

پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره 3، شماره 1، بهار 1397

طراحی یک مدل ریاضی به منظور بهبود کیفیت پاسخگویی به تقاضا در مراکز فوریت‌های پزشکی در یک زنجیره تأمین بشردوستانه

محمد رضا صادقی مقدم^{*1}، ایمن قاسمیان صاحبی²

1- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

2- دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران

پذیرش: 1396/8/30

دریافت: 1396/5/26

چکیده

ایران جزو کشورهایی به شمار می‌رود که نرخ وقوع فجایع طبیعی به ویژه زلزله در آن بسیار بالا بوده و از این رو، مدیریت زنجیره تأمین بشردوستانه قبل، حین و بعد از حادثه از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از اجزای این زنجیره، مراکز فوریت‌های پزشکی هستند. مراکز فوریت‌های پزشکی با رسیدگی به موقع به بیماران باعث کاهش مرگ و میر و زیان‌های جبران‌ناپذیر ناشی از جراحات و صدمات حوادث می‌شوند. بنابراین، محل استقرار این مراکز نقش اساسی در کاهش زمان پاسخ به تقاضا دارد و جانمایی این مراکز از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. هدف اصلی این پژوهش بررسی نحوه جانمایی صحیح مراکز فوریت‌های پزشکی با هدف حداکثر کردن پوشش تقاضا و کاهش زمان امداد و نجات در یک زنجیره تأمین بشردوستانه می‌باشد. به منظور پاسخ به مسئله بهبود کیفیت پاسخگویی به تقاضا در مراکز فوریت‌های پزشکی یک مدل ریاضی ارائه شد که با در نظر گرفتن برخی شرایط برای مسئله، اقدام به یافتن بهینه‌ترین تعداد مکان‌ها برای بهبود کیفیت پاسخگویی نموده است. برای حل این

E-mail: Rezasadeghi@ut.ac.ir

* نویسنده مسئول مقاله:

مسئله، یک الگوریتم ابتکاری که در آن از دو الگوریتم فرا ابتکاری استفاده شده است، ارائه شد. سپس تعداد 16 سناریو با استفاده از الگوریتم ارائه شده حل شد که با توجه به دقت پاسخ‌های به دست آمده و سرعت بالای همگرایی الگوریتم پیشنهادی می‌توان از آن در شبکه‌های بزرگ و پیچیده‌ای که در آن‌ها رسیدن به جواب دقیق در زمان معقول امکان‌پذیر نیست، استفاده کرد.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین بشردوستانه؛ جانمایی؛ مراکز فوریت پزشکی؛ شبیه‌سازی تبرید.

1- مقدمه

ابعاد وسیع خسارات و تلفات ناشی از بلایای طبیعی در شهرهای گوناگون جهان سبب شده است پژوهش‌های کاربردی گسترده‌ای در زمینه زنجیره تأمین بشردوستانه و مدیریت لجستیک امداد، در هنگام مواجهه با بحران جهت به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن، انجام گیرد. کشور ایران نیز در محل تقاطع سه صفحه زمین‌ساختی¹ در امتداد گسل‌های آلپ-همالیا قرار دارد و در نتیجه، میان کشورهای خاورمیانه بیشترین آمار وقوع زلزله را دارد [1] که این مسئله منجر به افزایش خطر برای افراد، ساختمان‌ها، تأسیسات و تجهیزات شده است. بررسی زمین‌لرزه‌ها نشان می‌دهد که از بین 84 زمین‌لرزه با مرگ‌ومیر بالای 1000 نفر که در قرن بیستم روی دادند، 12 زمین‌لرزه در ایران رخ داده است که در آن‌ها مجموعاً بیش از 140 هزار نفر کشته شده‌اند [2]. همچنین بررسی حوادث چند سال گذشته مشخص می‌کند که روش‌های پیش‌بینی، پیشگیری، امدادسانی، بازسازی و... در کشور ما توانایی چندانی ندارند؛ به طوری که مشاهدات انجام شده در مورد زلزله بم، ورزقان، بوشهر و خراسان موارد زیر را روشن می‌سازند [2، 3]:

1. Tectonic

طراحی یک مدل ریاضی به منظور بهبود کیفیت ... محمد رضا صادقی مقدم و همکار

✓ اطلاع‌رسانی دقیقی در مورد چنین حوادثی وجود نداشت؛ به طوری که تا چند ساعت پس از لرزش، مرکز زمین‌لرزه مشخص نبود.

✓ رسیدن نیروهای امدادی به منطقه حادثه‌دیده با تأخیر بسیار زیادی صورت گرفت. (نیروهای امدادی روسیه تنها 3 ساعت بعد از زلزله بم در محل حاضر بودند؛ درحالی که هلال‌احمر و سایر ارگان‌های ذی‌ربط تا شب حادثه به محل نرسیدند. همچنین در مورد برخی روستاهای حادثه‌دیده کمک‌رسانی بعد از 3 الی 4 روز شروع شد).

بنابراین برای پیشگیری از وقوع چنین مشکلاتی نیاز به برنامه‌ریزی برای زنجیره تأمین بشردوستانه است. یکی از اقداماتی که در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین بشردوستانه باید مورد توجه قرار گیرد، مبحث کیفیت پاسخگویی به تقاضا است. با توجه به اینکه ایران یکی از زلزله‌خیزترین کشورهاست، طراحی یک سیستم امداد رسانی مؤثر برای آن ضرورت دارد. یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در ارائه با کیفیت خدمات فوریت‌های پزشکی، زمان ارائه این خدمات است. محل استقرار این مراکز، نقش اساسی در کاهش زمان خدمت‌دهی به تقاضاها دارد؛ از این رو، تعیین این محل استقرار در سطح شهرها به خصوص در شهرهای بزرگ از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

با توجه به احتمال بالای وقوع زمین‌لرزه در ایران و اینکه در حال حاضر سیستم مدیریت بحران فاقد ابزاری مناسب برای جانمایی صحیح ایستگاه‌های امداد و نجات و تخصیص امکانات و گروه‌های امدادی به مناطق آسیب‌دیده است و با توجه به اهمیت خدماتی که مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی در زمان و پس از زلزله جهت کاهش تلفات انسانی ارائه می‌دهند، محققین در این پژوهش قصد دارند با ارائه مدلی ریاضی و حل آن به اهداف زیر دست یابند:

✓ بهترین نحوه تخصیص تقاضا در هر دوره؛

✓ بهترین نحوه بازآرایی چیدمان آمبولانس‌ها در دوره‌های مختلف به منظور

بهبود کیفیت پاسخگویی.

2- مروری بر مدل‌های جانمایی

مسئله جانمایی مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی به‌طور گسترده‌ای در 30 سال گذشته مورد مطالعه قرار گرفته است. اولین مدل‌هایی که در این زمینه مطرح شدند، فرضیات ساده بسیاری را در نظر گرفته بودند و مدل مناسبی از شرایط مسئله در واقعیت را نمایش نمی‌دادند [4]. به‌طور کلی، مطالعات انجام‌شده و مدل‌های ارائه‌شده در زمینه مسائل مکان‌یابی مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی را می‌توان به دو دسته اصلی مدل‌های ایستا¹ و پویا² تقسیم کرد [5]. بسیاری از مدل‌های ارائه‌شده به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی با تابع هدف و محدودیت‌های خطی بوده که شامل متغیرهای عدد صحیح و پیوسته³ هستند [6]. هدف مدل‌های ایستا مکان‌یابی پایگاه‌ها و تخصیص آمبولانس‌ها به آن‌هاست. مدل‌های ایستا خود به دودسته‌ی قطعی⁴ و احتمالی⁵ تقسیم می‌شوند [7]. مدل‌های پویا نیز بر پایه‌ی مدل‌های ایستا شکل گرفته‌اند و به مسئله مکان‌یابی امکانات خدمات فوریت‌های پزشکی با در نظر گرفتن بازه‌های زمانی و یافتن چیدمان مناسب آمبولانس‌ها در هر یک از این بازه‌ها پاسخ می‌دهند [7].

تورگاس و همکاران⁶ در سال 1971 مدل LSCM را ارائه دادند. هدف LSCM حداقل کردن تعداد آمبولانس‌های لازم برای پوشش تمام تقاضاهاست [7]. مهم‌ترین ایراد این مدل آن است که تنها فاصله بین نواحی را به‌عنوان معیار تخصیص آمبولانس در نظر می‌گیرد و ظرفیت آمبولانس‌ها نادیده گرفته می‌شود. سال 1979 شیلینگ و همکاران⁷ در مدل خود دو نوع آمبولانس و برای هر آمبولانس یک فاصله پوشش‌دهی در نظر گرفتند. هدف آن‌ها بیشینه‌سازی تعداد تقاضاهایی بود که توسط هر دو نوع وسیله پوشش داده می‌شدند [7، 8].

-
1. Static
 2. Dynamic
 3. Mixed Integer Programming (MIP)
 4. Deterministic
 5. Probabilistic
 6. Toregas et al.
 7. Schilling et al

طراحی یک مدل ریاضی به منظور بهبود کیفیت ... محمد رضا صادقی مقدم و همکار

داسکین¹ مدل مکان‌یابی با امید پوشش بیشینه را که از بسط مدل MCLP حاصل شد، در سال 1983 ارائه کرد. این مدل یکی از اولین مدل‌های احتمالی برای مسئله مکان‌یابی آمبولانس‌هاست [9, 10].

سیدام و همکاران² در سال 2002 الگوریتم ژنتیکی³ به منظور بهبود جواب‌های حاصل از مدل‌های AMEXCLP و MEXCLP ارائه نمودند [11]. اینگلفسن و همکاران تاخیرات موجود در خدمت‌رسانی به بیماران توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی را مورد بررسی قرار دادند و مدل پیشنهادی خود را با اطلاعات به‌دست‌آمده از شهر ادمنتون⁴ آزمودند [9].

همان‌طور که ذکر شد، تقاضا برای خدمات فوریت‌های پزشکی در سطح یک منطقه در زمان‌های مختلف تغییر می‌کند. به همین دلیل، هنگام مکان‌یابی ایستگاه‌های خدمات فوریت‌های پزشکی می‌بایست به این نکته دقت کرد که این جانمایی اولیه نیاز به بازآرایی‌های دوره‌ای دارد تا بتوان همیشه در سطح منطقه تحت بررسی، پوشش‌دهی مناسبی داشته باشیم [12].

اولین مدل پویایی که گندرو و همکاران⁵ ارائه کردند، مدل استاندارد دوتایی پویا بود. در این مدل، مسئله مکان‌یابی مجدد مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی، در هر لحظه t که یک تقاضا ثبت شود، به‌منظور توزیع دوباره آمبولانس‌ها حل می‌شود. پویایی مدل با استفاده از مؤلفه (Mjl) تنظیم می‌شود [13].

اشمید و دوئر⁶ در سال 2010 مدل استاندارد دوتایی پویا را بسط داده و مدل استاندارد دوتایی چند دوره‌ای را ارائه کردند. ویژگی مهم این مدل در نظر گرفتن افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای و امکان بازآرایی نحوه تخصیص آمبولانس‌ها

1. Daskin
2. Saydam et al
3. Genetic Algorithm
4. Admonton
5. Gendreau et al
6. Schmid and Doerner

به مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی در طول افق برنامه‌ریزی و در دوره‌های متوالی است. در جدول 1، مدل‌های ذکرشده در بالا با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول 1 مقایسه مدل‌های جانمایی در زنجیره تأمین بشر دوستانه [7، 11، 14]

| ردیف | نام مدل | هدف | عیب |
|------|-----------------------------------|---|--|
| 1 | مدل پوشش مجموعه پایگاه | حداقل کردن تعداد آمبولانس‌های لازم برای پوشش تمام تقاضا | تنها فاصله بین نواحی را در نظر می‌گیرد و ظرفیت آمبولانس‌ها نادیده گرفته می‌شود |
| 2 | تخصیص مکان با تجهیزات دوگانه | بیشینه کردن تعداد تقاضایی که توسط هر وسیله پوشش داده می‌شود | در نظر نگرفتن ظرفیت آمبولانس‌ها |
| 3 | مکان‌یابی با امید پوشش بیشینه | کمینه کردن زمان غیرقابل‌دسترس بودن آمبولانس‌ها | در نظر نگرفتن ظرفیت آمبولانس‌ها |
| 4 | مدل استاندارد دو تایی پویا | توزیع بهینه دوباره آمبولانس‌ها پس از خدمت‌رسانی | نمی‌توان همزمان از یک آمبولانس در پایگاه‌های مختلف استفاده کرد |
| 5 | مدل استاندارد دو تایی چند دوره‌ای | در نظر گرفتن افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای | در نظر نگرفتن زمان سفر در مدل |

3- مدل‌سازی ریاضی مسئله

در این قسمت، مدل ریاضی مسئله ارائه شده است. برای طرح بهتر مدل ریاضی، پس از بیان فرضیات مدل، به تعریف علائم، مؤلفه‌ها و متغیرها پرداخته و سپس تابع هدف و محدودیت‌های آن ارائه شدند. مفروضات، مجموعه‌ها، متغیرها و مؤلفه‌های متعددی در مدل ریاضی مورد استفاده قرار گرفته است که تعریف هر یک از آن‌ها در جدول 2 آورده شده است:

جدول 2 مفروضات، مجموعه‌ها، مؤلفه‌ها و متغیرهای تصمیم مسئله

| | |
|---|------------------|
| <p>✓ مسافت‌ها به صورت اقلیدسی در نظر گرفته شدند؛ ✓ ظرفیت آمبولانس‌ها و بیمارستان‌ها محدود است؛ ✓ آمبولانس‌ها همواره از مراکز استقرار یافته به نقاط تقاضا اعزام می‌شوند؛ ✓ تنها یک نوع آمبولانس مدنظر است؛ ✓ افق زمانی برنامه‌ریزی به بازه‌های زمانی برابر تقسیم می‌شوند.</p> | <p>مفروضات</p> |
| <p>I: مجموعه نقاط تقاضا؛ J: مجموعه نقاط بالقوه به منظور قرارگیری مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی؛ K: مجموعه بیمارستان‌های موجود؛ T: مجموعه دوره‌های زمانی تحت بررسی $t \in [1, T]$؛ T': مجموعه دوره‌های بازآرایی $t \in [0, T - 1]$.</p> | <p>مجموعه‌ها</p> |
| <p>t_1: استاندارد زمانی سطح 1 در پوشش‌دهی تقاضاها توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی؛ t_2: استاندارد زمانی سطح 2 در پوشش‌دهی تقاضاها توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی؛ s_1: استاندارد زمانی سطح 1 در پوشش‌دهی تقاضاها توسط بیمارستان‌ها؛ s_2: استاندارد زمانی سطح 2 در پوشش‌دهی تقاضاها توسط بیمارستان‌ها؛ u: تعداد آمبولانس‌های در دسترس به منظور استقرار در مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی که این مقدار در تمام افق برنامه‌ریزی ثابت در نظر گرفته شده است؛ c: ظرفیت هر آمبولانس در هر بازه زمانی که با توجه به طول آن بازه زمانی تغییر می‌کند اما در هر ساعت میزان ثابتی در نظر گرفته می‌شود؛ k: ظرفیت پذیرش بیماران اورژانسی توسط بیمارستان k در تمامی بازه‌های زمانی که با توجه به طول آن بازه زمانی تغییر می‌کند و در هر ساعت مقداری ثابت در نظر گرفته می‌شود؛ i: ضریب ارجاع تقاضا از نقطه تقاضای i به بیمارستان‌ها و به معنای درصدی از بیماران است که پس از رسیدن آمبولانس و بررسی توسط تیم پزشکی تشخیص داده می‌شود که می‌بایست به بیمارستان منتقل شوند؛ p_j: حداکثر تعداد آمبولانسی که می‌توان در مرکز بالقوه خدمات فوریت‌های پزشکی ز قرار داد که بستگی به مشخصات ابعادی و تجهیزاتی مرکز دارد؛ d_i: تقاضای نقطه i در بازه زمانی t یا به عبارت بهتر میزان نیاز به خدمات مراکز EMS است؛ β_{jt}: معیار هزینه‌ای جابجایی یک آمبولانس از مرکز j به مرکز t است. این مؤلفه به گونه‌ای مقدار می‌گیرد که دو بخش موجود در تابع هدف، یعنی تخصیص و بازآرایی، با یکدیگر ارتباطی منطقی داشته و از یک جنس باشند؛ q_j: بیانگر این مطلب است که آیا مرکز بالقوه j قادر به پاسخگویی به تقاضای نقطه i در بازه زمانی t است یا خیر و زمانی مقدار یک می‌گیرد که فاصله زمانی مرکز EMS تا نقطه تقاضا کمتر از استاندارد زمانی سطح دو برای مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی باشد؛</p> | <p>مؤلفه‌ها</p> |

| | |
|---|---|
| <p> $a_{ijt} = \begin{cases} 1 & t_{ijt} \leq r_2 \\ 0 & \text{O.W} \end{cases}$ </p> <p> $b_{ikt} = \begin{cases} 1 & t_{ikt} \leq s_2 \\ 0 & \text{O.W} \end{cases}$ </p> <p> $q_{ijt}^1 = \begin{cases} 1 & t_{ijt} \leq r_1 \\ \frac{r_2 - t_{ijt}}{r_2 - r_1} & r_1 \leq t_{ijt} \leq r_2 \\ 0 & t_{ijt} \geq r_2 \end{cases}$ </p> <p> $q_{ikt}^2 = \begin{cases} 1 & t_{ikt} \leq s_1 \\ \frac{s_2 - t_{ikt}}{s_2 - s_1} & s_1 \leq t_{ikt} \leq s_2 \\ 0 & t_{ikt} \geq s_2 \end{cases}$ </p> | <p> b_{ikt}: بیانگر این مطلب است که آیا مرکز بیمارستان k قادر به پاسخگویی به تقاضای نقطه i در بازه زمانی t است یا خیر و زمانی مقدار یک می‌گیرد که فاصله زمانی بیمارستان تا نقطه تقاضا کمتر از استاندارد زمانی سطح دو بیمارستان‌ها باشد؛ </p> <p> q_{ijt}^1: شاخص کیفیت پاسخ‌دهی به تقاضا توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی که به صورت زیر و بر اساس فاصله زمانی بین نقطه تقاضای i و مرکز j تعریف می‌شود و به این معناست که اگر پاسخ‌دهی به تقاضا در مدت زمانی کمتر از استاندارد زمانی سطح 1 صورت پذیرد، این پاسخ‌دهی به بهترین شکل انجام شده و مؤلفه کیفی آن مقدار یک می‌گیرد. اگر این پاسخ‌دهی در مدت زمانی بیشتر از استاندارد زمانی سطح 2 صورت پذیرد، این تقاضا برآورده نشده در نظر گرفته می‌شود و مؤلفه کیفی آن مقدار صفر می‌گیرد. مقدار این مؤلفه در بین این دو استاندارد زمانی نیز به صورت خطی کاهش می‌یابد؛ </p> <p> q_{ikt}^2: شاخص کیفیت پاسخ‌دهی به تقاضا توسط بیمارستان‌ها که به صورت زیر و بر اساس فاصله زمانی بین نقطه تقاضای i و بیمارستان k تعریف می‌شود و به این معناست که اگر انتقال بیمار از نقطه تقاضا تا بیمارستان در مدت زمانی کمتر از استاندارد زمانی سطح 1 صورت پذیرد، این پاسخ‌دهی به بهترین شکل انجام شده و مؤلفه کیفی آن مقدار یک می‌گیرد و اگر این انتقال در مدت زمانی بیشتر از استاندارد زمانی سطح 2 صورت پذیرد، این تقاضا برآورده نشده در نظر گرفته می‌شود و مؤلفه کیفی آن مقدار صفر می‌گیرد. مقدار این مؤلفه در بین این دو استاندارد زمانی نیز به صورت خطی کاهش می‌یابد. </p> |
| | <p>متغیرهای مسئله همگی از نوع عدد صحیح¹ هستند؛</p> <p> x_{ijk}: بیانگر تعدادی از تقاضای نقطه i در بازه زمانی t است که توسط مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j و بیمارستان k پاسخ داده می‌شود؛ </p> <p> n_{jt}: تعداد آمبولانسی که در بازه زمانی t در مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j قرار دارد که در آن $t \in T \cup \{0\}$ </p> |

1. Integer

| |
|---|
| <p>r_{jt}: تعداد آمبولانسی که در انتهای بازه زمانی t از مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی زبه مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j منتقل می‌شود و براساس تغییر تعداد آمبولانس‌های موجود در مراکز از دوره t به دوره $t+1$ است و در آن $t \in T'$</p> <p>f_{jt}^1, f_{jt}^2: این دو متغیر از جنس صفر و یک هستند و بیانگر این مطلب هستند که تعداد آمبولانس‌های موجود در مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j در بازه زمانی t ثابت می‌ماند، افزایش می‌یابد یا کم می‌شود (توضیح بیشتر در شرح مدل آورده شده است)؛</p> <p>X: بیانگر تعدادی از تقاضای نقطه i در بازه زمانی t است که توسط مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j و بیمارستان k پاسخ داده می‌شود. به عنوان نمونه در صورتی که $x_{i322}=25$، این بدان معناست که 25 بیمار از تقاضای نقطه 1 در بازه زمانی 2 به مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی 3 و بیمارستان 2 تخصیص یافته‌اند.</p> |
|---|

رابطه 1 تابع هدف مدل است و از دو بخش تشکیل شده است؛ بخش اول نشان‌دهنده‌ی میزان پوشش تقاضا در منطقه‌ی تحت بررسی است که باید بیشینه شود. این بخش شامل دو عبارت است: عبارت اول میزان پوشش‌دهی بیمارانی توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی با در نظر گرفتن مؤلفه کیفیت پوشش‌دهی را بیان می‌کند. عبارت دوم میزان پوشش‌دهی بیمارانی توسط بیمارستان‌ها را با در نظر گرفتن مؤلفه کیفیت پوشش‌دهی بیان می‌کند. بخش دوم مربوط به بازآرایی آمبولانس‌ها و بیانگر میزان جریمه‌ای است که بابت جابجایی آمبولانس‌ها بین مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی در دوره‌های زمانی مختلف می‌بایست از میزان پوشش‌دهی کسر و باید کمینه شود.

عبارت $\sum_{t \in T'} \sum_{j \in J} \sum_{z' \in J} (\beta_{jjz'} r_{jjz't})$ بیان می‌کند که اگر در دوره زمانی t یک آمبولانس از مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j به مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی z' انتقال یابد، مستلزم $\beta_{jjz'}$ میزان جریمه است. محدودیت 3 اجازه تخصیص آمبولانس به مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی به میزانی بیش از ظرفیت آن‌ها را نمی‌دهد. محدودیت 4 شرایط لازم برای مقدار گرفتن متغیر x_{ijkt} را بیان می‌کند که عبارت‌اند از:

✓ مؤلفه a_{ijzt} می‌بایست مقدار یک داشته باشد؛

✓ مؤلفه b_{ikzt} می‌بایست مقدار یک داشته باشد؛

✓ تعداد آمبولانس‌ها در مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j صفر نباشد یا به

عبارت بهتر این مرکز فعال باشد؛

✓ مؤلفه e_{jk} می‌بایست مقدار یک داشته باشد.

محدودیت 2 بیانگر آن است که مجموع تقاضایی که از یک نقطه پاسخ داده می‌شود، حداکثر به میزان تقاضای آن است. محدودیت‌های 5 تا 8 مربوط به بازآرایی استقرار آمبولانس‌ها در مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی است. محدودیت 9 ظرفیت هر مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی را در هر دوره زمانی نشان می‌دهد که بر اساس تعداد آمبولانس‌های موجود در هر مرکز و ظرفیت هر یک از آن‌ها محاسبه می‌شود. محدودیت 10 ظرفیت هر بیمارستان را در هر دوره زمانی نشان می‌دهد. محدودیت 11 تا 15 نیز بیان می‌کند که متغیرهای مسئله همگی از نوع عدد صحیح و متغیرهای f^1 و f^2 صفر و یک هستند.

$$\max Z = \sum_{t \in T} \left[\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} q_{ijt}^1 \sum_{k \in K} x_{ijkt} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} l_i q_{ikt}^2 \sum_{j \in J} x_{ijkt} \right] - \sum_{t \in T'} \sum_{j \in J} \sum_{j' \in J} \beta_{jj'} r_{jj't} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijkt} \leq d_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (2)$$

$$n_{jt} \leq P_j \quad \forall j \in J, t \in T \cup \{0\} \quad (3)$$

$$x_{ijkt} \leq a_{ijt} n_{jt} b_{ikt} e_{jk} d_{it} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, t \in T \quad (4)$$

$$n_{jt} + \sum_{j' \neq j} r_{j'jt} - \sum_{j' \neq j} r_{jj't} = n_{j,t+1} \quad \forall j \in J, t \in T' \quad (5)$$

$$f_{jt}^1 + f_{jt}^2 \leq 1 \quad \forall j \in J, t \in T' \quad (6)$$

طراحی یک مدل ریاضی به منظور بهبود کیفیت ... محمد رضا صادقی مقدم و همکار

$$\sum_{j' \neq j} r_{jj't} \leq uf_{jt}^1 \quad \forall j \in J, t \in T' \quad (7)$$

$$\sum_{j' \neq j} r_{j'jt} \leq uf_{jt}^2 \quad \forall j \in J, t \in T' \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} x_{ijkt} \leq cn_{jt} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} l_i \sum_{j \in J} x_{ijkt} \leq h_k \quad \forall k \in K, t \in T \quad (10)$$

$$x_{ijkt} \text{ Integer} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T \quad (11)$$

$$n_{jt} \text{ Integer} \quad \forall j \in J, t \in T \cup \{0\} \quad (12)$$

$$r_{jj't} \text{ Integer} \quad \forall j \in J, j' \neq J, t \in T' \quad (13)$$

$$f_{jt}^1 \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, t \in T' \quad (14)$$

$$f_{jt}^2 \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, t \in T' \quad (15)$$

4- روشناسی پژوهش

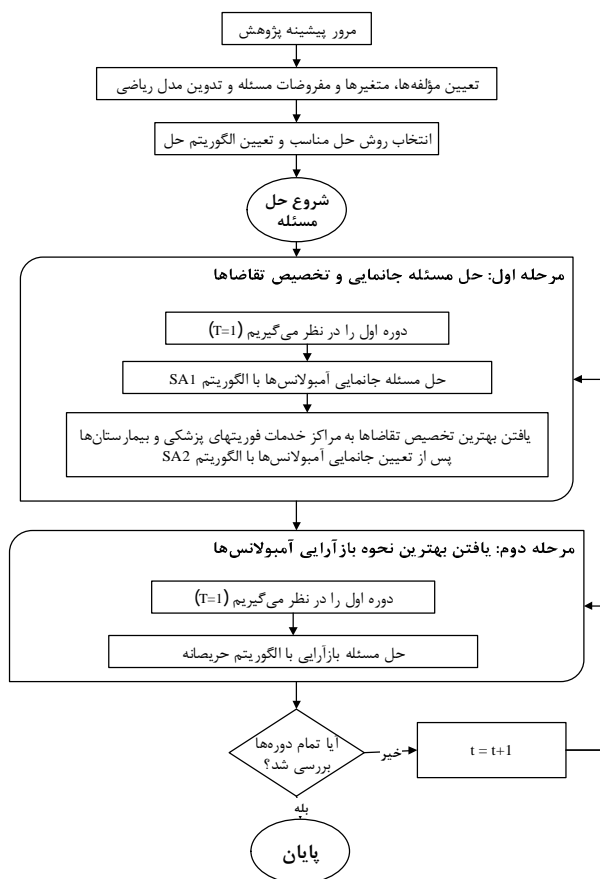
پژوهش حاضر از منظر هدف، تحقیقی کاربردی به شمار می‌رود. از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، این تحقیق توصیفی-تحلیلی است، زیرا برای شناسایی متغیرهای پژوهش و طراحی مدل ریاضی باید شرایط و پدیده‌های موردنظر توصیف شوند. برای جمع‌آوری داده‌ها از استانداردهای پروژه اسفیر¹ در حوزه امداد رسانی استفاده شد [15]. از آنجاکه مدل مسئله‌ی جانمایی ایستگاه‌های امداد و نجات با بزرگ شدن مسئله بسیار پیچیده و

1. Sphere Project

بزرگ می‌شود، به دلیل محدودیت‌های حافظه و بالارفتن زمان حل نمی‌توان با استفاده از روش حل دقیق، جواب مسئله را به دست آورد. به همین منظور برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، الگوریتم حل ابتکاری برای مسئله تحت بررسی ارائه شده است که این الگوریتم از تعریف دو الگوریتم شبیه‌سازی تبریید به نام‌های SA_1 و SA_2 ایجاد شده است.

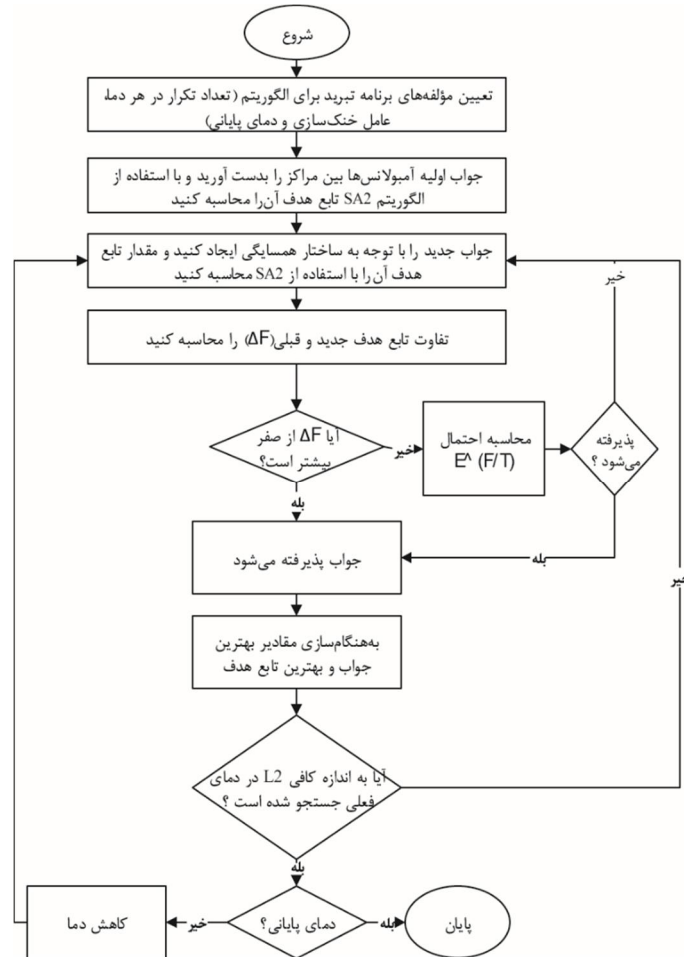
a. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

همان‌طور که گفته شد، الگوریتم حل ابتکاری از دو الگوریتم فرا ابتکاری SA_1 و SA_2 تشکیل شده است. در شکل 1، مراحل کلی الگوریتم ارائه شده مشاهده می‌شود.

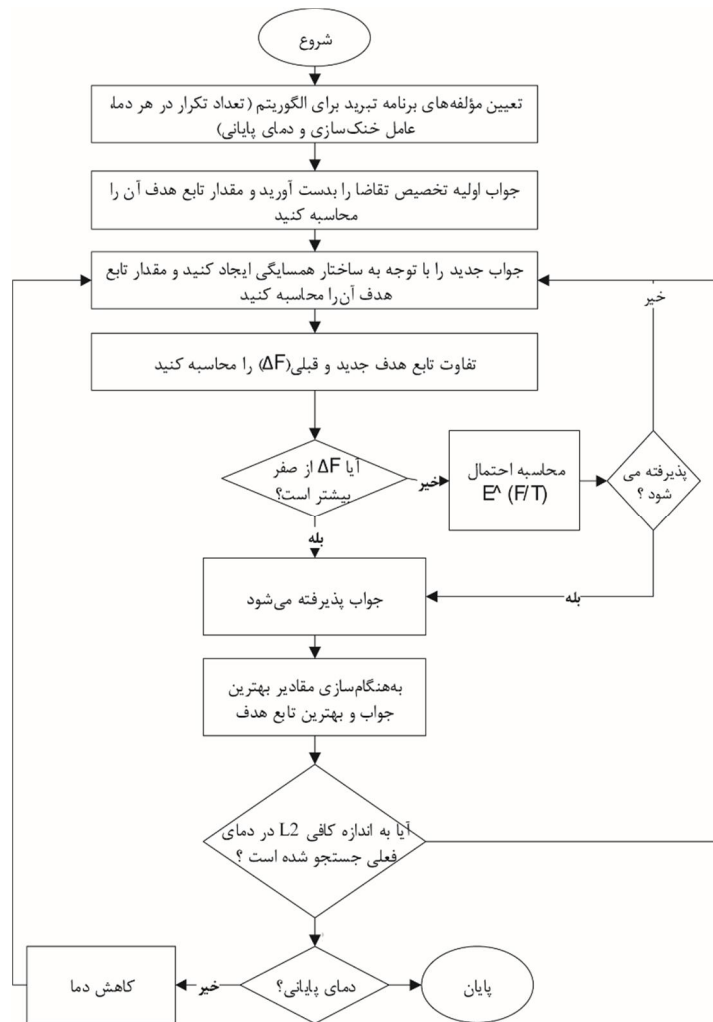


شکل 1 فلوجارت گام‌های تحقیق

دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (SA_1 و SA_2) برای حل مدل پژوهش ارائه شد که الگوریتم SA_2 به عنوان یک زیر الگوریتم در SA_1 اجرا می‌شود. مؤلفه‌های الگوریتم اول با α_1 ، L_1 و T_1 و مؤلفه‌های الگوریتم دوم با α_2 ، L_2 و T_2 نشان داده می‌شود. هدف از اجرای الگوریتم SA_1 یافتن بهترین نحوه توزیع آمبولانس در بین مراکز EMS در دوره زمانی فعلی است. مراحل اجرای این الگوریتم در شکل 2 آمده است. در ابتدا می‌بایست یک جواب اولیه برای این الگوریتم ارائه داد؛ به این منظور گام‌های زیر باید انجام شود:



شکل 2 فلوچارت الگوریتم SA_1



شکل 3 فلوجارت الگوریتم SA₂

گام اول: برای هر مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی، شاخص $DH_1(j)$ تعریف شد که این شاخص بیانگر اولویت مراکز EMS برای دریافت آمبولانس است. این شاخص حداقل مقدار میان دو مقدار زیر است:

طراحی یک مدل ریاضی به منظور بهبود کیفیت ... محمد رضا صادقی مقدم و همکار

- مجموع تقاضاهای موجود در دوره که در فاصله‌ی زمانی r_2 از این EMS قرار دارند و می‌بایست به بیمارستان منتقل شوند؛
 - مجموع ظرفیت بیمارستان‌هایی که با این مرکز در ارتباط هستند.
- پس از تعیین این شاخص، گام‌های دوم و سوم تا زمانی که تمامی آمبولانس‌ها به مراکز EMS تخصیص یابند، ادامه می‌یابد.
- گام دوم: با استفاده از روش چرخ رولت¹ که مقادیر آن بر اساس شاخص $DH_1(j)$ محاسبه شده‌اند، یکی از مراکز EMS انتخاب می‌شود.
- گام سوم: در صورتی که ظرفیت مرکز EMS انتخاب شده در گام دوم از نظر تعداد آمبولانس ممکن برای تخصیص به آن تکمیل نشده باشد، یک آمبولانس به آن تخصیص داده می‌شود و از تعداد آمبولانس‌های موجود یکی کم می‌شود.
- الگوریتم SA_2 سعی در یافتن بهترین تخصیص تقاضاها به مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی و بیمارستان‌ها با توجه به توزیع فعلی آمبولانس‌ها در بین مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی را دارد. مراحل اجرای این الگوریتم در شکل 3 آمده است. برای اجرای الگوریتم SA_2 نیاز به یافتن یک جواب اولیه از تخصیص تقاضاها وجود دارد. به این منظور یک الگوریتم حریصانه طراحی شده است که گام‌های این الگوریتم به صورت زیر است:
- گام اول: یک ترتیب تصادفی از نقاط تقاضا ایجاد کرده و بر اساس آن، تقاضای هریک از نقاط برآورده می‌شود؛
- گام دوم: نزدیک‌ترین مرکز EMS که دارای ظرفیت خالی است و در فاصله‌ی زمانی r_2 از نقطه تقاضا قرار دارد، انتخاب می‌شود. سپس از بین بیمارستان‌هایی که با این مرکز ارتباط دارند و ظرفیت آن‌ها تکمیل نشده است، نزدیک‌ترین بیمارستان به نقطه تقاضا با شرط آنکه در فاصله زمانی s_2 از آن قرار داشته باشد، تعیین می‌شود. سپس تا آنجایی که ظرفیت مرکز EMS و بیمارستان اجازه می‌دهد، تقاضای نقطه تقاضای مدنظر توسط مرکز و بیمارستان انتخاب شده پاسخ داده می‌شود. گام دوم برای هر نقطه تقاضا تا زمانی که تمامی تقاضای آن پاسخ داده شود یا هیچ مرکز EMS در

1. Roulette wheel

فاصله زمانی r_2 از نقطه تقاضا یا بیمارستانی در فاصله زمانی s_2 از آن با ظرفیت خالی وجود نداشته باشد یا در صورت وجود با هم ارتباط نداشته باشند، ادامه می‌یابد و سپس به نقطه‌ی تقاضای بعدی رجوع می‌شود.

در این مرحله از الگوریتم، به منظور یافتن بهترین نحوه بازآرایی آمبولانس‌ها میان مراکز در هر دو دوره متوالی نیز یک الگوریتم حریمانه ارائه شد. در این مرحله، هدف تعیین نحوه جابجایی آمبولانس‌ها بین مراکز در هر دو دوره متوالی به گونه‌ای است که بخش دوم تابع هدف در مدل ریاضی مسئله کمینه شود. گام‌های زیر برای هر یک از دوره‌های بازآرایی یعنی از صفر تا $T-1$ انجام شده است.

گام اول: مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی در دوره t به سه دسته تقسیم می‌شوند:

1. مراکزی که در دوره بعد تعداد آمبولانس‌های موجود در آن‌ها بدون تغییر باقی

می‌ماند؛

2. مراکزی که در دوره بعد تعداد آمبولانس‌های موجود در آن‌ها افزایش می‌یابد؛

3. مراکزی که در دوره بعد تعداد آمبولانس‌های موجود در آن‌ها کاهش می‌یابد.

گام‌های زیر تا زمانی که دسته سوم خالی شود، ادامه می‌یابد.

گام دوم: یکی از مراکز موجود در دسته سوم را به صورت تصادفی انتخاب کرده،

آن را a نامیده و از دسته سوم خارج می‌کنیم.

گام سوم: به اندازه تعداد آمبولانسی که قرار است از مرکز a خارج شود، قدم‌های

زیر باید انجام شوند:

1) نزدیک‌ترین مرکز در دسته دوم به مرکز a را انتخاب و یک آمبولانس از مرکز a

به آن انتقال می‌یابد؛

2) در صورتی که تعداد آمبولانس موجود در مرکزی که در قدم 1 به آن آمبولانس

منتقل شد برسد به تعدادی که در دوره بعد می‌بایست داشته باشد، این مرکز از دسته

دوم خارج می‌شود.

پس از انجام این گام، مرحله دوم الگوریتم به پایان می‌رسد و متغیرهای موجود در

مدل به راحتی از حل نهایی استخراج می‌شوند.

5- حل مدل پژوهش

برای ارزیابی عملکرد روش حل ارائه شده، در این بخش مثال‌های متفاوتی در ابعاد مختلف بررسی شده است. در اینجا مسئله با در نظر گرفتن شهری که دچار زلزله شده و دارای تعداد مشخصی بیمارستان و آمبولانس است، تشریح شد. ابتدا می‌بایست الگوی تقاضا برای خدمات فوریت‌های پزشکی در مناطق مختلف شهر و زمان‌های مختلف را به دست آورد و بر اساس آن تعداد بازه‌های زمانی تحت بررسی و افق برنامه‌ریزی را معین کرد. مؤلفه‌های مربوطه به صورت زیر ساخته شده‌اند:

- مکان‌های نقاط تقاضا، مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی و بیمارستان‌ها به صورت تصادفی در شهری فرضی به ابعاد 20×35 کیلومتر به صورت تصادفی تولید می‌شوند؛

- تعداد بیمارستان‌ها برابر 20 عدد (مطابق با استاندارد مذکور) و مکان آن‌ها و ظرفیتشان در تمامی سناریوها یکسان در نظر گرفته شده‌اند؛

- تعداد آمبولانس‌های موجود در مراکز پیش از آغاز دوره برنامه‌ریزی نیز به صورت تصادفی تعیین می‌شود؛

- فواصل میان نقاط در شهر به صورت اقلیدسی محاسبه شده است؛

- سرعت تردد در بین نقاط و در بازه‌های زمانی مختلف به صورت تصادفی بین 25 تا 80 کیلومتر بر ساعت تولید شده‌اند؛

- T_1 برابر 3 دقیقه و T_2 برابر با 8 دقیقه در نظر گرفته شده است؛

- S_1 برابر با 8 دقیقه و S_2 برابر با 18 دقیقه در نظر گرفته شده است؛

- U تعداد کل آمبولانس‌های در دسترس 20 عدد در نظر گرفته شده است؛

- C ظرفیت هر آمبولانس ثابت و برابر یک بیمار در هر ساعت در نظر گرفته شده

است؛

- H_k به صورت تصادفی بین 0/1 تا 0/9 عبارت (عدد دوره \times تعداد بیمارستان /

مجموع کل تقاضا) برای هر بیمارستان به دست می‌آید؛

- L_i به صورت تصادفی در بازه 0/4 تا 0/8 تولید شده است؛

- P_j برای هر مرکز به گونه‌ای به صورت تصادفی تولید شده است که مجموع ظرفیت‌های موجود برابر با 2 برابر تعداد کل آمبولانس‌ها باشد؛

- D_{ij} مجموع تمام تقاضای موجود در سیستم برابر با مجموع ظرفیت آمبولانس‌های موجود در طول افق برنامه‌ریزی در نظر گرفته شد و این مجموع تقاضا به صورت تصادفی بین نقاط تقاضا در دوره‌های مختلف توزیع شد؛

- β_{ij} در صورتی جابجایی یک آمبولانس بین دو مرکز که دورترین فاصله را از هم دارند، قابل قبول است که باعث پوشش یک تقاضای بیشتر شود؛ به همین منظور مقدار این مؤلفه جریمه بر اساس فاصله موجود بین دو مرکز z_j و z_j محاسبه می‌شود. یعنی مؤلفه β هنگامی که بیشترین فاصله بین دو مرکز (z_j و z_j) وجود دارد، برابر یک و به ازای فواصل کمتر به صورت خطی کاهش می‌یابد؛

- E_{ijk} تعداد بیمارستان‌های مرتبط با هر مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی به صورت عددی تصادفی بین 1 و نصف تعداد بیمارستان‌های موجود به دست می‌آید. همان‌طور که گفته شد، در این پژوهش از الگوریتم شبیه‌سازی شده تبرید استفاده شده است. اساس این الگوریتم بر مبنای جستجوی محلی است؛ بنابراین طراحی روش‌های جستجوی محلی مناسب با توجه به شرایط و محدودیت‌های مسائل شبیه‌سازی شده در این الگوریتم، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. به‌طور کلی پس از تحلیل این الگوریتم، مهم‌ترین مزایای آن عبارت‌اند از: مصرف حافظه بسیار پایین (برخلاف الگوریتم ژنتیک که مصرف بالایی دارد)، ساده بودن پیاده‌سازی آن نسبت به الگوریتم‌های دیگر هم‌رده خود، یافتن جواب‌های قابل قبول به دلیل تمرکز بر جستجوی محلی و همچنین احتمال پذیرش پایین برای پاسخ‌های غیر بهینه. از معایبی که برای این الگوریتم بر شمرده‌اند، وابستگی زیادی به مقدار اولیه مؤلفه‌ها است. همچنین در صورت انتخاب مقدار نامناسب برای مؤلفه دمای اولیه، به احتمال زیاد در بهینه محلی گیر می‌کند. در این پژوهش برای رفع این مشکل از روش سعی و خطا و بررسی مقالات مشابه به منظور انتخاب مؤلفه‌های اولیه استفاده شده است. مقادیر مؤلفه‌های الگوریتم‌های SA_1 و SA_2 در جدول 3 آورده شده‌اند.

جدول 3 مقادیر بررسی شده برای انتخاب مقادیر مناسب مؤلفه‌ها

| مقادیر بررسی شده | مؤلفه‌ها |
|------------------|----------------------------|
| 10، 30 و 60 | دمای اولیه (T_0) |
| 0/75 و 0/95 | ضریب کاهش دما (α) |
| 10، 30، 50 و 90 | تعداد تکرار (L) |

الگوریتم ابتکاری این پژوهش برای مثال‌های کوچک، متوسط و بزرگ به‌ازای سطوح مختلف مؤلفه‌ها اجرا شد. برای هر دسته از مسائل و هر مؤلفه، متوسط جواب حاصل شده از الگوریتم به‌ازای مقادیر مختلف دیگر مؤلفه‌ها محاسبه شد و مقداری از مؤلفه که این میزان متوسط برای آن بیشتر بود، برای آن دسته از مسائل انتخاب گشت. نتایج حاصل از این بررسی و سطوح انتخاب شده از مؤلفه‌ها در جدول 4 نشان داده شده است. در تعیین دما به این نکته دقت شده است که احتمال پذیرش جواب‌هایی که مقدار تابع هدف را بهبود ندهاند در دمای اولیه بالا و در حدود 0/8 باشد و از آن پس، این احتمال کاهش یابد. همچنین در تعیین مؤلفه‌های تکرار در هر دما سعی شد این مؤلفه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شوند که زمان حل الگوریتم نیز در آن لحاظ شود.

جدول 4 مقادیر انتخاب شده برای مؤلفه‌ها

| الگوریتم SA ₂ | | | الگوریتم SA ₁ | | | دسته مسائل |
|--------------------------|------------|----|--------------------------|------------|----|--------------|
| L2 | α_2 | T2 | L1 | α_1 | T1 | |
| 10 | 0/85 | 20 | 20 | 0/9 | 20 | کوچک |
| 20 | 0/85 | 20 | 40 | 0/9 | 20 | متوسط و بزرگ |

دمای پایانی نیز برای الگوریتم SA₁ برابر با 0/15 و برای الگوریتم SA₂ برابر با 0/03 برای تمام سناریوها در نظر گرفته شده است.

الف - انجام سناریوها و تحلیل نتایج

در این مرحله به منظور بررسی کارایی الگوریتم ابتکاری پیشنهادی، 16 سناریو طراحی و توسط روش حل ابتکاری ارائه شده در این پژوهش حل شدند. سناریوها از

ترکیب حالت‌های مختلف تعداد نقاط تقاضا و تعداد مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی به دست آمده‌اند.

حالت‌های مختلف نقاط تقاضا برابر با 30، 50، 100، 200، 300، 400، 500 و 600 نقطه در نظر گرفته شد. با توجه به ثابت بودن مجموع تقاضا، هرچه تعداد نقاط تقاضا بیشتر باشد یا به عبارت بهتر سطح ادغام کمتر باشد، نقاط تقاضا مقادیر کمتری از تقاضا را در خود خواهد داشت.

حالت‌های مختلف تعداد مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی برابر با 10، 30، 60، 90 و 120 مرکز در نظر گرفته شد. در ضمن، اجرای سناریوهای 1 تا 4 جزو مسائل دسته کوچک قلمداد شدند و مؤلفه‌های الگوریتم‌های فرا ابتکاری مربوط به این مسائل بر این اساس تعیین شد. مسائل بعدی نیز با مؤلفه‌های دسته متوسط و بزرگ اجرا شدند که نتایج آن در جدول 5 آمده است. برای اثبات NP Hard بودن مسئله نیز با روش دقیق مسئله حل شد. همان‌طور که در جدول مشخص است با بزرگ شدن مسئله، زمان حل آن توسط روش دقیق به شدت افزایش پیدا می‌کند. در سناریوهای اول تا سوم که روش حل دقیق به جواب بهینه رسیده است، الگوریتم ابتکاری در زمانی بسیار کمتر به جوابی بسیار نزدیک به جواب بهینه رسیده است. الگوریتم ابتکاری برای نمونه‌های چهارم تا هشتم در زمان‌هایی که در جدول مشاهده می‌کنید، به جوابی با کیفیت بالا رسید؛ حال آنکه روش حل دقیق در زمانی بسیار بالاتر به جوابی نزدیک به این جواب‌ها و در برخی نمونه‌ها اندکی بهتر از آن‌ها رسید. در نهایت برای سناریوهای بزرگ‌تر از نهم توسط حل دقیق باز با خطای کمبود حافظه مواجه شدیم که به معنای ابعاد بسیار بزرگ مسئله است اما روش ابتکاری در زمانی متوسط به جواب‌هایی با کیفیت بالا رسید. بنابراین الگوریتم ارائه‌شده کارایی خود را در سناریوهای بزرگ که در مسائل واقعی نیز با چنین ابعادی از مسئله روبرو هستیم، به خوبی نشان. گفتنی است برای کدنویسی روش ابتکاری ارائه‌شده، از نرم‌افزار متلب 2015 در رایانه‌ای با مشخصات Intel Core i7, CPU 3.2 GHz, 12 GB RAM استفاده شده است.

ب - بررسی کارایی الگوریتم ابتکاری پژوهش

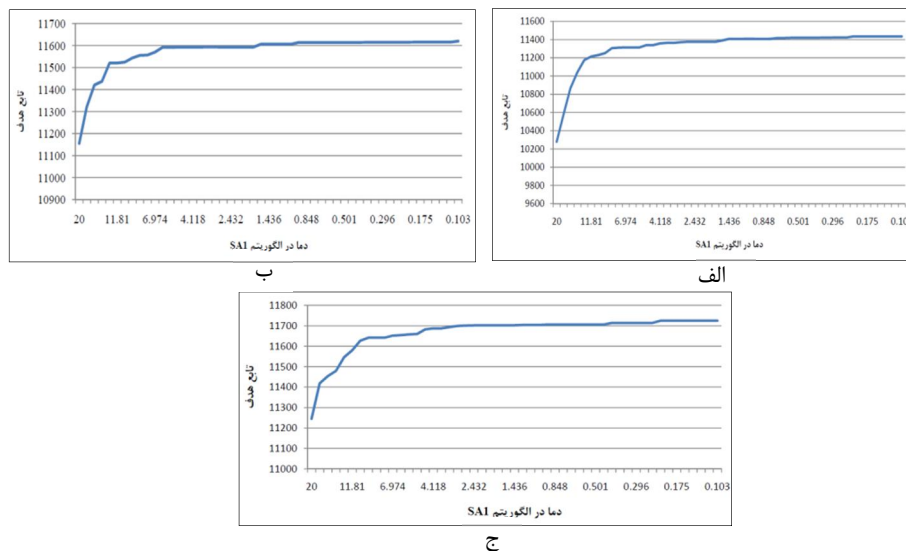
به منظور بررسی و مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری باید کیفیت جواب‌های به دست آمده را با استفاده از معیارهایی همچون سطح پوشش، یکنواختی، مدت زمان

طراحی یک مدل ریاضی به منظور بهبود کیفیت ... محمد رضا صادقی مقدم و همکار

پردازش و ... بررسی نمود [16]. در این قسمت به بررسی الگوریتم‌های SA_1 و SA_2 پرداخته می‌شود. از آنجا که الگوریتم SA_2 در درون الگوریتم SA_1 اجرا می‌شود، برای ارزیابی عملکرد این دو الگوریتم می‌توان به بررسی جواب‌های SA_1 پرداخت. در شکل (الف)، این روند برای مسئله شماره 6، در شکل (ب) این روند برای مسئله شماره 9 و در شکل (ج) این روند برای مسئله شماره 16 نمایش داده شد. در محور افقی، دما و در محور عمودی، میزان تابع هدف قرار دارند.

جدول 5 نتایج حل مدل پژوهش

| شماره سناریو | مؤلفه‌های مسئله | | | نتایج حل دقیق | | | نتایج حل با الگوریتم ابتکاری | | |
|--------------|----------------------|--------------------|------------------|-----------------|-------------|-------------------|------------------------------|-------------------|---------------|
| | تعداد دوره‌های زمانی | تعداد بیمارستان‌ها | تعداد نقاط تقاضا | تعداد مراکز EMS | جواب پایانی | زمان اجرا (ثانیه) | درصد پوشش‌دهی | زمان اجرا (ثانیه) | درصد پوشش‌دهی |
| 1 | 7 | 20 | 30 | 10 | 1024/8 | 27 | 97 | 11103/1 | 3/2 |
| 2 | 7 | 20 | 30 | 30 | 135/2 | 6420 | 94/3 | 10065/2 | 7/6 |
| 3 | 7 | 20 | 50 | 10 | 9532 | 12640 | 87/3 | 9199/6 | 7/8 |
| 4 | 7 | 20 | 50 | 30 | 13681/9 | حدود 6 ساعت | 97/5 | 11654/8 | 26/3 |
| 5 | 7 | 20 | 100 | 30 | 11564/1 | حدود 6 ساعت | 96/8 | 11845/8 | 48 |
| 6 | 7 | 20 | 100 | 60 | 11617/2 | حدود 12 ساعت | 96/2 | 11243/4 | 96/7 |
| 7 | 7 | 20 | 200 | 30 | 11862 | حدود 12 ساعت | 98/21 | 11140/7 | 140/1 |
| 8 | 7 | 20 | 200 | 60 | کمبود حافظه | | | 11614/7 | 214/4 |
| 9 | 7 | 20 | 300 | 60 | کمبود حافظه | | | 11681/6 | 216 |
| 10 | 7 | 20 | 400 | 60 | کمبود حافظه | | | 11499/5 | 345/1 |
| 11 | 7 | 20 | 400 | 90 | کمبود حافظه | | | 11864/9 | 367/3 |
| 12 | 7 | 20 | 500 | 60 | کمبود حافظه | | | 11600/7 | 369/7 |
| 13 | 7 | 20 | 500 | 90 | کمبود حافظه | | | 11718/4 | 436/2 |
| 14 | 7 | 20 | 600 | 60 | کمبود حافظه | | | 11631/3 | 472/2 |
| 15 | 7 | 20 | 600 | 90 | کمبود حافظه | | | 11498/1 | 496/3 |
| 16 | 7 | 20 | 600 | 120 | کمبود حافظه | | | 11701/3 | 498/9 |



شکل 4 روند جواب‌های الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای مسائل 6، 9 و 16

همان‌طور که در هر سه شکل مشخص است و از طبیعت الگوریتم شبیه‌سازی نیز همین انتظار می‌رود، در دماهای اولیه میزان تابع هدف رشد قابل‌توجهی دارد و با کاهش دما دفعات و میزان بهبود تابع هدف کاهش می‌یابد و در دماهای پایانی تقریباً تابع هدف تغییری نمی‌کند. با استفاده از نمودارهای ارائه‌شده و روند الگوریتم در بهبود جواب مشخص است که الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید به‌کاربرده شده در الگوریتم ابتکاری نقش مهمی در بهبود جواب داشته و عملکرد مناسبی داشته‌اند.

6- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه کشور ایران از سال‌ها پیش در پی تبدیل‌شدن به یک کشور صنعتی و پیشرفته بوده و در حوزه بحران و مدیریت آن تمام منابع و ورودی‌های لازم را برای این منظور در اختیار داشته است [17] اما متأسفانه هنوز از مدار توسعه‌نیافتگی در حوزه امدادسانی و مدیریت بشردوستانه خارج نشده است. در این پژوهش، محققین به بررسی نحوه جانمایی صحیح ایستگاه‌های امداد و نجات با هدف حداکثر

طراحی یک مدل ریاضی به منظور بهبود کیفیت ... محمد رضا صادقی مقدم و همکار

کردن پوشش تقاضا و کاهش زمان امداد و نجات پرداخته‌اند. از آنجاکه در این‌گونه مسائل هدف نجات جان انسان‌هاست، پیشنهادها و راهکارهایی که قادر به بهبود عملکرد این مراکز باشند، بسیار مورد استقبال واقع می‌شوند. مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده گویای آن است که تاکنون مطالعات چندانی برای جانمایی مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی هنگام وقوع زلزله با توجه به کارکردهای ویژه آن و روش‌های به‌کار رفته در این پژوهش انجام نگرفته است و چنین مسئله‌ای از لحاظ چرخه عمر تحقیقاتی خود، در ابتدای راه قرار دارد. همچنین از آنجایی که در دنیای واقعی، مسائل مربوط به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به دلیل عوامل انسانی و سایر عوامل از عدم اطمینان بالایی برخوردارند [18]: از الگوریتم‌های فراابتکاری برای پاسخ به این مسائل باید استفاده کرد.

نتایج پژوهش نشان داد که بهینه‌ترین تعداد مراکز امداد و نجات بعد از وقوع زلزله برای مسئله پژوهش (یعنی شهری به ابعاد 35×20 کیلومتر که دارای 20 بیمارستان است) برابر با 30 مرکز EMS است که در آن صورت درصد پوشش‌دهی تقاضای افراد آسیب‌دیده برابر با $98/5$ درصد می‌شود. از مهم‌ترین مؤلفه‌های در ارائه با کیفیت خدمات فوریت‌های پزشکی، زمان ارائه این خدمات است. همچنین محل استقرار این مراکز نقش اساسی در کاهش زمان پاسخ به تقاضا دارد و از این رو، جانمایی این مراکز در سطح شهرها به خصوص شهرهای بزرگ و پرجمعیت از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بنابراین پیشنهاد می‌شود تا برنامه‌ریزان حوزه امداد و سازمان‌های درگیر در زنجیره بشردوستانه، همچون هلال‌احمر و امداد و نجات، ابتدا نقاط بسیار خطرپذیر کشور را شناسایی و با استفاده از مدل پیشنهادی این پژوهش، تعداد مراکز امدادی موردنیاز برای هر یک از نقاط را از قبل تعیین نمایند تا در صورت بروز حادثه، با حداکثر کارایی فرآیند امداد رسانی را انجام دهند. مفروضاتی که در نظر گرفته شده‌اند، خطاهای زیادی را تولید می‌کنند و از صحت مدل می‌کاهند. هرچند با توجه به پدیده پیچیده‌ای مانند زلزله، چنین خطاهایی اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر، جمع‌آوری اطلاعات لازم برای اجرای چنین مدل‌هایی بسیار مشکل است و به کار زیادی نیاز دارد.

یکی از مهم‌ترین زمینه‌هایی که برای تحقیقات بیشتر می‌توان مورد اشاره قرار داد، بررسی توابع و مؤلفه‌های به‌کار رفته در این مقاله است؛ برای مثال، نحوه جانمایی ایستگاه‌های امداد و نجات قبل از وقوع زلزله، بسیار مشکل و چالش‌برانگیز است. همچنین در این مقاله مؤلفه‌هایی قطعی در نظر گرفته شدند؛ برای مثال، زمان لازم برای رسیدن از شهری به شهر دیگر ممکن است متغیر باشد، چراکه بسیاری از راه‌ها در اثر زلزله مسدود خواهند شد. همچنین شاید بتوان توزیع تصادفی مناسبی برای تعداد افراد نیازمند کمک یا حتی نفر-ساعت کار مورد نیاز برای نجات همه افراد پیدا نمود. همچنین کل شهر در این تحقیق به‌عنوان منطقه عملیاتی در نظر گرفته شد؛ در صورتی که شهرهای بزرگ را می‌توان به چند منطقه تبدیل کرد که هر کدام مؤلفه‌های ویژه خود را دارند. در ارتباط با مدل ارائه شده مربوط به مکان‌یابی ایستگاه‌های امداد و نجات در هنگام وقوع زلزله، می‌توان مدل را با در نظر گرفتن پوشش‌دهی پشتیبان برای نقاط تقاضا تغییر داد. از آنجاکه به دلیل مشکلات و اتفاقات پیش‌بینی نشده ممکن است در لحظه نیاز به آمبولانس برای پاسخگویی به یک بیمار آمبولانسی در دسترس نباشد، باید از پوشش پشتیبان برای بیماران استفاده کرد؛ یعنی برای پوشش هر تقاضا، بیش از یک آمبولانس از پیش برنامه‌ریزی شده باشد. همچنین برای حل مسئله می‌توان از الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر، از جمله توسعه‌ی الگوریتم‌های ترکیبی، استفاده کرد.

7- منابع

- [1] A. Mohaghar, I. G. Sahebi, and A. Arab, "Appraisal of Humanitarian Supply Chain Risks Using Best-Worst Method," *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering.*, vol. 11, no. 2, pp. 292–297, 2017.
- [2] I. Ghasemian Sahebi, A. Arab, and M. R. Sadeghi Moghadam, "Analyzing the barriers to humanitarian supply chain management: A case study of the Tehran Red Crescent Societies," *International Journal of Disaster Risk Reduction.*, vol. 24, pp. 232–241, 2017.

- [3] I. ghasemian Sahebi, "Needs assessment and demand forecasting in the lifecycle of disaster in the humanitarian supply chain," Master Thesis, University of Tahrn, 2015.
- [4] N. Altay and W. G. Green, "OR/MS research in disaster operations management," *European journal of operational research*, vol. 175, no. 1, pp. 475–493, 2006.
- [5] V. Schmid and K. F. Doerner, "Ambulance location and relocation problems with time-dependent travel times," *European journal of operational research.*, vol. 207, no. 3, pp. 1293–1303, 2010.
- [6] K. F. Doerner, W. J. Gutjahr, R. F. Hartl, M. Karall, and M. Reimann, "Heuristic solution of an extended double-coverage ambulance location problem for Austria," *Central European Journal of Operations Research*, vol. 13, pp. 325–340, 2005.
- [7] L. Brotcorne, G. Laporte, and F. Semet, "Ambulance location and relocation models," *European journal of operational research.*, vol. 147, no. 3, pp. 451–463, 2003.
- [8] Z. Drezner, G. O. Wesolowsky, and T. Drezner, "The gradual covering problem," *Naval Research Logistics.*, vol. 51, no. 6, pp. 841–855, 2004.
- [9] M. S. Daskin, A. Ingolfsson, S. Budge, and E. Erkut, "Optimal ambulance location with random delays and travel times," *Health Care management science.*, vol. 17, no. 1, pp. 48–70, 1983.
- [10] J. B. Goldberg, "Operations Research Models for the Deployment of Emergency Services Vehicles," *Health Care management science*, vol. 1, no. 1, pp. 20–39, 2004.
- [11] H. Aytug and 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.
- [12] J. C. Dibene, Y. Maldonado, C. Vera, M. de Oliveira, L. Trujillo, and O. Schütze, "Optimizing the location of ambulances in Tijuana, Mexico," *Computers in biology and medicine.*, vol. 80, no. November 2016, pp. 107–113, 2017.

- [13] K. Hogan and Charles Revelle, "Concepts and Applications of Backup Coverage," *Management science*, vol. 32, no. 11, pp. 1434–1444, 2016.
- [14] H. K. Rajagopalan, C. Saydam, E. Sharer, and H. Setzler, "Ambulance Deployment and Shift Scheduling: An Integrated Approach," *Journal of Service Science and Management.*, vol. 4, no. 1, pp. 66–78, 2011.
- [15] P. Woznowski, A. Burrows, T. Diethel, "SPHERE: A Sensor Platform for Healthcare in a Residential Environment: Designing, Developing, and Facilitating Smart Cities", Springer International Publishing, pp. 315–333, 2017
- [16] M. Notash, M. Zandieh, and B. Dorri Nokorani, "Using a Genetic Algorithm Approach for Designing Multi-objective Supply Chain Network," *Modares Journal of Management. Research in Iran*, vol. 18, no. 4, pp. 183–203, 2014.
- [17] H. Safari, M. Ajali, and I. Ghasemiyan Sahebi, "Determining the strategic position of an educational institution in the organizational life cycle with fuzzy approach (Case Study: Social Sciences Faculty of Khaliq Fars University)," *Modern Researches in Decision Making.*, vol. 1, no. 2, pp. 117–138, Jul. 2016.
- [18] A. Toghyani, A. Rajabzadeh, and A. Anvari Rostamy, "Designing of Decision Making Model in Uncertainty Conditions," *Modern Researches in Decision Making*, vol. 1, no. 1, pp. 189–216, Jul. 2016.