International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

December 2017, Volume 28, Number 4
Pp 573- 585

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Mathematical Model for Maximal Covering Location with Backup Facility and Dynamic Approach in Emergency Time

Parviz Fattahi*, Hassan Bagheri & Samaneh BabaeiMorad

Parviz Fattahi, *Associated professor of Industrial Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran*
Hassan Bagheri, *M.sc of Industrial Engineering, Bu-Ali-Sina University, Hamadan, Iran*
Samaneh BabaeiMorad, *M.sc of Industrial Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran*

Keywords

Backup covering;
Dynamic location;
Ambulance location;
Capacity constraints;
Population based on simulated annealing algorithm

ABSTRACT

In this paper, a model is presented to locate ambulance, considering backup facility (to increase reliability) and ambulance capacity constraint. This model is designed for emergencies (war or natural disasters). In this model the covered demand for each demand point depends on the number of coverage times and demand amount. The demand amount and ambulance coverage radius are considered dynamic in various periods, regarding the conditions and model application. Ambulances have capability of being re-located in different periods. In this model we have considered two kinds of ambulances to locate: ground and air ambulance. Air ambulances are considered as backup facilities. Ground ambulances are supposed to be main facilities, considering capacity limitations. To solve this model, making chromosomes (initial solution) is presented in a way that location chromosome for both ground and air ambulances are presented as a general chromosome. Since this is a complicated model, a population based simulated annealing (PBSA) algorithm is used with a chromosome combinatorial approach to solve it. At last, the results of presented algorithm to solve the model are compared to simulated annealing (SA) algorithm. The results showed the quality (objective) of presented algorithm (PBSA) is better than SA algorithm.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 4, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۸، زمستان ۱۳۹۶
صفحـــه ۵۷۴- ۵۸۵

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه مدل ریاضی برای مکان‌یابی حداکثر پوششی با داشتن تسهیلات پشتیبان و رویکرد پویا برای مواقع اضطراری

پرویز فتاحی*،حسن باقری و سمانه بابایی مراد

کلمات کلیدی

مکان‌یابی پوششی پشتیبان، مکان‌یابی پویا، مکان‌یابی آمبولانس، قابلیت اطمینان، محدودیت ظرفیت، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید.

چکیده:

در این پژوهش، مدلی برای مکان‌یابی آمبولانس‌ها با در نظر گرفتن وسیله پشتیبان (برای بالا بردن قابلیت اطمینان) و محدویت ظرفیت برای آمبولانس‌ها زمینی ارائه شده است. این مدل برای مواقع اضطراری (جنگ و بلایای طبیعی) در نظر گرفته شده است. در این مدل مقدار تقاضای پوشش داده شده برای هر نقطه تقاضا وابسته به تعداد دفعات پوشش توسط تسهیلات و مقدار تقاضا می‌باشد. مقدار تقاضا و شعاع پوشش آمبولانس‌ها در دوره‌های مختلف با توجه به شرایط و کاربرد مدل، پویا در نظر گرفته شده است. آمبولانس ها قابلیت مکان‌یابی مجدد در دوره‌های مختلف را دارا می‌باشند. در این مدل دو نوع آمبولانس زمینی و هوایی برای مکان‌یابی در نظر گرفته شده است. آمبولانس‌های هوایی به عنوان آمبولانس‌های پشتیبان در نظر گرفته شده است. آمبولانس‌های زمینی و هوایی به عنوان آمبولانس‌هایی با داشتن محدودیت ظرفیت در نظر گرفته شده است. برای حل این مدل، کروموزوم سازی (تولید جواب اولیه) به شیوه‌ای ارائه شده است که کروموزوم مکان‌یابی برای آمبولانس‌های زمینی و هوایی در یک کروموزوم کلی ارائه شده است. این مدل چون یک مدل پیچیده‌ای می‌باشد برای حل آن از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر جمعیت [1]با رویکرد کروموزوم تلفیقی استفاده شده است. در نهایت نتایج الگوریتم ارائه شده برای حل مدل با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید[2] مقایسه شده است. نتایج نشان داده کیفیت الگوریتم ارائه شده نسبت به الگوریتم شبیه سازی تبرید بهتر می‌باشد.

۱. مقدمه

با پیشرفت علم و امکانات، جنگ و بلایای طبیعی نیز روبه رشد می باشد و تقاضا برای خدمات اورژانسی برای حفاظت از جان و اموال مردم و محیط زیست نیز افزایش می‌یابد. این موضوع یکی از نگرانی های مهم مردم در نواحی شهری و روستایی می‌باشد. اهمیت این موضوع باعث شده که اخیراً دانشمندان زمینه بهینه-سازی به این موضوع توجه بیشتری از خود نشان دهند.

تاریخ وصول: ۹۵/۲/۱

تاریخ تصویب: ۹۶/۱/۲۱

حسن باقری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

سمانه بابایی مراد، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی ،تهران

*نویسنده مسئول مقاله: **پرویز فتاحی** ، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه الزهراء، تهران، p.fattahi@alzahra.ac.ir

در این زمینه مدل‌های زیادی ارائه شده است. اکثر مدل‌هایی که در این زمینه ارائه شدند هدف آنها مجموع تقاضاهایی که پوشش داده نمی‌شوند حداقل شود 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 که نقاط پوشش آن منطبق برهم هستند را حداقل کند و سومی تعیین معقول ترین تعداد ایستگاه با تعادل برقرار کردن بین هزینه‌ی از دست دادن تقاضای برآورده نشده و هزینه‌ی ایجاد ایستگاه‌ها می‌باشد. یکی از مشهورترین مدل‌های مکان‌یابی از اوایل علم مکان‌یابی به آن پرداخته شده است، مساله مکان‌یابی پوششی[3] است. این مدل به دنبال راه حل‌هایی است که مجموعه‌ای از نقاط تقاضا را با توجه به اینکه یک یا چند هدف موجود می‌باشد، پوشش دهد. مساله پوشش به دو دسته کلی تقسیم می‌شود، مساله مکان‌یابی حداکثر پوششی[4] و مساله مکان‌یابی پوششی کل[5]. بدون توجه به نوع

مساله، یک جمعیت زمانی پوشش داده شده تلقی می‌شود که در یک فاصله زمانی یا مکانی از پیش تعیین شده‌ای نسبت به یک یا چند تسهیل قرار گرفته باشد. هدف مکانیابی پوششی کل پوشش دادن تمام نقاط تقاضا با حداقل تسهیلات ممکن است، در حالی که مکانیابی پوششی جزئی به پوشش دادن حداکثر نقاط تقاضا با تعداد تسهیل از پیش تعیین شده‌ای می‌پردازد. مکانیابی پوششی جزئی برای اولین بار بر روی شبکه معرفی شد[۱]. از آن زمان به بعد، کاربردها و توسعه‌های تئوریک متعددی روی مدل کلاسیک مکانیابی پوششی جزئی ارائه شده است. در مسئله پوشش پشتیبان یک نقطه تقاضا توسط چندین تسهیل پوشش داده می‌شود تا در صورت مشغول بودن یک تسهیل دیگری بتواند تقاضای آن را برآورد کند. در مدل‌های ارائه شده در زمینه‌ی مکانیابی پوششی پشتیبان در حالت قطعی و احتمالی ارائه شدند ولی در زمینه‌ی مکان‌یابی پوشش پشتیبان پویا و احتمالی مدلی ارائه نشده است در حالی که در واقعیت مقدار تقاضاها و شعاع پوشش با توجه به ترافیک در دوره‌های مختلف در حال تغییر می‌باشد. اولین مزیت مدل پیشنهادی با توجه به واقعیت، وابستگی مقدار پوشش تقاضا برای نقاط تقاضا به تعداد دفعات پوشش توسط تسهیلات و مقدار تقاضا می‌باشد. دومین مزیت مدل پیشنهادی نسبت به مدل‌های ارائه شده در زمینه‌ی پوششی پشتیبان به این صورت می‌باشد که مدل به صورت پویا می‌باشد یعنی مقدار تقاضا و شعاع پوشش در دوره‌های مختلف به صورت پویا و همچنین احتمال مشغول بودن تسهیلات نیز در نظر گرفته شده تا مطابق واقعیت باشد. مزیت سوم مدل در نظر گرفتن پوشش پشتیبان آمبولانس‌های هوایی برای آمبولانس های زمینی می‌باشد که ظرفیت آمبولانس‌های زمینی و هم هوایی (پشتیبان) محدود در نظر گرفته شده است که تا در صورت مشغول بودن یک تسهیل زمینی از تسهیل هوایی استفاده شود. در این مدل با توجه به متغیر بودن مقدار تقاضا و شعاع پوشش در دوره‌های مختلف برای حداکثر کردن مقدار پوشش تقاضاها در کل دوره آمبولانس‌های زمینی و هوایی (پشتیبان) در دوره‌های مختلف قابلیت جابجایی را دارند. بخش های بعدی این مقاله به اینصورت می‌باشد که در بخش ۲ مروری بر کارهای گذشته در زمینه خدمات اورژانسی ارائه خواهد شد. در بخش ۳ ارائه مدل پیشنهادی و توضیح کاملی در مورد مدل آورده خواهد شد. در بخش ۴ در مورد الگوریتم پیشنهادی توضیحی آورده شده است در بخش ۵ در مورد تنظیم پارامتر الگوریتم پیشنهادی اشاره شده است. در بخش ۶ مثال‌های عددی آورده شده است و در بخش ۷ نتیجه گیری از پژوهش بیان شده است.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

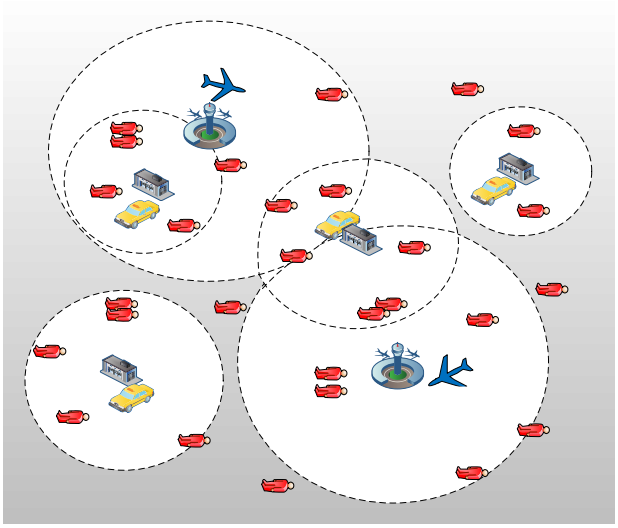
مکانیابی تسهیلات نقش عمده‌ای در زنجیره‌ی تامین به خصوص در تسهیلات تولیدی و خدماتی دارد. به طوری که در دهه‌ی اخیر کانون توجه بسیاری از شاغلین و دانشجویان شده است. به عنوان مقدمه‌ای جامع از مدل‌های مکانیابی می‌توان به مراجع ارزشمندی اشاره کرد[۲]. یک منبع کتاب شناسی جامع از مقالات اخیر در زمینه مدل‌های میانه، مرکز و پوششی به عنوان سه تا از انواع اصلی مدل‌های مکان‌یابی ارائه شده است[۳]. در طول دهه گذشته، مقالات متنوعی در زمینه ارائه مدل مکان‌یابی حداکثر پوششی و حل آن ارائه شده است که در ادامه به بخشی از آن‌ها اشاره خواهد شد. یک مطالعه مقایسه‌ای روی عملکرد الگوریتم ژنتیک و راهکارهای ابتکاری دیگر روی مسائل حداکثر پوشش مورد انتظار در مقیاس بزرگ انجام داده‌اند[۴]. مکانیابی حداکثر پوششی سلسله مراتبی دو سطحی را بررسی کرده‌اند و یک روش آزادسازی لاگرانژ برای حل آن ارائه کرده‌اند [۵]. در یک مطالعه ارزشمند، مقایسه‌ای بین روش ابتکاری مبنی بر آزادسازی لاگرانژ با آزادسازی جایگزینی انجام شده است. با استفاده از ۳۳۱ مساله آزمایشی در ادبیات با ۵۵-۹۰۰ گره، آنها دریافتند که هیچ تفاوت قابل ملاحظه ای بین دو روش فراابتکاری وجود ندارد [۶]. شبکه-ای از کدهای مخابرات ترکیبی در سیستم‌های مخابراتی طراحی و توسط یک راهکار آزادسازی لاگرانژ آنرا حل کردند [۷]. مکانیابی حداکثر پوششی را روی صفحه با هدف حداکثر پوشش تقاضا به صورت بیضی شکل مطالعه کردند[۸]. این مساله به عنوان مساله برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط فرموله شد و از الگوریتم شبیه سازی تبرید برای حل آن استفاده شد. ۵ روش فراابتکاری موثر برای حل مکانیابی پوششی جزئی مقایسه شدند[۹]. آنها به این نتیجه رسیدند که شبیه سازی تبرید موثرترین روش در مقایسه با بقیه روش‌ها می‌باشد. علاوه بر این، مقالات بسیاری در رابطه با توسعه مدل سنتی مکان‌یابی حداکثر پوششی وجود دارد. پوشش جزیی مشتریان در مدل عمومی مکانیابی حداکثر پوششی را مورد توجه قرار داده شد[۱۰]. یک مدل برنامه‌ریزی مختلط صفر و یک عدد صحیح برای مکانیابی پوششی جزئی در جاییکه نقاط تقاضا توسط ذوزنقه‌های مورب روی صفحه پوشش داده محسوب می‌شوند معرفی شد[۱۱]. مدل مکانیابی تخصیص به صورت فازی برای سیستم‌های متراکم را ارائه شد و آن را مکانیابی تخصیص حداکثر پوشش با صف فازی نامیدند[۱۲]. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای حل مساله استفاده کردند. حالت چند هدفه مکانیابی حداکثر پوششی ارائه شد[۱۳]. در این مدل برنامه-ریزی آرمانی چند هدفه فازی را برای مدل پوشش بر مبنای مکان‌یابی تسهیلات اورژانسی در نظر گرفتند. هدف آنها حداکثر کردن جمعیت دارای پوشش پشتیبان و افزایش سطح سرویس با حداقل کردن کل فاصله از مکان‌ها در فاصله بزرگتر از فاصله استاندارد از پیش تعیین شده بود. مقاله جالب دیگری که در ادبیات وجود داشت این بود که مکان‌یابی حداکثر پوششی را در وضعیتی در نظر گرفته بودند که تقاضا هم در گره‌ها و هم در

مسیر می‌توانست ایجاد شود[۱۴]. در این مقاله یک مثال واقعی برای مکان‌یابی سلولی پایگاه‌ها در شهر نیویورک ارائه کردند. در این مقاله مکان‌یابی تسهیلات روی شبکه را بررسی شد که کل تقاضای پوشش داده شده حداقل گردد [۱۵]. این مساله در مکانیابی تسهیلات نامطلوب مورد استفاده قرار می گیرد. آنها روش جستجوی ممنوع را با روش آزادسازی لاگرانژ برای حل این مساله مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که جستجوی ممنوع برای مسائل بزرگتر گزینه‌ی مناسبی است. تغییر دیگری که روی مکانیابی حداکثر پوششی انجام شد، در نظر گرفتن وزن منفی گره‌های تقاضا است [۱۶]. دو مدل خطی و یک مدل غیرخطی ارائه شد و توسط CPLEX و برخی راهکارهای ابتکاری حل کردند. در یک مطالعه ارزشمند دیگر، مدل ساده مکان‌یابی حداکثر پوششی با بهره‌برداری از توانایی سیستم اطلاعات جغرافیای و ایده‌ی پوشش جزیی به منظور نمایش بهتر پوشش تقاضاها توسعه داده شد. یک مدل مکان‌یابی ممانعتی برای حداکثر کردن ترکیب پوشش اولیه توسط تسهیلات و حداقل سطح پوشش که با از دست دادن تسهیلات ضروری اتفاق می‌افتد توسعه داده شد که از الگوریتم تجزیه برای حل این مساله استفاده کردند [۱۷]. علاوه بر این، مطالعات موردی نیز درباره مکان‌یابی حداکثر پوششی در ادبیات وجود دارند. مدلی برای مطالعه موردی مکان‌یابی سلسله مراتبی سیستم تسهیلات درمانی در منطقه کوهات در پاکستان پیاده‌سازی کردند [۱۸]. مساله مکان‌یابی حداکثر پوششی را برای تعیین توزیع گشت‌های پلیس در دالاس مطالعه کردند [۱۹]. برای حل مساله مکان‌یابی حداکثر پوششی مدلی را ارائه کردند که در آن فرض بر این بود که مکان تسهیلات ثابت بوده و باید دسترسی به نقاط تقاضا باید بهبود می‌یافت [۲۰]. مدل آنها مساله بهبود حداکثر پوشش روی شبکه نامیده شد و به صورت مساله برنامه ریزی خطی عدد صحیح فرموله شد و مطالعه آن در غنا انجام شد. مساله مکانیابی حداکثر پوششی غیر قطعی نیز توجهاتی را در ادبیات تاکنون به خود اختصاص داده است. 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 [۲۱]. مساله مکان‌یابی حداکثر پوششی را روی شبکه با عدم قطعیت پیشنهاد شد [۲۲]. در این پژوهش مسائل با نقاط تقاضای با اهمیت یکسان، با اوزان نیمه قطعی گره‌های تقاضا را مطالعه کردند. بعلاوه، آنها یک الگوریتم متناسب برای حل این مدل‌ها ارائه کردند. مقاله دیگری که عدم قطعیت را در مکانیابی حداکثر پوششی در نظر می‌گیرد[۲۳]. 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 پوشش های نامربوط در آن حداقل شود. در یک پژوهش حل مدل را با تمرکز بر حل مکانیابی حداکثر پوششی با ۹۰۰ گره ارائه دادند. این مقاله توسعه‌ای از همان مقاله با تغییر آن به صورت پویای چند دوره‌ای است[۲۴] . در چنین مساله‌ای تصمیم گیرندگان 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، مساله به شدت پیچیده شود. این مدل در عمل هم خیلی غیر معمول نیست و در بسیاری از زمینه ها کاربرد دارد. به طور مثال، می‌تواند در مکانیابی ایستگاه‌های گشت پلیس و ایستگاه‌های آتش‌نشانی [۲۵]، جایابی آمبولانس‌ها [۲۶] یا مکان‌یابی تسهیلات کمک‌های اولیه برای کمک به حادثه دیدگان بلایای طبیعی به کار رود. برای روشن‌تر کردن مساله مکانیابی یک مرکز خدمات اورژانسی در یک منطقه شلوغ را در نظر بگیرید. به منظور خدمت رسانی 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، مساله مکانیابی حداکثر پوششی در حالت چند دوره‌ای یا پویا به وجود می‌آید. مدل‌های مکانیابی پویا می‌توانند به مدیران در گرفتن تصمیمات روزانه و یا ساعتی به منظور پاسخگویی بهتر به نوسانات قابل پیش‌بینی تقاضا در مواقع اضطراری و غیره در زمان و فضا، کمک کنند [۲۶]. 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. مدل پویای چند هدفه برای تسهیلات خدمات اورژانسی از جمله آمبولانس‌ها ارائه شد [۲۷]. مسائل متنوعی از مکان‌یابی تسهیلات عمومی چند دوره ای ارائه شد [۲۸]. تلاش دیگری برای مدلسازی مکانیابی حداکثر پوششی پویا انجام دادند که در آن سیستم پشتیبانی تصمیم توسعه داده شد [۲۹]. مدل پوشش کامل دوره‌ای بررسی و آنرا با مدل‌های شبیه‌سازی و جستجوی ممنوع و تئوری صف حل کردند[۲۶]. مقاله آنها با ترکیب کردن احتمالات مشغولی بود[۳۰] . مقاله‌ای دیگری برای مدل مکانیابی پویا ارائه شد به طوری که هدف حداکثر کردن پوشش پشتیبان و حداقل‌کردن هزینه‌های مکانیابی مجدد بود[۳۱]. یک مقاله در زمینه مکانیابی حداکثر پوششی پویا مقاله‌ای است که مساله مکانیابی چند دوره‌ای واحدهای اورژانسی را توسعه داده تا یک طرح استراتژیک برای دوره‌های زمانی مختلف ایجاد کند یک الگوریتم جستجوی ممنوع کارا برای حل این مساله توسعه داده شد و مدل در شهر استانبول پیاده سازی شد[۳۲]. مکانیابی تسهیلات را به طور گسترده‌ای در زمینه تسهیلات مراقبت بهداشتی مورد مطالعه قرار دادند[۳۳]. هنگامی که پارامترهای مسئله مانند تقاضای یا هزینه‌های تسهیلات/حمل و نقل به مرور تغییر کند، تصمیم گیری محل تسهیلات بهینه در

هر دوره ممکن است کمتر از حد مطلوب در دوره آینده باشد. در چنین وضعیتی، تصمیم گیری مکانیابی تسهیلات بهینه، به گذشت زمان به مطابقت با تغییرات در تقاضا به هزینه نیاز دارد. با این حال، تصمیم گیری درباره مکان تسهیلات بازبینی شده در دوره های آینده، ممکن است شامل، جابه جایی و یا مسدود کردن تسهیلات مورد استفاده در دوره های آینده باشد. بنابراین، تغییر پارامترهای مسئله در طول زمان ایده بهتری است که برای پیش از یک دوره مورد برنامه‌ریزی قرار گیرد که به مکانیابی تسهیلات چند دوره‌ای افزایش می یابد [۳۴] برای مطالعه جزییات بیشتر درباره مکانیابی تسهیلات تحت شرایط عدم قطعیت به مقاله [۳۵] مراجعه شود. این مرور ادبیات جامع بیانگر این است که توجهات بسیاری به مساله مکانیابی حداکثر پوششی در حالات متنوع انجام شده است ولی مورد پویا و احتمالی آن تاکنون مورد توجه زیادی قرار نگرفته است. بعلاوه، مقاله‌های بسیار کمی در مورد راه حل مساله مکانیابی حداکثر پوششی در مقیاس بزرگ ارائه شده است. مقاله ما سعی دارد تا این دو شکاف را با ارائه یک مدل پویای کارا در مواقع اضطراری و ارائه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر جمعیت برای حل مدل در مقیاس بزرگ کاهش دهد.

۳. مدل پیشنهادی

در مدل ارائه شده در این پژوهش دو نوع تسهیل برای پوشش نقاط تقاضا در نظر گرفته شده است. آمبولانس‌های زمینی و آمبولانس های هوایی که دارای محدودیت ظرفیت می‌باشد یعنی نمی‌تواند نقاط تقاضایی را که تقاضاش بیشتر از ظرفیت تسهیل می‌باشد را پوشش دهد و این نقاط تقاضا باید توسط بیش از یک تسهیل پوشش داده شود اگر فقط توسط یک تسهیل پوشش داده شود و مقدار تقاضا بیشتر از ظرفیت تسهیل باشد فقط جزئی (کسری) از مقدار تقاضای آن نقطه را پوشش خواهد داد. آمبولانس‌های هوایی به عنوان پشتیبان در نظر گرفته شده است. از پوشش پشتیبان برای پوشش آن نقاطی استفاده می‌شود که در شعاع پوشش حداقل یک تسهیل زمینی قرار دارند ولی آن تسهیل یا تسهیلات در حال ارائه خدمت می‌باشند و در مدل پیشنهادی احتمال مشغول بودن تسهیلات نیز در نظر گرفته شده است. در این مدل مقدار تقاضاها و شعاع پوشش در دوره‌های مختلف با توجه به تغییرات در شرایط طول زمان به صورت پویا در نظر گرفته شده است. در این مدل هدف حداکثر کردن مقدار تقاضای پوشش داده با استفاده از آمبولانس‌های زمینی و هوایی می‌باشد. تعداد تسهیلات زمینی و هوایی (پشتیبان) در دوره‌های مختلف به صورت ثابت و از قبل تعیین شده است. نقاط بالقوه برای ایجاد تسهیلات زمینی و هوایی به صورت گسسته بوده و با یکدیگر متفاوت می‌باشد. آمبولانس‌های زمینی و هوایی قابلیت جابجایی در دوره‌های مختلف را دارا می باشند. مدل پیشنهادی یک مدل صحیح و صفر و یک می‌باشد که همه‌ی متغیرهای مدل به صورت صفر و یک می‌باشد. مدل پیشنهادی بیشتر در مواقع اضطراری کاربرد دارد شکل شماتیکی مدل ارائه شده به صورت شکل ۱ می‌باشد.



شکل ۱. شکل شماتیک مدل ارائه شده

۳-۱. اجزای مدل

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

۳-۱-۱. اندیس‌ها

i: مجموعه نقاط تقاضا

j: مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد آمبولانس‌های زمینی

f: مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد آمبولانس‌های هوای(پشتیبان)

t: تعداد دوره های در نظر گرفته در مدل

۳-۱-۲. پارامترها

p_{H}: احتمال مشغول بودن هر آمبولانس هوایی(پشتیبان)

p_{A}: احتمال مشغول بودن هر آمبولانس زمینی

$\mathrm{C_A}$: ظرفیت آمبولانس های زمینی

$\mathrm{C_H}$: ظرفیت آمبولانس های هوایی

$h_{i,t}$: مقدار تقاضای نقطه‌ی i در دوره‌ی t

$a_{\mathrm{i,j,t}}$: یک پارامتر صفر و یک می‌باشد که اگر در دوره‌ی t آمبولانس زمینی مستقر شده در نقطه‌ی j نقطه‌ی تقاضای i را پوشش دهد یک در غیر اینصورت صفر

$r_{\mathrm{i,f,t}}$: یک پارامتر صفر و یک می‌باشد که اگر در دوره‌ی t آمبولانس هوایی (پشتیبان) مستقر شده در نقطه‌ی f نقطه‌ی تقاضای i را پوشش دهد یک در غیر اینصورت صفر

N^{A}: تعداد آمبولانس های زمینی که در هر دوره باید مکانیابی شود

N^{B}: تعداد آمبولانس‌های هوایی که در هر دوره باید مکانیابی شود

$(k+1)(1-p)$: محتمل‌ترین احتمال در دسترس بودن

تسهیلات در توزیع دو جمله ای

$\binom{k}{(k+1)(1-p)}(1-p)^{(k+1)(1-p)}\ p^{k-(k+1)(1-p)}$: احتمال در دسترس بودن محتمل ترین تعداد تسهیلات زمینی یا هوایی تحت پوشش

$c_{i,t,k(1-p_{AH})}=\left[\frac{c_{AH}}{h_{i,t}}\times\left[\binom{k}{(k+1)(1-p)}(1-p)^{(k+1)(1-p)}\ p^{k-(k+1)(1-p)}\right]\times[(k+1)(1-p)]\right]$

: کسری از مقدار تقاضای i پوشش داده شده در دوره‌ی t توسط محتمل‌ترین$(k+1)(1-p)$ تعداد تسهیلات زمینی یا هوایی در دسترس

۳-۱-۳. متغیرها

$x_{j,t}^{A}$: یک متغیر عدد صحیح می‌باشد که تعداد آمبولانس‌های زمینی در دوره t در نقطه‌ی بالقوه‌ی j مکانیابی شده است را بیان می کند.

$x_{f,t}^{H}$: یک متغیر عدد صحیح می‌باشد که تعداد آمبولانس‌های هوایی(پشتیبان) که در دوره t در نقطه‌ی بالقوه‌ی f مکانیابی شده را بیان می‌کند.

$y_{i,t,k}^{A}$: یک متغیر صفر و یک می‌باشد که اگر در دوره ی t نقطه‌ی تقاضای i توسط k آمبولانس زمینی پوشش داده می شود یک در غیر اینصورت صفر می‌باشد.

$y_{i,t,k}^{H}$: یک متغیر صفر و یک می‌باشد که اگر در دوره‌ی t نقطه‌ی تقاضای i توسط k آمبولانس هوایی (پشتیبان) پوشش داده شود یک در غیر اینصورت صفر می‌باشد.

۳-۲. مدل ریاضی

مدل ارائه شده بصورت زیر مدل بندی می‌گردد.

$$\max Z=\sum_i\sum_t\sum_k h_{i,t}\left[\frac{c_A}{h_{i,t}}\times\left[\binom{k}{(k+1)(1-p_A)}(1-p_A)^{(k+1)(1-p_A)}\ p_A^{\,k-(k+1)(1-p_A)}\right]\times\left[(k+1)(1-p_A)\right]\right]y_{i,t,k}^{A}$$
$$+\sum_i\sum_t\sum_k h_{i,t}\left[\frac{c_H}{h_{i,t}}\times\left[\binom{k}{(k+1)(1-p_H)}(1-p_H)^{(k+1)(1-p_H)}\ p_H^{\,k-(k+1)(1-p_H)}\right]\times\left[(k+1)(1-p_H)\right]\right]y_{i,t,k}^{H} \quad (۱)$$

ST:

$$k\ y_{i,t,k}^{A}\le\sum_j a_{i,j,t}\ x_{j,t}^{A} \qquad \forall\ i,t,k \quad (۲)$$

$$k\ y_{i,t,k}^{H}\le\sum_j r_{i,f,t}\ x_{j,t}^{H} \qquad \forall\ i,t,k \quad (۳)$$

$$\sum_k y_{i,t,k}^{A}\le 1 \qquad \forall\ i,t \quad (۴)$$

$$\sum_k y_{i,t,k}^{H}\le 1 \qquad \forall\ i,t \quad (۵)$$

$$\sum_k C_{i,t,(k+1)(1-p_A)}\ y_{i,t,k}^{A}+\sum_k C_{i,t,(k+1)(1-p_H)}\ y_{i,t,k}^{H}\le 1 \qquad \forall\ i,t \quad (۶)$$

$$y_{i,t,k}^{H}\le\sum_k y_{i,t,k}^{A} \qquad \forall\ i,t \quad (۷)$$

$$\sum_j x_{j,t}^{A}=N^{A} \qquad \forall\ t \quad (۸)$$

$$\sum_f x_{f,t}^{H}=N^{H} \qquad \forall\ t \quad (۹)$$

$$0\le x_{j,t}^{A}\le N^{A} \qquad 0\le x_{f,t}^{H}\le N^{H} \qquad \forall\ f,j,t \quad (۱۰)$$

$$y_{i,t,k}^{H},\ y_{i,t,k}^{A}\in\{0,1\} \qquad \forall\ i,t,k \quad (۱۱)$$

رابطه ۱ مجموع احتمال تقاضاهای پوشش داده شده توسط آمبولانس های زمینی و هوایی را حداکثر می‌کند که قسمت اول تابع هدف مربوط به مقدار پوشش تقاضا توسط آمبولانس‌های زمینی و قسمت دوم مربوط به مقدار پوشش آمبولانس‌های هوایی می‌باشد. رابطه ۲ و ۳ بیان می‌کنند که یک نقطه‌ی تقاضا زمانی توسط k تسهیل پوشش داده می‌شود که در شعاع پوشش این تعداد تسهیلات قرار گرفته باشد. رابطه ۴، ۵ بیان می‌کند که یک نقطه تقاضا در شعاع پوشش تعداد مشخصی از آمبولانس‌های زمینی و هوایی قرار می‌گیرد. رابطه ۶ تضمین می‌کند که یک نقطه تقاضایی که هم توسط آمبولانس‌های زمینی و هم هوایی پوشش

داده می‌شود مقدار کسر پوشش داده توسط دو نوع تسهیل بیشتر از یک نباشد (یعنی دو بار حساب نشود). رابطه ۷ بیان می کند که یک نقطه تقاضا توسط آمبولانس زمینی یا توسط هر دو نوع تسهیل پوشش داده می‌شود ولی تنها توسط آمبولانس هوایی (پشتیبان) پوشش داده نمی‌شود که این بدین دلیل می‌باشد که آمبولانس هوایی پشتیبان برای آمبولانس های زمینی می‌باشد. روابط ۸ و ۹ تعداد آمبولانس‌های زمینی و هوایی که در هر دوره مکانیابی می‌شود را بیان می‌کند. رابطه ۱۰ و ۱۱ نوع متغیرهای مدل را بیان می‌کند.

۴. شرح الگوریتم پیشنهادی

۴-۱. شرح الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (SA)

الگوریتم شبیه سازی تبرید در سال ۱۹۵۳ ارائه شد. این الگوریتم یک الگوریتم فرا ابتکاری تصادفی برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی است. ایده اصلی این الگوریتم، انتخاب یک جواب از همسایگی جواب فعلی در هر مرحله است. جواب همسایه انتخاب شده در صورتی که تابع هدف بهتری نسبت به جواب فعلی داشته باشد جایگزین جواب فعلی می‌گردد در غیر اینصورت به صورت تصادفی و احتمالی بین صفر و یک جایگزین جواب فعلی می‌گردد. الگوریتم شبیه سازی تبرید شده احتمال انتخاب جوابی با تابع هدف بدتر متناسب با میزان تفاوت توابع هدف دو جواب است. جواب‌های با اختلاف کمتر تابع هدف از مقدار تابع هدف فعلی با احتمال بیشتر و جواب های با اختلاف زیادتر به ندرت انتخاب می‌شوند بنابراین با افزایش تعداد تکرارهای این الگوریتم احتمال خارج شدن از جواب های بهینه محلی افزایش می‌یابد از طرف دیگر همراه با کاهش احتمال پذیرش جواب های با توابع هدف بدتر در طول زمان به دلیل کاهش درجه حرارت الگوریتم در نهایت به یک جواب بهینه محلی خوب همگرا می شود.

۴-۱-۱. پارامترهای الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

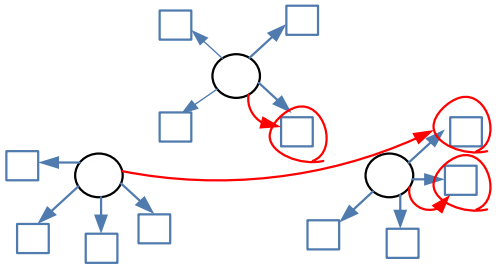
برنامه انجماد تاثیر زیادی بر همگرایی الگوریتم انجماد تدریجی دارد. برنامه انجماد نحوه کنترل دمای الگوریتم را مشخص می کند. در یک برنامه انجماد، عوامل دمای اولیه-طول زنجیره مارکف- قاعده کاهش دما-قاعده توقف باید تعیین گردند. به علت فقدان نتایج نظری در زمینه طراحی پارامترهای فوق، این پارامترها باید با توجه به مساله مورد بررسی، تنظیم گردند. در این تنظیم، کیفیت نتایج و زمان محاسباتی الگوریتم مد نظر قرار می گیرد. طراحی مناسب پارامترهای فوق، تاثیر بالایی روی الگوریتم داشته و به نوعی یک عیب مسلم این الگوریتم شبیه به سایر الگوریتم های فرا ابتکاری می‌باشد. به منظور بررسی بیشتر، تحلیلی در ارتباط با فاکتور های فوق در زیر ارائه شده است[36]. دمای اولیه استفاده از دمای اولیه بالا موجب می‌گردد که الگوریتم رفتاری شبیه به یک جستجوی تصادفی به خود بگیرد و استفاده از دماهای پایین برای دمای اولیه، موجب می‌گردد که الگوریتم تبدیل به یک الگوریتم جستجوی محلی می‌گردد. در الگوریتم انجماد تدریجی، درهنگام تعیین دمای اولیه، باید دمای اولیه به نحوی تعیین گردد که موازنه ای بین دو حالت فوق اتفاق بیفتد. طول زنجیره مارکف و وضعیت پایدار برای رسیدن به یک وضعیت پایدار در هر دما، تعداد کافی از انتقالات (حرکت‌ها) باید در نظر گرفته شود. مطالعات نظری پیشنهاد می‌کند که تعداد تکرارها در هر دما بهتر است براساس یک تابع نمایی از اندازه مساله گردد. به کارگیری این استراتژی در عمل مشکل است به طورکلی، تعداد تکرار ها باید با اندازه مساله و متناسب با اندازه همسایگی تعیین گردد. قاعده کاهش دما به طور کلی، بین کیفیت نتایج و سرعت انجماد رابطه قوی وجود دارد. مقدار دما همواره مقدار مثبت بوده و زمانی که تعداد تکرار ها به سمت بی نهایت میل کند، مقدار دما نیز به سمت صفر میل می‌کند. با رعایت این اصول، قواعد مختلفی برای کاهش دما وجود دارد که بعضی این موارد شامل قاعده خطی-قاعده هندسی-قاعده لگاریتمی-قاعده کاهش خطی آهسته-قاعده غیر یکنواخت-قاعده پویا-قاعده هندسی وابسته به دما

۴-۲. الگوریتم پیشنهادی (شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر جمعیت)

گام های الگوریتم شبیه سازی تبرید مبتنی بر جمعیت به صورت گام های زیر می‌باشد و شبه کد آن نیز در ادامه آورده شده است و شکل آن نیز طبق شکل ۲ می باشد.

1. $nPop = i'$; / اندازه جمعیت اولیه /
2. $nMove = j'$; / تعداد همسایه برای هر عضو /
3. $T = T_{\cdot}$; / دمای اولیه/
4. $a_{۱} = \alpha$; / نرخ کاهش دما/
5. $a_{۲} = \beta$; / نرخ رشد تکرار در هر دما/
6. $Pop_{\cdot} = Pop_i$; /تولید و ارزیابی جواب اولیه/
7. $S = Pop_i$; /تعیین بهترین حل اساسی/

8. $for\ Main\ It = ۱\ MaxIt$ / ماکزیمم تکرار متناسب با اندازه مسئله
9. $for\ SubIt = ۱:It$ /تعداد تکرارها در هر دما، $It = It_{.}$/
10. $for\ i = ۱:i'$
11. $for\ j = ۱:j'$
12. $Method = Roulette\ Wheel\ Selection;$
13. $end\ for$
14. $end\ for$
15. $new\ Pop(i,j) = Create\ neighbor;$ /تولیدهمسایه برای هر یک از اعضای جمعیت/
16. $N = newPop(i,j)$; /ارزیابی همسایگان برای هر (i , j)/
17. $Pop_i = newPop(i)$ /انتخاب عضو بین بهترین اعضای N/
18. $\Delta E = \frac{f(newPop(i))-f(Pop(i))}{f(Pop(i))}$ /مقایسه نسبی هر یک از اعضای اولیه جمعیت با یکی از اعضای واجد شرایط از(N)/
19. $if\ \Delta E = ۰\ then$
20. $S = new\ Pop(i)$; /قبول راه حل همسایه/
21. Else
22. Accept new Pop(i) with a probability$e^{-\frac{\Delta E}{T}}$;
23. End if
24. End for
25. $T = \alpha T$ /به روز رسانی دما/
26. $It = \frac{it}{\beta}$; /به روز رسانی تعداد تکرار در هر دما/
27. $end\ for$



شکل ۲. شیوه ی مبتنی سازی بر جمعیت الگوریتم SA

۴-۲-۱. شیوه تولید جواب اولیه برای الگوریتم شبیه سازی مبتنی بر جمعیت

$$\left[\overbrace{\underbrace{0.1}_{p_A}\ \underbrace{0.9}_{p_B}}^{t1}\ \overbrace{\underbrace{0.01}_{p_A}\ \underbrace{1}_{p_B}}^{t2}:\ \overbrace{\underbrace{0.42}_{p_A}\ \underbrace{0.82}_{p_B}}^{t2}\ \overbrace{\underbrace{0.95}_{p_A}\ \underbrace{0.09}_{p_B}}^{t3}:\ \overbrace{\underbrace{0.23}_{p_A}\ \underbrace{0.81}_{p_B}}^{t3}\right] \quad (۱۲)$$

تعداد نقاط بالقوه برای ایجاد تسهیلات از نوع زمینی A در هر دوره برابر j می‌باشد و همچنین تعداد نقاط بالقوه برای ایجاد تسهیلات از نوع هوایی H برابر f می‌باشد. تعداد تسهیلات از نوع A در هر دوره برای مکانیابی برابر P_A و تعداد تسهیلات از نوع H در هر دوره برابر P_H می باشد. طبق رابطه ۱۲ برای مکانیابی تسهیلات از نوع H بازه بین صفر تا یک را به j قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم تعداد اعدادی که بین بازه‌ها قرار می‌گیرد را به ترتیب به عنوان تعداد تسهیلات به نقاط بالقوه متناظر خودشان تخصیص داده می‌شود که مطابق رابطه ۱۳ می‌باشد. برای مکانیابی تسهیلات از نوع H نیز به همین طریق عمل می‌کنیم.

$$\left[\overbrace{\underbrace{1}_{j}\ \underbrace{0}_{f}\ \underbrace{1}_{j}\ \underbrace{1}_{f}\ \underbrace{0}_{j}}^{t1}:\ \overbrace{\underbrace{0}_{j}\ \underbrace{1}_{f}\ \underbrace{1}_{j}\ \underbrace{0}_{f}\ \underbrace{1}_{j}}^{t2}:\ \overbrace{\underbrace{2}_{j}\ \underbrace{0}_{f}\ \underbrace{0}_{j}\ \underbrace{0}_{f}\ \underbrace{1}_{j}}^{t3}\right] \quad (۱۳)$$

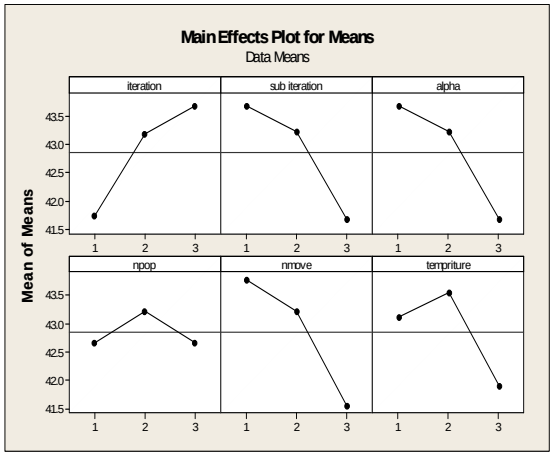
۴-۲-۲. شیوه‌ی ایجاد همسایگی

در این شیوه‌ی ایجاد همسایگی هر ذره دو عدد تصادفی از بین کروموزم انتخاب کرده و تمامی اعداد ما بین این دو عدد را برعکس کرده و جواب همسایگی ایجاد می‌شود. دلیل ایجاد همسایگی به این شیوه‌ی این می‌باشد که تمامی همسایگی(جواب‌های ممکن) به راحتی قابل دستیابی می باشد. شکل ایجاد همسایگی به صورت رابطه ۱۴ می‌باشد.

$$\underbrace{1 \dots\dots, i_1 - 1}_{1:i_1-1}, \underbrace{i_1, i_1 + 1, \dots\dots\dots i_2 - 1}_{i_2:i_1}, \underbrace{i_2, i_2 + 1, \dots\dots n}_{i_2+1:n} \quad (۱۴)$$

۵. تنظیم پارامترها

در این بخش پارامترها و عملگرهای الگوریتم PBSA تعیین می شود. با توجه به تعداد زیاد پارامترهای موجود در الگوریتم شبیه سازی تبرید مبتنی بر جمعیت 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 می‌باشد. برای بر طرف کردن این نقیصه، از روش تاگوچی استفاده می‌شود. در روش تاگوچی از آرایه‌های متعامد برای مطالعه‌ی تعداد زیاد متغیر تصمیم با استفاده از تعداد کمی آزمایش استفاده می‌شود. در این بخش نیز برای تنظیم پارامترها یک مساله با اندازه بزرگ انتخاب و با استفاده از نمودار اثرات عمده، شش پارامتر پارامتر الگوریتم شبیه سازی مبتنی بر جمعیت برای آن تنظیم خواهد شد. با توجه به نمودار شکل ۳ پارامترهای تعداد تکرار در سطح سوم، تعداد تکرار زیر مجموعه‌ها در سطح اول، آلفا در سطح اول، دمای اولیه در سطح دوم، تعداد اعضای جمعیت در سطح دوم، تعداد همسایگی‌ها در سطح اول بهینه‌ترین مقدار خود را دارا می‌باشند.



شکل ۳. نمودار اثرات عمده برای مسائل بزرگ برای الگوریتم PBSA

جدول ۱. سطوح بهینه پارامترهای الگوریتم PBSA

عامل	سطوح	سطح بهینه
تعداد تکرارهای زیر مجموعه	{۱۰،۲۰،۳۰}	۱۰
تعداد تکرار	{۵۰،۶۰،۷۰}	۷۰
آلفا	{۰/۰،۹۵/۰،۹۰/۸۵}	۰/۸۵
دما اولیه	{۳۰،۴۰،۵۰}	۴۰
جمعیت اولیه	{۶،۵،۴}	۵
تعداد همسایگی‌ها	{۵،۶،۷}	۵

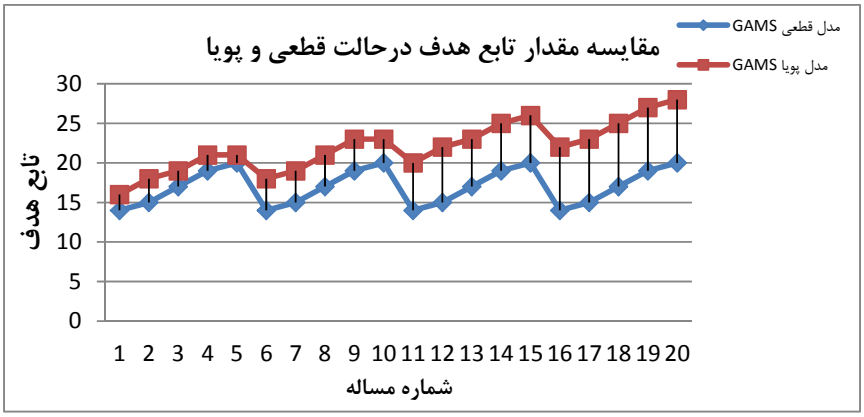
۶. بررسی مسائل نمونه

در این بخش به بررسی مسائل نمونه در مقیاس های مختلف پرداخته شده است که ابتدا برای صحت مدلسازی پویا، مدل پویا ارائه شده را با حالت قطعی با استفاده از نرم افزار گمز حل و مقایسه می‌شود. مثال‌های مختلفی براساس داده‌های فرضی برای بررسی بیشتر مدل حل می‌شود. در این بخش مقایساتی بین حل مدل‌های ارائه شده در حالت پویا و قطعی هم با استفاده از گمز و هم الگوریتم های فرا ابتکاری صورت می‌گیرد تا صحت کدنویسی با استفاده از الگوریتم‌ها نیز تائید گردد. لازم به یادآوری است که به علت پیچیدگی مدل‌ها و تعداد زیاد محدودیت و متغیرها، مدل با استفاده از روش دقیق (گمز) در اندازه‌های بزرگ قابل حل نیست و لذا استفاده از روش‌های فرا ابتکاری در مدل ضرورت پیدا می‌کند. مدل ارائه شده با الگوریتم‌های پیشنهادی با نرم‌افزار Matlab10a کد شده و همچنین توسط نرم افزار گمز در کامپیوتر i3 با CPU، GHz و RAM، 4GB حل شده‌اند. در جدول ۲ مدل در حالت دقیق و پویای احتمالی با در نظر گرفتن تعداد دوره های t=2,3,4,5 حل شده و میانگین کیفیت جواب ها یعنی مقدار تابع هدف در دوره t=5, t=4, t=3, t=2نسبت به مدل در حالت دقیق به ترتیب برابر ۱/۰۳۲، ۱/۱۳۰، ۱/۲۳۹، ۱/۳۵۸ می باشد. و همچنین زمان حل مدل در حالت پویای احتمالی در دوره های t=5, t=4, t=3, t=2 نسبت به مدل در حالت دقیق به ترتیب برابر ۱/۴۷۳، ۱/۶۷۳، ۱/۸۲۸، ۲/۳۱۲ می باشد. به طور کلی نتایج جدول ۲ و شکل ۴ نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف مدل در حالت پویای احتمالی با افزایش تعداد دوره‌ها با سرعت چشم گیری افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش تعداد دوره‌ها زمان‌های حل مدل نیز افزایش می‌یابد.

جدول۲. نتایج محاسبات برای حل مدل درحالت پویا و دقیق توسط GAMS

مدل قطعی		مدل پویای احتمالی			توضیحات پارامترهای مدل		
زمان حل مدل باگمز (ثانیه)	مقدار تابع هدف با گمز	زمان حل مدل باگمز (ثانیه)	مقدار تابع هدف با گمز	دوره ها	تعداد تسهیلات هوایی	تعداد تسهیلات زمینی	شماره مسئله
۱۸،۳۴	۱۵	۲۷،۲۳	۱۶		۱	۳	۱
۲۱،۲۱	۱۶	۳۱،۳۴	۱۸		۲	۵	۲
۲۵.۲۳	۱۸	۳۷،۳۴	۱۹	۲	۳	۷	۳

۲۸.۹۸	۲۰	۴۱,۳۲	۲۱		۴	۹	۴
۳۱.۳۹	۲۳	۴۷,۲	۲۱		۵	۱۱	۵
۱۸.۳۴	۱۵	۳۰,۴۴	۱۸		۱	۳	۶
۲۱.۲۱	۱۶	۳۷,۳۴	۱۹		۲	۵	۷
۲۵.۲۳	۱۸	۴۱,۲۱	۲۱	۳	۳	۷	۸
۲۸.۹۸	۲۰	۴۷,۱۲	۲۳		۴	۹	۹
۳۱.۳۹	۲۳	۵۳,۳۴	۲۳		۵	۱۱	۱۰
۱۸,۳۴	۱۵	۳۳,۲۵	۲۰		۱	۳	۱۱
۲۱,۲۱	۱۶	۳۹,۳۸	۲۲		۲	۵	۱۲
۲۵.۲۳	۱۸	۴۴,۶۷	۲۳	۴	۳	۷	۱۳
۲۸.۹۸	۲۰	۵۲,۳۱	۲۳		۴	۹	۱۴
۳۱.۳۹	۲۳	۵۹,۲۰	۲۶		۵	۱۱	۱۵
۱۸.۳۴	۱۵	۴۰,۳۴	۲۲		۱	۳	۱۶
۲۱.۲۱	۱۶	۴۸,۳۰	۲۳		۲	۵	۱۷
۲۵.۲۳	۱۸	۵۶,۸۷	۲۵	۵	۳	۷	۱۸
۲۸.۹۸	۲۰	۶۵,۱۰	۲۷		۴	۹	۱۹
۳۱.۳۹	۲۳	۷۸,۷۶	۲۸		۵	۱۱	۲۰



شکل۴. مقایسات تابع هدف برای مدل درحالت دقیق و پویا با استفاده از الگوریتم GAMS

جدول۳. نتایج محاسبات (تابع هدف و زمان حل) برای حل مدل درحالت پویا توسط GAMS, SA, PBSA

شماره مسئله	تعداد تسهیلات از نوع زمینی	تعداد تسهیلات از نوع هوایی	تعداد دوره ها	مقدار تابع هدف با گمز	زمان حل مدل باگمز (ثانیه)	مقدار تابع هدف با SA	زمان حل مدل باSA (ثانیه)	مقدار تابع هدف با PBSA	زمان حل مدل باPBSA(ثانیه)
۱	۳	۲		۲۳	۳۰.۲۳	۲۳	۶.۳۰	۲۳	۷.۳۰
۲	۹	۴		۳۵	۷۵.۶۷	۳۵	۸.۳۴	۳۵	۱۰.۳۸
۳	۱۲	۶		۴۲	۱۱۰.۳۴	۴۲	۴۵.۳۱	۴۲	۵۱.۶۷
۴	۱۵	۸		۵۷	۲۱۰.۷۸	۵۷	۸۹.۹۹	۵۷	۹۰.۱۹
۵	۱۸	۱۰		۷۶	۵۵۶.۷۸	۷۶	۱۲۰.۲۲	۷۶	۱۳۰.۹۸
۶	۲۱	۱۲		۱۰۰	۹۹۷.۸۹	۹۸	۲۶۹.۹۹	۱۰۰	۲۸۹.۹۱
۷	۲۴	۱۴	۳	۱۲۰	۱۳۰۲.۸۹	۱۱۸	۳۶۱.۵۴	۱۲۰	۳۸۱.۶۷
۸	۲۷	۱۶		۱۳۶	۲۰۰۹.۹۰	۱۳۴	۴۵۶.۵۶	۱۳۵	۴۷۵.۲۳

۹	۳۰	۱۸	۱۵۴	۳۰۴۵.۳۴	۱۵۴	۶۷۵.۴۵	۱۵۷	۶۸۱.۹۷
۱۰	۳۳	۲۰	قابل حل نبود	قابل حل نبود	۱۷۶	۸۹۷.۲۰	۱۷۸	۹۰۰.۷۶
۱۱	۳۶	۲۲	قابل حل نبود	قابل حل نبود	۲۰۱	۱۱۵۱.۳۴	۲۰۴	۱۱۷۲.۱۴
۱۲	۳۹	۲۴	قابل حل نبود	قابل حل نبود	۲۳۴	۱۴۲۰.۰۴	۲۳۵	۱۴۷۸.۳۴
۱۳	۴۲	۲۶	قابل حل نبود	قابل حل نبود	۲۵۶	۱۶۷۰.۴۹	۲۵۹	۱۶۹۸.۴۸
۱	۳	۲	۲۷	۳۹.۷۳	۲۷	۹.۱۸	۲۷	۱۰.۸۷
۲	۹	۴	۴۱	۸۷.۲۷	۴۱	۱۱.۸۷	۴۱	۱۴.۶۸
۳	۱۲	۶	۵۰	۱۳۰.۹۳	۵۰	۵۸.۲۳	۵۰	۶۵.۹۸۷
۴	۱۵	۸	۶۴	۲۶۵.۴۵	۶۴	۱۰۰.۹۳	۶۴	۱۲۰.۲۳
۵	۱۸	۱۰	۸۹	۶۷۸.۹۴	۸۹	۱۴۹.۶۷	۸۹	۱۶۲.۶۵
۶	۲۱	۱۲	۱۱۷	۱۱۰۰.۱۸	۱۱۴	۲۹۸.۱۲	۱۱۶	۳۰۱.۷۱
۷	۲۴	۱۴	۱۳۹ ۴	۱۷۸۹.۲۵	۱۳۷	۴۱۲.۴۶	۱۳۹	۴۳۲.۶۳
۸	۲۷	۱۶	۱۶۰	۲۴۸۹.۶۷	۱۵۸	۵۱۲.۰۱	۱۵۹	۵۲۹.۸۵
۹	۳۰	۱۸	۱۸۱	۳۸۹۷.۳۱	۱۸۰	۷۷۵.۹۴	۱۸۰	۷۸۹.۳۴
۱۰	۳۳	۲۰	قابل حل نبود	قابل حل نبود	۱۹۱	۹۳۴.۴۵	۱۹۳	۹۴۳.۹۸
۱۱	۳۶	۲۲	قابل حل نبود	قابل حل نبود	۲۲۷	۱۲۵۱.۱۲۴	۲۲۹	۱۲۷۶.۱۲
۱۲	۳۹	۲۴	قابل حل نبود	قابل حل نبود	۲۴۹	۱۸۲۳.۸۹	۲۴۹	۱۸۴۵.۲۲
۱۳	۴۲	۲۶	قابل حل نبود	قابل حل نبود	۲۷۸	۲۵۴۶.۴۵	۲۸۰	۲۵۸۹.۴۶

در جدول ۳ مدل پویای احتمالی با در نظر گرفتن t=4, 5 دوره توسط الگوریتم فراابتکاری SA و PBSA و نرم افزار GAMSحل شده است با توجه به جدول ۴ مساله شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ به علت پیچیده بودن مساله توسط نرم افزار GAMS قابل حل نبوده بنابراین برای شماره های ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ از این مساله از الگوریتم فراابتکاری استفاده شده است و مطابق جدول ۴ کیفیت جواب‌های (مقدار تابع هدف) الگوریتم PBSA نسبت به الگوریتم SA بهتر می‌باشد ولی زمان حل مساله در الگوریتم PBSA نسبت به الگوریتم SA بدتر (بیشتر) می‌باشد.

۷. نتیجه‌گیری و مطالعات آتی

در مدل ارائه شده، آمبولانس‌های زمینی و هوایی (پشتیبان) برای پوشش حداکثری، در دوره‌های مختلف قابلیت جابجایی و مکان-یابی مجدد (جابجایی تسهیلات) را دارند. آمبولانس‌های هوایی به عنوان آمبولانس پشتیبان برای آمبولانس‌های زمینی در نظر گرفته شده است. در مدل ارائه شده 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 و همچنین شعاع پوشش و مقدار تقاضا برای مطابقت بیشتر با واقعیت به صورت پویا و همچنین تخصیص ماشین‌های خدماتی به ایستگاهها در دوره‌های مختلف به صورت پویا در نظر گرفته شده است. تعداد ماشین‌های خدماتی در هر دوره در هر ایستگاه به صورت متغیر می‌تواند باشد. مدل ارائه شده بیشتر برای مکان‌یابی ایستگاه‌های خدمات اورژانسی و آتش‌نشانی در مواقع اضطراری (مدیریت بحران) کاربرد دارد. الگوریتم ارائه شده (شبیه سازی مبتنی بر جمعیت) در مقایسه با الگوریتم شبیه سازی تبرید برای حل مدل جواب بهتری از لحاظ کیفیت جواب‌ها ارائه داد. برای مطالعات آتی می‌توان شعاع پوشش و مقدار تقاضا را به صورت پویای فازی در نظر گرفت و مدلی با مطابقت بیشتر برای مواقع اضطراری ارائه کرد.

منابع

[1] R. Church, C.S. ReVelle, The maximal covering location problem, Papers of the Regional Science Association Vol. 32, pp. 101-118, 1974.

[2] C.S. ReVelle, H.A. Eiselt, Location analysis: a synthesis and survey, European Journal of

Operational Research Vol. 165, No. 1, pp. 1-19, 2005.

[3] C.S. ReVelle, H.A. Eiselt, M.S. Daskin, A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science, European Journal of Operational Research Vol. 184, No. 3, pp. 817-848, 2008.

[4] H. Aytug, C. Saydam, Solving large-scale maximum expected covering location problems by genetic algorithms: a comparative study, European Journal of Operational Research Vol. 141, No. 3, pp. 480-494, 2002.

[5] L.G.A. Espejo, R.D. Galv o, B. Boffey, Dual-based heuristics for a hierarchical covering location problem, Computers & Operations Research Vol. 30, No. 2, pp. 165-180, 2002.

[6] R.D. Galvo, L. Gonzalo Acosta Espejo, B. Boffey, A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem, European Journal of Operational Research Vol. 124, No. 2, pp. 377-389, 2000.

[7] J. Barbas. Marn, Maximal covering code multiplexing access telecommunication networks, European Journal of Operational Research Vol. 159, No. 1, pp. 219-238, 2004.

[8] M.S. Canbolat, M. von Massow, Planar maximal covering with ellipses, Computers & Industrial Engineering Vol. 57, No. 1, pp. 201-208, 2009.

[9] L. Xia, et al., An empirical comparison of five efficient heuristics for Maximal Covering Location Problems, in: Service.

[10] O. Berman, D. Krass, The generalized maximal covering location problem, Computers & Operations Research Vol. 29, No. 6, pp. 653-581, 2002.

[11] H. Younies, G.O. Wesolowsky, A mixed integer formulation for maximal covering by inclined parallelograms, European Journal of Operational Research Vol. 159, No. 1, pp. 83-94, 2004.

[12] H. Shavandi, H. Mahlooji, A fuzzy queuing location model with a genetic algorithm for congested systems, Applied Mathematics and ComputationVol. 181, No. 1, pp. 440-456, 2006.

[13] C. Araz, H. Selim, I. Ozkarahan, A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services, Computers & Operations Research Vol. 34, No. 3, pp. 705-726, 2007.

[14] E.T. Erdemir, et al., Location coverage models with demand originating from nodes and paths: application to cellular network design, European Journal of Operational Research Vol. 190, No. 3, pp. 610-632, 2008.

[15] O. Berman, R. Huang, The minimum weighted covering location problem with distance constraints, Computers & Operations Research Vol. 35, No. 2, pp. 356-372, 2008.

[16] O. Berman, Z. Drezner, G.O. Wesolowsky, The maximal covering problem with some negative weights, Geographical Analysis Vol. 41, No. 1, pp. 30-42, 2009.

[17] J.R. O'Hanley, R.L. Church, Designing robust coverage networks to hedge against worst-case facility losses, European Journal of Operational Research Vol. 209, No. 1, pp. 23-36, 2011.

[18] G.C. Moore, C.S. ReVelle, The hierarchical service location problem, Management Science Vol. 28, pp. 775-780, 1982.

[19] K.M. Curtin, K. Hayslett, F. Qiu, Determining optimal police patrol areas with maximal covering and backup covering location models, Networks and Spatial Economics Vol. 10, pp. 125-145, 2007.

[20] L. Murawski, R.L. Church, Improving accessibility to rural health services: the maximal covering network improvement problem, Socio-Economic Planning Sciences Vol. 43, No. 2, pp. 102-110, 2009.

problems, European Journal of Operational Research Vol. 10, No. 2, pp. 190-195, 1982.

[29] J.F. Repede, J.J. Bernardo, Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky, European Journal of Operational Research Vol. 75, No. 3, pp. 567-581, 1994.

[30] V. Marianov, C. Revelle, The queuing probabilistic location set covering problem and some extensions, Socio-Economic Planning Sciences Vol. 28, No. 3, pp. 167-178, 1994.

[31] M. Gendreau, G. Laporte, F. Semet, A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation, Parallel Computing Vol. 27, No. 12, pp. 1641-1653, 2001.

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

[33] Ghaderi,A.,& Jabalameli, M.S. 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 Compute r Modeling,Vol. 57, No. 3, pp. 382-400, 2013.

[34] Nickel, S.,& Saldanha da Gama, F. Multi-period facility location. In Location science . pp.289-310, .2015.

[35] Correia,I.,&Saldanha da Gama, F. Facility location under uncertainty. In Location science ,pp.177-203, 2015.

[21] F.d.A. Corrêa, L.A.N. Lorena, G.M. Ribeiro, A decomposition approach for the probabilistic maximal covering location–allocation problem, Computers& Operations Research Vol. 36, No. 10, pp. 2729-2739, 2009.

[22] V. Batanovic, D. Petrovic, R. Petrovic, Fuzzy logic based algorithms for maximum covering location problems, Information Sciences Vol. 179, Nos. 1-2, pp. 120-129, 2009.

[23] O. Berman, J. Wang, The minmax regret gradual covering location problem on a network with incomplete information of demand weights, European Journal of Operational Research Vol. 208, No. 3, pp. 233-238, 2011.

[24] C. ReVelle, M. Scholssberg, J. Williams, Solving the maximal covering location problem with heuristic concentration, Computers & Operations Research Vol. 35, No. 2, pp. 427-435, 2008.

[25] K.M. Curtin, K. Hayslett, F. Qiu, Determining optimal police patrol areas with maximal covering and backup covering location models, Networks and Spatial Economics Vol. 10, pp. 125-145, 2007.

[26] H.K. Rajagopalan, C. Saydam, J. Xiao, A multi period set covering location model for dynamic redeployment of ambulances, Computers & Operations Research Vol. 35, No. 3, pp. 814-826, 2008.

[27] D.A. Schilling, Dynamic location modeling for public-sector facilities: a multi criteria approach, Decision Sciences Vol. 11, No. 4, pp. 714-724, 1980.

[28] G. Gunawardane, Dynamic versions of set covering type public facility location