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

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

**محمدرضا صادقی مقدم[1*]، ایمن قاسمیان صاحبی[2]**

1- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
2- دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران

دریافت: 1396/5/26 پذیرش: 1396/8/30

**چکیده**

ایران جزو کشورهایی به شمار می‌رود که نرخ وقوع فجایع طبیعی به‌ویژه زلزله در آن بسیار بالا بوده و ازاین‌رو، 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 به‌موقع به بیماران باعث کاهش مرگ‌ومیر 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. به‌منظور پاسخ به مسئله بهبود کیفیت پاسخگویی به تقاضا در مراکز فوریت‌های پزشکی یک مدل ریاضی ارائه شد که با درنظرگرفتن برخی شرایط برای مسئله، اقدام به یافتن بهینه‌ترین تعداد مکان‌ها برای بهبود کیفیت پاسخ‌گویی نموده است. برای حل این

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: Rezasadeghi@ut.ac.ir

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 ارائه‌شده حل شد که با توجه به‌دقت 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 درزمینه 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 زمین ساختی[1] در امتداد گسل‌های آلپ-هیمالیا قرار دارد و درنتیجه، 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 پیش بینی، پیشگیری، امدادرسانی، بازسازی و... در کشور ما توانایی چندانی ندارند؛ به‌طوری‌که مشاهدات انجام‌شده در مورد زلزله بم، ورزقان، بوشهر و خراسان موارد زیر را روشن می‌سازند [2، 3]:

1. Tectonic

✓ اطلاع‌رسانی دقیقی در مورد چنین حوادثی وجود نداشت؛ به‌طوری‌که 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؛ درحالی‌که هلال‌احمر و سایر ارگان‌های ذی‌ربط تا شب حادثه به محل نرسیدند. همچنین در مورد برخی روستاهای حادثه دیده کمک رسانی 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 موردتوجه قرار گیرد، مبحث کیفیت پاسخگویی به تقاضا است. با توجه به اینکه ایران یکی از زلزله خیزترین کشورهاست، طراحی یک سیستم امدادرسانی 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؛ ازاین‌رو، تعیین این محل استقرار در سطح شهرها به‌خصوص در شهرهای بزرگ از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

با توجه به احتمال بالای وقوع زمین لرزه 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 آسیب دیده 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 نحوه‌ی تخصیص تقاضا در هر دوره؛

✓ بهترین نحوه بازآرایی چیدمان آمبولانس‌ها در دوره‌های مختلف به‌منظور بهبود کیفیت پاسخگویی.

## 2- مروری بر مدل‌های جانمایی

مسئله جانمایی مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی به‌طور گسترده‌ای در 30 سال گذشته موردمطالعه 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]. به‌طورکلی، مطالعات انجام‌شده و مدل‌های ارائه‌شده در زمینه مسائل مکان‌یابی مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی را می‌توان به دو دسته‌ی اصلی مدل‌های ایستا[1] و پویا[2] تقسیم کرد [5]. بسیاری از مدل‌های ارائه‌شده به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی با تابع هدف و محدودیت‌های خطی بوده که شامل متغیرهای عدد صحیح و پیوسته[3] هستند [6]. هدف مدل‌های ایستا مکان‌یابی پایگاه‌ها و تخصیص آمبولانس‌ها به آن‌هاست. مدل‌های ایستا خود به دودسته‌ی قطعی[4] و احتمالی[5] 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 همکاران[6] در سال 1971مدل 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 1979شیلینگ و همکاران[7] 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

داسکین[1] 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 همکاران[2] در سال 2002 الگوریتم ژنتیکی[3] به‌منظور 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 موردبررسی قرار دادند و مدل پیشنهادی خود را با اطلاعات به‌دست‌آمده از شهر ادمونتون[4] 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 همکاران[5] 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 ($M\,jl$) تنظیم می‌شود [13].

اشمید و دوئرنر[6] 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 بشردوستانه** [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 دوتایی پویا | توزیع بهینه دوباره آمبولانس‌ها پس از خدمت‌رسانی | نمی‌توان همزمان از یک آمبولانس در پایگاه‌های مختلف استفاده کرد |
| 5 | مدل استاندارد دوتایی 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 مورداستفاده قرار گرفته است که تعریف هریک از آن‌ها در جدول 2 آورده شده است:

**جدول 2 مفروضات، مجموعه‌ها، مؤلفه‌ها و متغیرهای تصمیم مسئله**

| | |
|---|---|
| مفروضات | ✓ مسافت‌ها به‌صورت اقلیدسی در نظر گرفته شدند؛<br>✓ ظرفیت آمبولانس‌ها و بیمارستان‌ها محدود است؛<br>✓ آمبولانس‌ها همواره از مراکز استقراریافته به نقاط تقاضا اعزام می‌شوند؛<br>✓ تنها یک نوع آمبولانس مدنظر است؛<br>✓ افق زمانی برنامه‌ریزی به بازه‌های زمانی برابر تقسیم می‌شوند. |
| مجموعه‌ها | I: مجموعه نقاط تقاضا؛<br>J: مجموعه نقاط بالقوه به‌منظور قرارگیری مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی؛<br>K: مجموعه بیمارستان‌های موجود؛<br>T: مجموعه دوره‌های زمانی تحت بررسی $t \in [1, T]$؛<br>T′: مجموعه دوره‌های بازآرایی $t \in [0, T-1]$. |
| مؤلفه‌ها | $r_1$: استاندارد زمانی سطح 1 در پوشش‌دهی تقاضاها توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی؛<br>$r_2$: استاندارد زمانی سطح 2 در پوشش‌دهی تقاضاها توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی؛<br>$s_1$: استاندارد زمانی سطح 1 در پوشش‌دهی تقاضاها توسط بیمارستان‌ها؛<br>$s_2$: استاندارد زمانی سطح 2 در پوشش‌دهی تقاضاها توسط بیمارستان‌ها؛<br>u: تعداد آمبولانس‌های در دسترس به‌منظور استقرار در مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی که این مقدار در تمام افق برنامه‌ریزی ثابت در نظر گرفته شده است؛<br>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؛<br>$h_k$: 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؛<br>$l_i$: 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؛<br>$p_j$: حداکثر تعداد آمبولانسی که می‌توان در مرکز بالقوه خدمات فوریت‌های پزشکی j قرار داد که بستگی به مشخصات ابعادی و تجهیزاتی مرکز دارد؛<br>$d_{it}$: تقاضای نقطه i در بازه زمانی t یا به عبارت بهتر میزان نیاز به خدمات مراکز EMS است؛<br>$\beta_{jj'}$: معیار هزینه‌ای جابجایی یک آمبولانس از مرکز j به مرکز 'j است. این مؤلفه به‌گونه‌ای مقدار می گیرد که دو بخش موجود در تابع هدف، یعنی تخصیص و بازآرایی، با یکدیگر ارتباطی منطقی داشته و از یک جنس باشند؛<br>$a_{ijt}$: 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؛ |

| | |
|---|---|
| | $a_{ijt} = \begin{cases} 1 & t_{ijt} \le r_2 \\ 0 & \text{O.W} \end{cases}$<br><br>$b_{ikt}$: 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؛<br><br>$b_{ikt} = \begin{cases} 1 & t_{ikt} \le s_2 \\ 0 & \text{O.W} \end{cases}$<br><br>$q^1_{ijt}$: شاخص کیفیت پاسخ‌دهی به تقاضا توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی که به‌صورت 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 مدت‌زمانی کمتر از استاندارد زمانی سطح 1صورت پذیرد، این پاسخ‌دهی به بهترین شکل انجام شده و مؤلفه کیفی آن مقدار یک می‌گیرد. اگر این پاسخ‌دهی در مدت‌زمانی 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 به‌صورت خطی کاهش می‌یابد؛<br><br>$q^1_{ijt} = \begin{cases} 1 & t_{ijt} \le r_1 \\ \dfrac{r_2 - t_{ijt}}{r_2 - r_1} & r_1 \le t_{ijt} \le r_2 \\ 0 & t_{ijt} \ge r_2 \end{cases}$<br>$q^2_{ikt}$: شاخص کیفیت پاسخ‌دهی به تقاضا توسط بیمارستان‌ها که به‌صورت 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 مدت‌زمانی 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 مدت‌زمانی 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 به‌صورت خطی کاهش می‌یابد.<br>$q^2_{ikt} = \begin{cases} 1 & t_{ikt} \le s_1 \\ \dfrac{s_2 - t_{ikt}}{s_2 - s_1} & s_1 \le t_{ikt} \le s_2 \\ 0 & t_{ikt} \ge s_2 \end{cases}$ |
| متغیرهای تصمیم | متغیرهای مسئله همگی از نوع عدد صحیح[1] هستند؛<br>$x_{ijkt}$: بیانگر تعدادی از تقاضای نقطه i در بازه زمانی t است که توسط مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j و بیمارستان k پاسخ داده می‌شود؛<br>$n_{jt}$: تعداد آمبولانسی که در بازه زمانی t در مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j قرار دارد که در آن $t \in T \cup \{0\}$؛ |

1. Integer

| | |
|---|---|
| | $r_{jj't}$: تعداد آمبولانسی که در انتهای بازه زمانی t از مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j به 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 $t \in T'$؛<br>$f_{jt}^1$ ، $f_{jt}^2$: 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)؛<br>$X$: بیانگر تعدادی از تقاضای نقطه i در بازه زمانی t است که توسط مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j و بیمارستان k پاسخ داده می‌شود. به‌عنوان نمونه درصورتی‌که $x_{1322}=25$، 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. |

رابطه1 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 بیماران توسط مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی با در نظر گرفتن مؤلفه کیفیت پوشش‌دهی را بیان می‌کند. عبارت دوم میزان پوشش‌دهی بیماران 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 $\sum_{t\in T'}\sum_{j\in J}\sum_{j'\in J}(\beta_{jj'}r_{jj't})$ بیان می‌کند که اگر در دوره زمانی t یک آمبولانس از مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j به مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی 'j انتقال یابد، مستلزم $\beta_{jj'}$ میزان جریمه است. محدودیت 3 اجازه تخصیص آمبولانس به مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی به میزانی بیش از ظرفیت آن‌ها را نمی‌دهد. محدودیت4 شرایط لازم برای مقدار گرفتن متغیر $x_{ijkt}$ را بیان می‌کند که عبارت‌اند از:

- ✓ مؤلفه aijt می‌بایست مقدار یک داشته باشد؛
- ✓ مؤلفه bikt می‌بایست مقدار یک داشته باشد؛
- ✓ تعداد آمبولانس‌ها در مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی j صفر نباشد یا به عبارت بهتر این مرکز فعال باشد؛

✓ مؤلفه ejk 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.

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

*Subject to:*

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

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

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

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

$$f^1_{jt} + f^2_{jt} \le 1 \qquad \forall j\in J, t\in T' \quad (6)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 4- روشناسی پژوهش

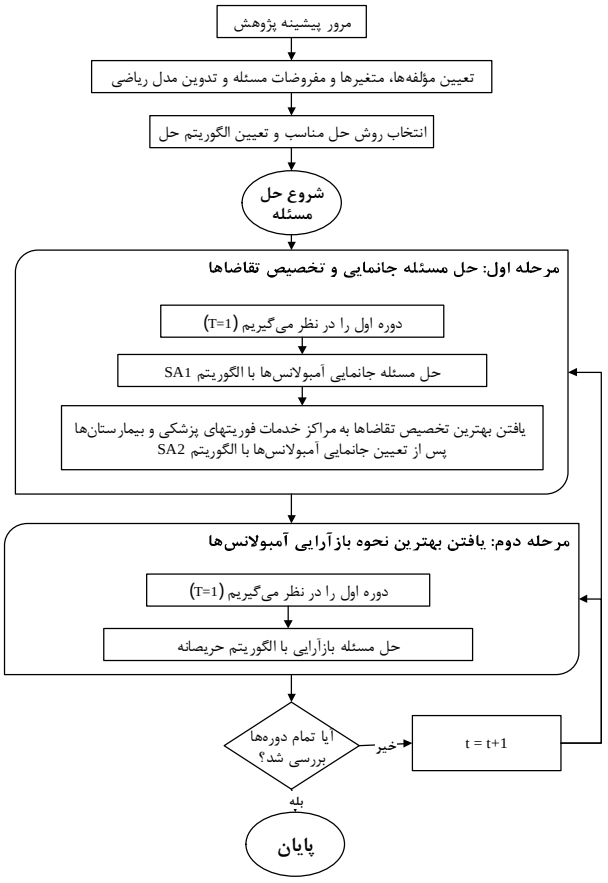
پژوهش حاضر از منظر هدف، تحقیقی کاربردی به شمار می‌رود. ازنظر شیوه گردآوری داده‌ها، این تحقیق توصیفی-تحلیلی است، زیرا برای شناسایی متغیرهای پژوهش و طراحی مدل ریاضی باید شرایط و پدیده‌های موردنظر توصیف شوند. برای جمع‌آوری داده‌ها از استانداردهای پروژه اسفیر[1] در حوزه امدادرسانی استفاده شد [15]. ازآنجاکه 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 بـا اسـتفاده از روش حل دقیق، جواب مسئله را به دست آورد. به همین منظور برای تجزیه‌وتحلیل داده‌هـا، الگوریتم حل ابتکاری برای مسئله تحت‌بررسی ارائه شده است که این الگـوریتم از تعریـف دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به نام‌های $SA_1$ و $SA_2$ ایجاد شده است.

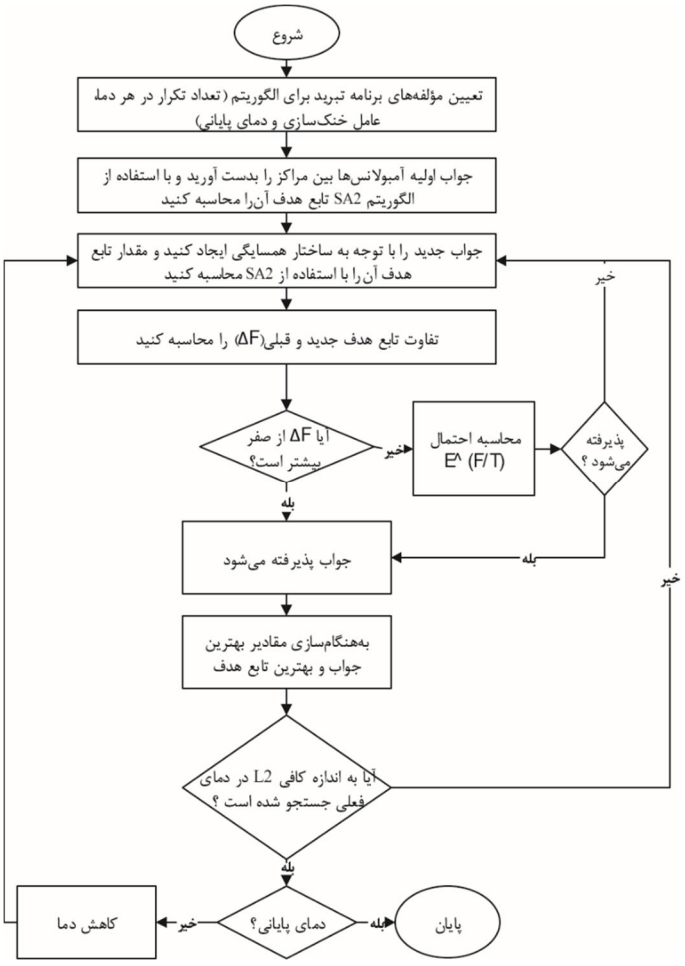
**a. روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها**

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.

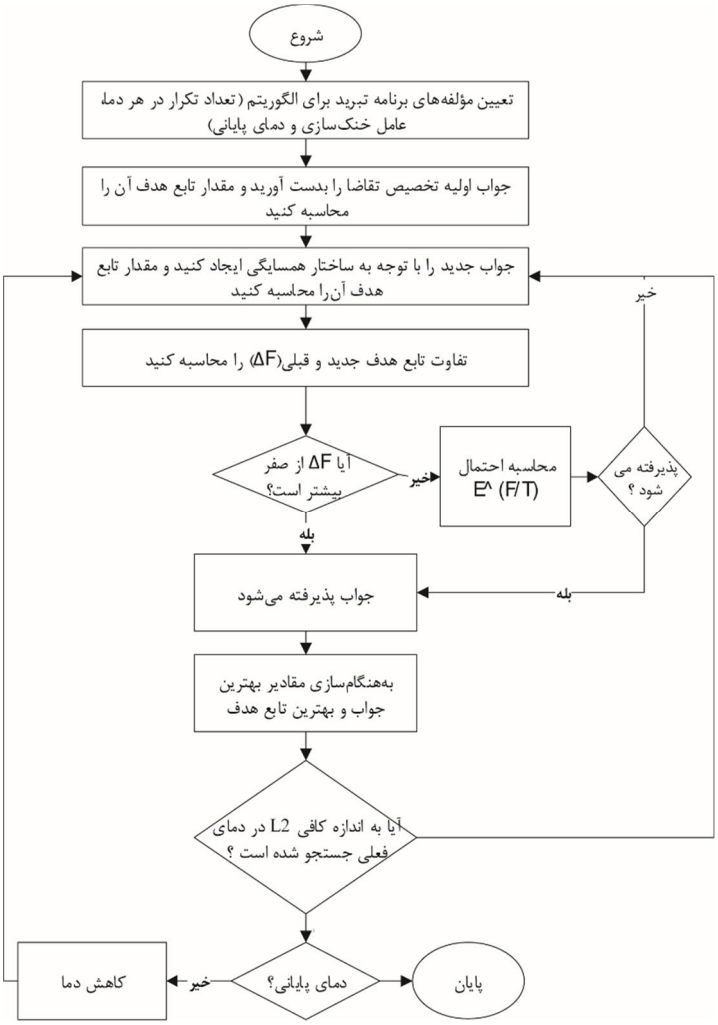



**شکل 1 فلوچارت گام‌های تحقیق**

دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ($SA_2$ و $SA_1$) برای حل مدل پژوهش ارائه شد که الگوریتم $SA_2$ به‌عنوان یک زیرالگوریتم در $SA_1$ اجرا می‌شود. مؤلفه‌های الگوریتم اول با $\alpha_1$، $L_1$ و $T_1$ و مؤلفه‌های الگوریتم دوم با $\alpha_2$، $L_2$ 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:




**شکل2 فلوچارت الگوریتم $SA_1$**




**شکل 3 فلوچارت الگوریتم $SA_2$**

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:

- 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 رولت[1] که مقادیر آن بر اساس شاخص $DH_1(j)$ محاسبه شده‌اند، یکی از مراکز EMS انتخاب می‌شود.

گام سوم: درصورتی‌که ظرفیت مرکز EMS انتخاب‌شده در گام دوم ازنظر 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 به‌صورت 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 انتخاب‌شده 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، به‌منظور یافتن بهترین نحوه بازآرایی آمبولانس‌ها میان مراکز در هر دو دوره متوالی نیز یک الگوریتم حریصانه ارائه شد. در این مرحله، هدف تعیین نحوه جابجایی آمبولانس‌ها بین مراکز در هر دو دوره متوالی به‌گونه‌ای است که بخش دوم تابع هدف در مدل ریاضی مسئله کمینه شود. گام‌های زیر برای هریک از دوره‌های بازآرایی یعنی ازصفر 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 به‌صورت تصادفی انتخاب کرده، آن را a نامیده و از دسته سوم خارج می‌کنیم.

گام سوم: به‌اندازه 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)درصورتی‌که 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 به‌راحتی از حل نهایی استخراج می‌شوند.

## 5- حل مدل پژوهش

برای ارزیابی عملکرد روش حل ارائه‌شده، 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 به‌صورت زیر ساخته شده‌اند:

- مکان‌های نقاط تقاضا، مراکز خدمات فوریت‌های پزشکی و بیمارستان‌ها به‌صورت تصادفی در شهری فرضی به ابعاد 35 × 20 کیلومتر به‌صورت 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 به‌صورت تصادفی تعیین می‌شود؛
- فواصل میان نقاط در شهر به‌صورت اقلیدسی محاسبه شده است؛
- سرعت تردد در بین نقاط و در بازه‌های زمانی مختلف به‌صورت تصادفی بین 25 تا 80 کیلومتر بر ساعت تولید شده‌اند؛
- $r_1$ برابر3 دقیقه و $r_2$ برابر با 8 دقیقه در نظر گرفته‌شده است؛
- $s_1$ برابر با 8 دقیقه و $s_2$ برابر با 18 دقیقه در نظر گرفته‌شده است؛
- U تعداد کل آمبولانس‌های در دسترس 20 عدد در نظر گرفته‌شده است؛
- C ظرفیت هر آمبولانس ثابت و برابر یک بیمار در هر ساعت در نظر گرفته‌شده است؛
- $H_k$ به‌صورت تصادفی بین 0/1 تا 0/9 عبارت (عدد دوره × تعداد بیمارستان / مجموع کل تقاضا) برای هر بیمارستان به دست می‌آید؛
- $L_i$ به‌صورت تصادفی در بازه 0/4 تا 0/8 تولید شده است؛

- $P_j$ برای هر مرکز به‌گونه‌ای به‌صورت تصادفی تولید شده است که مجموع ظرفیت‌های موجود برابر با 2 برابر تعداد کل آمبولانس‌ها باشد؛

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

- $\beta_{jj'}$: در صورتی جابجایی یک آمبولانس بین دو مرکز که دورترین فاصله را از هم دارند، قابل‌قبول است که باعث پوشش یک تقاضای بیشتر شود؛ به همین منظور مقدار این مؤلفه جریمه بر اساس فاصله موجود بین دو مرکز j و j' محاسبه می‌شود. یعنی مؤلفه $\beta$ هنگامی‌که بیشترین فاصله بین دو مرکز(j' و j) وجود دارد، برابر یک و به‌ازای فواصل کمتر به‌صورت خطی کاهش می‌یابد؛

- $E_{jk}$ تعداد بیمارستان‌های مرتبط با هر مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی به‌صورت عددی تصادفی بین 1 و نصف تعداد بیمارستان‌های موجود به دست می‌آید.

همان‌طور که گفته شد، در این پژوهش از الگوریتم شبیه‌سازی‌شده 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 شبیه‌سازی‌شده در این الگوریتم، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. به‌طورکلی 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 قابل‌قبول به دلیل تمرکز بر جستجوی محلی و همچنین احتمال پذیرش پایین برای پاسخ‌های غیر بهینه. از معایبی که برای این الگوریتم برشمرده‌اند، وابستگی زیادی به مقدار اولیه مؤلفه‌ها است. همچنین در صورت انتخاب مقدار نامناسب برای مؤلفه دمای اولیه، به‌احتمال‌زیاد 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 بررسی‌شده برای انتخاب مقادیر مناسب مؤلفه‌ها**

| مؤلفه‌ها | مقادیر بررسی‌شده |
|---|---|
| دمای اولیه ($T_0$) | 10، 30 و 60 |
| ضریب کاهش دما ($\alpha$) | 0/75 و 0/95 |
| تعداد تکرار (L) | 10، 30، 50 و 90 |

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 حاصل‌شده 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 انتخاب‌شده از مؤلفه ها 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 نداده‌اند در دمای اولیه بالا و در حدود 0/8 باشد و ازآن‌پس، این احتمال کاهش یابد. همچنین در تعیین مؤلفه های تکرار در هر دما سعی شد این مؤلفه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شوند که زمان حل الگوریتم نیز در آن لحاظ شود.

**جدول4 مقادیر انتخاب‌شده برای مؤلفه‌ها**

| دسته مسائل | الگوریتم $SA_1$ | | | الگوریتم $SA_2$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | T1 | α1 | L1 | T2 | α2 | L2 |
| کوچک | 20 | 0/9 | 20 | 20 | 0/85 | 10 |
| متوسط و بزرگ | 20 | 0/9 | 40 | 20 | 0/85 | 20 |

دمای پایانی نیز برای الگوریتم $SA_1$ برابر با 0/15 و برای الگوریتم $SA_2$ برابر با 0/03 برای تمام سناریوها در نظر گرفته شده است.

**الف- انجام سناریوها و تحلیل نتایج**

در این مرحله به‌منظور 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 120مرکز 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 به‌شدت 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 نمودهای چهارم تا هشتم در زمان‌هایی که در جدول مشاهده می‌کنید، به جوابی با کیفیت بالا رسید؛ حال‌آنکه روش حل دقیق در زمانی بسیار بالاتر به جوابی نزدیک به این جواب‌ها و در برخی نمودها اندکی بهتر از آن‌ها رسید. درنهایت 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، به‌خوبی 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.

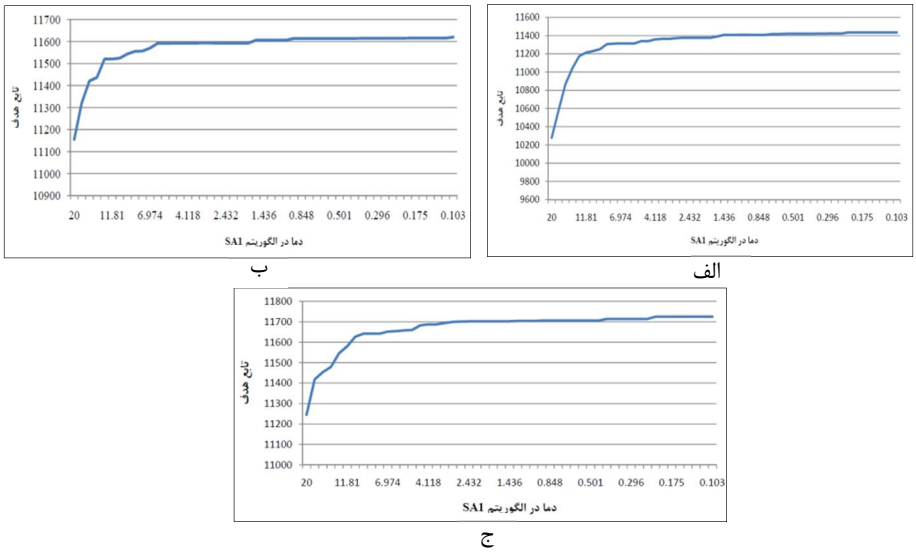
### ب- بررسی کارایی الگوریتم ابتکاری پژوهش

به‌منظور بررسی و مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری باید کیفیت جواب‌های به‌دست‌آمده را با استفاده از معیارهایی همچون سطح پوشش، یکنواختی، مدت‌زمان

پردازش و... بررسی نمود [16]. در این قسمت بـه بررسـی الگـوریتم‌هـای $SA_1$ و $SA_2$ پرداخته می‌شود. ازآنجاکه الگوریتم $SA_2$ در درون الگوریتم $SA_1$ اجرا می‌شود، بـرای ارزیابی عملکرد این دو الگوریتم می‌توان به بررسی جواب‌های $SA_1$ پرداخت. در شـکل (الف)، این روند برای مسئله شماره 6، در شکل (ب) این روند برای مسئله شـماره 9 و در شکل (ج) این روند برای مسئله شماره 16 نمایش داده شد. در محور افقـی، دمـا 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 | جواب پایانی | زمان اجرا (ثانیه) | درصد پوشش‌دهی |
| 1 | 7 | 20 | 30 | 10 | 1024/8 | 27 | 97 | 11103/1 | 3/2 | 94/34 |
| 2 | 7 | 20 | 30 | 30 | 135/2 | 6420 | 94/3 | 10065/2 | 7/6 | 94/12 |
| 3 | 7 | 20 | 50 | 10 | 9532 | 12640 | 87/3 | 9199/6 | 7/8 | 87/8 |
| 4 | 7 | 20 | 50 | 30 | 13681/9 | حدود 6 ساعت | 97/5 | 11654/8 | 26/3 | 96/8 |
| 5 | 7 | 20 | 100 | 30 | 11564/1 | حدود 6 ساعت | 96/8 | 11845/8 | 48 | 98/5 |
| 6 | 7 | 20 | 100 | 60 | 11617/2 | حدود 12 ساعت | 96/2 | 11243/4 | 96/7 | 96 |
| 7 | 7 | 20 | 200 | 30 | 11862 | حدود 12 ساعت | 98/21 | 11140/7 | 140/1 | 98/4 |
| 8 | 7 | 20 | 200 | 60 | کمبود حافظه | | | 11614/7 | 214/4 | 98/1 |
| 9 | 7 | 20 | 300 | 60 | کمبود حافظه | | | 11681/6 | 216 | 95/2 |
| 10 | 7 | 20 | 400 | 60 | کمبود حافظه | | | 11499/5 | 345/1 | 96/4 |
| 11 | 7 | 20 | 400 | 90 | کمبود حافظه | | | 11864/9 | 367/3 | 97/1 |
| 12 | 7 | 20 | 500 | 60 | کمبود حافظه | | | 11600/7 | 369/7 | 96/8 |
| 13 | 7 | 20 | 500 | 90 | کمبود حافظه | | | 11718/4 | 436/2 | 96/6 |
| 14 | 7 | 20 | 600 | 60 | کمبود حافظه | | | 11631/3 | 472/2 | 96/9 |
| 15 | 7 | 20 | 600 | 90 | کمبود حافظه | | | 11498/1 | 496/3 | 97/1 |
| 16 | 7 | 20 | 600 | 120 | کمبود حافظه | | | 11701/3 | 498/9 | 96/3 |




ب الف

ج

**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 امدادرسانی و مدیریت بشردوستانه خارج نشده است. در این پژوهش، محققین به بررسی نحوه جانمایی صحیح ایستگاه‌های امداد و نجات با هدف حداکثر

کردن پوشش تقاضا و کاهش زمان امداد و نجات پرداخته‌اند. ازآنجاکه 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 ازلحاظ چرخه عمر تحقیقاتی خود، در ابتدای راه قرار دارد. همچنین ازآنجایی‌که 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 ازاین‌رو، جانمایی این مراکز در سطح شهرها به‌خصوص 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 هریک از نقاط را از قبل تعیین نمایند تا در صورت بروز حادثه، با حداکثر کارایی فرآیند امدادرسانی 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 مورداشاره 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 موردنیاز برای نجات همه افراد پیدا نمود. همچنین کل شهر در این تحقیق به‌عنوان منطقه عملیاتی در نظر گرفته شد؛ درصورتی‌که شهرهای بزرگ را می‌توان به چند منطقه تبدیل کرد که هرکدام مؤلفه‌های ویژه خود را دارند. در ارتباط با مدل ارائه‌شده مربوط به مکان‌یابی ایستگاه‌های امداد و نجات در هنگام وقوع زلزله، می‌توان مدل را با درنظرگرفتن پوشش‌دهی پشتیبان برای نقاط تقاضا تغییر داد. ازآنجاکه به دلیل مشکلات و اتفاقات پیش‌بینی‌نشده 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، ازجمله 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,” I*nternational 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 Tahran, 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. Diethe, "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 Khalij 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.