پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵

توسعه مدل چندهدفه مکان‌یابی مراکز امدادی در حالت احتمالی بودن دسترس‌پذیری

مقصود امیری[۱]، محمدتقی تقوی فرد[۲]، مجتبی آقایی[۳*]

۱-استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران
۲-دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی،تهران، ایران
۳-دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی ،تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۰

چکیده

در این مقاله از مسئله پوشش مجموعه به‌منظور مکان‌یابی مراکز اورژانس استفاده می‌شود. برای تعیین مکان بهینه این مراکز، از یک مدل توسعه‌یافته چندهدفه با در نظر گرفتن اهدافی چون کمینه‌سازی هزینه استقرار جایگاه‌های امدادی، حداکثرسازی کل جمعیت پوشش داده‌شده و حداقل‌سازی مجموع فواصل حمل‌ونقل از محل‌های تقاضا تا خدمت‌دهنده‌های اختصاص‌یافته به آنها استفاده شده و نیز از آنجا که هر یک از مراکز فقط دارای یک آمبولانس هستند و این آمبولانس‌ها در زمان ارائه سرویس دیگر در دسترس قرار نمی‌گیرند، محدودیت احتمالی برای این مدل در نظر گرفته می‌شود، بنابراین در این تحقیق، ترکیب روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه و مسئله پوشش مجموعه به‌منظور مکان‌یابی مراکز امدادی در محلات ۱۸گانه منطقه ۶ شهرداری تهران، مورد استفاده قرار گرفته می‌شود. روش حل انتخابی شبیه‌سازی تبرید تدریجی و اجرا به‌وسیله نرم‌افزار متلب است. در انتها، به‌منظور مقایسه با جواب‌های حاصل از الگوریتم شبیه‌ساری تبرید، مدل مربوط با الگوریتم فرا ابتکاری بهینه‌سازی انبوه ذرات نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که هر دو الگوریتم برای مکان‌های موردنظر به جواب‌های مشابه دست یافتند.

---

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: mojtaba_aghaei68@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

واژه‌های کلیدی: الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، برنامه‌ریزی چندهدفه، مسئله پوشش مجموعه.

۱- مقدمه

موضوع تخصیص و مکان‌یابی ایستگاه‌های امدادی به دلیل داشتن تأثیرات زیادی که بر نحوه خدمت‌دهی به مصدومان دارد، مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. انتخاب موقعیت مناسب برای استقرار تسهیلات، جستجویی است برای یافتن مکانی که بتوان با نیازهای خاص تسهیلات مربوط هماهنگ شود. نیازهای مربوط به استقرار یافتن و انتخاب موقعیت محل تسهیلات با توجه به معیارهای موردنظر مکان‌یابی[1] نامیده می‌شود [۱]. در این راستا مکان‌یابی تسهیلات خدمات شهری چون محل استقرار پایگاه‌های امدادی، پلیس، آتش‌نشانی فرایندی است که طی آن ظرفیت و قابلیت‌های یک محدوده مشخص، از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر تسهیلات شهری به‌منظور انتخاب مکانی مناسب برای کاربرد(های) خاص، مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. مسائل مذکور به این دلیل اهمیت دارند که معیارهای عملکردی سیستم از جمله مدت زمان انتظار مشتری را بهبود داده و می‌توانند منجر به نجات جان یک مصدوم شوند. در این تحقیق از مسئله پوشش مجموعه[2] که یکی از انواع مسائل مکان‌یابی است، استفاده می‌شود. مسئله پوشش مجموعه، حالتی از مسئله مکان‌یابی - تخصیص است که در آن گروهی از مشتری‌های دارای نیازمندی‌های معین جهت دریافت سرویس (خدمت) از تعدادی تسهیلِ موجودند و می‌خواهیم ترکیبی اتخاذ کنیم که حداقل یک تسهیل، مشتری را تحت پوشش قرار دهد چنان‌که کمینه هزینه حاصل شود. منظور از تحت پوشش قرار گرفتن، قرار گرفتن مشتری تحت دریافت خدمت از تسهیل است که ممکن است شروطی جهت معیار پذیرش مدنظر قرار گیرد؛ از آن جمله که مشتری در فاصله معین از خدمت‌دهنده قرار داشته باشد یا بیشتر از زمان معین نیاز به طی شدن فاصله بین مشتری تا خدمت‌دهنده نباشد که در این صورت گفته می‌شود مشتری توسط تسهیل تحت پوشش قرار دارد. قلمرو مکانی تحقیق شامل منطقه ۶ شهرداری تهران می‌شود. این منطقه با مساحتی معادل ۲۱/۲ کیلومتر مربع، حدود ۳/۲ درصد از سطح شهر را در بر می‌گیرد که از این نظر در رتبه سیزدهم مناطق شهر تهران قرار

Archive of SID

www.SID.ir

دارد. مساحت منطقه به ۶ ناحیه و ۱۸ محله تقسیم شده و بیش از ۳۰ درصد ساختمان‌های دولتی و خصوصی را در خود جای داده و به لحاظ موقعیت جغرافیایی در حوزه مرکزی شهر تهران واقع است. این منطقه از شمال به منطقه ۳، از شرق به منطقه ۷، از جنوب به مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ و از غرب به منطقه ۲ منتهی می‌شود. بزرگراه همت در شمال، بزرگراه چمران در غرب، بزرگراه مدرس در شرق و خیابان انقلاب در جنوب این منطقه قرار دارند.

۲- پیشینه و مبانی نظری تحقیق

بعضی از متخصصان (کارشناسان) معتقدند که منشأ مکان‌یابی تسهیلات به‌عنوان یک علم کلاسیک، پیر دفرمات[۳] (بنیان‌گذار تئوری اعداد و احتمالات)، اواگلستیکا توریسل[۴] (فیزیکدان و ریاضیدان ایتالیایی) هستند. اگرچه علم مکان‌یابی قدمتی طولانی در مسائل مکان‌یابی تک معیاره دارد، اما مشاهده می‌شود از زمانی که تصمیم‌گیری چند معیاره به علم مدیریت اضافه شد، این مفهوم (تصمیم‌گیری چند معیاره) در مسائل مکان‌یابی مورد استفاده قرار گرفته شده است [۲]. از آنجا که مدل استفاده شده در این مقاله (SCP) یکی از انواع مدل‌های مکان‌یابی است، در ذیل مرور کوتاهی بر مدل‌های مربوط به آن می‌شود.

با توجه به پیشینه و منشأ که در مبحث پوشش مجموعه وجود دارد، برای اولین بار حکیمی مسئله پوشش مجموعه را ارائه نمود [۳]. همچنین، اولین مدل ریاضی در پوشش مجموعه توسط تورِگاس[۵] و همکاران توسعه داده شد. آنها مدلسازی مکان تسهیلات سرویس اورژانس را به‌صورت زیر مورد بررسی قرار دادند:

i: شاخص مربوط به گره‌های تقاضا

j: شاخص مربوط به تسهیلات

$N_i = \{j \mid d_{ij} \le S\}$: مجموعه مکان‌های بالقوه درون s به‌طوری که

X_j: متغیر تصمیم دوتایی که نشان می‌دهد آیا تسهیل در نقطه j واقع گردد یا خیر

d_{ij}: مسافت بین گره i و تسهیل j

S: حداکثر مسافت سرویس‌دهی قابل قبول

مدل مربوط به‌صورت زیر است:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^{n} x_j \qquad (۱)$$

$$S.T:$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \qquad i = 1, \ldots, m \qquad (۲)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \qquad j = 1, \ldots, n \qquad (۳)$$

تابع هدف (۱) تعداد کل تسهیلات اختصاص یافته را مینیمم می‌کند. محدودیت (۲) نیازمندی‌های دریافت سرویس برای گره تقاضای i و محدودیت (۳) مربوط به صفر و یک بودن متغیر x_j است [۴].

با توجه به کتاب‌هایی که به تشریح مسئله پوشش پرداخته‌اند، این اعتقاد وجود دارد که فرانسیس و وایت، سهم قابل توجهی در این امر داشته‌اند. فرانسیس و وایت به‌خوبی مسئله پوشش را ارائه کرده و آن را به دو طبقه مهم طبقه‌بندی کردند. این دو که نیز طبقه‌بندی سنتی برای مدل‌های پوشش محسوب می‌شوند عبارتند از مسائل پوشش مجموعه[۶] و مسائل مکان‌یابی پوشش حداکثر[۷][۵].

بوفِی و نارولا[۸]، مدل‌های پوشش مسیر با تمرکز بر مدل‌های چند مسیره (به‌خصوص دو مسیره) را مورد بررسی قرار دادند. در بیشتر مسئله‌های پوشش، تسهیلات متناسب با منطقه استقرار خود در اندازه کوچک در نظر گرفته می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان نقاط فرض شوند. بنابراین می‌توان این مسائل را به‌عنوان پوشش نقطه نامگذاری کرد [۶].

در مسائل پوشش مجموعه، افزایش فاصله از تسهیل ارائه‌دهنده سرویس در ناحیه پوشش، موجب کم شدن سطح پوشش‌دهی می شد که اغلب محققان در مسئله مکان‌یابی تنها به عامل فاصله توجه می‌کنند، حال آنکه در دنیای واقعی معیارهای زیادی مثل جمعیت، دسترسی سریع و ... وجود دارد که باید علاوه بر فاصله در ارزیابی مکان‌یابی و تخصیص مورد نظر مورد توجه قرار گیرند،برای مثال در مکان‌یابی تسهیلات اورژانس نباید تنها به عامل فاصله توجه کرد [۷].

جعفرنژاد و همکاران، مسئله مکان‌یابی را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مورد پژوهش قرار دادند [۸].

Archive of SID

www.SID.ir

ریول[9] و هوگان، نسخه احتمالی SCP را ارائه کرده و آن را مسئله پوشش مجموعه احتمالی (PSCP)[10] ذکر کردند. مدل آنها جنبه‌های پویای مسائل پوشش به‌خصوص در تسهیلات اورژانس را مورد بررسی قرار می‌دهد. در تسهیلات اورژانس، برخی مواقع وسیله نقلیه زمانی که در حال سرویس‌دهی هستند، در دسترس نیستند [۹].

به‌منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت در یک SCP، وانگ و همکاران مدل پوشش مجموعه فازی را پیشنهاد دادند [۱۰]. همچنین ژانگ و همکاران[11] سه مدل کاربردی برنامه ریزی تصادفی فازی با در نظر گرفتن اهدافی چون کمینه کردن هزینه استقرار تسهیلات، بیشینه کردن دسترسی مشتریان به تسهیلات توسعه داده و برای حل آنها از الگوریتم‌های هوشمند ترکیبی شامل الگوریتم شبکه سیمپلکس، شبیه‌سازی تصادفی فازی، الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند [۱۱].

هاروود[12] از مکان‌یابی احتمالی سیستم‌های صف در مسائل پوشش مجموعه آمبولانس با مسافت‌های اقلیدسی و توابع اهداف ماکسیمم مجموع و مینیمم مجموع استفاده کرد [۱۲]. رحمتی و همکاران یک مدل مکان‌یابی- تخصیص دو هدفه با ثابت بودن مکان تهسیلات و تقاضای تصادفی با در نظر گرفتن کمینه‌سازی هزینه استقرار و زمان انتظار مشتریان را توسعه داده و برای حل آن از الگوریتم توسعه یافته ژنتیک استفاده کردند [۱۳]. در تحقیق آراز[13] و همکاران، یک مدل پوشش مبنای چندهدفه برای مسائل مکان‌یابی سرویس‌های امدادرسانی با فاصله‌های اقلیدسی که علاوه بر اهداف پوشش و اهداف پشتیبان پوشش، سطح سرویس‌دهی نیز یک هدف محسوب می‌شد، فرموله‌بندی و مورد بررسی قرار گرفت [۱۴].

با مرور پیشینه تحقیق، مطالعه تحقیقات و مقالاتی که در زمینه مکان‌یابی انجام شده است، چنین بر می‌آید که این زمینه یکی از موضوعاتی است که کاربرد فراوانی در دنیای واقعی دارد و زمینه انجام تحقیقات متعددی پیرامون آن فراهم است. می‌توان شباهت این پژوهش را با دیگر پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده است، در این دانست که در مکان‌یابی در نظر گرفتن به طور صرف یک هدف کافی نیست و باید اهدافی چون هزینه، سود، مسافت، زمان، پوشش و ... را در نظر گرفت. در این پژوهش نیز همانند دیگر پژوهش‌ها بیش از یک تابع هدف در نظر گرفته می‌شود ولی می‌توان وجه تمایز این تحقیق با تحقیقات پیشین را در ترکیب برنامه‌ریزی چندهدفه و پوشش مجموعه، در قالب مدل برنامه‌ریزی صفر و یک و نیز

Archive of SID

www.SID.ir

در نظر گرفتن حالت غیرقطعی بودن دسترس‌پذیری به وسایل نقلیه در مراکز امدادی دانست که در تحقیقات انجام شده این موارد به‌طور همزمان در قالب یک مدل برنامه-ریزی جامع، به کار نرفته است.

۳- روش‌شناسی تحقیق

۳-۱- بیان مسئله

ارائه روشی مناسب برای مکان‌یابی مراکز امدادی (فوریت‌های پزشکی) با در نظر گرفتن اهدافی چون کمینه‌سازی هزینه استقرار جایگاه‌های امدادی، حداکثرسازی کل جمعیت پوشش داده‌شده و حداقل‌سازی مجموع فواصل حمل‌ونقل از محل‌های تقاضا تا خدمت‌دهنده‌های اختصاص یافته به آنها در حالت احتمالی بودن دسترسی به وسایل نقلیه امدادی، مسئله اصلی این تحقیق است. منظور از مراکز امدادی در این تحقیق، کانکس‌هایی هستند که با در اختیار داشتن یک آمبولانس و دو کارمند مربوط به آمبولانس و یک کارمند مربوط به کادر دفتری در کانکس، مصدومان را از محل‌های مربوط به آن و با ارائه خدمات اولیه پزشکی به نزدیک‌ترین بیمارستان در اطراف مرکز مربوطه منتقل می‌کنند. این مراکز برای ارائه سرویس به افراد سانحه‌دیده ناشی از هر دو حوادث طبیعی (سیل، زلزله، طوفان و ...) و حوادثی مانند سوانح رانندگی، عارضه‌های قلبی و مغزی و ... تدارک دیده شده‌اند. در این تحقیق برای اتخاذ تصمیم مناسب بیش از یک هدف مدنظر قرار دارد. هدف اول کمینه‌سازی هزینه استقرار است که از دید مرکز اورژانس تهران این هدف می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین هدف در نظر گرفته شود، زیرا هزینه خرید زمین و نیز ساخت‌وساز این مراکز بسیار بالا است. بنابراین مجبور به استفاده از کانکس به‌جای ساختمان هستند که این کانکس‌ها می‌توانند تک اتاقه یا دو اتاقه باشند که هرکدام هزینه‌های متفاوتی می‌طلبند. هدف دوم حداکثرسازی کل جمعیت پوشش داده شده است. به علت ازدحام جمعیت در این محله و نیز در دسترس بودن صرفاً پنج مرکز اورژانس در این منطقه، نیاز است که با استفاده از این مراکز بیشترین جمعیت متقاضی تحت پوشش قرار گیرد. هدف سوم نیز در ارتباط با دسترسی و میزان فاصله متقاضیان تا مراکز اورژانس است، زیرا یکی از عوامل اصلی تلفات در افراد سانحه‌دیده دیر رسیدن و فاصله زیاد نسبت به مراکز اورژانسی است، بنابراین این هدف نیز از اولویت خاصی

Archive of SID

www.SID.ir

برخوردار است. با در نظر گرفتن موارد ذکر شده در رابطه با هر یک از این اهداف، از مدل MODM[۱۴] استفاده می‌شود و نیز با توجه با ماهیت مسئله مورد تحقیق که از نوع مکان‌یابی – تخصیص است، از یکی از روش‌های موجود در مکان‌یابی به نام پوشش مجموعه استفاده می‌شود. بنابراین با استفاده از ترکیب روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه و مسئله پوشش مجموعه، به دنبال مکان‌یابی مراکز امدادی در محلات ۱۸گانه منطقه ۶ شهرداری تهران هستیم. مسئله پوشش مجموعه مورد نظر، یک مسئله مکان‌یابی – تخصیص چندهدفه در قالب برنامه‌ریزی صفر و یک است. ازآن جایی که هر یک از مراکز فقط یک آمبولانس دارند و این آمبولانس‌ها در زمان ارائه سرویس دیگر در دسترس نیستند، محدودیت احتمالی برای این مدل به کار گرفته شده است. منظور از احتمالی بودن دسترسی‌پذیری نیز این است که براساس مشاهدات واقعی، خودروهای امدادی در هر تسهیل (پایگاه امدادی) به‌طور قطعی در دسترس نیستند، بلکه براساس احتمال p، خودروهای مورد نظر برای خدمت‌دهی آماده هستند، زیرا زمانی‌که این خودروها در حال خدمت‌دهی به سایر متقاضیان هستند، دیگر در دسترس قرار نمی‌گیرند [۱۵].

۳-۲- مفروضات مسئله

مسئله پوشش مجموعه را می‌توان هم به‌طور پیوسته و هم به‌طور گسسته تعریف نمود. هرگاه مسئله پوشش پیوسته مدنظر باشد؛ یعنی حالتی که سطحی از یک مسطح در جهت دریافت خدمات از تسهیل معینی با وزن‌های مشخص مشتری (منطقه) مدنظر قرار دارد. در این حالت برخلاف مسئله پوشش گسسته است که به طور لزوم در هر نقطه منتزع و به‌طور نقطه‌ای و غیر پیوسته، مشتری‌ها و تسهیل‌های موردنظر مسئله مستقر خواهند شد. در این تحقیق مسئله پوشش مجموعه گسسته مدنظر است. همچنین باید توجه داشت که هر مشتری هر چه قدر خدمات بخواهد می‌تواند بگیرد و یا به عبارت دیگر در ارائه خدمات از سوی تسهیلات به مشتریان محدودیتی وجود ندارد. هر تسهیل توانایی ادامه سرویس تا هر موقع را داراست. از این رو یک مشتری در یک لحظه می‌تواند تحت پوشش چندین تسهیل قرار بگیرد (لااقل تحت پوشش یک تسهیل قرار گیرد).

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۳- پارامترهای مسئله

پارامترهای به کار رفته در این تحقیق به شرح زیر هستند:

n: تعداد گره‌های تقاضا یا مشتریان (منطقه شش تهران دارای هجده محله است که هرکدام از این محلات به‌عنوان یک گره در نظر گرفته می‌شوند).

C_j: هزینه استقرار تسهیلات (برای هریک از مراکز اورژانس یک اتاقک فلزی، یک آمبولانس و سه کارمند (دو نفر در آمبولانس و یک نفر در کانکس) مورد نیاز است که با مراجعه به مرکز اورژانس تهران این هزینه‌ها در کل برای هر کانکس و تجهیزاتی که برای آن نیاز است، مبلغ ۴۶۰ میلیون برآورد شده است).

a_i: جمعیت مشتریان واقع در محل i (با مراجعه به مرکز بحران منطقه شش تهران واقع در پارک لاله اطلاعات مربوط به جمعیت هر یک از محلات جمع‌آوری شد).

d_{ij}: فاصله بین محله i و j $(i, j = 1, 2, \ldots, 18)$. (برای محاسبه فواصل بین محلات از نقشه تهران[۱۵] استفاده شده است).

P: تعداد تسهیلات موجود

α: حداقل احتمالی که تعداد افراد موجود در صف حداکثر معادل با b نفر باشند.

b: حداکثر تعداد افراد موجود در صف

f_i: نرخ مراجعه مشتریان محله i جهت دریافت خدمت از خدمت‌دهنده‌ها

μ: نرخ سرویس‌دهی به مشتریان در هر تسهیل

۳-۴- متغیرهای تصمیم

دو متغیر تصمیم مدل y_j و x_{ij} هستند که به‌صورت صفر و یک هستند. متغیر اول زمانی یک است که یک خدمت‌دهنده در محله j قرار گیرد و متغیر دوم زمانی مقدار یک به خود می‌گیرد که مشتریان واقع در محله i به خدمت‌دهنده واقع در محله j تخصیص یابند.

$$x_{ij} = \{0,1\}$$

Archive of SID

www.SID.ir

اگر مشتریان واقع در محله i تحت پوشش خدمت‌دهنده واقع در محله j قرار گیرند، برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر.

$$y_{ij} = \{0,1\}$$

اگر به منطقه j یک تسهیل تخصیص داده شود برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر.

۳-۵- مدل ریاضی مسئله

$$P_1 : \mathrm{Min}Z_1 = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} C_j Y_j \qquad (۴)$$

$$P_2 : maxZ_2 = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} a_i X_{ij} \qquad (۵)$$

$$P_3 : MinZ_3 = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} d_{ij} X_{ij} \qquad (۶)$$

$$X_{ij} \le Y_j \quad , \qquad (\forall i, j = 1,2,\ldots,n) \qquad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^{n} Y_j = P \qquad (۸)$$

$$P(j \le b) \ge \alpha, \quad \forall_j , \qquad (۹)$$

$$\sum_{i=1}^{n} f_i X_{ij} \le \mu^{b+2}\sqrt{1-\alpha} \quad \forall\ i = 1,\ldots,n$$

$$\sum_{j=1}^{n} e_{ij} Y_j \ge 1, \quad \forall\ i = 1,\ldots,n \qquad (۱۰)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$\sum_{j=1}^{n} S_{ij} Y_j \geq W_i, \quad \forall i = 1,\ldots,n \qquad (۱۱)$$

$$Y_j, X_{ij} \in \{0,1\} \quad (\forall i, j = 1,2,\ldots,n) \qquad (۱۲)$$

۳-۵-۱- توضیح مدل و محدودیت‌ها

تابع هدف اول، رابطه (۴) هزینه مستقر کردن تسهیلات مورد نظر را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم، رابطه (۵) کل جمعیت پوشش داده شده را حداکثر می‌کند. تابع هدف سوم، رابطه (۶) مجموع فواصل حمل‌ونقل از محل‌های تقاضا تا خدمت‌دهنده‌های اختصاص‌یافته به آنها را حداقل می‌کند.

محدودیت (۷) نشان‌دهنده این است که به طور صرف زمانی یک محل تقاضای i به یک تجهیز در محل j اختصاص می‌یابد که در آن محل واقعاً یک تجهیز قرار گرفته باشد. محدودیت (۸) بیانگر تعداد مراکز اورژانسی است که در اختیار داریم. محدودیت (۹) کیفیت سرویس‌دهی را با در نظر گرفتن تراکم تقاضا در هر سرویس‌دهنده تحت حداقل احتمال α بیان می‌کند که این محدودیت براساس نفرات موجود در صف عمل می‌کند [۱۶].

۳-۵-۲- غیرقطعی بودن دسترس‌پذیری

در این پژوهش به دنبال ارائه روشی مناسب برای جانمایی بهینه مراکز امدادی در حالت غیرقطعی بودن دسترس‌پذیری به تسهیلات بر مبنای مشاهدات واقعی هستیم. در مسائل پوشش مجموعه، پس از تعیین نقاط تقاضا به شناسایی نقاط کاندید برای پوشش مجموعه پرداخته می‌شود که با توجه به منابع مالی محدود مراکز امدادی، جانمایی پایگاه‌های امدادی باید با حداقل هزینه انجام گیرد. براساس مشاهدات واقعی، هر تسهیل (پایگاه امدادی) به‌طور قطعی در دسترس نیست، بلکه بر اساس احتمال p تسهیلات موردنظر برای خدمت‌دهی آماده می‌شوند، زیرا زمانی که تسهیلات در حال خدمت‌دهی به سایر متقاضیان (افراد سانحه دیده) هستند، دیگر در دسترس قرار نمی‌گیرند. برای تعیین میزان احتمال در دسترس بودن تسهیلات از سیستم‌های صف

Archive of SID

www.SID.ir

براساس نرخ‌های مراجعه و خدمت‌دهی غیرثابت و زمان مبنا استفاده شده است [۱۵]. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که هر متقاضی به‌وسیله حداقل یک تسهیل تحت پوشش قرار بگیرد. ولی در حالت غیرقطعی بودن دسترسی‌پذیری به محدودیت (۱۱) براساس الگوی زیر تبدیل می‌شود[۱۷]:

P_{ij}: احتمال پوشش متقاضی محل i توسط تسهیل مستقر در محل j

q_{ij}: احتمال عدم پوشش متقاضی محل i به‌وسیله تسهیل مستقر در محل j $(\forall i, j = 1, 2, \ldots, n)$

$$\sum e_{ij} Y_j \geq 1$$

$$P_{ij} = 1 - \prod_{j=1}^{n} q_{ij}$$

$$1 - \prod_{j=\theta(Y)} q_{ij} \geq l_i$$

l_i: حداقل میزان احتمالی است که مشتری i به‌وسیله تسهیلات در دسترس پوشش داده شود.

یا می‌توان نوشت:

$$1 - \prod_{j=\theta(Y)} q_{ij} = 1 - \prod_{j=1}^{n} q_{ij} Y_j \geq l_i$$

$$1 - \prod_{j=1}^{n} q_{ij} Y_j \geq l_i$$

$$-\prod_{j=1}^{n} q_{ij} Y_j \geq -(1 - l_i)$$

از طرفین مقدار یک کم می‌شود و با به‌کارگیری رابطه الگوریتمی:

$$\begin{cases} -\log q_{ij} = S_{ij} \\ -\log(1 - l_i) = W_i \end{cases} \Longrightarrow \sum S_{ij} Y_j \geq W_i$$

Archive of SID

www.SID.ir

۴- تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مسئله پوشش مجموعه مورد نظر در این تحقیق یک مسئله مکان‌یابی - تخصیص چندهدفه در قالب برنامه‌ریزی صفر و یک است. برای حل مدل از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده می‌کنیم.

۴-۱- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

در سال ۱۹۵۳، متروپلیس[۲۱۶] و همکاران، یک الگوریتم ساده برای شبیه‌سازی فرایند گرم کردن فلز و رساندن آن به تعادل گرمایی ارائه کردند. الگوریتم تبرید شبیه‌سازی، فرایند تبرید تدریجی را برای یک مسئله بهینه‌سازی، شبیه‌سازی می‌کند؛ بدین صورت که تابع هدف مسئله معادل انرژی یک ماده در نظر گرفته می‌شود و با تعریف یک دمای مجازی، این انرژی باید حداقل شود. دما در این الگوریتم یک پارامتر قابل کنترل است. در فرایند تبرید فلزات نخست فلز را گرم می‌کنند و به حالت مذاب در می‌آورند و سپس به‌آرامی سرد می‌کنند تا درنهایت ساختار کریستالی محکمی حاصل شود. الگوریتم SA تغییرات انرژی در فرایند تبرید را شبیه‌سازی می‌کند تا اینکه سیستم در حالت تعادل همگرا شود [۱۸].

۴-۲- مفاهیم اصلی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده

۴-۲-۱- دمای اولیه

اگر دمای اولیه بسیار بالا باشد، جستجو کم و بسیار تصادفی می‌شود. همچنین زمانی که دما بسیار کم باشد، جستجو به یک جستجوی محلی تبدیل می‌شود. بنابراین باید تعادلی بین این دو حالت ایجاد کنیم. دمای اولیه نباید خیلی بالا باشد، زیرا در این صورت برای تعداد تکرار زیادی، جستجوی تصادفی صورت می‌گیرد، اما در عین حال باید به‌اندازه کافی بالا باشد تا فضای جواب به‌خوبی جستجو شود. با توجه به پیشینه‌ای که در به‌کارگیری الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل مسائل مکان‌یابی وجود دارد، مقدار دمای اولیه را معادل با ۱۰۰۰ در نظر می‌گیریم.

---

[2] Metropolice

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۲- فرآیند کاهش دما

تعیین قانون و تابع کاهش دما و حرکت به سمت سرد شدن سیستم، نیازمند ضابطه‌ای است که به شکل معادله ۱۳ ارائه شده است:

$$T_i = \alpha(T_{i-1}),\ \forall\ i = 1, \ldots, n \qquad (۱۳)$$

α، ضریب تبرید یا ضریب کاهش دما است که ثابتی کمتر از یک بوده و معمولاً بین 0/5 تا 0/99 در نظر گرفته می‌شود، هرچند که مقدار آن بستگی به مسئله دارد (متروپلیس و همکاران، ۱۹۵۳). در نرم‌افزار ارائه‌شده امکان دریافت مقدار α به‌عنوان ورودی فراهم شده است و n تعداد دفعات کاهش دمای سیستم است که در برنامه کدینگ در مطلب امکان تغییر برای آن با عنوان مقدار ثابت بیشینه کاهش دما[17] در طول برنامه فراهم شده است [۱۹، ص ۹۶].

۴-۲-۳- تولید جواب‌های همسایه در الگوریتم SA

برای تولید جواب همسایه، الگوریتم به‌طور تصادفی تعدادی درایه از ماتریس مسئله که یک ماتریس صفر و یک ۱۸ در ۱۸ (۱۸ محل تقاضا و ۱۸ مکان برای تخصیص تسهیل) است، انتخاب می‌کند. تعداد درایه‌های موجود در این ماتریس ۳۲۴ (۱۸*۱۸) است، برای مثال برای ایجاد اولین همسایه به‌طور تصادفی درایه‌های ۱۵ تا ۳۵ انتخاب می‌شود. نحوه کار بدین صورت است که الگوریتم پس از انتخاب تصادفی درایه‌ها، اگر عدد درایه مربوط ۱ باشد، آن را تبدیل به ۰ و اگر ۰ باشد تبدیل به ۱ می‌کند. با این کار تعدادی همسایه جدید تولید می‌شود. سپس الگوریتم از بین همسایه‌های تولیدشده بهترین همسایه را شناسایی می‌کند.

در این مرحله ما یک جواب اولیه (قبلی) داریم که با توجه به آن یک مجموعه جواب (همسایه) تولید کردیم و یک بهترین همسایه که از بین همسایه‌های تصادفی تولیدشده انتخاب شده است. اگر این بهترین همسایه از جواب قبلی بهتر باشد، این همسایه جایگزین آن می‌شود و الگوریتم به همین روش به یافتن دیگر جواب‌های همسایه ادامه می‌دهد تا به بهترین جواب برسد ولی اگر بهترین جواب همسایه از

Archive of SID

www.SID.ir

جواب قبلی بهتر نباشد، برای پذیرش جواب همسایه از یک تابع به نام تابع بولتزمان استفاده می‌کنیم.

۴-۲-۴- تابع بولتزمان[۱۸]

تابع بولتزمان یکی از پرکاربردترین توابع در انتخاب جواب بدتر نسبت به جواب قبلی در الگوریتم SA است. منظور از جواب بدتر در این الگوریتم بدین گونه است:

در مسیر کاهش دما (حرکت به سمت جواب بهینه) این احتمال وجود دارد که در دام جواب بهینه محلی قرار گیرد. برای فرار از بهینه محلی و حرکت به سمت بهینه جهانی به‌ناچار الگوریتم یک دمای بیشتر (جواب بدتر) نسبت به دمای فعلی (جواب فعلی) را انتخاب می‌کند که احتمال پذیرش این جواب بدتر با استفاده از تابع بولتزمان محاسبه می‌شود. تابع پذیرش بولتزمان در الگوریتم‌های SA به‌صورت معادله ۱۴ تعریف می‌شود:

$$P(\Delta E, T) = e^{\frac{-\Delta E}{T}} > R \qquad (۱۴)$$

پس از کدنویسی مدل مربوطه در نرم‌افزار مطلب می‌توان هر سه تابع هدف را در یک تابع کلی ادغام کرد. شکل کلی این تابع هدف به‌صورت معادله ۳ است:

$$E = [z_1 z_2 z_3]' + sum(C) \qquad (۱۵)$$

z_1، z_2 و z_3 مقادیر مربوط به توابع اهداف اول، دوم و سوم هستند. لازم به ذکر است که برای تضمین برآورده شدن هر سه محدودیت در این مدل مقداری جریمه (ضرب یک عدد بزرگ مثلاً ۱۰۰۰۰۰۰۰ در محدودیت‌ها) در نظر گرفته شده است که درنهایت مجموع این مقادیر (جریمه‌ها (sum(C)) را به تابع هدف کل اضافه می‌کنیم. این کار باعث ایجاد یک مقدار بسیار زیاد برای تابع هدف می‌شود که منجر به جلوگیری از حرکت الگوریتم به این مقدار بسیار بد می‌شود و الگوریتم را در جهت بهینه سوق می‌دهد که در آن E مقادیر تابع هدف بوده و ΔE اختلاف مقدار تابع هدف جواب

Archive of SID

www.SID.ir

فعلی و جواب همسایه را نشان می‌دهد. T دمای فعلی و R یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است. با توجه به تابع بالا، چنان‌چه عدد تصادفی تولیدشده در هر تکرار از مقدار احتمال کمتر باشد، جواب همسایه را با وجود اینکه بدتر است، می‌پذیریم.

۴-۲-۵- معیارهای توقف الگوریتم

یکی از اجزای مهم الگوریتم طراحی‌شده جهت حل MOSCP، شرایط توقف الگوریتم است که در جهت پایان دادن به الگوریتم، پس از یافتن جواب‌های مؤثر با خطای پذیرفته‌شده پس از یک‌سری تکرارهای داخل الگوریتم (حلقه‌ها) است. این معیار در کل الگوریتم عبارت است از تعداد دفعات تغییرات سطح دمایی که مجاز اعلام شده است (تعداد کل تکرارها) که با عنوان MaxIter در الگوریتم از آن استفاده شده است [۱۹، ص۹۷]. اطلاعات مرتبط با دمای اولیه، دمای نهایی و دیگر پارامترهای مورداستفاده در الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مطابق با جدول ۱ هستند.

جدول ۱ مشخصات الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده

دمای اولیه	$T\mathbf{0} = \mathbf{1000}$
دمای نهایی	$Tf = \mathbf{0.001}$
تعداد جواب تولیدشده	$nsolution = 20$
تعداد همسایه	$nn = 10$
تعداد ماکزیمم تکرار الگوریتم	$maxiter = 300$

۴-۲-۶- تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از الگوریتم SA

- چندین بار اجرای الگوریتم (به‌طور تصادفی ۲۰ بار انتخاب شده است.)
- بررسی جواب‌های پارتو حاصل از هر بار اجرای الگوریتم و انتخاب تصادفی یک جواب از بین مجموعه جواب پارتو ناشی از هر بار اجرای الگوریتم
- رتبه‌بندی جواب‌های برتر با استفاده از روش MADM (برای این منظور از روش وزن‌دهی تجمعی ساده استفاده شده است)
- انتخاب برترین جواب از بین مجموعه جواب‌های رتبه‌بندی شده
- تخصیص مراکز امدادی به هر ناحیه براساس برترین جواب انتخاب شده

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۶-۱- گام اول

برای تجزیه و تحلیل نتایج نیاز است که چندین بار مدل مربوط را به‌وسیله الگوریتم SA اجرا شود. به این منظور به‌طور تصادفی تعداد ۲۰ بار ران کردن را انتخاب می‌کنیم. ازآن جایی که الگوریتم یک مجموعه جواب پارتو می‌دهد که براساس هر یک مقادیر این مجموعه، مقدار متفاوتی برای هر یک از توابع هدف منتج می‌شود، از این مجموعه جواب، یکی از جواب‌ها را به‌صورت تصادفی انتخاب می‌کنیم. مجموعه جواب‌های تصادفی انتخاب‌شده به قرار جدول ۲ هستند. در این جدول C_1, C_2, C_3 در ارتباط با مقادیر مربوط به توابع هدف اول تا سوم هستند.

جدول ۲ ماتریس تصمیم‌گیری

	C_1	C_2	C_3
A_1	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۱۸۵۱۷	۶۵۸۰۰
A_2	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۳۱۳۶۲	۶۸۳۶۰
A_3	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۲۰۵۷	۷۶۹۳۰
A_4	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۵۰۱۵۲	۷۳۳۷۰
A_5	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۳۴۰۹۸	۷۳۸۲۰
A_6	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۱۰۴۲۶	۷۰۳۴۰
A_7	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۵۹۹۹۴	۷۴۳۴۰
A_8	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۰۳۹۴۳	۶۹۵۶۰
A_9	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۴۴۶۰	۷۲۳۳۰
A_{10}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۲۹۱۵۴	۷۳۸۳۰
A_{11}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۴۴۴۸	۸۱۱۹۰
A_{12}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۵۲۸۵۱	۷۱۹۴۰
A_{13}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۲۴۴۳۱	۶۳۴۶۰
A_{14}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۳۷۹۱۷	۷۲۴۶۰
A_{15}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۲۷۲۲۷	۷۹۳۱۰
A_{16}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۶۹۷۰	۷۲۹۶۰
A_{17}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۳۵۳۳۰	۷۳۶۶۰
A_{18}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۱۸۷۸۱	۶۶۷۶۰
A_{19}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۸۸۴۸	۷۱۷۱۰
A_{20}	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۵۱۴۳	۶۶۶۱۰

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۶-۲- گام اول گام دوم: رتبه‌بندی جواب‌های برتر با استفاده از روش MADM

در این مرحله با استفاده از روش وزن‌دهی تجمعی ساده[۱۹] که یکی از روش‌های MADM است به رتبه‌بندی جواب‌ها، در جهت انتخاب بهترین جواب، اقدام می‌کنیم. دلیل استفاده از این روش برای رتبه‌بندی جواب‌ها این است که با توجه به ماهیت چندهدفه بودن مدل، جواب‌های حاصل پاره تو هستند و هر یک از این جواب‌های موجود در مجموعه جواب پاره تو مقادیر متفاوتی برای هر کدام از اهداف به دست می‌دهند و می‌توانیم هر یک از این اهداف را به‌صورت یک معیار در نظر گرفته و مقادیر مربوط به هریک از این اهداف که در مجموعه جواب به‌دست‌آمده را به‌عنوان مقادیر هرکدام از این معیارها در نظر بگیریم و درنتیجه با استفاده از روش saw به رتبه‌بندی این جواب‌ها بپردازیم.

روش SAW یکی از بهترین و مورداستفاده‌ترین روش‌های MADM است. این روش به‌وسیله مک کریمون در سال ۱۹۶۸ بیان شده است.اصول مباحث پایه از چرچمن و اکاف در سال ۱۹۵۴ و کلی در سال ۱۹۷۱ گرفته شده است. در این روش، تصمیم‌گیرنده برای هر یک از معیارها وزن‌های اهمیت در نظر می‌گیرد که ضرایب متغیر نامیده می‌شود. تصمیم‌گیرنده ماتریس تصمیم را مطابق با معیارها ایجاد کرده و آن را به‌صورت عددی (کمّی) بیان می‌کند. سپس می‌تواند به‌سادگی با ضرب ارزش هر معیار در وزن نشان داده‌شده معیار (در این تحقیق وزن مساوی ۰/۳۳۳ برای هرسه معیار در نظر گرفته شده است) ماتریس بی‌مقیاس شده موزون (جدول ۳) را به دست آورده و از جمع آنها یک مقدار نهایی برای هر آلترناتیو ایجاد نماید. بعد از اینکه وزن‌های نهایی هر آلترناتیو تخمین زده شد، آلترناتیو با بالاترین وزن (بالاترین متوسط وزن) برای تصمیم‌گیرنده به دست می‌آید.

جدول ۳ ماتریس بی‌مقیاس شده موزون

آلترناتیو	C_1	C_2	C_3	SUM	رتبه‌بندی
A_1	۰/۳۳۳	۰/۲۹۳	۰/۳۱۹	۰/۹۴۶	۵
A_2	۰/۳۳۳	۰/۳۲	۰/۳۱۶	۰/۹۴۹	۴
A_3	۰/۳۳۳	۰/۲۹۹	۰/۳۳۳	۰/۹۲۲	۹
A_4	۰/۳۳۳	۰/۳۲۶	۰/۲۹۳	۰/۹۴۲	۶
A_5	۰/۳۳۳	۰/۳۰۶	۰/۳۱۰	۰/۹۲۹	۸

Archive of SID

www.SID.ir

آلترناتیو	c_1	c_2	c_3	SUM	رتبه‌بندی
A_6	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۲۸۳	۰/۹۱۹	۱۰
A_7	۰/۳۳۳	۰/۳۲۳	۰/۲۹۳	۰/۹۴۹	۴
A_8	۰/۳۳۳	۰/۳۱۹	۰/۲۹۳	۰/۹۱۶	۱۱
A_9	۰/۳۳۳	۰/۲۹۶	۰/۳۱۶	۰/۹۴۶	۵
A_{10}	۰/۳۳۳	۰/۳۲۳	۰/۲۸۶	۰/۹۲۲	۹
A_{11}	۰/۳۳۳	۰/۳۲۰	۰/۲۹۰	۰/۹۱۲	۱۲
A_{12}	۰/۳۳۳	۰/۳۱۳	۰/۲۹۳	۰/۹۵۲	۳
A_{13}	۰/۳۳۳	۰/۳۰۹	۰/۲۸۶	۰/۹۶۶	۲
A_{14}	۰/۳۳۳	۰/۳۰۹	۰/۲۸۶	۰/۹۳۹	۷
A_{15}	۰/۳۳۳	۰/۳۱۶	۰/۲۷۳	۰/۹۰۲	۱۳
A_{16}	۰/۳۳۳	۰/۳۰۳	۰/۲۸۶	۰/۹۴۲	۶
A_{17}	۰/۳۳۳	۰/۲۸۶	۰/۳۰۰	۰/۹۲۹	۸
A_{18}	۰/۳۳۳	۰/۲۸۰	۰/۳۰۳	۰/۹۴۹	۵
A_{19}	۰/۳۳۳	۰/۳۱۹	۰/۲۵۹	۰/۹۴۹	۴
A_{20}	۰/۳۳۳	۰/۳۰۳	۰/۲۶۶	۰/۹۶۹	۱

۴-۲-۶-۳- گام سوم انتخاب برترین جواب از بین مجموعه جواب‌های رتبه‌بندی شده

رتبه‌بندی نهایی به‌دست‌آمده از روش SAW در ذیل (معادله ۱۶) آمده است:

$$A_{20} > A_{13} > A_{12} > A_2 = A_{19} = A_7 > A_{18} = A_9 = A_1 > A_{16}$$
$$A_{16} = A_4 > A_{14} > A_5 = A_{17} > A_3 = A_{10} > A_6 > A_8 > A_{11} > A_{15} \qquad (۱۶)$$

با توجه به نتایج حاصل از روش SAW، آلترناتیو بیستم (A_{20}) به‌عنوان برترین جواب انتخاب می‌شود. بنابراین با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده در آلترناتیو بیستم (بیستمین اجرای مدل) ماتریس مربوط به مکان‌هایی را که به آنها مرکز امدادی تخصیص یافته است، می‌توانیم در جدول ۴ مشاهده کنیم. لازم به ذکر است ازآنجا که ماتریس صفر و یک نهایی به‌دست‌آمده یک ماتریس ۱۸ در ۱۸ (۱۸ محله به‌عنوان مکان‌های تخصیص مراکز و ۱۸ محله به‌عنوان نقاط تقاضا برای دریافت خدمت) است برای سهولت درک، آن را به‌صورت جدول ۴ خلاصه کرده‌ایم.

Archive of SID

www.SID.ir

لازم به ذکر است محلات هجده‌گانه منطقه شش بدین قرار هستند:

شیراز (۱)، گاندی (۲)، آرژانتین (۳)، یوسف آباد- امیرآباد (۴)، غزل قلعه (۵)، جنت (۶)، شریعتی سیندخت (۷)، فاطمی (۸)، میدان جهاد (۹)، عباس‌آباد (۱۰)، قائم‌مقام صناعی (۱۱)، بهجت‌آباد (۱۲)، پارک لاله (۱۳)، کشاورز غربی (۱۴)، نصرت (۱۵)، دانشگاه تهران (۱۶)، میدان ولی‌عصر (۱۷) و ایرانشهر (۱۸).

با توجه به جدول ۵ می‌توان نتیجه‌گیری کرد که محلات ۴ (یوسف آباد-امیرآباد)، ۵ (غزل قلعه)، ۸ (شریعتی سیندخت)، ۱۳ (پارک لاله) و ۱۷ (میدان ولی‌عصر) به‌عنوان مکان‌های مناسب برای تخصیص مراکز امدادی انتخاب می‌شوند. سایر مکان‌هایی که توسط این مناطق پوشش داده می‌شوند نیز در جدول ۶ آورده شده‌اند.

جدول ۴ ماتریس صفر و یک مکان‌های تخصیص‌یافته

محلات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
مقدار	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰

جدول ۵ مکان‌های تخصیص‌یافته

مکان‌های تخصیص‌یافته (y_j)	۴، ۵، ۸، ۱۳، ۱۷

جدول ۶ مناطق پوشش‌یافته

مناطق تخصیص‌یافته (y_j)	مناطق تحت پوشش (x_{ij})
۴	۱، ۳، ۱۰، ۱۲
۵	۲، ۱۴
۸	۶، ۷، ۱۲، ۱۵، ۱۶
۱۳	۱۱، ۱۶، ۱۸
۱۷	۹، ۱۸

۴-۲-۶-۴- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات

برای بررسی و مقایسه جواب‌های الگوریتم استفاده‌شده در این پژوهش از الگوریتم فراابتکاری دیگری به نام بهینه‌سازی انبوه ذرات[۲۰] استفاده می‌کنیم.

Archive of SID

www.SID.ir

الگوریتم PSO براساس قوانین حاکم بر حرکت گروه‌های پرندگان و ماهیان نشأت گرفته است. در این حرکت گروهی، هر ذره تلاش می‌کند فاصله خاصی را نسبت به دیگر ذرات گروه ایجاد کرده و به‌مرور آن را بهبود بخشد.برای این هدف، هر ذره از سابقه حرکت‌های موفق و مؤثر گذشته خود که در حافظه‌اش ذخیره کرده است، بهره می‌برد. برای درک بهتر این روش، سناریوی زیر را در نظر بگیرید:

«دسته‌ای پرنده به‌طور تصادفی در محدوده خاصی به دنبال غذا می‌گردند. در این محدوده فقط یک تکه غذا وجود دارد و پرندگان هم از محل این غذا خبر ندارند، ولی در هرلحظه فاصله خود را با غذا می‌دانند.»

شبه کد این الگوریتم در نرم‌افزار مطلب به صورت شکل ۱ است:

```
For i = 1 to N_particles do
  Initialize randomly X_i
  Xpbest_i = X_i
  V_i = X_i     or V_i = 0
  fitness_i = f(X_i)
  pbest_i = fitness_i
  if fitness_i < gbest then
      Xgbest = X_i
      gbest = fitness_i
 end if
end for
repeat
    For i = 1 to N_particles do
      V_i = W V_i + c_1 r_1 (X_pbest_i - X_i) + c_2 r_2 (X_gbest - X_i)
      if V_i ∉ V_admissible then
          correct V_i
       end if
       X_i = X_i + V_i
       fitness_i = f(X_i)
       if fitness_i < pbest then
          X_pbest_i = X_i and pbest_i = fitness_i
      end if
      if fitness_i < gbest then
         Xgbest = X_i and gbest = fitness_i
   end if
 end for
until Termination criteria
```

شکل ۱ شبه کد الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۶-۵- نتایج بهینه‌سازی انبوه ذرات

پس از Run الگوریتم نتایج حاصل را به‌صورت زیر تفسیر می‌کنیم:

ماتریس مربوط به مکان‌هایی که به آنها مرکز امدادی تخصیص یافته است، براساس با جدول ۷ می‌باشد. لازم به ذکر است که این جواب، یک جواب تصادفی از مجموعه جواب پارتو حاصل از یک‌بار اجرای الگوریتم است. بنابراین با توجه به جدول ۸ مکان‌های مورد نظر برای تسهیل امدادی مطابق با جدول ۸ هستند. سایر مکان‌هایی که به‌وسیله این مناطق پوشش داده می‌شوند، نیز در جدول ۹ آورده شده‌اند.

جدول ۷ ماتریس صفر و یک مکان‌های تخصیص‌یافته

مکان y_j	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
مقدار	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰

جدول ۸ مکان‌های تخصیص‌یافته

مکان‌های تخصیص‌یافته y_j	4,5,8,13,17

جدول ۹ مناطق پوشش‌یافته

مناطق تخصیص‌یافته y_j	مناطق تحت پوشش x_{ij}
۴	3,10,14,15,18
۵	1,2,9,15,16,
۸	2,11,14
۱۳	1,6,10,12
۱۷	3,6,7,9,10,11,14

۴-۲-۶-۶- مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های SA و PSO

برای مقایسه نتایج مربوط به الگوریتم‌های SA و PSO به‌طور تصادفی هر الگوریتم را ۲۰ بار Run کرده و با استفاده از میانگین کل به بررسی نتایج می‌پردازیم. نتایج حاصل به قرار جدول ۱۰ هستند. از آن جایی که هزینه استقرار تعداد ۵ مرکز در هر دو الگوریتم ثابت و با یکدیگر برابر هستند، هر دو تابع در هر دو الگوریتم به مقدار

Archive of SID

www.SID.ir

مشابه ۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰ دست یافتند. تابع هدف دوم که برابر با حداکثرسازی کل جمعیت پوشش داده‌شده است، در الگوریتم SA به مقدار مناسب‌تری (۳۳۵۳۰۶) نسبت به الگوریتم PSO (۳۱۲۰۵۵) دست یافته است و یا به عبارتی مقدار تابع هدف را نسبت به مقدار تابع هدف در الگوریتم PSO به میزان ۱۳درصد بهبود داده است. برخلاف تابع هدف دوم که در الگوریتم SA به مقدار مناسب‌تری دست یافت، تابع هدف سوم که حداقل‌سازی مجموع فواصل حمل‌ونقل از محل‌های تقاضا تا خدمت‌دهنده‌های اختصاص‌یافته به آنها است، در الگوریتم PSO به مقدار بهینه (۵۷۱۸۰) نسبت به الگوریتم SA (۷۱۹۳۷) دست یافت و یا به عبارتی مقدار تابع هدف را نسبت به مقدار هدف در الگوریتم SA به میزان ۲۱ درصد بهبود داده است.

۴-۲-۶-۷- تجزیه‌وتحلیل تغییر در پارامترها و نتایج آن

در جدول ۱۱، به بررسی و تحلیل تغییر در پارامترهای ورودی به مسئله پرداخته شده است .در این بررسی، تغییرات در پارامتر های P(تعداد تسهیلات در دسترس) و b(تعداد افراد موجود در صف) لحاظ شدند. در ارتباط با پارامتر b که تعداد افراد موجود در صف را نشان می دهد، لازم به ذکر است – همان طور که در آغاز اشاره شد– این مراکز فقط یک آمبولانس دارند، بنابراین طبیعی است زمانی که هرکدام از این آمبولانس‌ها به مأموریت اعزام شده باشند، با مراجعه مصدومان، به دلیل نبود آمبولانس صف تشکیل می‌شود. نتایج مربوط به این تغییرات در قسمت نتیجه‌گیری به طور کامل بیان شده است.

۴-۲-۶-۸- تغییر در تعداد افراد موجود در صف

در این حالت تعداد مراکز تخصیص‌یافته را پنج در نظر گرفته و مقادیر توابع هدف با در نظر گرفتن تعداد افراد موجود در صف ۱ و ۲ به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که کاهش تعداد افراد در صف از عدد ۲ به عدد ۱، باعث بهبود هر دو تابع هدف دوم و سوم به‌ترتیب به میزان ۶ درصد و ۱۴درصد شده است. همچنین در حالتی که تعداد مراکز تخصیص‌یافته را ۳ تسهیل در نظر گرفته و مقادیر توابع هدف را با در نظر گرفتن تعداد افراد در صف (۱ و ۲ نفر) محاسبه نمودیم. تابع هدف اول به میزان ۴۰ درصد، تابع هدف دوم به میزان ۶ درصد بهبود یافته ولی تابع هدف سوم ۱۵درصد از جواب بهینه در حالت ۲ نفر در صف دورتر شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۶-۹- تغییر در تعداد تسهیلات در دسترس

در حالت اول تعداد تسهیلات در دسترس را از ۵ تسهیل به ۳ تسهیل کاهش داده و این نتیجه حاصل شد: ۴۰درصد بهبود در تابع هدف اول، ۱۶درصد افزایش در جهت نامطلوب (دور شدن از جواب بهینه) در تابع هدف دوم و ۳۸درصد بهبود در تابع هدف سوم. در حالت دوم تعداد تسهیلات در دسترس را از ۵ تسهیل به ۶ تسهیل ارتقا داده شد و به این نتیجه به دست آمد: ۱۷درصد افزایش در تابع اول در جهت نامطلوب، ۲۲درصد بهبود در تابع هدف دوم و ۱۸ درصد افزایش در تابع هدف سوم در جهت نامطلوب.

جدول ۱۰ نتایج مقایسه الگوریتم SA و PSO

الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات					الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده					
هدف ۳	هدف ۲	هدف ۱	زمان	دفعات Run	هدف ۳	هدف ۲	هدف ۱	زمان	دفعات Run
۶۴۱۷۰	۳۱۴۰۱۲	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۸,۴۴	۱	۶۵۸۰۰	۳۱۸۵۱۷	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۳۳,۷۷	۱
۵۹۵۹۰	۳۳۷۱۱۲	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۰۳	۲	۶۸۳۶۰	۳۳۱۳۶۲	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۵,۸۵	۲
۵۵۴۲۰	۳۱۵۷۴۲	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۸,۲۸	۳	۷۶۹۳۰	۳۴۲۰۵۷	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۴,۱۵	۳
۵۶۱۲۰	۲۹۱۹۹۸	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۷۷	۴	۷۳۳۷۰	۳۵۰۱۵۲	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۱,۵۲	۴
۵۲۳۷۰	۳۰۷۵۷۴	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۰۵	۵	۷۳۸۲۰	۳۳۴۰۹۸	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۶,۴۵	۵
۶۲۵۶۰	۳۱۸۲۹۶	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۹,۳۲	۶	۷۰۳۴۰	۳۱۰۴۲۶	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۳,۵	۶
۵۰۴۳۰	۲۹۰۱۸۸	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۱۳	۷	۷۴۳۴۰	۳۵۹۹۹۴	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۵,۶	۷
۴۹۱۷۰	۲۷۷۹۵۷	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۶,۲۱	۸	۶۹۵۶۰	۳۰۳۹۴۳	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۷,۱۳	۸
۶۱۹۷۰	۳۲۶۸۶۲	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۱۷	۹	۷۲۳۳۰	۳۴۴۴۶۰	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۳۵,۳۲	۹
۳۸۶۳۰	۲۸۷۶۴۰	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۶,۴۷	۱۰	۷۳۸۳۰	۳۲۹۱۵۴	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۴۰,۱	۱۰
۶۱۸۳۰	۳۱۹۸۴۵	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۲۳	۱۱	۸۱۱۹۰	۳۴۴۴۸	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۱,۲۹	۱۱
۶۰۶۳۰	۲۹۵۴۴۰	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷	۱۲	۷۱۹۴۰	۳۵۲۸۵۱	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۲,۷۵	۱۲
۶۴۲۶۰	۲۹۷۳۹۳	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۵۶	۱۳	۶۳۴۶۰	۳۲۴۴۳۱	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۳,۳۵	۱۳
۵۵۶۶۰	۳۳۰۱۶۸	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۶,۸۴	۱۴	۷۲۴۶۰	۳۳۷۹۱۷	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۲,۵۱	۱۴
۵۳۴۴۰	۳۱۹۷۱۶	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۰۶	۱۵	۷۹۳۱۰	۳۲۷۲۲۷	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۴,۸	۱۵
۵۵۱۲۰	۳۳۲۴۲۶	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۶,۶۹	۱۶	۷۲۹۶۰	۳۴۶۹۷۰	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۸,۹۴	۱۶
۵۵۵۲۰	۲۸۹۹۱۰	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۷,۶	۱۷	۷۳۶۶۰	۳۳۵۳۳۰	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۰,۰۱	۱۷
۶۰۳۰۰	۳۱۴۹۰۰	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۶,۸۱	۱۸	۶۶۷۶۰	۳۱۸۷۸۱	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۰,۶۶	۱۸
۵۳۴۷۰	۳۱۱۸۲۲	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۵,۹۵	۱۹	۷۱۷۱۰	۳۴۸۸۴۸	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۲,۷۸	۱۹
۷۲۹۴۰	۳۶۲۰۸۷	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۶,۵۸	۲۰	۶۶۶۱۰	۳۴۵۱۴۳	۲۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۰,۷۸	۲۰
۵۷۱۸۰	۳۱۲۰۵۵	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۷,۲۱	میانگین کل	۷۱۹۳۷	۳۳۵۳۰۶	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۱,۰۶	میانگین کل

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۱ بررسی تأثیر تغییر در پارامترهای مدل

ردیف	p	b	α	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم	زمان حل
۱	۵	۲	۰,۸۵	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۲۴۷۸۴	۷۷۸۱۰	۳۵,۵۶
۲	۵	۱	۰,۸۵	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۴۴۵۵	۶۷۰۰۰	۲۰,۲۲
۳	۵	۲	۰,۷۵	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۱۵۸۴۴	۷۵۴۰۰	۲۳,۶۷
۴	۳	۲	۰,۸۵	۱۳۸۰۰۰۰۰۰۰	۲۷۳۲۵۷	۴۸۹۶۰	۱۵,۷۷
۵	۳	۱	۰,۸۵	۱۳۸۰۰۰۰۰۰۰	۲۸۶۳۰۰	۵۷۴۴۰	۲۹,۷
۶	۵	۳	۰,۸۵	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۳۷۳۵۲	۷۲۲۹۰	۱۰,۳۲
۷	۵	۳	۰,۷۵	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۰۷۶۶	۷۰۱۶۰	۲۱,۲۸
۸	۶	۲	۰,۸۵	۲۷۶۰۰۰۰۰۰۰	۴۱۵۵۸۰	۹۴۸۶۰	۱۸,۹۸
۹	۶	۳	۰,۸۵	۲۷۶۰۰۰۰۰۰۰	۳۹۸۶۰۳	۸۶۵۸۰	۱۰,۷۹
۱۰	۶	۱	۰,۸۵	۲۷۶۰۰۰۰۰۰۰	۳۵۸۰۳۸	۸۷۴۷۰	۱۲,۱

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای مکان‌یابی پنج مرکز امدادی (فوریت‌های پزشکی) در سطح منطقه شش تهران- که دارای هجده محله است - از یک مدل توسعه‌یافته چندهدفه با در نظر گرفتن اهدافی چون کمینه‌سازی هزینه استقرار جایگاه‌های امدادی، حداکثرسازی کل جمعیت پوشش داده شده و حداقل‌سازی مجموع فواصل حمل‌ونقل از محل‌های تقاضا تا خدمت‌دهنده‌های اختصاص‌یافته به آنها در حالت احتمالی بودن دسترسی به وسایط‌نقلیه استفاده شد. منظور از احتمالی بودن در این تحقیق، احتمالی بودن دسترس‌پذیری به آمبولانس‌های این مراکز است، زیرا هر مرکز فقط یک آمبولانس دارد و زمانی که این آمبولانس در حال انتقال مصدومان به بیمارستان است با رجوع مصدومان به همان مرکز صف تشکیل شده و مصدمان با یک احتمال مشخص به این آمبولانس‌ها دست پیدا می‌کنند. برای حل این مدل از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی و نرم‌افزار مطلب استفاده شد و نیز الگوریتم فرابتکاری بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) برای مقایسه نتایج، مورد استفاده قرار گرفت.

پس از اجرای مدل، مکان‌های مناسب برای تخصیص مراکز امداد در هر دو الگوریتم مشابه یکدیگر بودند. اما در ارتباط با محلاتی که تحت پوشش این ۵ تسهیل

Archive of SID

www.SID.ir

که در محلات ۴ (یوسف آباد-امیرآباد)، ۵ (غزل قلعه)، ۸ (شریعتی سیندخت)،۱۳ (پارک لاله) و ۱۷(میدان ولی‌عصر) استقرار یافتند، تفاوت مشاهده می‌شود.

همچنین به‌عنوان نتیجه کلی که از مقایسه جواب‌های هر دو الگوریتم حاصل می‌شود می‌توان عنوان کرد که ازآن جایی که هر دوی این الگوریتم چون در تمامی توابع هدف به‌طور همزمان از دیگر الگوریتم برتری ندارند، بنابراین انتخاب هرکدام از این دو الگوریتم بستگی به میزان اهمیتی دارد که مرکز اورژانس تهران در راستای استقرار هر پایگاه امداد برای هرکدام از توابع هدف به‌صورت مجزا در نظر می‌گیرد، به طور مثال اگر میزان اهمیت هدف حداکثر پوشش از هدف حداقل فواصل بیشتر باشد پیشنهاد محقق این است که از الگوریتم SA برای حل مدل استفاده گردد و یا اگر میزان اهمیت هدف حداقل فواصل از هدف حداکثر پوشش بیشتر باشد الگوریتم PSO برای حل این مدل پیشنهاد می‌گردد.

۵-۱- پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده

به‌منظور انجام تحقیقات آتی در این زمینه مورد زیر پیشنهاد می‌شود:

* در این تحقیق یک نوع تقاضا (تقاضا برای فوریت‌های پزشکی) در نظر گرفته شد. می‌توان با اضافه کردن متغیرها و محدودیت‌هایی، مدل دیگری برای یافتن مکان مناسب در حالتی که تسهیل با چند نوع تقاضا مواجه است، به کار برد.

۶- پی‌نوشت

1. Location
2. Set Covering problem
3. Pierre de fermat
4. Evagelistica torricelli
5. Toregas
6. Set covering problems
7. Maximal covering location problems
8. Boffey & Narula
9. ReVelle
10. Probabilistic Location Set Covering Problem
11. Zhong et al.
12. Harewood
13. Araz
14. Multi Objective Decision Making

Archive of SID

www.SID.ir

15. www.tehmap.ir
16. Metropolice
17. Maximum Temperature Decrease
18. Boltzmann
19. SAW
20. PSO

۶- منابع

[1] Syam Siddhartha S. (2008) "A multiple server location-allocation model for service system design", *Computers & Operations Research*, 35: 2248-2265

[2] Zanjirani Farahani Reza, Maryam SteadieSeifi, Nasrin Asgari (2010), "Multiple criteria facility location problems: A survey", *Applied Mathematical Modeling*, 34: 1689–1709.

[3] Hakimi, S. L. (1965) "Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems", *Operations Research*, 13: 462–475.

[4] Toregas C., Swain R., ReVelle C., Bergman L. (1971) "The location of emergency services facilities", *Operations Research*, 19: 1363–1373.

[5] Francis R. L., White J. A. (1974) *Facility layout and location an analytical approach* (1st ed), Englewood Cliffs, NJ, US: Prentice-Hall.

[6] Boffey B., Narula S. C. (1998) "Models for multi-path covering-routing problems", *Annals of Operations Research*, 82: 331–342.

[7] Jafarnezhad A., Esmaeilian M., Rezvani M. (2007) "Locating distribution centers using nonlinear integer programming model". *Journal of Management Research in Iran.*12, 1 (56):105-125.(in Persian).

[8] Bashiri M., Garmeh'ei Y. (2013) "Solving multi-criteria gradual coverage problem using Simulated Annealing and Neural Network", *Journal of Management Research in Iran,* 17(4): 25-41.(in Persian).

[9] ReVelle C., Hogan K. (1989b) "The maximum reliability location problem and alpha-reliable p-center problems: Derivatives of the probabilistic location set covering problem", *Annals of Operations Research*, 18: 155–174.

[10] Wang J. Ghosh R. K., Daskin S. (2010) "A survey on sensor localization", *Journal of Control Theory and Applications*, 8 (1): 2–*11*.

Archive of SID

www.SID.ir

[11] Zhong Sh., Chen Y., Zhou J. (2015) "Fuzzy random programming models for location-allocation problem with applications", *Computers & Industrial Engineering*, 89: 194–202.

[12] Harewood S.I. (2002) "Emergency ambulance deployment in Barbados: A multi-objective approach", J. Oper. Res. Soc. 53 (2): 185–192 (Part Specialissue: The Process of OR).

[13] Rahmati A., Ahmadi A., Sharifi M., Chambari A. (2014) "A multi-objective model for facility location–allocation problem with immobile servers within queuing framework", *Computers & Industrial Engineering*, 74:1–10.

[14] Araz C., Selim H., Ozkarahan I. (2007) "A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services", *Comput*. Oper, Res. 34: 705–726.

[15] Harewood S.I. (2002) "Emergency ambulance deployment in Barbados: a multi-objective approach", *J. Oper*. Res. Soc. 53 (2): 185–192 (Part Specialissue: The Process of OR).

[16] Amiri M., Alipour M., Heidari M. (2012) "Genetic and memtic algorithms for a fuzzy queuing maximal covering location-allocation model for congested systems with multiple demands", *Journal of Industrial and Engineering Management*, 1-28(2): 15-25. (in Persian).

[17] Stolletz R. (2008) "Approximation of the non-stationary M (t)/M (t)/c (t)-queue using stationary queuing models: The stationary backlog carryover approach", *European Journal of Operational Research*, 190: 478-493.

[18] Fattahi P. (2011) "Metaheuristic algorithm", Second Edition, Bu-Ali Sina University Press, Tehran. (In Persian).

[19] Shahsavari A., Taghavifard M. T. (2008) Solving multi-objective location-allocation problems using simulated annealing". IJIEPM. ,19 (4) :93-105.

Archive of SID

www.SID.ir