است [41]. شکل (1) پراکندگی پایگاه‌های امداد و نجات موجود در کشور را نشان می‌دهد.



جدول (1)- شاخص‌های مورد استفاده در تحقیق

ردیف	نام شاخص	نوع شاخص	نوع داده
1	خارج از شعاع عملکردی پایگاه موجود باشد	معیار	فاصله‌ای
2	در مسیر سیل نباشد	معیار	فاصله‌ای
3	از محدوده شهری بیشترین فاصله را داشته باشد	معیار	فاصله‌ای
4	نزدیک مراکز درمانی باشد	معیار	فاصله‌ای
5	نزدیک پلیس راه باشد	معیار	فاصله‌ای
6	نزدیک اورژانس باشد	معیار	فاصله‌ای
7	نزدیک آبادی باشد	معیار	فاصله‌ای
8	نزدیک پمپ بنزین باشد	معیار	فاصله‌ای
9	از محل زمین لغزش دور باشد	معیار	فاصله‌ای
10	از گسل دور باشد	معیار	فاصله‌ای
11	نزدیک راهداری باشد	معیار	فاصله‌ای
12	در مجاورت راههای اصلی باشد	معیار	فاصله‌ای
13	نزدیک کانون های حادثه خیز باشد	معیار	فاصله‌ای
14	نزدیک پست امداد و نجات موقت باشد	معیار	فاصله‌ای

3-3-2- آماده‌سازی داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق با در نظر گرفتن شاخص‌های جدول (1) آماده‌سازی شده‌است. به‌منظور تهیه داده‌های مورد نیاز شاخص‌ها، داده‌های فاصله‌ای براساس اثر مثبت یا منفی آن شاخص به صورت فازی تهیه شده‌است.

برای برآورد میزان پوشش خدمات امداد و نجات و همچنین تهیه لایه محدودیت پیشنهادی در محدوده شعاع عملکردی پایگاه موجود، لازم است تا با استفاده از تحلیل شبکه میزان پوشش و شعاع عملکردی استاندارد هر پایگاه تعیین شود. به این منظور پس از آماده‌سازی لایه راه‌های ارتباطی موجود و انجام تحلیل شبکه، محدوده خدماتی (service area) برای وضع موجود مراکز امداد و نجات باتوجه به دسترسی‌های موجود در سطح کشور تهیه شد.

3-3-3- بررسی پوشش خدمات امداد و نجات در وضع موجود

در بررسی عملکرد مراکز امداد و نجات (شهری یا بین شهری) و یا تعیین شعاع عملکردی مراکز، عموماً عنصر زمان به عنوان فاکتور تعیین‌کننده به شمار می‌رود. در کشورهای مختلف برای تعیین شعاع عملکردی یک مرکز امداد و نجات با توجه به شرایط خاص خود زمان‌های متعددی را مد نظر قرار می‌دهند. در مناطق شهری این زمان 12، مناطق بین شهری 14 و در مناطق روستایی 26 دقیقه به عنوان متوسط زمان اعلام به مرکز امدادی تا حضور در صحنه عملیاتی، مبنای شعاع عملکردی مراکز امداد و نجات قرار داده شده‌است [42].

در ایران بنابر ملاحظات جغرافیایی و شرح وظایف تیم‌های امداد و نجات، در دستورالعمل اجرایی ماده 2 قانون مدیریت بحران کشور، زمان متوسط 14 دقیقه برای دسترسی به خدمات امداد و نجات تعریف شده‌است. در این تحقیق، به استناد این دستورالعمل که مبنای عمل دستگاه‌های ذیربط در حوزه امداد و نجات می‌باشد، با در نظر گرفتن محدودیت حداکثر سرعت مجاز هر محور، شعاع عملکردی 14 دقیقه بر روی شبکه ارتباطی کشور اعمال شد. شکل (1) نحوه پوشش خدمات امداد و نجات با در نظر داشتن عملکرد 14 دقیقه برای هر پایگاه را نشان می‌دهد.

شکل (2) نحوه پوشش خدمات در مرکز، شمال غرب، جنوب شرق و جنوب غربی کشور را نشان داده‌است. میزان پوشش شبکه امداد و نجات در مرکز کشور دارای وضعیت مطلوبی است، ولی به نظر می‌رسد این وضعیت در جنوب غربی و به ویژه جنوب شرقی کشور چندان مطلوب نیست. نتایج حاصل از بررسی میزان پوشش خدمات امداد و نجات در سطح جاده‌های اصلی کشور، متوسط پوشش خدمات

کشور می‌باشد، در صورتی که در مرکز، شمال و شمال غرب کشور وضعیت پوشش از متوسط کشوری بالاتر است.

3-3-4- تهیه نقشه مطلوبیت

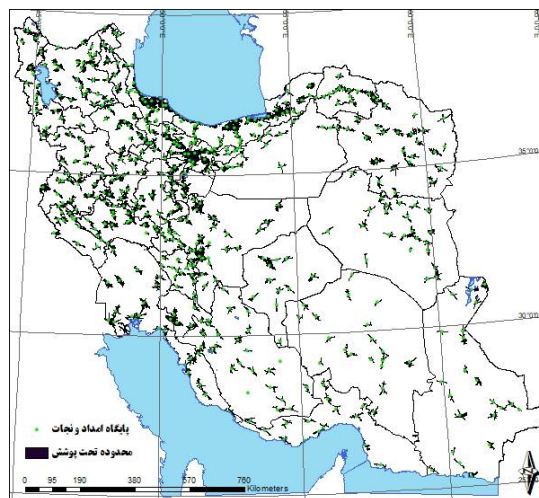
برای تهیه نقشه مطلوبیت از روش AHP برای استخراج وزن‌ها و تعیین اهمیت نسبی فاکتورها، استفاده شد. جدول (3)، اهمیت نسبی و وزن‌های مرتبط با فاکتورهای مورد نظر را نشان می‌دهد.

وزن‌های استخراج‌شده از روش AHP در نرم‌افزار IDRISI، در لایه‌های اطلاعاتی اعمال و برای تهیه لایه مطلوبیت مورد استفاده قرار گرفت. در نتیجه یک لایه با اعمال محدودیت‌های تعریف‌شده و وزن معیارها، به عنوان نقشه مطلوبیت به‌دست آمد، شکل (3).

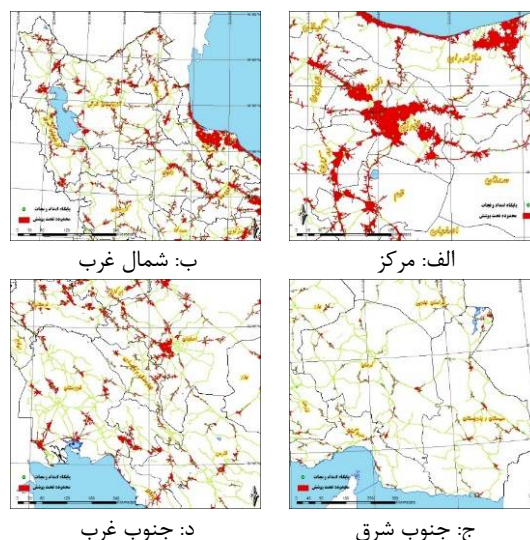
3-3-5- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)

در این الگوریتم ابتدا یک مجموعه جواب اولیه تولید و هر ذره به‌عنوان یک راه حل ممکن فرض می‌شود. سپس، برای یافتن جواب بهینه در فضای پاسخ‌های ممکن، با به هنگام کردن نسل‌ها، جستجوی پاسخ انجام می‌گیرد. هر ذره به‌صورت چندبعدی با دو مقدار موقعیت و سرعت تعریف می‌شود و در هر مرحله از حرکت ذره، با دو شاخص سرعت و موقعیت، بهترین پاسخ‌ها از لحاظ شایستگی برای تمامی ذرات تعیین می‌شوند. به عبارت بهتر به بهینه به‌دست‌آمده در هر مرحله Pbest و در پایان به تمامی مراحل، Gbest گفته می‌شود و تمامی ذرات بر مبنای Pbest و Gbest به‌دست‌آمده، مکان خود را به‌روز می‌کنند تا راه‌حل بهینه سراسری حاصل شود. سه مرحله به‌هنگام سازی سرعت، به‌هنگام‌سازی موقعیت و محاسبه تابع هدف تا رسیدن به بیشینه تکرار ادامه می‌یابد، [43]. مجموعه 500 نقطه به صورت تصادفی در سطح محدوده مورد مطالعه از نقشه مطلوبیت استخراج و به عنوان مجموعه اولیه به الگوریتم معرفی شده‌است. با توجه به نمونه‌های معرفی‌شده در نرم‌افزار Matlab توسط الگوریتم PSO اوزان بهینه، با 150 تکرار محاسبه می‌شود. مقادیر اولیه الگوریتم در جدول (4) آمده‌است. نتایج اجرای الگوریتم نمایانگر همگرایی مطلوب داده‌ها در 150 تکرار می‌باشد، نمودار (3). اوزان بهینه در نتیجه اجرای الگوریتم نیز در جدول (5) آمده‌است.

امداد و نجات در جاده‌های اصلی کشور به میزان 33.61 درصد را نشان می‌دهد، جدول (2).



شکل (1)- پوشش خدمات امداد و نجات در وضع موجود با اعمال شعاع عملکردی

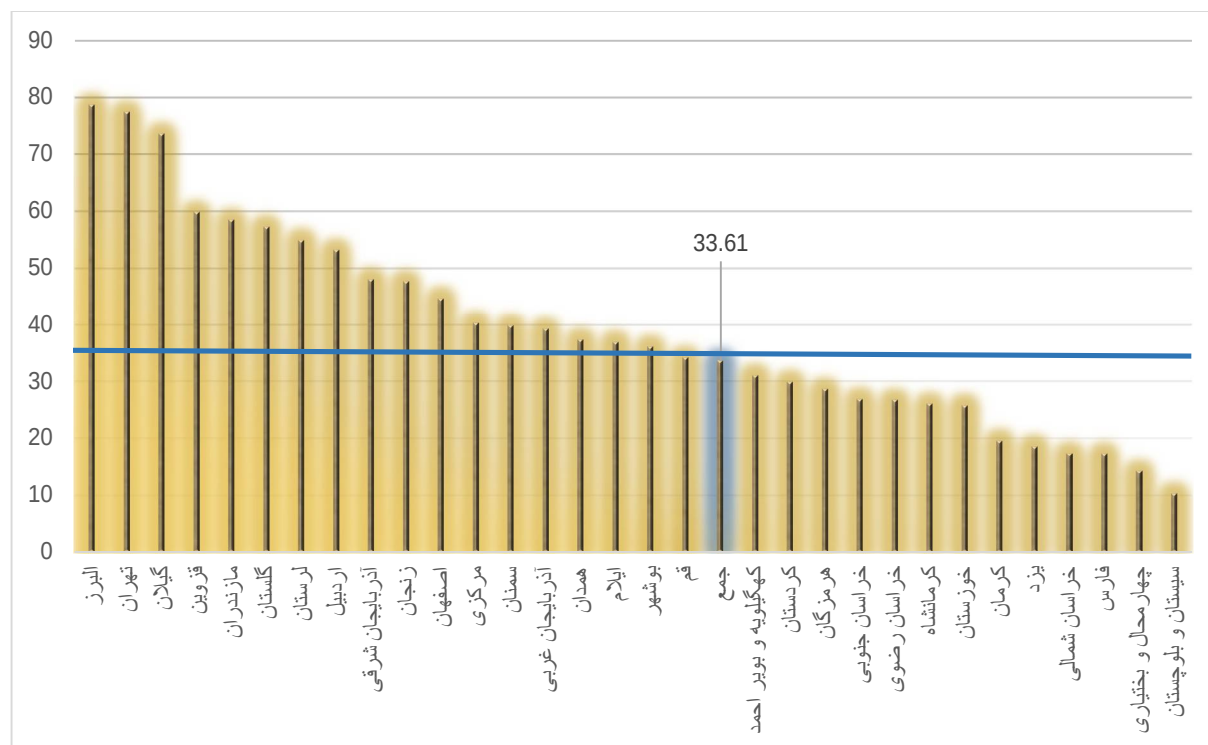


شکل (2)- نحوه پوشش خدمات امداد و نجات در محدوده مرکز، شمال غرب، جنوب شرق و جنوب غربی

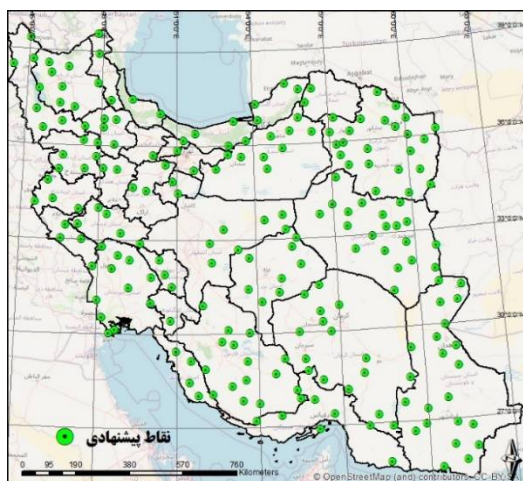
از مجموع 75300 کیلومتر راه اصلی 25309 کیلومتر آن در شعاع عملکردی 14 دقیقه پایگاه‌های امداد و نجات قرار دارد. در این بین استان البرز با پوشش 78.63 درصد بالاترین و سیستان و بلوچستان با 10.24 درصد کمترین پوشش را در سطح کشور دارا می‌باشند و حدود 13 استان از استان‌های کشور دارای پوشش کمتر از متوسط کشوری می‌باشند. نمودار (2) نشان می‌دهد، در وضع موجود، پوشش خدمات در شرق، جنوب و جنوب غرب کشور کمتر از میانگین پوشش

جدول (2) - نسبت پوشش خدمات امداد و نجات در کشور

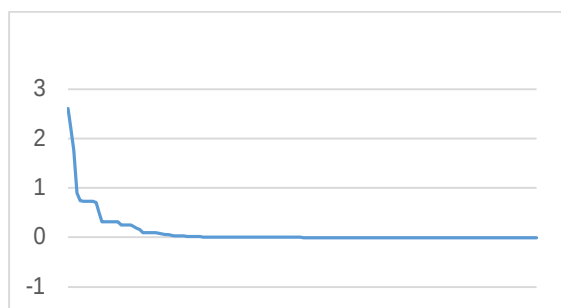
ردیف	نام استان	طول راه‌ها (کیلومتر)	پوشش خدمات امداد و نجات	نسبت پوشش	ردیف	نام استان	طول راه‌ها (کیلومتر)	پوشش خدمات امداد و نجات	نسبت پوشش
1	آذربایجان شرقی	3253	1564	48.07	12	خراسان شمالی	1117	193	17.31
2	آذربایجان غربی	2537	995	39.21	13	خوزستان	4100	1056	25.76
3	اردبیل	1271	676	53.17	14	زنجان	1314	627	48.68
4	اصفهان	5194	2319	44.66	15	سمنان	1875	746	39.76
5	البرز	443	349	78.64	16	سیستان و بلوچستان	5033	515	10.24
6	ایلام	1292	477	36.91	17	فارس	6966	1203	17.27
7	بوشهر	1369	494	36.11	18	قزوین	1014	607	59.83
8	تهران	1368	1073	77.40	19	قم	732	250	34.16
9	چهارمحال و بختیاری	888	126	14.18	20	کردستان	1515	453	29.89
10	خراسان جنوبی	4293	1155	26.90	21	کرمان	4758	931	19.57
11	خراسان رضوی	6059	1619	26.72	22	کرمانشاه	2405	626	26.05
	کلیه استان‌ها	75301	25310	33.61					



نمودار (2) - مقایسه وضعیت نسبت پوشش خدمات امداد و نجات در سطح راه‌های اصلی کشور



شکل (3)- الگوی پیشنهادی توسعه شبکه امداد و نجات (پایگاه- های امداد و نجات کشور)



نمودار (3)- نتایج و همگرایی اجرای الگوریتم PSO

جدول (5)- اوزان بهینه اجرای الگوریتم PSO

ردیف	معیار	وزن
1	آبادی	0.057762
2	شهر	0.058995
3	درمانگاه	0.050075
4	اورژانس	0.059863
5	گسل	0.050081
6	نقاط حادثه خیز	0.12983
7	زمین لغزش	0.050756
8	پایگاه موقت	0.088648
9	پلیس راه	0.054569
10	پمپ بنزین	0.051357
11	راهداری	0.050078
12	راه ارتباطی	0.092773
13	سیل	0.096083
14	شعاع عملکردی موجود	0.10913

3-3-7- ارزیابی نتایج

به منظور بررسی میزان اثر بخشی مدل پیشنهادی بر افزایش کارایی شبکه امداد و نجات، با اجرای الگوریتم

جدول (3)- محاسبه وزن و نرخ سازگاری شاخص‌های تحقیق با استفاده از روش AHP

ردیف	معیار	وزن	نرخ سازگاری
1	شعاع عملکردی پایگاه موجود	0.1965	0.1
2	مسیر سیل	0.1254	
3	محدوده شهری	0.0209	
4	مراکز درمانی	0.0305	
5	پلیس راه	0.0274	
6	اورژانس	0.0555	
7	آبادی	0.0180	
8	پمپ بنزین	0.0219	
9	زمین لغزش	0.0108	
10	گسل	0.0114	
11	راهداری	0.0363	
12	راههای اصلی	0.2174	
13	کلون های حادثه خیز	0.1316	
14	پست امداد و نجات موقت	0.0965	

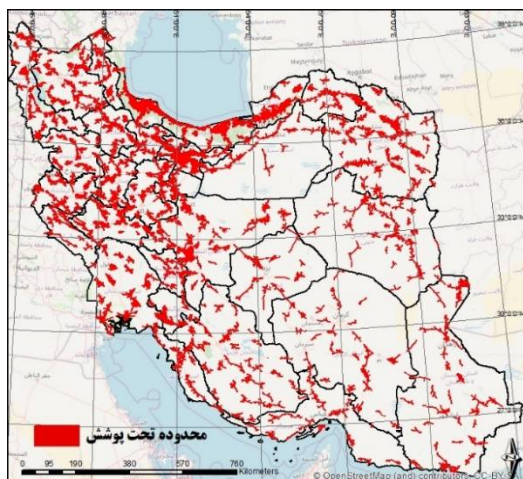
جدول (4)- پارامترهای ورودی در الگوریتم PSO

Number of Population (NoP) = 100;
 Number of Iteration (NoI) = 150;
 Inertia Weight (IW) = 2;
 Inertia Weight Reduction Factor (IWRF) = 0.99;
 Personal Best Learning Coefficients (PBLIC) = 0.2;
 Global Best Learning Coefficients (GBLC) = 0.2;
 Lower Bound of Particle (LBoP) = 0.05;
 Upper Bound of Particle (UBoP) = 0.8;

در بین شاخص‌های پیشنهادی در این تحقیق نزدیکی به نقاط حادثه خیز بیشترین وزن را به دست آورده‌است و پس از آن فاصله از شعاع عملکردی پایگاه‌های موجود، سپس نزدیکی به راه‌های ارتباطی اصلی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

3-3-6- شناسایی نقاط بهینه

اعمال وزن‌های بهینه الگوریتم PSO در لایه‌های فازی آماده سازی شده، 212 نقطه را پیشنهاد داد که به منظور کنترل نهایی با شبکه معابر موجود انطباق داده شد و نقاط پیشنهادی که از راه‌های موجود دارای فاصله زیاد بوده حذف و همچنین سایر نقاط پیشنهادی با شبکه موجود انطباق داده شد. نهایتاً 206 نقطه برای توسعه شبکه امداد و نجات ارائه شد. شکل (3) پراکندگی نقاط پیشنهادی در سطح کشور را نشان می‌دهد.



شکل (4)- پوشش خدمات امداد و نجات در سطح جاده‌های اصلی با برنامه توسعه پیشنهادی

شایان ذکر است هر چند امکان پوشش راه‌های ارتباطی به صورت 100 درصد در سطح کشور با اجرای این مدل وجود دارد، اما لازم است با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی از جمله محدودیت مالی برای توسعه شبکه امداد و نجات و همچنین ملاحظات هزینه و فایده به یک شرایط بهینه در توسعه دست یافت. در این مدل نقاط پیشنهادی دارای سه ویژگی اساسی و مهم خواهد بود:

۱- عدم توسعه شبکه در مناطق دارای پوشش امداد و نجات، محدودده‌های شهری که خارج از حوزه وظایف پایگاه‌های امداد و نجات می‌باشد و مکانیابی در مناطقی فاقد مخاطرات طبیعی

۲- توسعه شبکه امداد و نجات در مناطق دارای بیشترین مخاطرات اعم از طبیعی و انسان ساخت

۳- توجه به تامین زیرساخت‌های مورد نیاز برای تاسیس پایگاه از جمله دسترسی به آب، برق، گاز، راه دسترسی، امنیت و سایر زیرساخت‌های مورد نیاز

براساس نمودار (4) بیشتر درصد افزایش پوشش در استان چهارمحال و بختیاری با بهبود 55 درصد بوده‌است و در مقابل استان‌های گیلان، آذربایجان شرقی، مازندران، تهران و البرز کمترین درصد افزایش پوشش را داشته‌اند که عموماً این استان‌ها در وضع موجود دارای بیشترین نسبت سطح پوشش بوده‌اند. در مجموع به نظر می‌رسد این الگو توانسته‌است در بهبود پوشش خدمات امداد و نجات بویژه در مناطق دارای کمترین پوشش عملکرد مناسبی داشته باشد.

ازدحام ذرات و استخراج نقاط بهینه، محدوده عملکردی پایگاه‌های پیشنهادی، به صورت محدوده خدماتی تحت شبکه بر روی لایه راه‌های ارتباطی اصلی کشور پیاده شده‌است. شکل (4) پوشش خدمات امداد و نجات پس از اجرای الگوریتم را نشان داده‌است. در جدول (6) به صورت مقایسه‌ای میزان افزایش پوشش شبکه قابل مشاهده‌است.

جدول (6)- مقایسه میزان افزایش پوشش شبکه امداد و نجات پس از مدل پیشنهادی

ردیف	نام استان	نسبت پوشش موجود	نسبت پوشش بهینه	تفاضل
1	آذربایجان شرقی	48.07	57.43	9.36
2	آذربایجان غربی	39.21	52.49	13.28
3	اردبیل	53.17	73.31	20.14
4	اصفهان	44.66	58.35	13.69
5	البرز	78.64	90.97	12.33
6	ایلام	36.91	56.58	19.94
7	بوشهر	36.11	58.08	21.97
8	تهران	77.4	89.77	12.37
9	چهارمحال و بختیاری	14.18	68.98	54.80
10	خراسان جنوبی	26.9	49.72	22.82
11	خراسان رضوی	26.72	55.85	29.13
12	خراسان شمالی	17.31	61.99	44.68
13	خوزستان	25.76	40.84	15.08
14	زنجان	47.68	70.17	22.49
15	سمنان	39.76	68.34	28.58
16	سیستان و بلوچستان	10.24	48.52	38.28
17	فارس	17.27	42.54	25.27
18	قزوین	59.83	75.56	16.73
19	قم	34.16	84.01	49.58
20	کردستان	29.89	51.88	21.99
21	کرمان	19.57	37.84	18.27
22	کرمانشاه	26.05	50.69	24.64
23	کهگیلویه و بویر احمد	31.04	48.46	17.42
24	گلستان	57.26	79.93	22.68
25	گیلان	73.56	81.81	8.25
26	لرستان	54.89	69.16	14.27
27	مازندران	58.46	69.55	11.09
28	مرکزی	40.28	57.51	17.23
29	هرمزگان	28.59	46.27	17.68
30	همدان	37.34	57.29	19.95
31	یزد	18.53	48.28	29.75
	متوسط کشوری	33.61	55.46	21.85

بر اساس این جدول سطح تحت پوشش راه‌های ارتباطی کشور از 33.61 در به 55.46 درصد رسیده‌است که نشان دهنده افزایش پوشش شبکه می‌باشد.

4- جمع‌بندی

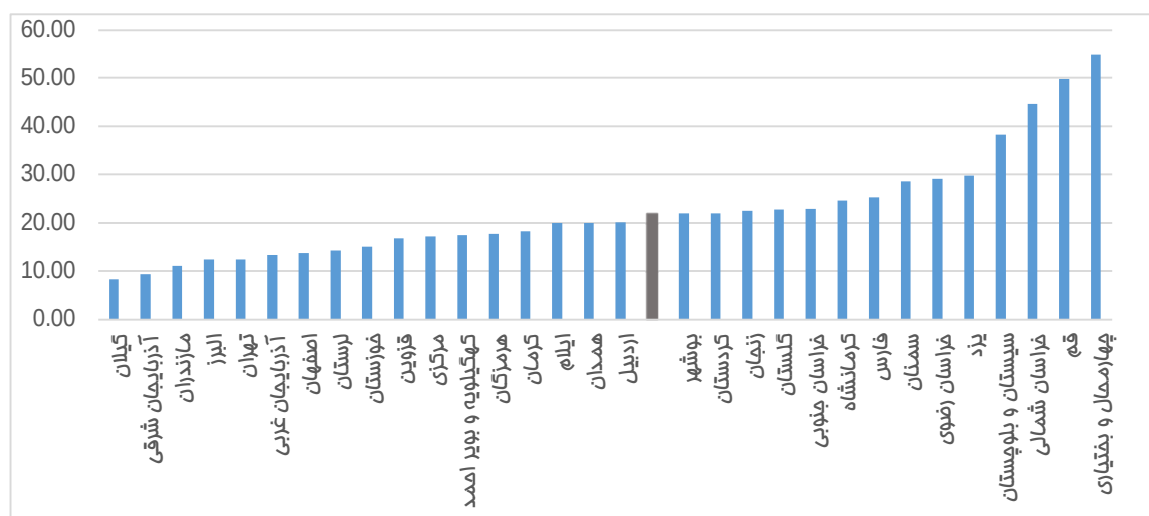
این تحقیق با مدنظر قراردادن شاخص‌های مورد توجه در دستورالعمل‌های جاری برای ایجاد پایگاه و الزامات مکانی مندرج در این دستورالعمل‌ها، شاخص‌های مستند برای توسعه شبکه امداد و نجات را استخراج و با بررسی شعاع خدماتی وضع موجود، پوشش شبکه ارتباطی کشور و دسترسی به خدمات امداد و نجات را ترسیم کرد. به منظور توسعه شبکه و افزایش پوشش خدمات الگوریتم PSO مورد استفاده قرارگرفت و نهایتاً الگوی توسعه پیشنهاد شد. میزان پوشش خدمات امداد و نجات از 33.61 درصد در وضع موجود به 55.46 درصد در مدل بهینه ارتقاء یافت (رشد 21.85 درصدی).

به‌نظر می‌رسد مدل پیشنهادی با اعمال محدودیت‌های مکانی توسعه مراکز امداد و نجات و همچنین بهره‌گیری از مطلوبیت مکانی آن توانسته‌است یک الگوی مناسب ارائه دهد. لازم است به منظور افزایش کارایی مدل و همچنین

بهره‌مندی از نتایج کاربردی آن، علاوه بر رفع محدودیت‌های ناشی از دسترسی به داده‌های مورد نیاز در مقیاس‌های دقیق‌تری مورد بهره‌برداری قرار گیرد. نتایج برخی مطالعات تکمیلی مانند پوشش شبکه ارتباطات رادیویی، تهیه اطلس مخاطرات کشور، تدقیق شعاع عملکردی مراکز امداد و نجات باتوجه به ویژگی‌های محیطی و ... می‌تواند در بهبود نتایج این تحقیق موثر واقع شود.

پیشنهاد می‌شود برنامه ساماندهی پایگاه‌های امداد و نجات با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در مورد مراکز عملیاتی جمعیت هلال احمر انجام و نتایج مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. بکارگیری نتایج می‌تواند در بهبود عملکرد این مراکز موثر باشد.

همچنین، به دلیل تعدد دستگاه‌های مسئول در سطح کشور که هر کدام بخشی از حوادث و سوانح ترافیکی را تحت پوشش دارند لازم است مطالعات جامعی در مورد مکانیابی و تخصیص بهینه این مراکز در سطح ملی انجام شود.



نمودار (4) - مقایسه نسبت بهبود پوشش شبکه امداد و نجات با استفاده از مدل پیشنهادی

- [1] Murray CGL, Lopez AD, and The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors, in 1990 and projected to 2020, Boston, Harvard University Press, 2011.
- [2] Parhizkar A.(2004). "Presenting Model and criteria Site Selection Station of Fire", Departments, Research Center of Urban And Rura, 2004, (in Persian).
- [3] Mehdipoor F.(2006). "Mesgari model for location based on multiple criteria decision-making methods in GIS", Geomatics 85, Tehran - the mapping,2006, (in Persian).
- [4] Esmaeili A R, Azizi H R , Zahiri M.(2009)." the Role of Road Police at the Management of Road Accidents Scene (Case Study: Ardebil Province)", Studies of Traffic Management, 2009, No17, pp1-24, (in Persian).
- [5] Ebrahimi, M., Alavi, S,A., Meshkini, A. (2016). "Spatial distribution pattern and organization of crisis management support bases using multi-criteria decision making (MCDM) and GIS analysis (Case study: District 18 of Tehran),Quarterly Journal of Urban Structure and Function Studies, 4th year, 13th issue, spring 2016, pages 44-69, (in Persian).
- [6] Taleshi, M., Ghobadi, A. (2013). " The application of fuzzy decision-making method in the location of urban relief service centers in four metropolitan areas of Karaj city", Spatial Physical Planning Quarterly, First Year, Third Issue, Summer 2013, International Standard Number 4118-2322, (in Persian).
- [7] Bay, N., Akbari, M., Oveysi, N., Mirzazanjani, p., Bay, M., Tajri, S.,(2015)." "Finding the location of Golestan province road aid and equipment base with an emphasis on Tehran-Mashhad international road" Scientific-Research Quarterly, Year 7, Number 2, 2015, (in Persian).
- [8] Esfandi, S., Nourian, F.,(2015)." Spatial priority analysis of earthquake crisis management support bases based on land use reference land classification standard using TOPSIS method, case study: District 1, District 6, Tehran Municipality" Crisis Management Scientific Research Quarterly, Number 8, Autumn and Winter, 2015, (in Persian).
- [9] Miri, H., Karami, M,R,. Souri, M.(2018)."Locating rescue and relief centers in Nahavand city using Fuzzy-EHP FAHP model" Environmental Risk Management (Former Risk Knowledge), Volume 6, Number 2, Summer 2018, pp. 97-115, (in Persian).
- [10] Karami, F., Karimzade, H., Ahmadi, M,J.(2014)."Locating crisis management support bases with passive defense approach in border areas - a case study, Baneh city",Geographic Information Scientific-Research Quarterly, Volume 30, Number 118, Summer 2014, (in Persian).
- [11] Kharghani, H., Etemadfar, H., Salemrashid, A.(2021)."The study of the allocation of fire stations with the hybrid method, case example: Mashhad city" Quarterly Journal of Urban Management Studies, 13th year, 48th issue, winter,2021, (in Persian).
- [12] Ejtemaei, B., Gholami, M., Porbar, Z.(2021)."Optimum location of rescue and relief bases in the event of an earthquake, a case study, central and Chahorz parts of Lamerd city" Scientific-Research Quarterly, Geography and Regional Planning, Year 11, Number 3, Summer 2021, pp. 598 -584, (in Persian).
- [13] Rongrong, Li, Weiming, Liu, Chao Wang.(2015). " Selection of Highway Central Station's Location Based on Immune Genetic Algorithm"2015 8th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong, 510641, China 18814090961@163.com.
- [14] Patrascu, M., Constantinescu, V., Ion, A.(2016)." Controlling Emergency Vehicles in Urban Traffic with Genetic Algorithms" EUROSIM 2016 & SIMS 2016, monica.patrascu,vlad.constantinescu, andreea.ion@acse.pub.ro.
- [15] Jyotirmoy, D., Üsterb, H., (2018)." Combining Worst Case and Average Case Considerations in an Integrated Emergency Response Network Design Problem"Transportation Science, Vol. 52, No. 1, January–February 2018, pp. 171–188, ISSN 0041-1655 (print), ISSN1526-5447(online), <https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0725>.
- [16] Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A., Aghamohammadi, H. (2018)." The Ordered Capacitated Multi-Objective Location-Allocation Problem for Fire Stations Using Spatial Optimization" International Journal of Geo-Information, 16 December 2017; Accepted: 28 January 2018; Published: 31 January 2018.
- [17] Saeidian, B.,Saadi Mesgari, M.,Pradhan, B., Ghodousi, M.(2018)." Optimized Location-Allocation of Earthquake Relief Centers Using PSO and ACO, Complemented by GIS, Clustering, and TOPSIS" International Journal of Geo-Information,MDPI, 12 June 2018; Accepted: 20 July 2018; Published: 24 July 2018.
- [18] Aleisa, E.(2018)." The fire station location problem: a literature survey" International Journal of Emergency Management, January 2018, Int. J. Emergency Management, Vol. 14, No. 3, 2018.
- [19] Yaoa, Jing., ZhangXiaoxiang, Alan T. Murray,(2018)." Location optimization of urban fire stations: Access And Service coverage"Computers, Environment And Urban Systems,Journal,Homepage:www.Elsevier.Com/Locate/Ceus,2018.10.006 <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys>.

- [20] Davoodi, M., Mesgari. (2018). "A GIS based Fire Station Site Selection using Network Analysis and Set Covering Location Problem (Case study: Tehran, Iran)" *International Journal Of Human Geography And Environmental Studies, Conference Proceedings Of The 2nd International Conference On Sustainability, Human Geography And Environm* 2018, ISSN 2036-7910, DECEMBER 2018.
- [21] Boye, B., Abubakar, T. (2019). "Application of Geographic Information System in Emergency Service Delivery – A Case of Ghana National Fire Service " *Ghana Journal of Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 65 - 72.
- [22] Ramli, M I., Yatmar, H., Pasra, M. (2019). "An optimum route analysis of fire rescue according to fire station location (Case study: Residence area in Makassar's central business district)" *Earth and Environmental Science*, 235 (2019) 012072.
- [23] Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A., Aghamohammadi, H. (2019). "Investigating The Effect Of Capacity Criterion On The Optimal Allocation Of Emergency Facilities In Gis Environment" *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W18, 2019 GeoSpatial Conference 2019 – Joint Conferences of SMPR and GI Research, 12–14 October 2019, Karaj, Iran.
- [24] Goli, A., Malmir, B. (2019). "A Covering Tour Approach for Disaster Relief Locating and Routing with Fuzzy Demand" *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research* <https://doi.org/10.1007/s13177-019-00185-2>, 10 October 2018 /Revised:25 December 2018, Accepted: 18 April 2019, Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019.
- [25] Alinaghian, M., Aghaie, M., Sabbagh, Mohammad. (2019). "A mathematical model for location of temporary relief centers and dynamic routing of aerial rescue vehicles" *Computers & Industrial Engineering* 131 (2019) 227–241, Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran. journal homepage: www.elsevier.com/locate/caie.
- [26] Vafaeinejad, A., Bolouri, S., Alesheikh, A., Panahi, M., Lee, Chang, Wook. (2020). "The Capacitated Location-Allocation Problem Using the VAOMP (Vector Assignment Ordered Median Problem) Unified Approach in GIS (Geospatial Information System)" *applied sciences*, 10 November 2020; Accepted: 25 November 2020; Published: 28 November 2020.
- [27] Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A., Aghamohammadi, H. (2020). "Minimizing response time to accidents in big cities: a two ranked level model for allocating fire stations" *Arabian Journal of Geosciences*, 22 March 2019, Accepted: 15 July 2020, Saudi Society for Geosciences 2020, <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05728-6>.
- [28] Beikia, H., Seyedhosseini, S. M., Ghezavatia, S. A. (2020). "A Location-Routing Model for Assessment of the Injured People and Relief Distribution under Uncertainty" *International Journal of Engineering, IJE TRANSACTIONS A: Basics* Vol. 33, No. 7, (July 2020) 1274–1284. Journal Homepage: www.ije.ir
- [29] Okkan, Umut., Kirdemir, Umut. (2020). "Locally tuned hybridized particle swarm optimization for the calibration of the nonlinear Muskingum flood routing model" *Journal of Water and Climate Change*, IWA Publishing 2020.
- [20] Paez David, Romero Juan P, Noriega Brian, Cardona Gustavo A, Juan M. Calderon, (2021) "Distributed Particle Swarm Optimization for Multi-Robot System in Search and Rescue Operations" *IFAC PapersOnLine* 54-4 (2021) 1–6. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
- [30] Nyimbili, P. H., Erden, T. (2020). "GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey" *Socio-Economic Planning Sciences* 71 (2020) 100860.
- [31] Chen, M., Wanga, K., Xiangluan, D., Lia, H. (2020). "Emergency rescue capability evaluation on urban fire stations in China" *Process Safety and Environmental Protection*, 135 (2020) 59–69, journal home page: www.elsevier.com/locate/psep
- [32] Paez, D., Romero Juan P, Noriega Brian, Cardona Gustavo A, Juan M. Calderon. (2021). "Distributed Particle Swarm Optimization for Multi-Robot System in Search and Rescue Operations" *IFAC PapersOnLine* 54-4 (2021) 1–6. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
- [33] Wang, W., Xu, Z., Dongqi, S., Ting, T. (2021). "Spatial Optimization of Mega-City Fire Stations Based on Multi-Source Geospatial Data: A Case Study in Beijing" *International Journal of Geo-Information*, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2021, 10, 282. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050282>, Published: 29 April 2021.
- [34] Jing, Zhou., Yunhong Shao. (2022). "Rational Selection of Rail Transit Emergency Site Using Complex Network Topology and Genetic Algorithm" *Hindawi Scientific Programming* Volume 2022, Article ID 6420806, 8 pages, Received 9 November 2021; Revised 5 January 2022; Accepted 15 January 2022; Published 24 February 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6420806>.
- [35] Yang, B., Lunwen, W., Jian, X., Yuxin, Z., Chen, L. (2022). "Planning of location and path for urban emergency rescue by an approach with hybridization of clustering and ant colony algorithm" *Preprint submitted to Applied Soft Computing*, January 19, 2022.
- [36] Xu, Zhen., Wu, Yingying., Hao, Xintian., Li Nan., Dongping, F. (2022). "A joint analysis method for capability and demand of post-earthquake medical rescue in a city" 28 Pages Posted: 24 Mar 2022. Electronic copy available at: <https://ssrn.com/abstract=4065579>. SSRN.
- [37] Mahariba, A., Uthra, J., R. Annie, Brunet R. Golda. (2022). "Estimation of Shortest Route with Minimum Travel Time Using GIS and MSSTT Algorithm" *Advances in Construction Management* pp 565–579. First Online: 19 January 2022.

- [38] Tan, Zh., Zhang, Qian., Deng, W., Zhen, L.(2022)." A simulation-based optimization for the deployment of multiple urban road rescue vehicles", SSRN, Electronic copy available at: <https://ssrn.com/abstract=4062443>, 36 Pages, Posted,21 Mar 2022.
- [39] Zhang,. Y, H., Z, Zhang,. Min, Ba,. W, Wang,. Y.(2022)." Emergency Response Resource Allocation in Sparse Network Using Improved Particle Swarm Optimization" International Journal of Environmental Research and Public Health, Accepted: 15 August 2022, Published: 18 August 2022, <https://doi.org/10.3390/ijerph191610295>.
- [40] Mourad,. A, Youcef,. Z, Tolba,. C.(2022)." Cost and Risk Prediction in Road Transportation of Hazmat by ANFIS Trained with PSO,FA, HBBO and ICA", International Journal of Safety and Security Engineering, Vol. 12, No. 4, August, 2022, pp. 429-439, Journal homepage: <http://iieta.org/journals/ijssse>.
- [41] Azani, M., Moradipour, M., Jahangir, E.(2015)." Examining the extent of the Red Crescent population's road bases having specialized and mandatory rescue facilities and equipment",Scientific-Research Quarterly of Relief and Rescue, Year 7, Number1,2015, (in Persian).
- [42]Howard,K,. Mell, MD,.MPH,CPE1; Shannon,N,. Mumma, MD2; Brian Hiestand, MD,.MPH2; etAl.(2017)."Emergency Medical Services Response Times in Rural, Suburban, and Urban Areas",JAMA Surgery October 2017 Volume 152, Number 10.
- [43] Pahleval,R,. Mahmoud,R,. Asadolah,A,. Nazari, A.(2017)." Application of PROMETHEE and PSO methods in the location of urban solid waste recycling station in Karaj city" Biosystem Engineering of Iran, Volume 49, Number 1, Spring 2017, pp. 61-71