

بررسی اهمیت تخصیص و مسیریابی پویای نیروهای امدادی در کاهش زمان پاسخگویی

پیمان کرمی¹، محمود رضا دلاور^{2*} و میر ابوالفضل مصطفوی³

¹ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندس نقشه‌برداری، سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و

اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

peyman.karami@ut.ac.ir

² استاد و مدیر قطب علمی مهندسی نقشه‌برداری در مقابل با سوانح طبیعی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات

مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

mdelavar@ut.ac.ir

³ استاد دپارتمان علوم مکانی، دانشگاه لاول کانادا

mir-abolfazl.mostafavi@scg.ulaval.ca

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

چکیده

هر ساله تعداد کثیری از آسیب‌دیدگان و بیماران به علت تأخیر در دریافت خدمات فوریت‌های پزشکی جان می‌سپارند. تعیین محدوده خدماتی مراکز درمانی و مسیریابی صحیح عملیات امداد و نجات بر کاهش زمان پاسخگویی نیروهای امدادی تأثیرگذار است. تغییر ترافیک معابر از عوامل اصلی در تغییر محدوده خدماتی مراکز می‌شود، بنابراین مطلوب است با رصد تغییر ترافیک، محدوده تحت پوشش هر بیمارستان به‌روز گردد. استفاده از تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری که ترافیک معابر را رصد کند، هزینه بر خواهد بود. برای بکارگیری این تجهیزات نیازمند اطلاعاتی در مورد میزان تأثیر تغییرات پویای ترافیک بر تخصیص خدمات مراکز درمانی و بهبود زمان خدمات‌رسانی به نقاط تقاضا است. در این پژوهش، تخصیص خدمات مراکز درمانی با استفاده از داده‌های ترافیکی ایستا در مقابل تخصیص با داده‌های ترافیکی پویا در روزها و ساعات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، میزان تأثیر پذیری مناطق مختلف یک محدوده از تغییرات ترافیکی بررسی شد. در تخصیص خدمات از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده گردید. در ادامه میانگین زمان دسترسی (یا زمان پاسخگویی) به همه نقاط تقاضا و نقاط مرزی به صورت مجزا در منطقه 5 تهران بررسی شد. طبق نتایج میانگین زمان پاسخگویی به همه نقاط تقاضا در هنگام استفاده از داده‌های ترافیکی ایستا، 13/4 درصد بیشتر از زمان پاسخگویی به همان نقاط در هنگام استفاده از داده‌های ترافیکی پویا بوده‌است و میانگین زمان پاسخگویی به نقاط مرزی (نقاط چک) در هنگام تخصیص با داده‌های ترافیکی ایستا 34/2 درصد معادل 69 ثانیه بیشتر تخصیص با داده ترافیکی پویا بوده‌است. این نتایج نشان‌دهنده افزایش تأخیر زمان پاسخگویی به نقاط مرزی در هنگام تخصیص خدمات با داده‌های ترافیکی ایستا است. همچنین، در ساعات بعد از ظهر روز که همزمان با افزایش درخواست‌های امدادی است، اختلاف زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا در هنگام تخصیص خدمات با داده‌های ترافیکی ایستا و پویا افزایش یافته‌است. نتایج پژوهش بیانگر اهمیت تخصیص پویا بر بهبود خدمات‌رسانی دارد.

واژگان کلیدی: تخصیص پویا، خدمات فوریت پزشکی، مراکز درمانی، محدوده خدماتی بیمارستان، زمان پاسخگویی

1- مقدمه

افزایش جمعیت، رشد فعالیت‌های انسانی، افزایش سوانح و افزایش بیماری‌های واگیر و غیر واگیر از قبیل بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی از عوامل مهمی به شمار می‌روند که تعداد زیادی از افراد بر اثر آن‌ها و به علت عدم دستیابی سریع به خدمات پزشکی جان می‌سپارند [1]. حوادث و بیماری‌ها باعث ایجاد تقاضای امداد پزشکی می‌شود. در این ارتباط، آمادگی سیستم خدمات فوریت پزشکی (EMS)¹ می‌تواند منجر به کاهش صدمات و تلفات انسانی گردد [2]. از جمله معیارهای ارزیابی سیستم‌های فوریت‌های پزشکی، زمان پاسخگویی² به تقاضای امداد پزشکی است [3]. زمان پاسخگویی کوتاهتر، نقطه شروع ضروری برای بهبود مراقبت و کاهش مرگ و میر است [4,5].

با توجه به آن که تعداد مراکز درمانی در سطح شهر محدود است، سوال اصلی آن است که از کدام یک از مراکز درمانی به فرد حادثه دیده یا بیمار، خدمات ارائه گردد تا بهره‌وری مراکز درمانی بیشینه گردد. با بررسی عوامل موثر بر تعیین محدوده تخصیص خدمات مراکز درمانی [6] و تحلیل‌های مکانی [7] می‌توان محدوده خدماتی مراکز درمانی را تعیین کرده و به سوال فوق پاسخ داد. ترافیک معابر یکی از عوامل اصلی در تعیین محدوده خدماتی مراکز درمانی و مسیریابی نیروهای امدادی است [7]. آمارهای ترافیکی نشان می‌دهد که زمان سفر در خیابان‌ها در ساعات و روزهای مختلف ثابت نبوده و دائما در حال تغییر است [8]. بنابراین، نیاز است تغییرات ترافیک در مدل‌سازی محدوده خدماتی مراکز درمانی و مسیریابی نیروهای امدادی دخالت داده شود [9]. از آنجایی که مسائل تخصیص خدمات در گروه مسائل بسیار دشوار است، روش‌های دقیق ممکن است به سادگی قادر به حل مسئله به خصوص در ابعاد بزرگ نباشند [10]. بنابراین، اغلب در تخصیص خدمات از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود [7].

در زمینه مسئله تخصیص ایست و پویای خدمات به محل‌های تقاضا مطالعات متعددی انجام گرفته است [11-13]. در [14] بر روی تخصیص خدمات مراکز درمانی و نقل و انتقال پویای آمبولانس به موقعیت تقاضا جهت بیشینه

نمودن سطح خدمات درمانی مطالعه شد. Ankrah و همکاران در [15] یک مدل تصادفی تحت عنوان DC-LAP³ برای تخصیص پویای خدمات معرفی کردند. آن‌ها در این پژوهش نتیجه گرفتند که رویکرد پویا جواب بهتری برای مسئله خواهد داشت. ولی در مقابل، پویایی مسئله باعث افزایش قابل توجه محاسبات می‌شود. تحقیقاتی به صورت همزمان در زمینه بهینه‌سازی تخصیص منابع درمانی و پزشکی به محل - های تقاضا، مدیریت سیستم‌های خدمات فوریت پزشکی و مسیریابی گروه‌های امدادی در حین عملیات امداد و نجات صورت گرفته‌است [16]. [1] یک مدل پویا برای ناوبری آمبولانس‌ها جهت ارائه کمک‌های پزشکی به آسیب‌دیدگان پیشنهاد کرد. در مدل پیشنهادی، مکانیزم بازاستقرار آمبولانس⁴‌های اعزام‌شده به محل آسیب‌دیدگان با مکانیزم تخصیص پویای آمبولانس با هدف کاهش زمان پاسخگویی تلفیق شد. آن‌ها تخصیص آمبولانس‌های مناسب در هر لحظه را با توجه به توزیع احتمالی مجروحان و مصدومان انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش زمان پاسخگویی بود.

از مفاهیم دیاگرام ورونوی (VD)⁵ در مسائل تخصیص امکانات به تقاضا و تعیین محدوده خدماتی امکانات به طور گسترده استفاده می‌شود [17,18]. در [19] به بررسی دیاگرام ورونوی استاندارد در تعیین حوزه خدمات‌رسانی مدارس و تخصیص دانش‌آموزان به مدارس پرداخته شد [9]. در تخصیص فضای شهری به جای استفاده از ورونوی دیاگرام مسطح، از ورونوی دیاگرام شبکه (NVD)⁶ استفاده کرد. آن‌ها با توجه به آن که زمان سفر بین دو نقطه در شبکه و معابر شهری به ترافیک مسیر و ممنوعیت ترافیک در ساعات مختلف بستگی دارد، رویکرد محاسباتی را برای ورونوی دیاگرام شبکه وابسته به زمان با الهام از روند طبیعی Stream_flowin ارائه دادند. در [6] از ورونوی دیاگرام برای تعیین محدوده خدمات ایستگاه‌های آتش‌نشانی با در نظر گرفتن حوادث آتش‌سوزی که در گذشته رخ داده‌بود، استفاده شد. پژوهشگران در این تحقیق با آگاهی به تغییر پارامترهای موثر در تعیین محدوده خدماتی، در بازه‌های زمانی مشخص، محدوده خدماتی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را به روز رسانی کردند. بعضی از پژوهشگران در تخصیص خدمات از الگوریتم‌ها فراابتکاری

4 redeployment

5 Voronoi Diagram

6 Network Voronoi Diagram

1 Emergency Medical Services

2 Response times

3 Dynamic Customer Location Allocation Problem

معايير و سخت افزارها و نرم افزارهايي براي محاسبه برخط تخصيص پويا استفاده كنند. بنابر اين ضروري است تاثير تغييرات ترافيك بر روي تخصيص خدمات درمانی و کاهش زمان پاسخگویی نیروهای امدادی به نقاط تقاضا در هنگام استفاده از داده‌های ترافیکی پویا و ایستا مورد ارزیابی قرار گیرد و میزان اهمیت تخصیص پویا سنجیده شود.

با توجه به پژوهش‌های بیان شده، پژوهش‌های کمی در زمین تخصیص پویای خدمات مراکز درمانی و کاهش زمان پاسخگویی EMS انجام شده است و پژوهشی هم که میزان تاثیر بهبود زمان پاسخگویی نیروهای امدادی در هنگام تخصیص خدمات با داده‌های ترافیکی پویا را مورد ارزیابی قرار دهد، ممکن است انجام یا گزارش نشده باشد. همچنین، پژوهشی که تاثیر پذیری مناطق مختلف یک محدوده شهری از تغییرات ترافیکی بررسی کند صورت نگرفته است. بنابراین، در این تحقیق میزان بهبود زمان خدمات‌رسانی به نقاط تقاضا، زمانی که داده‌های ترافیکی پویا در تصمیم‌گیری دخیل هستند مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین بررسی می‌شود که تغییرات ترافیک در چه مناطقی و در چه ساعاتی بیشترین تاثیرگذاری بر کاهش زمان امداد رسانی را دارد.

در ادامه ساختار مقاله شامل چهار بخش می‌باشد. در بخش دوم، روش تحقیق و مبانی نظری مورد استفاده در پژوهش تشریح شده‌است. در بخش سوم به تعریف تابع هدف و تخصیص با استفاده از داده‌های ترافیکی پویا و ایستا پرداخته شده است. در بخش چهارم نتایج تخصیص و میزان بهینه‌سازی تابع هدف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. و در بخش آخر نتیجه‌گیری پژوهش ارائه شده‌است.

2- روش تحقیق و مبانی نظری

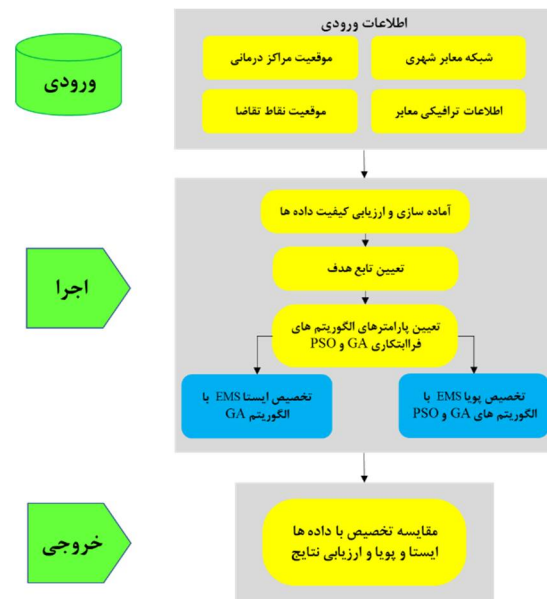
هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تغییرات ترافیک بر تغییر محدوده خدماتی مراکز درمانی و زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا است. برای این منظور، ابتدا اطلاعات مکانی و توصیفی مورد نیاز جمع‌آوری می‌گردد. سپس به علت آن که تعیین محدوده خدماتی مراکز در فضای شبکه و تخصیص خدمات از لحاظ محاسباتی پیچیده است، از الگوریتم‌ها فراابتکاری استفاده شده است. طبق تحقیقات گذشته دو الگوریتم فراابتکاری GA و PSO از الگوریتم‌های پرکاربرد در

استفاده کرده‌اند. در [10] از دو الگوریتم تبرید و ژنتیک (GA^1) در تخصیص منابع استفاده شد. طبق نتایج این تحقیق، الگوریتم GA در زمان کوتاه‌تر، عملکرد بهتری در بهینه‌سازی تابع هدف نسبت به الگوریتم تبرید داشته‌است. [20] در تخصیص مراکز درمانی و تعیین محدوده خدماتی بیمارستان‌ها با توجه به قید فاصله نقاط تقاضا به مراکز درمانی، از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO^2) استفاده کرد. در [21] در مکانیابی بیمارستان‌ها و تخصیص خدمات به بیماران از الگوریتم‌های GA، PSO و ژنتیک بهبود یافته (IGA^3) استفاده شد. در این پژوهش شبکه معابر و تغییرات ترافیک در تعیین محدوده خدماتی در نظر گرفته نشد.

مدت زمان دستیابی گروه‌های امدادی به محل مجروحان و مصدومان با میزان تلفات جانی رابطه مستقیمی دارد. این موضوع اهمیت مسیریابی مناسب گروه‌های امدادی با در نظر گرفتن حجم ترافیک و مسدودیت معابر را نشان می‌دهد. تحقیقات متنوعی در زمینه مسیریابی آمبولانس‌ها صورت گرفته است [22-25]. در بعضی از تحقیقات، داده‌های لحظه‌ای تراکم ترافیک در مسیریابی بکار گرفته شدند [28-26]. [29] به بررسی مسئله مسیریابی نیروهای امدادی، با در نظر گرفتن احتمال مسدودیت مسیرهای ارتباطی و ازدحام تسهیلات اورژانسی در زمان وقوع بحران پرداختند. هدف آن‌ها کمینه‌سازی مجموع نرخ مصدومان پوشش داده نشده و میانگین زمان سفر نیروهای امدادی بود. در [30] چهارچوبی برای مسیریابی پویا پیشنهاد شده است. در این چهارچوب، ابتدا بهترین مسیر اولیه از مبدا به مقصد مد نظر برای وسیله نقلیه تعیین شد، آنگاه با به‌روز رسانی شرایط ترافیکی در هر تقاطع از مسیر، بهترین مسیر مجدداً انتخاب شد. این فرآیند تا رسیدن وسیله نقلیه به مقصد تکرار شد.

آنچه که مسلم است، تخصیص و مسیریابی با داده پویا نتیجه بهتری از تخصیص و مسیریابی با داده‌های ایستا دارد [15]. و با توجه به اهمیت کاهش زمان پاسخگویی در سیستم EMS، نیاز است تغییرات پویای ترافیک به عنوان یک عامل پویا و مهم در مدل‌سازی تعیین محدوده خدماتی و تخصیص نقاط تقاضا به مراکز درمانی دخالت داده شود. اما تخصیص خدمات با داده‌های ترافیکی پویا آنقدر مهم و موثر است تا شهرداری و نهادهای دولتی را مجاب کند که از سیستم‌های بهنگام و دقیق برای گزارش ترافیک در سطح

بهینه سازی تخصیص هستند که نتایج قابل قبول داشته‌اند [21,31و32]. بنابراین، در این پژوهش هم از دو الگوریتم فراابتکاری GA و PSO در تخصیص خدمات مراکز درمانی استفاده شده است. در تعیین پارامترهای الگوریتم‌های فراابتکاری، ترکیبی از مقایر مختلف پارامترها استفاده می‌گردد و ترکیب پارامترهای که کمترین مقدار زمان پاسخگویی به همه نقاط (تابع هدف) را دارند انتخاب می‌شود. آنگاه با مشخص شدن پارامترهای الگوریتم GA و PSO، تخصیص بر روی شبکه با استفاده از داده‌های ترافیکی پویا در هر ساعت انجام شد. به موازات تخصیص با داده‌های ترافیکی پویا، تخصیص با داده‌های ترافیکی ایستا در ساعات مختلف روز نیز صورت گرفت. در ادامه برای بررسی تخصیص با در نظر گرفتن قیود ایستایی و پویایی داده‌های ترافیکی، مقدار تابع هدف تخصیص با داده‌های ترافیکی پویا و ایستا مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. شکل (1) فلوچارت روش تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل 1- فلوچارت روش تحقیق

1-2- مکان‌یابی و تخصیص (LA)¹

مسئله LA، شاخه‌ای از تجزیه و تحلیل مکانی است که به تعیین مکان بهینه مجموعه‌ای از امکانات برای خدمات‌دهی به مجموعه‌ای از درخواست‌ها با هدف کاهش هزینه‌ها

می‌پردازد [33]. اولین پژوهش‌ها در این حیطه در دهه 1960 میلادی انجام شد [34]. مسائل LA از نوع مسائل سخت² هستند که با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی، پیچیدگی مسئله به صورت نمایی افزایش می‌یابد [35]. مسئله LA با طیف وسیعی از پارامترها مانند هزینه راه‌اندازی امکانات، هزینه پاسخگویی و سطح تقاضا فرموله می‌شوند [15]. یکی از مهمترین طبقه‌بندی مسائل LA، طبقه‌بندی بر اساس تابع هدف در مسئله است که بر اساس آن می‌توان مسائل LA را به سه گروه مسئله میانه³ [36]، مسئله پوشش⁴ [37] و مسئله مرکزی⁵ [36] طبقه‌بندی کرد.

2-2- ورونوی دیاگرام شبکه و الگوریتم‌های بهینه‌سازی آن

ورونوی دیاگرام یکی از ساختارهای اساسی هندسه محاسباتی برای تقسیم فضا است [38]. VD نقش مهمی در تحلیل همسایگی گروه نقاط، تشخیص کوتاه‌ترین مسیر و تعیین منطقه خدماتی نقاط تسهیلات شهری ایفا می‌کند [18]. در فضای اقلیدسی، VD صفحه را به گونه‌ای تقسیم می‌کند تا فاصله هر موقعیت در هر چند ضلعی تا نقطه مرکزی چندضلعی، کمتر از فاصله تا نقاط دیگر باشد [39]. از آنجا که حرکت در مناطق شهری به وسیله شبکه خیابان محدود می‌شود، از NVD استفاده می‌شود [9]. مسائل NVD از نوع مسائل سخت هستند، بنابراین پژوهشگران از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل آن استفاده کرده‌اند [7]. از جمله الگوریتم‌های کاربرد در بهینه‌سازی تخصیص خدمات، دو الگوریتم فراابتکاری GA و PSO هستند [7,40] که می‌توانند با توجه به تابع هدف تعریف شده، مناطق شهری را به بخش‌های مختلف تقسیم کنند.

2-2-1- الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

اولین بار GA توسط John Holland در دهه 1960 ارائه شد [41]. GA تلاش می‌کند تا به صورت محاسباتی فرایند تحول طبیعی را با استفاده از عملگرهای ژنتیک تقلید کند [42]. GA با یک جمعیت اولیه از جواب‌های کدگذاری‌شده

4 Cover problem

5 P-center

1 Location Allocation

2 NP-hard

3 P_median



شکل 2- فلوجارت الگوریتم ژنتیک [43]

از آنجایی که تقاضا در بسیاری از شبکه‌های حمل و نقل شهری نزدیک به ظرفیت است، در اثر وقوع یک حادثه پیش‌بینی نشده مانند تصادف یا خرابی زیرساخت‌ها، ترافیک به شدت افزایش می‌یابد [48]. تغییرات ترافیکی یکی از عوامل مهم و موثر در زمان پاسخگویی EMS است. از آنجا که خدمات‌رسانی به موقع، یک پارامتر مهم برای انعکاس کیفیت خدمات EMS به حساب می‌آید [46]، ایده‌آل آن است که تغییرات ترافیک در تصمیم‌گیری خدمات فوریت‌های پزشکی دخالت داده شوند.

3- پیاده‌سازی

در ابتدای این بخش به معرفی منطقه مطالعاتی و مجموعه داده‌های مورد استفاده در پژوهش پرداخته می‌شود. در ادامه تابع هدفی P_median برای بررسی

توسط کروموزوم‌ها شروع می‌شود. در ادامه عملگرهای تولید مثل شامل انتخاب، تقاطع و جهش برای ایجاد کروموزوم‌های در نسل آینده تعیین می‌شوند. سپس، در مرحله انتخاب، کروموزوم‌ها بر اساس تابع هدف با یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرند. کروموزوم‌هایی که تابع هدفشان نتایج بهتر را ثبت کرده‌اند، شانس بیشتری را برای انجام تولید مثل و انتقال به نسل بعدی دارند. تولید مثل آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا شرط توقف برآورده شود [43]. فلوجارت الگوریتم GA در شکل (2) ارائه شده است.

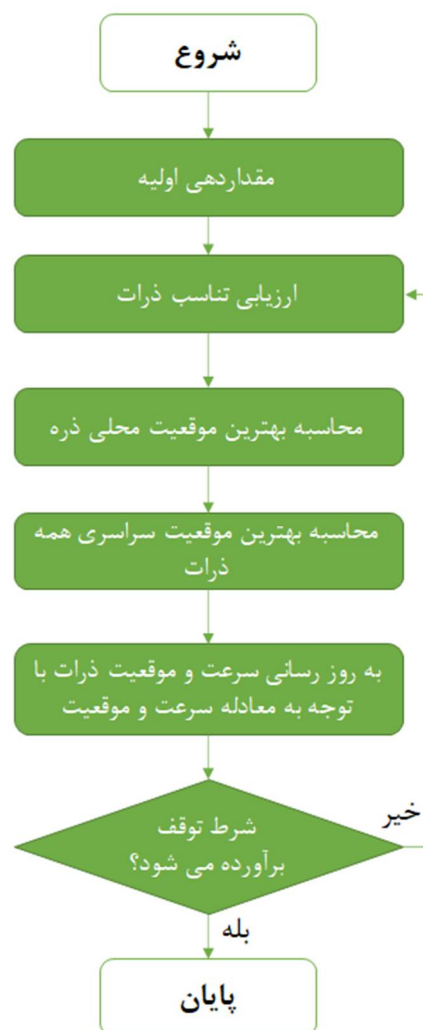
PSO یک الگوریتم بهینه‌سازی تصادفی مبتنی بر ازدحام است که توسط Eberhart و Kennedy ارائه شد [44]. الگوریتم PSO رفتار اجتماعی حیوانات مختلف از جمله حشرات، پرندگان و ماهی‌ها را شبیه‌سازی می‌کند [45]. در PSO هر فرد ذره‌ای نامیده می‌شود که به عنوان راه‌حل بالقوه مسئله بهینه‌شده در فضای جستجوی چند بعدی تعریف می‌شود. هر ذره می‌تواند موقعیت بهینه ازدحام ذرات دیگر ($globalbest$)، بهترین موقعیت محلی خود ($localbest$) و سرعت را به خاطر بسپارد. ذرات دائماً در فضای جستجوی موقعیت خود را تغییر می‌دهند تا به حالت بهینه برسند [45]. فلوجارت الگوریتم PSO در شکل (3) نشان داده شده است.

2-3- خدمات فوریت‌های پزشکی و تاثیر پذیری آن‌ها از تغییرات ترافیک

هدف خدمات فوریت‌های پزشکی، ارائه خدمات از نوع مراقبت‌های فوری پیش بیمارستانی به افراد بیمار و آسیب دیده در هر مکان ممکن در منطقه تحت نفوذ خود است [46]. که معمولاً شامل کمک‌رسانی "در موقعیت¹" بیمار و در صورت لزوم، انتقال بیمار به مراکز پزشکی است [1]. زمان پاسخگویی نقطه شروع برای بهبود مراقبت‌های پزشکی و کاهش عواقب ناشی از بیماری مرتبط با حوادث اورژانسی، بسیار مهم است [1]. تصادفی‌بودن شماره درخواست‌ها برای آمبولانس و محدودیت‌های عملیاتی، برنامه‌ریزی بهینه منابع برای پاسخگویی سریع را دشوار ساخته است [47].

ترافیک یک معضل اصلی در شهرهای بزرگ جهان است، که در اثر رشد جمعیت و عدم رشد متناسب ظرفیت خیابان‌ها و سیستم حمل و نقل عمومی به وجود می‌آید [32].

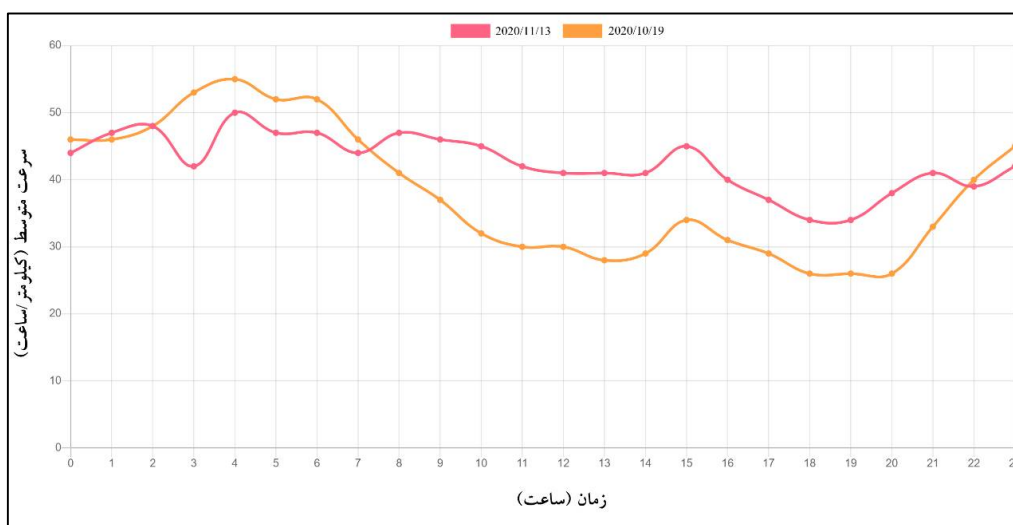
عملکرد تخصیص، معرفی و فرموله می‌شود. سپس، در انتهای بخش، با تعیین پارامترهای الگوریتم‌های GA و PSO، به تخصیص خدمات مراکز درمانی پرداخته می‌شود.



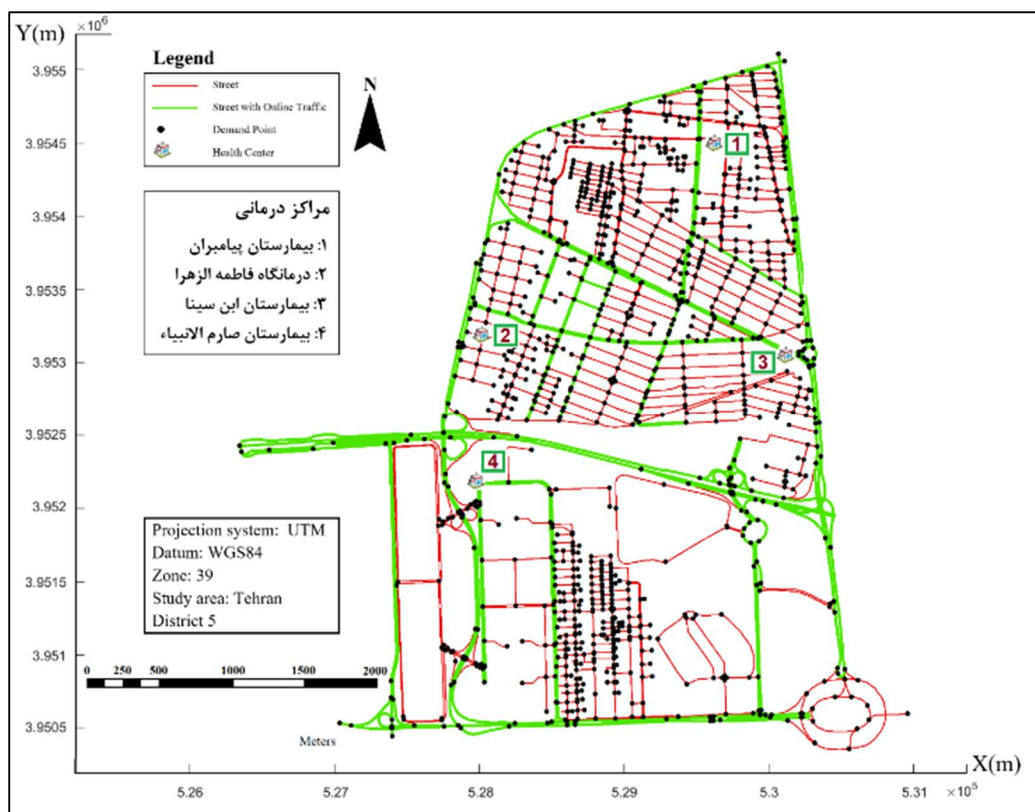
شکل 3- فلوچارت الگوریتم PSO [45]

3-1- منطقه مطالعاتی و داده‌های تحقیق

منطقه مطالعاتی این پژوهش، بخش جنوبی منطقه 5 شهر تهران، محصور بین بزرگراه‌های حکیم، ستاری، لشکری، جناح و خیابان صنایع هواپیمایی است [7]. این منطقه 4 مرکز درمانی دارد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به 3 دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول اطلاعات مربوط به موقعیت مراکز بیمارستانی است. دسته دوم اطلاعات، نقشه معابر شهری منطقه 5 شهرداری تهران می‌باشد. این منطقه شامل 1623 معبر با مجموع 206 کیلومتر طول است. دسته سوم اطلاعات شبکه معابر و داده‌های لحظه‌ای تراکم ترافیک منطقه 5 شهرداری تهران برای 12 روز در 12 ماه متوالی است که به صورت تصادفی از مهرماه 1399 تا شهریورماه 1400 دریافت شده‌است. اطلاعات ترافیک لحظه‌ای هر روز معابر در بازه‌های یک ساعته در طول 24 ساعت از شرکت نشان که در زمینه مسیریابی خودرو فعالیت دارد، برای معابر اصلی منطقه مطالعاتی در فرمت اکسل دریافت شد (شکل 4). سپس، داده‌های ترافیکی لحظه‌ای با داده‌های مراکز کنترل ترافیک تهران مورد ارزیابی کیفی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده همبستگی بین دو منبع داده بود. در ادامه پیش پردازش‌هایی برای آماده‌سازی داده‌ها صورت گرفت این پیش پردازش‌ها با هدف یکسان‌سازی سیستم مختصات و سیستم تصویر داده‌ها، حذف خطاهای توپولوژیکی و تبدیل ساختار معابر به ساختار گراف است. شکل (5) خیابان‌های منطقه مطالعاتی به همراه خیابان‌هایی اصلی که تغییرات ترافیک داشته‌اند را نمایش می‌دهد. تغییر ترافیک برخط تعداد 388 معبر به طول 81 کیلومتر در منطقه مطالعاتی اخذ شده‌است.



شکل 4- تغییرات میانگین سرعت بزرگراه آیت الله کاشانی در طول دو روز با فاصله کمتر از یک ماه



شکل 5- منطقه مطالعاتی همراه با معایری که تغییرات ترافیک لحظه‌ای دارند

2-3- تابع هدف

مسئله P_{median} در روابط (2) تا (4) فرمول‌بندی شده و به یک مسئله بهینه‌سازی تبدیل می‌شود [51].

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (2)$$

$$h_i = 1 \quad (3)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (4)$$

رابطه (2) برای کمینه‌سازی فاصله بین نقاط تقاضا و مراکز خدماتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رابطه h_i نشان‌دهنده میزان تقاضا در نقطه تقاضای i و d_{ij} فاصله بین نقطه تقاضای i و مرکز خدماتی j را نشان می‌دهد. رابطه (3) میزان تقاضای هر نقطه را نشان می‌دهد که در این مسئله، میزان تقاضا برای تمامی نقاط یکسان در نظر گرفته شد. رابطه (4) بررسی می‌کند که هر نقطه تقاضا به مرکز خدماتی تخصیص داده شود. در مسئله P_{median} ، رابطه (2) باید به گونه‌ای بهینه شود که سایر روابط برقرار باشند [51].

یکی از راه‌های بررسی میزان مناسب بودن موقعیت یک مرکز خدماتی، مجموع مسافت پیموده‌شده نقاط تقاضا برای دسترسی به مرکز خدماتی است [49]. مسائلی با چنین تابع هدف، به مسئله P_{median} معروف هستند و از نوع مسائل NP-hard هستند [50]. در این تحقیق، از تابع هدف P_{median} به عنوان تابع هدف استفاده شده است. به طوری که هدف کاهش مجموع زمان پاسخگویی نقاط تقاضا به مراکز درمانی است. در فرمول‌سازی تابع بهینه تخصیص با استفاده از مسئله P_{median} به صورت ریاضی، ابتدا لازم است متغیر تصمیم‌گیری Y_{ij} معرفی شود [51].

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر نقطه تقاضای } i \text{ از مرکز خدماتی } j \text{ خدمات گیرد} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \quad (1)$$

در رابطه (1)، i برای شاخص نقطه تقاضا و j برای شاخص مکان مراکز خدماتی استفاده می‌شود. با استفاده از متغیر فوق، مسئله بهینه‌سازی تخصیص با کمک‌گیری از

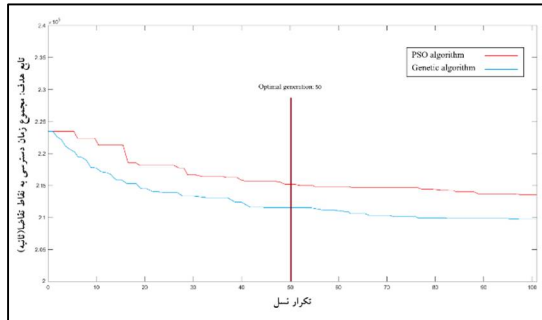
3-3- تخصیص نقاط تقاضا به مراکز درمانی با الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم GA هر جواب در قالب یک کروموزوم کدگذاری می‌شود. این الگوریتم جستجویی چند جهته را در فضای جستجو انجام داده و احتمال گیر افتادن در بهینه محلی را کاهش می‌دهد [52]. الگوریتم GA دارای چهار پارامتر اندازه جمعیت M ، تعداد نسل N ، نرخ ترکیب P_{cros} و نرخ جهش P_{mut} است [7]. در این پژوهش از یک جمعیت 50 نفری برای الگوریتم GA استفاده شده است، سپس در تعیین تعداد نسل به علت عدم تغییر محسوس تابع هدف از نسل 50 به بعد، تعداد نسل هم 50 در نظر گرفته شد (شکل 6). برای تعیین مقادیر مناسب P_{cros} و P_{mut} ، ترکیبی از مقایر مختلف آن‌ها در نظر گرفته شده است. به ازای هر ترکیب، روند بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. سپس، بهترین ترکیب پارامترها به عنوان مقادیر بهینه برای حل مسئله انتخاب شد. مقادیر $\{0/7, 0/6, 0/5, 0/4\}$ برای P_{cros} و مقادیر $\{0/05\}$ ، $\{0/2, 0/1\}$ برای P_{mut} استفاده شد. ترکیب $P_{cros} = 0/7$ و $P_{mut} = 0/2$ بهتر از سایر ترکیب‌ها، مقدار تابع هدف را بهینه کرد و نخبه‌گرایی برابر $0/1$ در نظر گرفته شد.

3-4- تخصیص نقاط تقاضا به مراکز درمانی با الگوریتم PSO

الگوریتم PSO بر اساس حرکت و رفتار جمعی پرندگان یا ماهیان در درون دسته یا گروه آن‌ها پیشنهاد شد [53]. در این الگوریتم، اعضا که گروه ذرات نامیده می‌شوند، در فضای مشخص شده حرکت می‌کنند و به دنبال راه حل مطلوب می‌گردند [53]. الگوریتم PSO دارای پارامترهای اندازه جمعیت M ، تعداد تکرار N ، وزن اینرسی α (الفا) و ضرایب شتاب c_1 و c_2 است [54]. از آنجا که جمعیت در الگوریتم‌های PSO و GA می‌تواند به نوبه خود استفاده شوند [55]، در این پژوهش جمعیت اولیه GA به عنوان جمعیت اولیه PSO استفاده گردید. همچنین، به علت عدم تغییر محسوس تابع هدف از نسل 50 به بعد، تعداد نسل هم 50 در نظر گرفته شد (شکل 6). در تعیین مقادیر c_1 و c_2 ، همانند الگوریتم GA، ترکیب‌های مختلف $\{0/1, 1, 2\}$ $c_1 = c_2 =$ با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها استفاده شد که مقدار 2

$c_1 = c_2 =$ جواب بهینه را بدست آورد. در تعیین مقدار α ، مقادیر مختلف آن با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. از بین $\alpha = \{0/5, 0/6, 0/7, 0/8, 0/9, 1\}$ مقدار $\alpha = 0/8$ به بهترین نتیجه منجر شده است.



شکل 6- روند همگرایی PSO و GA در تکرارهای مختلف نسل

از آنجا که در بهینه‌سازی تابع P_{median} لازم است زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا کمینه شود، با کمینه‌شدن زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا، مسیر بین مراکز خدماتی و نقاط تقاضا بهینه خواهد شد. در واقع، با بهینه‌سازی تابع هدف P_{median} ، عملاً علاوه بر تخصیص خدماتی مراکز درمانی، مسیر بهینه بین مراکز درمانی و همه نقاط بدست خواهد آمد و نیازی به بهینه‌سازی مسیریابی نیست.

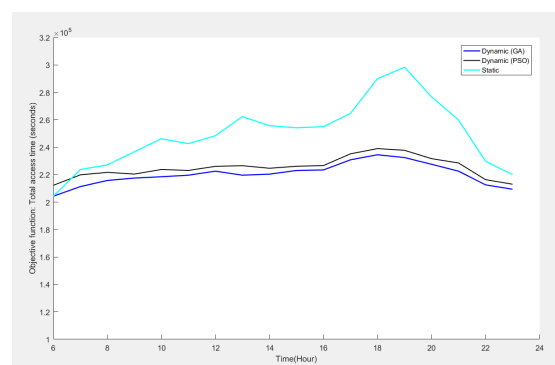
4- نتایج و ارزیابی

بعد از مشخص شدن پارامترهای الگوریتم‌های GA و PSO، مدل تخصیص بهینه منابع پزشکی به مصدومان و بیماران در رایانه شخصی¹ در نرم افزار متلب² پیاده‌سازی شد. تخصیص بر روی داده‌های پویا از طریق دو الگوریتم GA و PSO انجام شد. ولی به علت نتیجه بهتر الگوریتم GA، در تخصیص خدمات با داده‌های ایستا، فقط از الگوریتم GA استفاده گردید. در ادامه به علت آن که سرعت عبور از معابر در ساعات اولیه صبح برابر ترافیک پایه در معابر است، در تخصیص ایستا از داده‌های ترافیکی ساعت 6 صبح استفاده شد. تابع هزینه الگوریتم GA، PSO و میزان تابع هدف برای تخصیص با داده ایستا از ساعت 6 تا 23 در شکل (7) نشان داده شده است. مطابق شکل (7) در ساعت 6 صبح مقدار تابع هدف GA و تابع هدف تخصیص با داده‌های ایستا با یکدیگر برابر هستند. همان طور که در شکل (7) نشان داده شده با اوج گرفتن ترافیک در ساعات 16 تا 20، اختلاف تابع هزینه

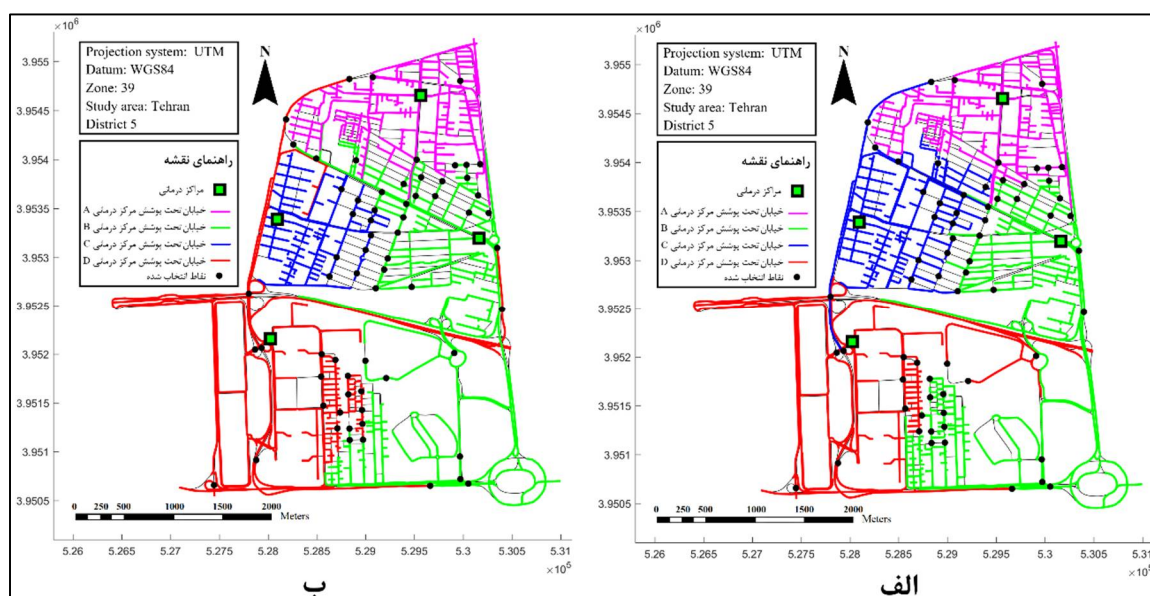
از آنجا که میزان تابع هدف P_median در مسئله عددی بزرگ خواهد شد، این موضوع باعث شده است که تمایز تخصیص با داده های پویا و ایستا به خوبی دیده نشود. بنابراین، در این پژوهش از 80 نقطه چک که در ناحیه مرزی محدوده خدماتی بیمارستان ها قرار گرفته اند مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت این نقاط از آن جهت انتخاب شده اند که به علت قرارگیری آن ها در مرز بین محدوده های خدماتی بیمارستان ها، حساسیت بیشتری به تغییرات ترافیک نسبت به سایر نقاط دارند. در شکل (8) موقعیت نقاط چک در محدوده مطالعاتی نمایش داده شده است در این شکل می توان تاثیر تغییرات ترافیک بر تغییر محدوده ترافیکی هر بیمارستان در طی گذشت دو ساعت را مشاهده کرد.

زمان پاسخگویی به 80 نقطه چک در حالت تخصیص خدمات مراکز درمانی در دو حالت تخصیص با داده ترافیکی ایستا و پویا در جدول (1) ارائه شده است. مطابق جدول (1) از اوایل صبح و با گذشت زمان، اختلاف بین تخصیص پویا و ایستا افزایش می یابد که این افزایش در ساعت 19 به اوج خود می رسد. به طور میانگین تخصیص با داده های پویا باعث کاهش 25 درصد معادل 69 ثانیه در زمان پاسخگویی به نقاط چک شده است. همچنین، تخصیص با داده های پویا باعث کاهش زمان پاسخگویی به بعضی نقاط چک تا 45 درصد شده است.

بین تخصیص با دو داده ترافیکی ایستا و پویا شدت می گیرد. این ساعات همزمان با افزایش تعداد درخواست های بیماران است [3]. میانگین تابع هدف در ساعات مختلف در حالت تخصیص نقاط تقاضا با داده های ترافیکی ایستا برابر 249771 ثانیه بوده است. این در حالی است که میانگین تابع هدف در حالت تخصیص با داده های ترافیکی پویا برابر 220340 ثانیه بوده است این نتایج نشان می دهد که تخصیص نقاط تقاضا به مراکز درمانی با استفاده از داده های ایستا باعث افزایش 13/4 درصدی زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا شده است (شکل 7). همچنین، الگوریتم های GA و PSO برای به روز رسانی محدوده خدماتی به طور میانگین به 4/5 دقیقه زمان نیاز دارند.



شکل 7- میزان تابع هدف P_median در دو حالت ایستا و پویا



شکل 8- تغییرات محدوده خدماتی مراکز بیمارستان به همراه نقطه چک (الف) ساعت 14، (ب) ساعت 16

جدول 1- مقایسه زمان پاسخگویی به 80 نقطه چک و بیشینه فاصله زمان پاسخگویی به نقاط چک در دو حالت تخصیص با داده‌های ایستا و پویا (اعداد بر حسب ثانیه هستند)

ساعت	مجموع زمان پاسخگویی به 80 نقطه چک (تخصیص پویا)	مجموع زمان پاسخگویی به 80 نقطه چک (تخصیص ایستا)	بیشترین زمان برای پاسخگویی به نقطه تقاضا (تخصیص پویا)	بیشترین زمان برای پاسخگویی به نقطه تقاضا (تخصیص ایستا)
6	15788	15788	434	434
7	14965	19293	406	692
8	15263	19945	419	696
9	15485	22245	393	713
10	16043	23134	412	745
11	15864	22092	405	718
12	16085	22803	410	756
13	16110	23630	407	745
14	15997	22700	396	734
15	16020	21728	402	727
16	16107	21837	421	750
17	17000	22711	440	745
18	18019	25919	442	779
19	18233	26456	438	792
20	16893	23456	432	779
21	16415	21701	407	768
22	15509	17968	388	721
23	14977	16740	376	692
میانگین	16154	21675	411	734

5- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

برای کاهش اثرات ناشی از حوادث، نیاز است پاسخگویی نیروهای امدادی در کوتاه‌ترین زمان صورت گیرد. دو عامل موثر در زمان رسیدن نیروهای امدادی، "تعیین مرکز ارسال کننده نیروهای امدادی" و "مسیر حرکت نیروهای امدادی" است. آنچه که بر این دو عامل تاثیر می‌گذارد، زمان سفر در شبکه معابر است که به علت تغییر ترافیک، دائما در حال تغییر است. هرگاه ترافیک معابر تغییر کند، مطلوب است محدوده تحت پوشش هر بیمارستان و مسیر دسترسی به نقاط تقاضا بازنگری شود. برای رصد تغییرات ترافیک، تخصیص خدمات به مجروحان و مسیریابی نیروهای امدادی، نیاز به استفاده تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و نیروی متخصص است که مهیا ساختن آن‌ها هزینه‌بر خواهد بود.

برای بکارگیری این تجهیزات نیازمند اطلاعاتی در مورد میزان تاثیر تغییرات پویای ترافیک بر کاهش زمان خدمات رسانی به نقاط تقاضا است.

در این پژوهش در بررسی تاثیر تغییرات پویای ترافیک بر تخصیص خدمات مراکز درمانی، تخصیص با داده‌های ترافیکی پویا و ایستا مورد ارزیابی قرار گرفت. همان طور که پیش‌بینی می‌شد، نتایج تخصیص پویا باعث کاهش زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا می‌شود و این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین [1,15] همخوانی داشت. زمان اجرای الگوریتم‌های فراابتکاری به طور میانگین 4/5 دقیقه در هر به‌روز رسانی به طول انجامید. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت استفاده از داده‌های پویا جواب بهتری برای مسئله دارد اما در مقابل، پویایی مسئله باعث افزایش محاسبات خواهد شد [15].

مرزی نسبت به مناطق نزدیک به مراکز درمانی در هنگام تخصیص خدمات با داده‌های ایستا است.

مطابق شکل (7) و جدول (1)، در ساعت مختلف روز اختلاف زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا بین داده‌های ترافیکی پویا و ایستا متغیر است. این اختلاف در ساعت بعدازظهر اوج گرفته و در ساعت اولیه و پایانی روز به صفر همگرا می‌شود. این در حالی است که طبق تحقیقات گذشته، ساعات بعدازظهر همزمان با افزایش درخواست‌های امدادی است [3]. این نتایج نشان‌دهنده شدت گرفتن تغییرات ترافیکی با افزایش درخواست‌های امدادی به صورت همزمان در ساعات بعد از ظهر است. با توجه به اهمیت کاهش زمان پاسخگویی در سیستم EMS، استفاده از داده‌های ترافیکی پویا می‌تواند تاثیری مهمی بر کاهش زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا بالاخص در ساعات بعدازظهر بگذارد. از این رو نیاز است تا متولیان امدادسانی به فراهم کردن تجهیزات مناسب برای رصد لحظه‌ای ترافیک و استفاده از سخت افزارها و نرم‌افزارهای تخصیص خدمات و مسیریابی پویا اقدام کنند.

در این پژوهش به علت محدودیت در دریافت داده‌های ترافیکی در تخصیص خدمات از اطلاعات ترافیکی 12 روز استفاده شد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از اطلاعات ترافیکی در تعداد روزهای بیشتری برای انجام پژوهش استفاده شود. همچنین، در پژوهش‌های بعدی می‌توان سایر پارامترهای موثر بر تخصیص خدمات مانند تغییرات ظرفیت مراکز درمانی و جابجایی نقاط تقاضا را در تصمیم‌گیری لحاظ نمود تا مسئله به واقعیت نزدیکتر شود.

مقایسه نتایج تخصیص با داده‌های ترافیکی پویا و ایستا نشان داد (شکل 7) که به طور میانگین، استفاده از داده‌های ایستا باعث افزایش 13/4 درصدی زمان پاسخگویی به همه نقاط تقاضا شده‌است. در ادامه پژوهش هنگامی که از 80 نقطه چک که در مرز محدوده خدماتی مراکز درمانی توزیع شده‌اند استفاده شد، زمان پاسخگویی به نقاط چک (جدول 1) در حالت ایستا 34/2 درصد معادل 69 ثانیه نسبت به زمان پاسخگویی با داده پویا افزایش یافته است. همچنین، بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول 1)، تخصیص و مسیریابی با داده‌های ایستا باعث افزایش زمانی پاسخگویی به بعضی از نقاط تا 80 درصد شده‌است. نکته مورد توجه آن است که اکثر این نقاط در مناطق مرزی بوده‌اند.

این نتایج بیانگر آن است که نقاط تقاضایی که در فاصله دوری از مراکز درمانی قرار دارند تاخیر بیشتری در دریافت خدمات درمانی داشته‌اند. این دریافت خدمات هم از دیدگاه میزان تاخیر و هم از دیدگاه درصد تاخیر بیشتر از سایر نقاط بوده‌است. تاثیر بیشتر تخصیص پویا بر کاهش زمان پاسخگویی به نقاط مرزی (نقاط چک مورد استفاده در پژوهش) نشان می‌دهد که تخصیص پویا به صورت غیریکنواخت بر کاهش زمان پاسخگویی به نقاط تقاضا تاثیر می‌گذارد. در واقع نقاط تقاضا با توجه به موقعیت خود تاثیر پذیری متفاوتی نسبت به تغییر ترافیک دارند. به گونه‌ای که با افزایش نسبی فاصله نقاط تقاضا از نزدیک‌ترین مرکز درمانی، تخصیص پویا باعث کاهش بیشتر زمان امداد رسانی به این نقاط شده‌است. این توزیع غیر یکنواخت نشان‌دهنده خطرپذیری بیشتر مناطق

مراجع

- [1] Billhardt, H., Lujak, M., Sánchez-Brunete, V., Fernández, A. & Ossowski, S. (2014). Dynamic coordination of ambulances for emergency medical assistance services. *Knowledge-Based Systems*, 70, 268-280.
- [2] Wang, Z. & Zlatanova, S. (2016). Multi agent-based path planning for first responders among moving obstacles. *Computers, Environment and Urban Systems*, 56, 48-58.
- [3] Pour Mohammad J. (2018). Locating medical aid centers in urban areas considering the probability of accidents and response time. 3rd National Conference on New Ideas in Engineering (in Persian).
- [4] Elvik, R., Vaa, T., Høy, A. & Sørensen, M. (Eds.). (2009). *The handbook of road safety measures*. Emerald Group Publishing.
- [5] Wilde, E. T. (2013). Do emergency medical system response times matter for health outcomes? *Health economics*, 22(7), 790-806.
- [6] Yu, W., Chen, Y., Chen, Z., Xia, Z. & Zhou, Q. (2020). Service area delimitation of fire stations with fire risk analysis: Implementation and case study. *International journal of environmental research and public health*, 17(6), 2030.

- [7] Azimi, S., Delavar, M. R., & Rajabifard, A. (2018). An optimized multi agent-based modeling of smart rescue operation. *Int. Arch. photogrammetry and remote sensing. Spat. Inf. Sci*, 42, 93-100.
- [8] Cambridge Systematics, Texas Transportation Institute, Univ. of Washington, and Dowling Associates. (2003). Providing a highway system with reliable travel times. Transportation Research Board.
- [9] Ai, T., Yu, W. & He, Y. (2015). Generation of constrained network Voronoi diagram using linear tessellation and expansion method. *Computers, Environment and Urban Systems*, 51, 83-96.
- [10] 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. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- [11] Mills, A. F., Argon, N. T. & Ziya, S. (2018). Dynamic distribution of patients to medical facilities in the aftermath of a disaster. *Operations Research*, 66(3), 716-732.
- [12] Rezapour, S., Naderi, N., Morshedlou, N. & Rezapourbehnagh, S. (2018). Optimal deployment of emergency resources in sudden onset disasters. *International Journal of Production Economics*, 204, 365-382.
- [13] Sharma, B., Ramkumar, M., Subramanian, N. & Malhotra, B. (2019). Dynamic temporary blood facility location-allocation during and post-disaster periods. *Annals of Operations Research*, 283(1), 705-736.
- [14] Yue, Y., Marla, L. & Krishnan, R. (2012). An efficient simulation-based approach to ambulance fleet allocation and dynamic redeployment. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 26, No. 1, pp. 398-405).
- [15] Ankrah, R., Lacroix, B., McCall, J., Hardwick, A., & Conway, A. (2019, June). Introducing the Dynamic Customer Location-Allocation Problem. In *2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* (pp. 3157-3164). IEEE.
- [16] Aringhieri, R., Bruni, M. E., Khodaparasti, S. & van Essen, J. T. (2017). Emergency medical services and beyond: Addressing new challenges through a wide literature review. *Computers & Operations Research*, 78, 349-368.
- [17] Zhu, H. H., Yan, H. W. & Li, Y. (2008). An optimization method for the layout of public service facilities based on Voronoi diagrams. *Science of Surveying and Mapping*, 33(2), 72-74.
- [18] Lee, I. & Lee, K. (2009). A generic triangle-based data structure of the complete set of higher order Voronoi diagrams for emergency management. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(2), 90-99.
- [19] Cui, H., Wu, L., Hu, S., & Lu, R. (2021). Measuring the service capacity of public facilities based on a dynamic Voronoi diagram. *Remote Sensing*, 13(5), 1027.
- [20] Uno, T., Kato, K. & Katagiri, H. (2007, April). An application of interactive fuzzy satisficing approach with particle swarm optimization for multiobjective emergency facility location problem with a-distance. In *2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multi-Criteria Decision-Making* (pp. 368-373). IEEE.
- [21] Kaveh, M., Kaveh, M., Mesgari, M. S. & Paland, R. S. (2020). Multiple criteria decision-making for hospital location-allocation based on improved genetic algorithm. *Applied Geomatics*, 12(3), 291-306.
- [22] Demetrescu, C. & Italiano, G. F. (2006). Fully dynamic all pairs shortest paths with real edge weights. *Journal of Computer and System Sciences*, 72(5), 813-837.
- [23] Pourrahmani, E., Delavar, M. R., Pahlavani, P. & Mostafavi, M. A. (2015). Dynamic evacuation routing plan after an earthquake. *Natural Hazards Review*, 16(4), 04015006.
- [24] Zaroliagis, C. D. (2002). Implementations and experimental studies of dynamic graph algorithms. In *Experimental algorithmics* (pp. 229-278). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [25] Talarico, L., Meisel, F. & Sörensen, K. (2015). Ambulance routing for disaster response with patient groups. *Computers & Operations Research*, 56, 120-133.

- [26] PATTANAMEKAR, P., PARK, D., RILETT, L. R. LEE, J., & LEE, C. (2003). Dynamic and stochastic shortest path in transportation networks with two components of travel time uncertainty. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 11(5), 331-354.
- [27] Wuest, B. A. & Mioc, D. (2007, May). Visualization and modeling of traffic congestion in urban environments. In *10th AGILE International Conference on Geographic Information Science*. Department of Geodesy and Geomatics, University of New Brunswick Canada.
- [28] Pourrahmani, E., Delavar, M. R. & Pahlavani, P. An Urban Evacuation Routing Plan for an Emergency Response System Using Real-Time Traffic Data.
- [29] Erkat J, Zamani S, Quds P. (2014). Location-routing for emergency facilities considering destruction probabilities for communication paths in crises. *Crisis Management (in Persian)*.
- [30] Nha, V. T. N., Djahel, S. & Murphy, J. (2012, November). A comparative study of vehicles' routing algorithms for route planning in smart cities. In *2012 First international workshop on vehicular traffic management for smart cities (VTM)* (pp. 1-6). IEEE.
- [31] Aghamohammadi, H., Mesgari, M. S., Molaei, D. & Aghamohammadi, H. (2013). Development a heuristic method to locate and allocate the medical centers to minimize the earthquake relief operation time. *Iranian journal of public health*, 42(1), 63.
- [32] Abolhoseini, S., Mesgari, S. M., & Mohammadi Soleimani, R. (2021). Modified particle swarm optimization algorithm to solve location problems on urban transportation networks (Case study: Locating traffic police kiosks). *Engineering Journal of Geospatial Information Technology (in Persian)*, 8(3), 1-19.
- [33] Farahani, R. Z., & Hekmatfar, M. (Eds.). (2009). *Facility location: concepts, models, algorithms and case studies*. Springer Science & Business Media.
- [34] Cooper, L. (1963). Location-allocation problems. *Operations research*, 11(3), 331-343.
- [35] ReVelle, C. S., & Swain, R. W. (1970). Central facilities location. *Geographical analysis*, 2(1), 30-42.
- [36] Hakimi, S. L. (1964). Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations research*, 12(3), 450-459.
- [37] White, J. A., & Case, K. E. (1974). On covering problems and the central facilities location problem. *Geographical Analysis*, 6(3), 281-294.
- [38] Erwig, M. (2000). The graph Voronoi diagram with applications. *Networks: An International Journal*, 36(3), 156-163.
- [39] Li, X., Chen, J., Zhao, L., Guo, S., Sun, L., & Zhao, X. (2020). Adaptive distance-weighted Voronoi tessellation for remote sensing image segmentation. *Remote Sensing*, 12(24), 4115.
- [40] Zheng, S., & Zheng, J. (2014). Assessing the completeness and positional accuracy of OpenStreetMap in China. In *Thematic cartography for the society* (pp. 171-189). Springer, Cham.
- [41] Melanie M. (1999) An introduction to genetic algorithms. A Bradford book. The MIT Press Cambridge, MA.
- [42] Lins, I. D. & Droguett, E. L. (2011). Redundancy allocation problems considering systems with imperfect repairs using multi-objective genetic algorithms and discrete event simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(1), 362-381.
- [43] Sivanandam, S. N. & Deepa, S. N. (2008). Genetic algorithm optimization problems. In *Introduction to genetic algorithms* (pp. 165-209). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [44] Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995, October). A new optimizer using particle swarm theory. In *MHS'95. Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science* (pp. 39-43). Ieee.
- [45] Wang, D., Tan, D. & Liu, L. (2018). Particle swarm optimization algorithm: an overview. *Soft computing*, 22(2), 387-408.

- [46] Goldberg JB. (2004). Operations research models for the deployment of emergency services vehicles. *EMS management Journal*. 1(1), 20-39.
- [47] Azaimi P, Mansouri M (2018). Simulation of dispatching and allocation of ambulances for emergency medical services in urban areas. *The 16th International Industrial Engineering Conference, Tehran* (in Persian).
- [48] Alivand M, Malek M R, Al_shikh A A. (1386). A distributed traffic management system in mobile network platform. *The first urban spatial information systems conference* (in Persian).
- [49] Church, R. L., & ReVelle, C. S. (1976). Theoretical and computational links between the p-median, location set-covering, and the maximal covering location problem. *Geographical Analysis*, 8(4), 406-415.
- [50] Soltanpour, A., Baroughi, F., & Alizadeh, B. (2021). A hybrid algorithm for the uncertain inverse P-median location problem. *Facta Universitatis. Series: Mathematics and Informatics*, 1399-1416.
- [51] Ndiaye, F., Ndiaye, B. M. & Ly, I. (2012). Application of the p-median problem in school allocation.
- [52] Mitchell, M. (1998). *An introduction to genetic algorithms*. MIT press.
- [53] Santosa, B. (2006). Tutorial particle swarm optimization. *Sukolilo Surabaya: Kampus ITS*, 66.
- [54] Juneja, M. & Nagar, S. K. (2016, October). Particle swarm optimization algorithm and its parameters: A review. In *2016 International Conference on Control, Computing, Communication and Materials (ICCCCM)* (pp. 1-5). IEEE.
- [55] Robinson, J., Sinton, S. & Rahmat-Samii, Y. (2002, June). Particle swarm, genetic algorithm, and their hybrids: optimization of a profiled corrugated horn antenna. In *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (IEEE Cat. No. 02CH37313)* (Vol. 1, pp. 314-317). IEEE.