پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶

ارائه مدلی ریاضی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با رویکرد حداکثر پوششی چنددوره‌ای در مواقع اضطراری

پرویز فتاحی[۱*]، حسن باقری[۲]، سمانه بابایی مراد[۳]

۱- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی ،دانشگاه الزهرا، تهران، ایران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش سیستم‌های اقتصادی اجتماعی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۳ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۷

چکیده

در این پژوهش مدلی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و تخصیص ماشین‌های خدماتی به ایستگاه‌ها در دوره‌های مختلف و در مواقع اضطراری ارائه می‌شود. این مدل با در نظر گرفتن متغیر بودن مقدار تقاضاها و شعاع پوشش تسهیلات (با توجه به شرایط ترافیک و نوع منطقه) در دوره‌های مختلف، مدل‌سازی شده است. با توجه به واقعیت، مقدار تقاضای برآورده‌شده برای هر نقطه تقاضا در مدل ارائه‌شده، وابسته به تعداد دفعات پوشش نقطه توسط تسهیلات و مقدار تقاضای نقطه تقاضاست. در این مدل، جایگاه ایستگاه‌ها در دوره‌های مختلف یک‌بار مکان‌یابی می‌شود. تعداد ماشین‌های خدماتی تخصیص داده‌شده به ایستگاه‌های مکان‌یابی شده به‌صورت متغیر و دوره‌ای است و می‌توانند در دوره‌های مختلف جابجا شوند. در مدل ارائه‌شده هر نقطه‌ی تقاضای راهبردی انبارهای مهمات و انبارهای مواد غذایی و غیره) می‌تواند به‌عنوان نقطه‌ی بالقوه‌ای برای استقرار ماشین خدماتی عمل کند. این مدل، مدلی پیچیده است که برای حل آن الگوریتم فرا ابتکاری توده‌ی ذرات[۱] با ماتریس جواب اولیه تلفیقی پیشنهاد شده است. در الگوریتم ارائه‌شده، شیوه جواب اولیه به‌گونه‌ای است که ماتریس مکان‌یابی و تخصیص اولیه و نهایی در یک ماتریس بیان شده است. نتایج الگوریتم

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: p.fattahi@alzahra.ac.ir

پیشنهادی با نتایج الگوریتم مصنوعی زنبوران[۲] مقایسه شده که هم ازلحاظ کیفیت جواب‌ها و هم‌زمان حل نسبت به آن برتری دارد.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی پوششی دوره‌ای، مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مواقع بحرانی، مکان‌یابی-تخصیص، الگوریتم مصنوعی زنبوران (ABC)، الگوریتم توده‌ی ذرات (PSO).

۱- مقدمه

با پیشرفت علم و امکانات، جنگ و بلایای طبیعی نیز روبه‌رشد است و تقاضا برای خدمات آتش‌نشانی برای حفاظت از جان و اموال مردم و محیط‌زیست نیز افزایش می‌یابد. این موضوع یکی از نگرانی‌های مهم مردم در نواحی شهری و روستایی است. اهمیت این موضوع باعث شده که اخیراً دانشمندان زمینه بهینه‌سازی به این موضوع توجه بیشتری از خود نشان دهند. در این زمینه مدل‌های زیادی ارائه شده است. اکثر مدل‌هایی که در این زمینه ارائه شده‌اند هدفشان این است که مجموع تقاضاهایی که پوشش داده نمی‌شوند یا هزینه‌ی ارائه سرویس حداقل شود؛ برای جزئیات بیشتر، مکان مناسبی برای ایستگاه‌ها مکان‌یابی شود تا فاصله‌ی ایستگاه‌ها و سایت‌های تقاضا حداقل شود تا کارایی زمان ارائه خدمت افزایش یابد و یا ایستگاه‌هایی را که نقاط پوشش آن منطبق برهم هستند، حداقل کند و سومی، تعیین معقول‌ترین تعداد ایستگاه با تعادل برقرار کردن بین هزینه‌ی از دست دادن تقاضای برآورده نشده و هزینه‌ی ایجاد ایستگاه‌ها است. یکی از مشهورترین مدل‌های مکان‌یابی که از اوایل علم مکان‌یابی به آن پرداخته شده است، مسئله مکان‌یابی پوششی[۳] است. این مدل به دنبال راه‌حل‌هایی است که مجموعه‌ای از نقاط تقاضا را با توجه به اینکه یک یا چند هدف موجود است، پوشش دهد. مسئله پوشش به دو دسته کلی تقسیم می‌شود: مسئله مکان‌یابی حداکثر پوششی[۴] و مسئله مکان‌یابی پوششی کل[۵]. بدون توجه به نوع مسئله، یک جمعیت زمانی پوشش داده‌شده تلقی می‌شود که در یک فاصله زمانی یا مکانی از پیش تعیین‌شده‌ای نسبت به یک یا چند تسهیل قرار گرفته باشد. هدف مکان‌یابی پوششی کل، پوشش دادن تمام نقاط تقاضا با حداقل تسهیلات ممکن است؛ درحالی‌که مکان‌یابی پوششی جزئی به پوشش دادن حداکثر نقاط تقاضا با تعداد تسهیل از پیش تعیین‌شده‌ای می‌پردازد. مکان‌یابی پوششی جزئی

برای اولین بار توسط چارچ و ریول [۱] بر روی شبکه معرفی شد. از آن زمان به بعد، کاربردها و توسعه‌های نظری متعددی روی مدل کلاسیک مکان‌یابی پوششی جزئی ارائه شده است. تعیین سایت و ایستگاه مناسب برای ارایه خدمات و همچنین تعداد ماشین‌های خدماتی مورد نیاز در هر ایستگاه در دوره‌های مختلف موضوع اصلی این پژوهش است. مدل ارائه‌شده در این مقاله نسبت به مدل‌های موجود دارای مزیت پویایی می‌باشد. مقدار تقاضای هر سایت، تقاضا و شعاع پوشش هر ایستگاه و وسایل خدماتی (تسهیلات) در دوره‌های مختلف با توجه به ترافیک و راهبردی بودن منطقه در حال تغییر است. دومین مزیت این است که هر وسیله خدماتی با توجه به واقعیت مسئله ظرفیت محدودی در ارائه خدمت دارد و مزیت سوم اینکه در مواقع اضطراری چون مقدار تقاضاها زیاد بوده و زمان ارائه خدمت در مقدار تقاضا تأثیر زیادی دارد (چون مقدار آتش با گذشت زمان شعله‌ورتر شده و تقاضای آن بیشتر می‌شود)، ایستگاه‌ها، ماشین‌های خدماتی خود را به نقاط تقاضا (نقاط تقاضا که راهبردی هستند، یعنی احتمال تقاضای آن‌ها نزدیک ۱ است) تخصیص داده و ماشین خدماتی مستقرشده در نقاط تقاضا، آن نقطه تقاضا را در صورت درخواست تقاضا پوشش می‌دهند. در این حالت، نقاط تقاضایی را نیز که در شعاع پوشش ماشین مستقرشده‌ی نقطه‌ی تقاضا باشند، می‌توان در زمان کمتری پوشش داد و این ماشین‌های خدماتی برای پوشش حداکثری، در دوره‌های مختلف می‌توانند جابجا شوند. مدل ارائه‌شده یک مدل پیچیده است. برای حل این مدل الگوریتم فراابتکاری توده‌ی ذرات با کروموزوم تلفیقی ارائه شده است؛ نتایج با الگوریتم مصنوعی زنبوران مقایسه و در حالت دقیق برای حل مسائل کوچک‌تر از نرم‌افزار گمز استفاده شده است. روش پژوهش حاضر بر اساس تابع هدف، پژوهشی کاربردی-توسعه‌ای است. روش‌شناسی تحقیق به این صورت است که ابتدا مطالعه جامعی از ادبیات مسئله مکان‌یابی پوششی انجام و شکاف‌های موجود با در نظر گرفتن شرایط محیطی شناسایی شدند و متناسب با شکاف‌ها به تعریف مسئله پرداخته و مدلی ریاضی ارائه شد. با توجه به NP-Hard بودن مدل، برای آن الگوریتم فراابتکاری PSO که الگوریتمی منعطف ازنظر گسستگی و پیوستگی جواب‌هاست، طراحی شد. برای صحه‌گذاری مدل‌سازی ریاضی، مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن داده‌های فرضی به‌وسیله نرم‌افزار گمز (جواب‌های بهینه) حل و نتایج آن با نتایج الگوریتم پیشنهادی

در ابعاد کوچک‌تر مقایسه شده است که نتایج نشان‌دهنده نزدیک به بهینه بودن PSO است. برای صحه‌گذاری در ابعاد بزرگ‌تر، جواب‌های به‌دست‌آمده با الگوریتم زنبوران (ABC) مقایسه شد؛ دلیل استفاده از ABC ارائه دادن جواب‌های بهتر در مقالات اخیر مدل‌سازی-مکان‌یابی است. درنهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی برای پژوهشگران آورده شده است.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

مکان‌یابی تسهیلات نقش عمده‌ای در زنجیره‌ی تأمین به‌خصوص در تسهیلات تولیدی و خدماتی دار؛ به‌طوری‌که در دهه‌ی اخیر، کانون توجه بسیاری از شاغلین و دانشجویان شده است. به‌عنوان مقدمه‌ای جامع از مدل‌های مکان‌یابی می‌توان به مراجع ارزشمندی ازجمله ریول و ایسلت [۲] اشاره کرد. علاوه بر این ریول و همکاران یک منبع کتاب‌شناسی جامع از مقالات اخیر درزمینه مدل‌های میانه، مرکز و پوششی به‌عنوان سه مورد از انواع اصلی مدل‌های مکان‌یابی ارائه کرده است [۳]. در طول دهه گذشته، مقالات متنوعی درزمینه ارائه مدل مکان‌یابی حداکثر پوششی و حل آن ارائه شده است که در ادامه به برخی از این مقالات که حالت غیرقطعی را مورد بررسی قرار داده‌اند اشاره خواهد شد. مسئله مکان‌یابی حداکثر پوششی غیرقطعی نیز توجهاتی را در ادبیات تاکنون به خود جلب کرده است. کورا و همکاران مورد مکان‌یابی حداکثر پوششی احتمالی را با یک خدمت دهنده برای هر مرکز ارزیابی کردند و آن را با استفاده از راهکارهای تولید ستون و گراف پوششی حل کردند [۴]. باتانویک و همکاران مسئله مکان‌یابی حداکثر پوششی را روی شبکه با عدم قطعیت پیشنهاد کردند [۵]. آن‌ها مسائل با نقاط تقاضای با اهمیت یکسان و با اوزان نیمه قطعی گره‌های تقاضا را مطالعه و یک الگوریتم متناسب برای حل این مدل‌ها ارائه کردند. پژوهش برمنگ و وانگ، مقاله دیگری است که عدم قطعیت را در مکان‌یابی حداکثر پوششی در نظر می‌گیرد [۶]. آن‌ها موردی را مطالعه کردند که در آن، وزن تقاضاهای مرتبط با گره‌ها روی شبکه متغیرهای تصادفی با توزیع احتمال نامشخص است. هدف مقاله یافتن مکانی است که پوشش‌های نامربوط در آن حداقل شود. ریول و همکاران یک حل مدل را با تمرکز بر حل مکان‌یابی حداکثر پوششی با ۹۰۰ گره ارائه داده‌اند. این مقاله توسعه‌ای از همان مقاله با تغییر آن به‌صورت پویای چند

دوره‌ای است [۷]. در چنین مسئله‌ای تصمیم‌گیرندگان تمایل به مکان‌یابی p تسهیل در m بازه زمانی دارند. به وضوح، فضای جواب ممکن است شامل تعداد زیادی جواب شدنی باشد و با افزایش حجم، مسئله به‌شدت پیچیده شود. این مدل در عمل هم خیلی غیرمعمول نیست و در بسیاری از زمینه‌ها کاربرد دارد. به‌طور مثال، در مکان‌یابی ایستگاه‌های گشت پلیس و ایستگاه‌های آتش‌نشانی [۸]، جایابی آمبولانس‌ها یا مکان‌یابی تسهیلات کمک‌های اولیه برای کمک به حادثه دیدگان بلایای طبیعی می‌تواند به کار رود. برای روشن‌تر شدن مسئله مکان‌یابی یک مرکز خدمات اورژانسی در یک منطقه شلوغ را در نظر بگیرید؛ به‌منظور خدمت‌رسانی به مردم در هنگام وقوع تصادفات جاده‌ای با توجه به ترافیک جاده، تعطیلات، وضعیت هوا و بسیاری عوامل دیگر، تعداد تسهیلاتی که باید مستقر شوند ممکن است در دوره‌های زمانی مختلف نوسان داشته باشد. با توجه به اینکه تعداد تسهیلاتی که باید مستقر شوند به محدود بودن بودجه بستگی دارد، مسئله مکان‌یابی حداکثر پوششی در حالت چند دوره‌ای یا پویا به وجود می‌آید. مدل‌های مکان‌یابی پویا می‌توانند به مدیران در گرفتن تصمیمات روزانه یا ساعتی به‌منظور پاسخگویی بهتر به نوسانات قابل پیش‌بینی تقاضا، در مواقع اضطراری و غیره در زمان و فضا، کمک کنند [۹]. در این مدل‌ها یک تسهیل که در ابتدای یک دوره افتتاح می‌شود، می‌تواند در دوره بعدی بسته شود. مفهوم مکان‌یابی پوششی پویا موضوع جدیدی در ادبیات نیست. اسچیلینگ [۱۰] مدل پویای چند هدفه را برای تسهیلات خدمات اورژانسی ازجمله آمبولانس‌ها ارائه کرد. سپس گوناواران [۱۱] مسائل متنوعی از مکان‌یابی تسهیلات عمومی چند دوره‌ای ارائه داد. رییپد و برناردو [۱۲] تلاش دیگری برای مدل‌سازی مکان‌یابی حداکثر پوششی پویا انجام دادند که در آن سیستم پشتیبانی تصمیم توسعه داده شد و در مدل کنچکی و لویز ویل به‌کار برده شد. راجاکوپلن [۹] مدل پوشش کامل دوره‌ای را بررسی و آن را با مدل‌های شبیه‌سازی و جستجوی ممنوع و نظریه صف حل کرد. مقاله آن‌ها توسعه‌ای از مقاله مارینو وریول با ترکیب کردن احتمالات مشغولی بود [۱۳]. مقاله‌ای دیگر توسط جندرا [۱۴] برای مدل مکان‌یابی پویا ارائه شد؛ به‌طوری‌که هدف حداکثر کردن پوشش پشتیبان و حداقل کردن هزینه‌های مکان‌یابی مجدد بود. یکی از مقاله‌های اخیر درزمینه مکان‌یابی حداکثر پوششی پویا، مقاله باسر و همکاران [۱۵] است که مسئله مکان‌یابی چند دوره‌ای واحدهای اورژانسی را توسعه داده تا یک طرح

راهبردی برای دوره‌های زمانی مختلف ایجاد کند. یک الگوریتم جستجوی ممنوع کارا برای حل این مسئله توسعه داده شد و مدل در شهر استانبول پیاده‌سازی شد. قادری و جبل عاملی [۱۶]، مکان‌یابی تسهیلات را به‌طور گسترده‌ای درزمینه تسهیلات مراقبت بهداشتی مورد مطالعه قرار دادند.

هنگامی که پارامترهای مسئله، مانند تقاضا یا هزینه‌های تسهیلات/حمل‌ونقل به‌مرور تغییر کند، تصمیم‌گیری محل تسهیلات بهینه در هر دوره ممکن است کمتر از حد مطلوب در دوره آینده باشد. در چنین وضعیتی، تصمیم‌گیری مکان‌یابی تسهیلات بهینه، با گذشت زمان، به مطابقت با تغییرات در تقاضا به هزینه نیاز دارد. بااین‌حال، تصمیم‌گیری درباره مکان تسهیلات بازبینی‌شده در دوره‌های آینده، ممکن است شامل جابه‌جایی یا مسدود کردن تسهیلات مورداستفاده در دوره‌های آینده باشد. ایده تغییر پارامترهای مسئله در طول زمان ودر طول دوره برنامه‌ریزی به توسعه مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات چند دوره‌ای منجر گردید [۱۷]. برای مطالعه جزییات بیشتر درباره مکان‌یابی تسهیلات تحت شرایط عدم قطعیت، به مقاله کوریا و سالدانا [۱۸] مراجعه شود. این مرور ادبیات جامع بیانگر این است که توجهات بسیاری به مسئله مکان‌یابی حداکثر پوششی در حالات متنوع انجام شده است ولی مورد پویای آن تاکنون مورد توجه زیادی قرار نگرفته است. بعلاوه، مقاله‌های بسیار کمی در مورد راه‌حل مسئله مکان‌یابی حداکثر پوششی در مقیاس بزرگ ارائه شده است. این مقاله سعی دارد تا این دو شکاف را با ارائه یک مدل پویای کارا در مواقع بحرانی و ارائه الگوریتم توده‌ی ذرات برای حل مدل در مقیاس بزرگ کاهش دهد.

۳- مدل پیشنهادی

در مدل ارائه‌شده تعداد محدودی (از قبل تعیین‌شده) ایستگاه برای مکان‌یابی وجود دارد و همچنین تعداد محدودی ماشین‌های خدماتی برای تخصیص به این ایستگاه‌ها به منظور پوشش حداکثر نقاط تقاضا، وجود دارد که در این مدل، ایستگاه‌های آتش‌نشانی یک‌بار مکان‌یابی می‌شود ولی تعداد ماشین‌های خدماتی تخصیص داده‌شده به هر ایستگاه در دوره‌های مختلف می‌تواند با توجه به پویا بودن مقدار تقاضا و شعاع پوشش به منظور حداکثر پوشش در دوره‌های مختلف متغیر باشد. هر ایستگاه مکان‌یابی شده، یک محدوده‌ی پوشش پویا در دوره‌های مختلف دارد که

می‌تواند ماشین‌های خدماتی خود را به‌جای تجمع در ایستگاه (پوشش سریع‌تر نقاط تقاضا و حداکثر) به نقاط تقاضا راهبردی که در محدوده‌ی پوشش ایستگاه قرار دارد، تخصیص دهد (تخصیص ماشین‌های خدماتی هر ایستگاه به نقاط تقاضا برای پوشش حداکثری نقاط تقاضا در دوره‌های مختلف به‌صورت پویا و متغیر است) و ماشین مستقرشده در نقطه‌ی تقاضا هم خود می‌تواند نقطه‌ی تقاضای راهبردی که در آن مستقرشده را پوشش دهد و هم نقاط تقاضایی را که در شعاع پوشش ماشین قرار دارد، پوشش دهد (هر ماشین خدماتی با توجه به منطقه یا نقطه‌ی تقاضای مستقرشده در دوره‌های مختلف، شعاع پوشش پویا دارد.

۳-۱- اجزای مدل

در این قسمت اجزای مدل ریاضی به تفکیک اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم ارائه می‌شود.

۳-۱-۱- اندیس‌ها

i: مجموعه نقاط تقاضا؛ j : مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد ایستگاه‌ها؛ t: تعداد دوره‌های در نظر گرفته‌شده در مدل؛ k : مجموعه تعداد ماشین‌های خدماتی که هر نقطه‌ی تقاضا را پوشش می‌دهند.

۳-۱-۲-پارامترها

$d_{i,t}$: مقدار تقاضای نقطه‌ی i در دوره‌ی t در صورت درخواست تقاضا (چون مدل برای مواقع اضطراری ارائه شده است، احتمال دارد اصلاً در یک دوره تقاضایی نداشته باشد)؛ $h_{i,t,k}$: مقدار کسر قابل پوشش تقاضای نقطه‌ی i در دوره‌ی t توسط k عدد ماشین؛ $r_{i,j,t}$: یک پارامتر صفر و یک است که اگر نقطه تقاضای i در دوره t در ناحیه پوشش نقطه بالقوه j باشد، یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود؛ c تعداد ایستگاه‌هایی که باید مکان‌یابی شود؛ p تعداد ماشین‌های خدماتی که در هر دوره باید به‌کل ایستگاه‌ها تخصیص داده شود؛ N_i: مجموعه نقاط تقاضایی که در شعاع پوشش نقطه تقاضای i قرار دارند.

۳-۱-۳- متغیرها

$y'_{i,t,k}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر نقطه‌ی تقاضای i در دوره‌ی t توسط k عدد ماشین خدماتی پوشش داده شود، یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود؛ $y_{i,j,t}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر در دوره‌ی t، ایستگاه j یک ماشین خدماتی به نقطه‌ی تقاضای i تخصیص دهد، یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود؛ $y_{i,t}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر در دوره‌ی t ماشین خدماتی به نقطه‌ی i تخصیص داده شود، یک و در غیر این صورت صفر است؛ χ_j: یک متغیر صفر و یک است که اگر در نقطه‌ی بالقوه j ایستگاهی مکان‌یابی شود، یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود؛ $x_{j,t}$: یک متغیر عدد صحیح است که تعداد ماشین‌هایی که در دوره‌ی t به ایستگاه j تخصیص داده‌شده را نشان می‌دهد.

۳-۱-۴- مدل ریاضی

مدل ریاضی ارائه‌شده به‌صورت زیر است:

$$\max Z = \sum_i \sum_t \sum_k d_{i,t}\, h_{i,t,k}\, y'_{i,t,k} \qquad (۱)$$

st:

$$\sum_i r_{i,j,t}\, y_{i,j,t} \le x_{j,t} \qquad \forall\, j, t \qquad (۲)$$

$$y_{i,t} \le \sum_j y_{i,j,t} \qquad \forall\, i, t \qquad (۳)$$

$$\sum_k y'_{i,t,k} \le 1 \qquad \forall\, i, t \qquad (۴)$$

$$\sum_j x_{j,t} = p \qquad \forall\, t \qquad (۵)$$

$$k\, y'_{i,t,k} \le \sum_{i \in N_i} y_{i,t} + \sum_{j \in N_i} (x_{j,t} - \sum_i y_{i,j,t}) \quad \forall\, i, j, k, t \qquad (۶)$$

$$\sum_{j} y_{i,\mathrm{j},\mathrm{t}} \le 1 \qquad \forall\ \mathrm{i},\mathrm{t} \qquad (۷)$$

$$\sum_{j} \chi_j = c \qquad (۸)$$

$$\mathrm{p}\,\chi_j \ge x_{j,t} \qquad \forall\ \mathrm{j},\mathrm{t} \qquad (۹)$$

$$y_{i,j,t} \quad , \quad \mathrm{y}_{i,t,k} \ , \ \mathrm{y}_{i,t} \in \{0,1\} \qquad \forall\ \mathrm{i},\mathrm{j},\mathrm{t},\mathrm{k} \qquad (۱۰)$$

$$0 \le \mathrm{x}_{j,t} \le p \qquad \text{integer} \qquad \forall\ \mathrm{j},\mathrm{t} \qquad (۱۱)$$

$$\chi_j \in \{0,1\} \qquad \forall\ \mathrm{j} \qquad (۱۲)$$

رابطه (۱) مجموع مقدار تقاضاهای پوشش داده‌شده را حداکثر می‌کند. رابطه (۲) نشان می‌دهد که تعداد ماشین‌های خدماتی که یک ایستگاه به نقاط تقاضای در ناحیه پوشش خود تخصیص می‌دهد، حداکثر برابر تعداد ماشین‌های آن ایستگاه است. رابطه (۳) نشان می‌دهد در یک نقطه تقاضا، زمانی ماشین خدماتی مستقرشده وجود دارد که حداقل یکی از ایستگاه‌ها به آن تخصیص داده باشد. رابطه (۴) نشان می‌دهد که یک نقطه تقاضا دقیقاً توسط تعداد مشخصی تسهیل پوشش داده می‌شود. رابطه (۵) تعداد ماشین‌هایی را که در هر دوره باید به ایستگاه‌ها تخصیص داده شود، بیان می‌کند. رابطه (۶) نشان می‌دهد که یک نقطه تقاضا زمانی با K تسهیل پوشش داده می‌شود که در شعاع پوشش حداقل k عدد تسهیل قرار گرفته باشد. رابطه (۷) بیان می‌کند که به هر نقطه تقاضا حداکثر یک ماشین خدماتی برای استقرار می‌توان تخصیص داد. رابطه (۸) تعداد ایستگاه‌هایی که باید مکان‌یابی شود را بیان می‌کند. رابطه (۹) بیان می‌کند که زمانی یک ماشین در یک مکان بالقوه‌ای مستقر می‌شود که در آن نقطه حتماً ایستگاهی ایجاد شده باشد. روابط (۱۰) (۱۱) (۱۲) نوع متغیرهای مدل را نشان می‌دهد.

۴-۱- الگوریتم بهینه‌سازی توده‌ی ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی توده‌ی ذرات را می‌توان به شکل مجموعه‌ای از بردارها تصور کرد که در فضایی متشکل از تجارب شخصی هر ذره و برخی از ذرات دیگر، نوسان می‌کند. در حالت کلی، هر ذره با عده‌ای دیگر از ذرات دارای ارتباط است که معمولاً این ارتباط دوطرفه بوده و به نام رابطه همسایگی یا مجاورت شناخته می‌شود [۱۹]. مجموعه ذراتی که با یک‌ذره دارای ارتباط همسایگی هستند، به‌عنوان مجموعه‌ی همسایگی شناخته می‌شوند. برای ذره‌ی i ام، بهترین موقعیتی که توسط همسایگانش تجربه شده است، به‌صورت x^{ibest} نمایش داده می‌شود. x^{ibest} یکی دیگر از مواردی است که در تصمیم‌گیری هر ذره تأثیر دارد. البته باید توجه کرد مجموعه‌ی همسایه‌های یک‌ذره، شامل خود آن ذره نیز می‌شود. یعنی یک‌ذره همسایه‌ی خودش نیز هست. کندی و ابرهات، دو الگوی بهینه‌ی محلی و بهینه‌ی سراسری را برای بهینه‌سازی توده‌ی ذرات پیشنهاد دادند [۲۰]. در الگوی بهینه‌ی سراسری، یک‌ذره در جمع وجود دارد که به‌عنوان جاذب است و سایر ذرات را به سمت خود جذب می‌کند و احتمالاً همه‌ی ذرات در محل بهترین ذره، همگرا می‌شوند. اما در الگوی بهینه‌ی محلی، چندین جاذب در جمع وجود دارند و هر ذره صرفاً به سمت بهترین همسایه‌ی خود جذب می‌شود. اگر دامنه‌ی تعریف همسایگی به همه‌ی جمع وسعت یابد، آنگاه معادل الگوی بهینه‌ی سراسری خواهد بود. برای مسائل ساده که جواب یگانه‌ای دارند، الگوی بهینه‌ی سراسری اکیداً توصیه می‌شود. همچنین برای توابع پیچیده، الگوی بهینه‌ی محلی با تعریف همسایگی متغیر مناسب است. کندی و مندس همسایگی‌های مختلف را که می‌توان در میان ذرات تعریف نمود، مورد مطالعه قرار دادند [۲۱]. در حالت کلی، می‌توان روابط همسایگی را به دو نوع اصلی تقسیم کرد: الف) همسایگی مبتنی بر فاصله؛ ب) همسایگی مبتنی بر ارتباط‌های اجتماعی. در همسایگی مبتنی بر فاصله، معمولاً فاصله‌ی هندسی یا اقلیدسی دو ذره در فضای جستجو، مشخص می‌کند که آیا دو ذره باهم همسایه هستند یا نه اما در همسایگی مبتنی بر روابط اجتماعی، همسایگی الزاماً به معنی نزدیکی و یا دوری فیزیکی **نیست**.

۴-۱-۱- جواب اولیه

$$\left\{\begin{array}{l} t1 \\ \\ \\ \\ t2 \\ \\ \\ \\ t3 \\ \\ \\ \end{array}\right. \left[\begin{array}{cccc} \overbrace{}^{j} & & \\ 0.22 & 0.91 & 0.02 & 0.55 \\ 0.11 & 0.36 & 0.81 & 0.12 \\ 0.67 & 0.12 & 0.34 & 0.11 \\ 0.89 & 0.28 & 0.46 & 0.26 \\ - & - & - & - \\ 0.09 & 0.23 & 0.81 & 0.33 \\ 0.11 & 0.99 & 0.38 & 0.71 \\ 0.87 & 0.21 & 0.67 & 0.56 \\ 0.12 & 0.73 & 0.76 & 0.44 \\ - & - & - & - \\ 0.22 & 0.12 & 0.34 & 0.85 \\ 0.34 & 0.14 & 0.48 & 0.91 \\ 0.96 & 0.73 & 0.17 & 0.32 \\ 0.27 & 0.34 & 0.26 & 0.76 \end{array}\right] \left\{\begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array}\right. \left\{\begin{array}{l} j \\ \\ \\ \\ j \\ \\ \\ \\ j \\ \\ \\ \end{array}\right. \qquad (۱۳)$$

گام اول: جواب اولیه برای مکان‌یابی ایستگاه‌ها

برای مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی یا خدمات اورژانسی یک عدد تصادفی از بین ۱ تا $i \times t$ انتخاب کرده و ستون مربوط به عدد تصادفی انتخاب‌شده را از ماتریس رابطه ۱۳ انتخاب کرده و از بین j جایگاه، C جایگاه که بیشترین مقدار را دارند، انتخاب کرده و به‌عنوان مکان ایستگاه‌ها قرار داده می‌شود. برای مثال، از بین عدد ۱ تا ۱۲، یک عدد تصادفی انتخاب کرده که این عدد ۳ شده است؛ به‌این‌خاطر ستون سوم را انتخاب کرده و چون می‌خواهیم ۲ ایستگاه مکان‌یابی شود، ۲ عدد که بیشترین مقدار را دارند، برابر ۱ قرار داده و جایگاه ایستگاه‌ها تعیین می‌شود. کروموزوم ماتریس رابطه ۱۴ و ۱۵ نشان می‌دهد که در همه دوره‌ها ایستگاه‌ها در مکان بالقوه ۲ و ۴ باید ایجاد شود.

$$\left[0.02 \quad 0.81 \quad 0.34 \quad 0.46\right] \qquad (۱۴)$$

$$\left[0 \quad 1 \quad 0 \quad 1\right] \qquad (۱۵)$$

گام دوم:جواب اولیه تخصیص تسهیلات به ایستگاه‌ها

چون در تمامی دوره‌ها تخصیص ماشین‌ها به ایستگاه‌ها پویاست، به‌صورت

جداگانه برای هر دوره یک عدد بین ۱ تا j انتخاب می‌کنیم و از بین i عدد p $(i> p)$ مورد اولین عدد را انتخاب می‌کنیم. برای مثال برای دوره اول یک عدد تصادفی بین ۱ تا ۴ انتخاب می‌شود که عدد ۲ انتخاب می‌شود که از اعداد سطر مربوطه از بین ۴ عدد p=۳ مورد اولین عدد را انتخاب کرده و به‌صورت زیر ماتریس رابطه ۱۶، تخصیص به دست می‌آید.

$$[0.11\ 0.36\ \ 0.81] \qquad (۱۶)$$

بازه‌ی بین صفر و یک را به c=2 قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم؛ تعداد اعدادی را که در بازه‌ی اول یعنی [1/2, 0] قرار دارد، به ایستگاه اول و تعداد اعدادی که در بازه‌ی [1/2,1] قرار دارد، به ایستگاه دوم تخصیص می‌دهیم. تخصیص ماشین‌های خدماتی به ایستگاه‌ها در دوره اول به‌صورت ماتریس رابطه ۱۷ به دست می‌آید.

$$A = [0\ \ 2\ \ 0\ \ 1] \qquad (۱۷)$$

ماتریس رابطه ۱۷ بیان می‌کند که در دوره‌ی اول ۲ ماشین به ایستگاه دوم مکان‌یابی‌شده و یک ماشین به ایستگاه چهارم مکان‌یابی‌شده، تخصیص داده می‌شود و همچنین برای دوره‌های بعدی هم همین‌طور تخصیص داده می‌شود.

گام سوم: کروموزوم تخصیص ماشین‌های خدماتی هر ایستگاه به نقاط تقاضا (راهبردی)

ماتریس رابطه ۱۳ را برای هرکدام از سطرها به‌صورت نزولی مرتب کرده و یک ماتریس [0,A] تشکیل داده و ماشین‌های خدماتی به نقاط تقاضا تخصیص داده می‌شوند.

۴-۲- تنظیم پارامترها برای الگوریتم PSO

ازآنجاکه کیفیت الگوریتم‌های فراابتکاری تا حد زیادی به پارامترها و عملگرهای انتخابی بستگی دارد، برای تنظیم پارامترها طراحی آزمایش‌ها انجام می‌شود. طراحی آزمایش‌ها یک روش سازمان‌یافته برای تعیین ارتباط بین ورودی‌های یک

فرآیند و خروجی‌های آن است. در این بخش پارامترها و عملگرهای الگوریتم توده‌ی ذرات تعیین می‌شود. با توجه به تعداد زیاد پارامترهای موجود در الگوریتم توده‌ی ذرات، یافتن ترکیب مناسب پارامترها که عملکرد الگوریتم را بهبود می‌دهد، از مطلوبیت زیادی برخوردار است. به دلیل تعداد زیاد پارامترها، استفاده از روش فاکتوریل کامل ناکارآمد است و برای بر طرف کردن این نقیصه، از روش تاگوچی استفاده شده است. در این بخش نیز برای تنظیم پارامترها چندین مسئله در مقیاس‌های بزرگ انتخاب و با استفاده از نمودار اثرات عمده، پنج پارامتر الگوریتم توده‌ی ذرات تنظیم شده است. نتایج آزمون و نمودار تأثیرات عمده برای مسائل بزرگ در شکل ۲ آمده است. روش تاگوچی در مواردی که تعداد عامل‌ها و سطوح آن‌ها زیاد است، از کارایی بیشتری نسبت به روش فاکتوریل کامل برخوردار است. با توجه آزمایش تاگوچی پارامترهای تعداد تکرار در سطح اول، تعداد اعضای جمعیت در سطح اول، W در سطح دوم، C1 و C2 در سطح دوم بهینه‌ترین مقدار خود را دارا شدند و در جدول ۱ مقدار سطوح بهینه برای پارامترها آورده شده است.

جدول۱ سطوح بهینه پارامترها برای الگوریتم (PSO) در مقیاس بزرگ

عامل	سطوح	سطح بهینه
تعداد تکرار	{۱۰۰،۹۰،۸۰}	۸۰
اندازه جمعیت	{۱۰،۲۰،۳۰}	۱۰
W	{۰/۸ ،۰/۹ ،۱}	۰/۹
C2	{۱/۵۰ ،۱/۷۵ ،۲}	۲
C1	{۱/۵۰ ،۱/۷۵ ،۲}	۲

۵- بررسی مسائل نمونه

در این بخش به بررسی مسائل نمونه در مقیاس‌های مختلف پرداخته شده است که ابتدا برای صحت مدل‌سازی پویا، مدل پویا با حالت قطعی به‌وسیله نرم‌افزار گمز

حل و مقایسه می‌شود [۲۲]. مثال‌های مختلفی بر اساس داده‌های فرضی برای بررسی بیشتر مدل حل می‌شود. در این بخش مقایساتی بین حل مدل‌های ارائه‌شده در حالت پویا و قطعی هم با استفاده از گمز و هم الگوریتم‌های فراابتکاری صورت می‌گیرد تا صحت کدنویسی با استفاده از الگوریتم‌ها نیز تائید شود. لازم به یادآوری است که به علت پیچیدگی مدل ها و تعداد زیاد محدودیت و متغیرها، مدل با استفاده از روش دقیق (گمز) در اندازه های بزرگ قابل حل نیست و لذا استفاده از روش‌های فراابتکاری در مدل ضرورت پیدا می‌کند. مدل ارائه‌شده با الگوریتم‌های پیشنهادی با نرم‌افزار Matlab10a کد نویسی شده و همچنین توسط نرم‌افزار گمز در رایانه[۶] حل شده‌اند. در جدول ۲، مدل مکان‌یابی آتش‌نشانی هم در حالت قطعی هم در حالت پویا توسط نرم‌افزار گمز و هم توسط الگوریتم مصنوعی زنبوران حل شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالت مدل پویا، کیفیت جواب‌ها با افزایش تعداد دوره‌ها با سرعت چشم‌گیری افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش تعداد دوره‌ها زمان‌های حل مدل نیز افزایش می‌یابد. در جدول ۳، مدل مکان‌یابی آتش‌نشانی هم در حالت قطعی و هم در حالت پویا، توسط نرم‌افزار گمز و الگوریتم توده‌ی ذرات حل شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالت مدل پویا کیفیت جواب‌ها با افزایش تعداد دوره‌ها با سرعت چشم‌گیری افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش تعداد دوره‌ها زمان‌های حل مدل افزایش می‌یابد. در جدول ۲ مدل در حالت قطعی و در حالت پویا با ۴ و ۵ دوره (در هرروز) توسط الگوریتم زنبوران و توسط نرم‌افزار گمز حل شده است که نتایج نشان می‌دهد مقدار تابع هدف جواب‌های مدل در حالت پویا در ۴ دوره تقریباً ۱/۳ برابر جواب تابع هدف مدل در حالت قطعی است و همچنین مقدار تابع هدف جواب‌های مدل، در حالت پویا در ۵ دوره تقریباً ۱/۴ برابر جواب تابع هدف مدل در حالت قطعی است. زمان حل مدل در حالت پویا با ۴ دوره تقریباً ۱/۸ برابر زمان حل مدل در حالت قطعی بوده و همچنین زمان حل مدل در حالت پویا با ۵ دوره تقریباً ۲ برابر زمان حل مدل در حالت قطعی است. با توجه به محاسبات جدول ۲ زمان حل مدل در حالت پویا توسط الگوریتم مصنوعی زنبوران برابر بیست‌وپنج صدم زمان حل مدل در حالت پویا توسط نرم‌افزار گمز می‌باشد و همچنین کیفیت جواب‌ها توسط الگوریتم زنبوران و نرم‌افزار گمز در هر دو حالت پویا و قطعی تقریباً یکسان است.

جدول۲ نتایج محاسبات برای حل مدل در حالت پویا و قطعی توسط نرم‌افزار گمز و الگوریتم مصنوعی زنبوران

مدل قطعی				مدل پویا							
زمان حل ABC	مقدار بهینه حل ABC	زمان حل گمز	مقدار بهینه حل گمز	زمان حل ABC	مقدار بهینه حل ABC	زمان حل گمز	مقدار بهینه حل گمز	تعداد ماشین‌ها	تعداد دوره	تعداد ایستگاه‌ها	تعداد نقاط بالقوه
۴/۳۶	۱۱	۲۰/۱۱	۱۱	۷/۷۷	۱۵	۳۸/۲۳	۱۵	۴		۲	۴
۵/۱۱	۱۲	۲۵/۱۹	۱۳	۸/۴۳	۱۶	۴۷/۹۸	۱۶	۵		۳	۶
۵/۲۲	۱۳	۳۰/۷۶	۱۴	۱۰/۳۲	۱۸	۵۵/۹۰	۱۸	۶	۴	۴	۸
۷/۳۴	۱۴	۳۶/۲۴	۱۴	۱۴/۲۳	۲۱	۶۱/۳۴	۲۲	۷		۵	۱۰
۸/۳۲	۱۵	۴۰/۱۱	۱۶	۱۵/۸۷	۲۲	۶۹/۷۸	۲۲	۸		۵	۱۲
۴/۳۶	۱۱	۲۰/۱۱	۱۱	۸/۷۶	۱۶	۴۴/۲۳	۱۵	۴		۲	۴
۵/۱۱	۱۲	۲۵/۱۹	۱۳	۱۰/۷۶	۱۶	۴۹/۸۹	۱۷	۵		۳	۶
۵/۲۲	۱۳	۳۰/۷۶	۱۴	۱۴/۹۸	۱۹	۶۰/۱۱	۱۸	۶	۵	۴	۸
۷/۳۴	۱۴	۳۶/۲۴	۱۴	۱۵/۴۵	۲۱	۶۵/۸۷	۲۲	۷		۵	۱۰
۸/۳۲	۱۵	۴۰/۱۱	۱۶	۱۷/۵۶	۲۲	۷۷/۸۷	۲۲	۸		۵	۱۲

جدول۳ نتایج محاسبات برای حل مدل در حالت پویا و قطعی توسط نرم‌افزار گمز و الگوریتم توده‌ی ذرات

مدل قطعی				مدل پویا							
زمان حل PSO	مقدار بهینه حل PSO	زمان حل گمز	مقدار بهینه حل گمز	زمان حل PSO	مقدار بهینه حل PSO	زمان حل گمز	مقدار بهینه حل گمز	تعداد ماشین‌ها	تعداد دوره	تعداد ایستگاه‌ها	تعداد نقاط بالقوه
۳/۳۳	۱۱	۲۰/۱۱	۱۱	۵/۹۷	۱۵	۳۸/۲۳	۱۵	۴		۲	۴
۳/۸۹	۱۳	۲۵/۱۹	۱۳	۷/۹۸	۱۶	۴۷/۹۸	۱۶	۵		۳	۶
۴/۳۴	۱۴	۳۰/۷۶	۱۴	۷/۹۲	۱۸	۵۵/۹۰	۱۸	۶	۴	۴	۸
۶/۳۴	۱۴	۳۶/۲۴	۱۴	۱۱/۱۳	۲۱	۶۱/۳۴	۲۲	۷		۵	۱۰
۶/۷۶	۱۶	۴۰/۱۱	۱۶	۱۱/۹۷	۲۲	۶۹/۷۸	۲۲	۸		۵	۱۲
۳/۳۳	۱۱	۲۰/۱۱	۱۱	۶/۹۸	۱۵	۴۴/۲۳	۱۵	۴		۲	۴
۳/۸۹	۱۳	۲۵/۱۹	۱۳	۸/۴۶	۱۷	۴۹/۸۹	۱۷	۵		۳	۶
۴/۳۴	۱۴	۳۰/۷۶	۱۴	۱۱/۸۸	۱۸	۶۰/۱۱	۱۸	۶	۵	۴	۸
۶/۳۴	۱۴	۳۶/۲۴	۱۴	۱۱/۸۹	۲۲	۶۵/۸۷	۲۲	۷		۵	۱۰
۶/۷۶	۱۶	۴۰/۱۱	۱۶	۱۲/۷۶	۲۲	۷۷/۸۷	۲۲	۸		۵	۱۲

در جدول ۳، مدل در حالت قطعی و در حالت پویا با ۴ و ۵ دوره (در هرروز) توسط الگوریتم توده‌ی ذرات و توسط نرم‌افزار گمز حل شده است که نتایج نشان می‌دهد مقدار تابع هدف جواب‌های مدل در حالت پویا در ۴ دوره تقریباً ۱/۴ برابر جواب تابع هدف مدل در حالت قطعی و همچنین مقدار تابع هدف جواب‌های مدل در حالت پویا در ۵ دوره تقریباً ۱/۴ برابر جواب تابع هدف مدل در حالت قطعی است. زمان حل مدل در حالت پویا با ۴ دوره تقریباً ۱/۷ برابر زمان حل مدل در حالت قطعی بوده و همچنین زمان حل مدل در حالت پویا با ۵ دوره تقریباً ۱/۸ برابر زمان حل مدل در حالت قطعی است. با توجه به محاسبات جدول ۲، زمان حل مدل در حالت پویا توسط الگوریتم توده‌ی ذرات برابر پانزده صدم زمان حل مدل در حالت پویا توسط نرم‌افزار گمز و همچنین کیفیت جواب‌ها توسط الگوریتم توده‌ی ذرات و نرم‌افزار گمز در هر دو حالت پویا و قطعی تقریباً یکسان است. در جدول۴، مدل پویا در مقیاس‌های بزرگ‌تر توسط دو الگوریتم مصنوعی زنبوران و الگوریتم توده‌ی ذرات حل شده است که نتایج نشان می‌دهد الگوریتم توده‌ی ذرات هم ازلحاظ کیفیت جواب‌ها و هم ازلحاظ زمان حل نسبت به الگوریتم مصنوعی زنبوران برتری دارد. مقادیر تابع هدف مدل توسط الگوریتم تقریباً ۱/۱ برابر مقادیر تابع هدف مدل توسط الگوریتم است.

جدول ۴ نتایج محاسبات برای حل مدل در حالت پویا توسط نرم‌افزار گمز، الگوریتم توده‌ی ذرات و الگوریتم مصنوعی زنبوران

شماره مسئله	تعداد نقاط بالقوه	تعداد ایستگاه‌ها	تعداد دوره	تعداد ماشین‌ها	مقدار بهینه حل گمز	زمان حل گمز	مقدار بهینه حل PSO	زمان حل PSO	مقدار بهینه حل ABC	زمان حل ABC
۱	۲۰	۵		۱۰	۲۳۲	۳۴۳۵/۵۱	۲۳۲	۹۳۱/۱۳	۲۳۰	۹۹۲/۲۳
۲	۴۰	۱۰		۲۰	۳۶۲	۴۳۴۵/۲۱	۳۶۰	۱۱۵۶/۳۴	۳۶۰	۱۲۶۷/۷۳
۳	۶۰	۱۵	۲	۳۰	۴۷۸	۵۲۳۱/۱۱	۴۷۸	۱۲۵۳/۱۳	۴۷۸	۱۲۵۸/۱۳
۴	۸۰	۲۰		۴۰	-	-	۵۰۱	۱۵۶۲/۳۶	۵۰۰	۱۵۸۲/۹۴
۵	۱۰۰	۲۵		۵۰	-	-	۵۸۰	۲۰۴۱/۹۹	۵۸۱	۲۰۵۳/۸۵
۶	۲۰	۵		۱۰	۲۶۷	۳۸۷۳/۲۲	۲۶۵	۱۱۲۳/۳۳	۲۶۷	۱۱۲۵/۹۶
۷	۴۰	۱۰		۲۰	۳۹۴	۵۶۷۵/۶۷	۳۹۴	۱۳۶۷/۶۳	۳۹۲	۱۳۶۷/۲۷

شماره مسئله	تعداد نقاط بالقوه	تعداد ایستگاه‌ها	تعداد دوره	تعداد ماشین‌ها	مقدار بهینه حل گمز	زمان حل گمز	مقدار بهینه حل PSO	زمان حل PSO	مقدار بهینه حل ABC	زمان حل ABC
۸	۶۰	۱۵	۳	۳۰	۵۰۹	۶۹۸۲/۴۵	۵۰۸	۱۴۵۶/۸۴	۵۰۸	۱۴۷۵/۹۸
۹	۸۰	۲۰		۴۰	-	-	۵۷۶	۱۹۲۳/۹۸	۵۷۴	۱۹۷۸/۵۹
۱۰	۱۰۰	۲۵		۵۰	-	-	۶۱۲	۲۴۳۹/۷۳	۶۱۲	۲۴۹۳/۲۸
۱۱	۲۰	۵		۱۰	۳۰۳	۳۹۲۳/۶	۳۰۲	۱۲۶۷/۹۱	۳۰۲	۱۲۹۸/۵۶
۱۲	۴۰	۱۰		۲۰	۴۱۷	۵۹۵۲/۷	۴۱۵	۱۵۶۹/۰۳	۴۱۳	۱۵۸۷/۴۶۵
۱۳	۶۰	۱۵	۴	۳۰	۵۲۸	۷۱۲۵/۷	۵۲۸	۱۶۴۵/۸۳	۵۲۸	۱۶۵۲/۶۷
۱۴	۸۰	۲۰		۴۰	-	-	۶۰۱	۲۰۱۸/۴۷	۵۹۹	۲۲۸۷/۵۸
۱۵	۱۰۰	۲۵		۵۰	-	-	۶۷۴	۲۵۶۷/۸۳	۶۷۴	۲۶۴۸/۶۴
۱۶	۲۰	۵		۱۰	۳۱۳	۴۱۳۴/۸	۳۱۰	۱۳۶۵/۲۳	۳۱۰	۱۳۸۶/۵۸
۱۷	۴۰	۱۰		۲۰	۴۲۸	۶۰۱۲/۸	۴۲۷	۱۷۶۲/۴۵	۴۲۷	۱۷۸۹/۴۳
۱۸	۶۰	۱۵	۵	۳۰	۵۳۶	۷۹۷۶/۹	۵۳۴	۱۷۶۵/۹۷	۵۳۱	۱۷۹۸/۴۱
۱۹	۸۰	۲۰		۴۰	-	-	۶۲۲	۲۲۳۳/۴۸	۶۲۲	۲۲۴۷/۸۵
۲۰	۱۰۰	۲۵		۵۰	-	-	۶۹۶	۲۷۸۳/۶۹	۶۹۸	۲۷۹۸/۱۱

۶- نتیجه‌گیری

پوشش پویا در حوزه مکان‌یابی پوشش، تحول عظیمی ایجاد کرده و پوشش را به‌عنوان مسئله کارا در دنیای واقعی مطرح ساخته است. خلأ استفاده از مدل پوششی پویا با مرور ادبیات انجام‌شده قابل‌توجه است. در مسئله مدیریت بحران، هدف نجات زندگی انسان‌هاست؛ بنابراین این حوزه مستعد انجام تحقیقات و بررسی بیشتری است. در نظر گرفتن شعاع پوششی تسهیلات طی زمان‌ها و دوره‌های مختلف و پویایی شعاع پوشش و مقدار تقاضا و نگاه به ظرفیت تسهیلات در تحقق این هدف الزامی است. مدلی که دربرگیرنده همه موارد فوق باشد، تاکنون ارائه نشده است. در مدل ارائه‌شده میزان پوشش یک نقطه تقاضا وابسته به مقدار تقاضا و تعداد تسهیلاتی که این نقطه تحت شعاع پوشش آن‌ها قرار دارد، در نظر گرفته شد. همچنین شعاع پوشش و مقدار تقاضا برای مطابقت بیشتر با واقعیت به‌صورت متغیر دوره‌ای و همچنین تخصیص ماشین‌های خدماتی به ایستگاه‌ها در دوره‌های مختلف به متغیر دوره‌ای در نظر گرفته شده است. تعداد ماشین‌های خدماتی در هر دوره و در هر ایستگاه به‌صورت متغیر است. در مدل ارائه‌شده، ایستگاه‌ها بر اساس نیاز و در

دوره‌های مختلف، می‌توانند ماشین‌های خدماتی خود را به نقاط راهبردی، حتی قبل از اعلام تقاضا، تخصیص دهند و ماشین تخصیص داده‌شده می‌تواند هم نقطه‌ی تقاضای راهبردی و هم نقاط تقاضایی را که در شعاع پوشش ماشین تخصیص داده‌شده قرار دارد، پوشش دهد. مدل ارائه‌شده بیشتر در مواقع اضطراری برای مکان‌یابی ایستگاه‌های خدمات اورژانسی و آتش‌نشانی کاربرد دارد. الگوریتم ارائه‌شده، برای حل مدل جواب بهتری ازلحاظ کیفیت جواب‌ها و هم ازلحاظ زمان حل نسبت به الگوریتم زنبوران ارائه داد. برای مطالعات آتی می‌توان شعاع پوشش و مقدار تقاضا را به‌صورت پویای فازی در نظر گرفت و مدلی با مطابقت بیشتر برای مواقع اضطراری ارائه کرد.

۷- مطالعات آتی

برای پژوهش‌های کاربردی آتی می‌توان موارد زیر را پیشنهاد کرد:

الف)در نظر گرفتن شعاع تسهیلات و تقاضا به‌صورت احتمالی در دوره‌های مختلف زمانی چراکه در مدیریت بحران، تقاضا و زمان تقاضا مشخص نیست. ب) استفاده و تعمیم این مدل در مکان‌یابی تسهیلات اورژانسی و مدل‌سازی سلسله مراتبی پوششی. ج)در نظر گرفتن مشغول بودن تسهیلات سیستم برای ارائه خدمات‌رسانی به نقاط تقاضا. د) در نظر گرفتن مسیرهای حرکت برای تسهیلات و استفاده از مسئله مکان‌یابی و مسیریابی.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. partial swarm optimization
2. bee colony algorithm
3. covering location problem
4. maximal covering location problem
5. set covering location problem

۶. مشخصات CPU: Core i3 3.1GHz وRAM 4GB.

۸- منابع

[1] Church R., ReVelle C.S., (1974) "The maximal covering location problem", Papers of the Regional Science Association 32, 101–118.

[2] ReVelle C.S., Eiselt H.A., (2005)" Location analysis: a synthesis and survey", European Journal of Operational Research 165 (1) ,1–19.

[3] ReVelle C.S., Eiselt H.A., M.S. (2008)" Daskin, A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science", European Journal of Operational Research 184(3) 817–848.

[4] Corrêa F.d.A., Lorena L.A.N, Ribeiro, G.M. (2009)."A decomposition approach for the probabilistic maximal covering location–allocation problem", Computers & Operations Research 36 (10), 2729–2739.

[5] Batanovic V., Petrovic D., Petrovic R., (2009). "Fuzzy logic based algorithms for maximum covering location problems", Information Sciences 179 (1–2), 120–129.

[6] Berman O., Wang J., (2011) "The minmax regret gradual covering location problem on a network with incomplete information of demand weights", European Journal of Operational Research 208 (3), 233–238.

[7] ReVelle C., Scholssberg, M., Williams J., (2008) "Solving the maximal covering location problem with heuristic concentration", Computers & Operations Research 35 (2) ,427–435.

[8] Curtin K.M., Hayslett K., Qiu F., (2007) " Determining optimal police patrol areas with maximal covering and backup covering location models", Networks and Spatial Economics 10 ,125–14.

[9] Rajagopalan H.K., Saydam C., Xiao J., (2008) "A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances", Computers & Operations Research 35 (3), 814–826.

[10] Schilling D.A., (1980) "Dynamic location modeling for public-sector facilities: a multicriteria approach", Decision Sciences 11 (4), 714–724.

[11] Gunawardane G., (1982) "Dynamic versions of set covering type public facility location problems", European Journal of Operational Research 10 (2), 190–195.

[12] Repede J.F., Bernardo J.J., (1994)"Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky", European Journal of Operational Research 75 (3), 567–581.

[13] Marianov V., Revelle C., (1994) "The queuing probabilistic location set covering problem and some extensions", Socio-Economic Planning Sciences 28 (3), 167–178.

[14] Gendreau M., Laporte G., Semet F., "(2001) A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation", Parallel Computing 27 (12), 1641–1653.

[15] Basar A., Catay B., Unluyurt T., (2011) "A multi-period double coverage approach for locating the emergency medical service stations in Istanbul", Journal of the Operational Research Society 62, 627–637.

[16] Ghaderi, A., & Jabalameli, M.S. (2013) "Modeling the budget-constrained dynamic uncapacitated facility location–network design problem and solving it via two efficient heuristics: a case study of healthcare", Mathematical and Computer Modeling, 57(3), 382–400.

[17] Nickel, S., & Saldanha da Gama, F. (2015) "Multi-period facility location. In Location science" (pp.289–310). Springer.

[18] Correia, I., & Saldanha da Gama, F. (2015). Facility location under uncertainty. In Location science (pp.177203). Springer.

[19] Taghavifard M., Dehghani M.H., Aghaei M, (2015). Development model to determine the optimal order with a choice of preferred suppliers and solved using genetic algorithm, NSGA-II, Management Researches in Iran, 19(2):66-89 (in Persian).

[20] Schutte J.F., Reinbolt J.A., Frgly B.J, Haftka, R.T., & George, A.D. (2004). Parallel global optimization with the particle swarm algorithm, International Journal for numerical Methods in Engineering, 61(13): 2296-2315.

[21] Parsopoulos K.E., & Vrahabits, M.M. (2004). On the computation of all global minimizers through particle swarm optimization, Evolutionary computation IEEE Transaction, 211-224.

[22] Mansori F., Abbasnejad T., Asgarpour H., (2016). Agile supply chain network design condition dependence on demand to price, Modern Researches in Decision Making, 2(1):180-206, (in Persian).