مسئله مکان‌یابی ایستگاه‌های آمبولانس و تعیین اندازه ناوگان با در نظر گرفتن عوامل اثرگذار بر عملکرد نظام خدمات فوریت‌های پزشکی. مطالعه موردی: شهر همدان

فرناز خشگه‌باری
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
سید محمدجواد میرزاپورآل‌هاشم[*1]
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

نظام خدمات فوریت‌های پزشکی یک سیستم پیچیده است. پیچیدگی این سیستم از وجود اجزا زیاد و وابسته، محیط پیچیده شهری و هدف سیستم که پاسخگویی باکیفیت به تماس‌های اضطراری برای نجات جان بیماران با احتمال مرگ زیاد است ناشی می‌شود. نگاه سیستمی به این نظام می‌تواند به تصمیم‌گیران این حوزه بینشی دقیق در راستای کاهش هزینه‌ها و افزایش احتمال نجات جان بیماران دهد. مدل‌سازی ریاضی بر پایه تحقیق در عملیات می‌تواند به این نظام به‌صورت یکپارچه نگاه کند و به‌طور هم‌زمان با در نظر گرفتن محدودیت بودجه عوامل اثرگذار بر کیفیت خدمات ازجمله مدت‌زمان پاسخ و مدت‌زمان دریافت درمان قطعی را کنترل کند. در مدل مکان‌یابی ایستگاه‌ها و تعیین اندازه ناوگان ارائه‌شده در این پژوهش برای اولین بار علاوه بر میانگین مدت‌زمان پاسخ به تماس‌های اضطراری، میانگین مدت‌زمان دریافت درمان قطعی نیز به‌صورت صریح در مدل‌سازی لحاظ شده است. نتایج حاصل از اجرا مدل تضمین می‌کند که ازیک‌طرف استاندارد جهانی ۸ دقیقه برای میانگین مدت‌زمان پاسخ رعایت می‌شود و از سوی دیگر به‌طور میانگین بیماران در مدت‌زمان مطلوبی برای دریافت درمان قطعی به بیمارستان منتقل می‌شوند. عدم قطعیت مکان وقوع تماس‌های اضطراری در قالب سناریوها در مدل‌سازی اعمال شده‌است. مدل ارائه‌شده بر روی داده‌های واقعی شهر همدان در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. نکته برجسته حاصل از نتایج اجرا این است که نظام خدمات فوریت‌های پزشکی شهر همدان باید پراکندگی ایستگاه‌ها را افزایش دهد و در صورت افزایش پراکندگی می‌تواند با تعداد ۸ واحد آمبولانس در شرایط عادی باکیفیت استاندارد جهانی فعالیت کند.

واژگان کلیدی: نظام خدمات فوریت‌های پزشکی، تفکر سیستمی، بهینه‌سازی، مدت‌زمان پاسخ، مدت‌زمان دریافت درمان قطعی.

[*1] mirzapour@aut.ac.ir

1- مقدمه

نظام خدمات فوریت‌های پزشکی در هر کشور یک سیستم پیچیده است چراکه شامل اجزای مختلفی است و با اهداف خدمت‌رسانی به بیماران اضطراری از طریق ارائه خدمات پزشکی در محل بیمار و انتقال بیماران به بیمارستان فعالیت می‌کند. چون این نظام با بیماران اضطراری سروکار دارد، عدم پاسخگویی در زمان مناسب در مورد بیماران قلبی موجب ازکارافتادن بخش بیشتری از عضله قلب و ناتوانی قلب در احیای مجدد (لوسکالزو، ۲۰۱۶)، در مورد بیماران ناشی از تصادفات موجب از دست دادن خون بیشتر و در مورد بیماران ریوی موجب کاهش سطح اکسیژن خون و ناتوانی قلب در رساندن اکسیژن کافی به ارگان‌ها و ضعیف شدن بیمار می‌شود، بنابراین عدم پاسخگویی مناسب به تماس‌های اضطراری هزینه هنگفت ناشی از مرگ بیماران را به سیستم تحمیل می‌کند. از طرف دیگر خدماتی که آمبولانس‌ها به بیماران ارائه می‌دهند عمومی خدمات ابتدایی و پیش بیمارستانی است و بیماران اضطراری حتماً برای دریافت درمان قطعی باید در زمان مناسب به بیمارستان منتقل شوند؛ بنابراین دو عامل بسیار مهم و اثرگذار برای کیفیت عملکرد نظام خدمات فوریت‌های پزشکی، مدت‌زمان پاسخ[1] و مدت‌زمان دریافت درمان قطعی[2] هستند. میانگین مدت‌زمان پاسخ، میانگین فاصله زمانی بین وقوع تماس‌های اضطراری تا رسیدن یک واحد آمبولانس در محل بیمار است و میانگین مدت‌زمان دریافت درمان، میانگین فاصله زمانی بین وقوع تماس‌های اضطراری تا انتقال بیمار به بیمارستان است. هر چه این دو کمیت کمتر باشند احتمال نجات جان بیماران نیز افزایش یافته و بنابراین نظام خدمات فوریت‌های پزشکی به هدف خود که خدمت‌رسانی با کیفیت به بیماران اضطراری است نزدیک‌تر می‌شود. مراحل پاسخ به تماس‌های اضطراری عبارت‌اند از:

۱- جوابگویی به تماس‌های تلفنی در مرکز تماس
۲- گرفتن شرح‌حال بیمار و تصمیم‌گیری در خصوص اعزام و یا عدم اعزام آمبولانس
۳- بررسی وضعیت آمبولانس‌های موجود و صدور دستور اعزام آمبولانس در صورت نیاز
۴- آماده شدن راننده آمبولانس
۵- شروع حرکت
۶- رسیدن به محل بیمار
۷- خدمت‌دهی در محل
۸- انتقال بیمار به آمبولانس و انتقال وی به بیمارستان

هر یک از مراحل، از زمان تماس بیمار با مرکز فوریت‌های پزشکی تا رسیدن آمبولانس به محل بیمار، تأخیر زمانی در خدمت‌دهی ایجاد می‌کنند. مدت‌زمان وقوع تماس اضطراری تا اعزام آمبولانس به سمت بیمار با تریاژ[3] درست بیماران و افزایش کیفیت خدمات مرکز تماس قابل‌بهبود است و مدت‌زمان اعزام تا رسیدن آمبولانس به موقعیت مکانی بیمار از طریق برنامه‌ریزی درست منابع و اتخاذ تصمیم‌های درست استراتژیک، فنی و عملیاتی، قابل‌بهبود است.

[1] Response time
[2] Receiving definitive treatment time
[3] Triage

یکی از دلایلی که موجب افزایش پیچیدگی در نظام خدمات فوریت‌های پزشکی می‌شود عدم قطعیت در زمان، مکان و تعداد تماس‌های اضطراری است به‌طوری‌که این سیستم در محیطی با عدم قطعیت غیرقابل‌کنترل و بسیار اثرگذار فعالیت می‌کند. از طرف دیگر اهداف عالی یک نظام خدمات فوریت‌های پزشکی در حالی طراحی می‌شوند که منابع در دسترس که مهم‌ترین آن‌ها بودجه و منابع مالی است، همواره با محدودیت مواجه است؛ بنابراین تصمیم‌گیران این حوزه باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود برای رسیدن به اهداف متعالی خود برنامه‌ریزی کنند و همین نکته اهمیت بحث بهینه‌سازی و تحقیق در عملیات را که می‌تواند با تفکر سیستمی آمیخته به ریاضیات و مبانی بهینه‌سازی، یک سیستم را به حالت بهینه خود نزدیک کند، در این زمینه نشان می‌دهد. نظام خدمات فوریت‌های پزشکی می‌تواند با مدیریت درست و برنامه‌ریزی در زمینه‌ی مکان‌یابی ایستگاه‌های آمبولانس، تعیین اندازه ناوگان و اتخاذ سیاست بهینه اعزام آمبولانس‌ها، نقش قابل‌توجهی در کاهش مدت‌زمان پاسخ به تماس‌های اضطراری و کاهش مدت‌زمان دریافت درمان در بیمارستان و به‌تبع آن بهبود کیفیت خدمات ارائه‌شده به بیماران اضطراری داشته‌باشد. همچنین در نظر گرفتن عدم قطعیت تماس‌های اضطراری می‌تواند با شبیه‌سازی سناریوها در مدل‌سازی لحاظ شود و به این صورت وابستگی جواب حاصل از اجرای مدل بر پارامترهای اولیه کاهش و اعتبار مدل افزایش یابد.

هدف از ارائه این پژوهش نگاه سیستمی به نظام خدمات فوریت‌های پزشکی و ارائه یک مدل مکان‌یابی ایستگاه‌های آمبولانس و تعیین اندازه ناوگان به‌منظور بهبود کیفیت خدمات این نظام است. مقدار مطلوب مدت‌زمان پاسخ و مقدار مطلوب مدت‌زمان دریافت درمان قطعی برای اولین بار به‌صورت صریح در مدل‌سازی اعمال شده‌است بنابراین مدل ارائه‌شده تضمین می‌کند که میانگین مدت‌زمان پاسخ به تماس‌های اضطراری از مقدار مطلوب آن که در استاندارد جهانی بین ۸ تا ۱۰ دقیقه است (بروتکورن و همکاران، ۲۰۰۳) تجاوز نخواهد کرد و به‌طور میانگین بیماران در طی یک بازه زمانی منطقی به بیمارستان منتقل می‌شوند. همچنین عدم قطعیت در تعداد و محل وقوع تماس‌های اضطراری برای انطباق هر چه بیشتر مدل با واقعیت در مدل‌سازی لحاظ شده است. برای اثبات درستی مدل، مدل ارائه‌شده بر روی‌داده‌های واقعی شهر همدان اجرا شد و نتایج عدد حاصل از آن ارائه شده‌است. در ادامه پژوهش در بخش ۲ مبانی نظری و پیشینه تحقیق مرور می‌شود. در بخش ۳ روش شناسی تحقیق بررسی می‌شود. در بخش ۴ مسئله مورد نظر شرح داده‌می‌شود و مدل ریاضی مسئله ارائه می‌شود و نتایج حاصل از اجرای مدل بر روی داده‌های واقعی شهر همدان ارائه می‌شود. در نهایت بخش ۵ به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات تخصیص یافته‌است.

2- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

پیدایش مدل‌های مربوط به مکان‌یابی آمبولانس‌ها از اواخر دهه شصت میلادی و با برنامه‌ریزی ایستگاه‌ها و ماشین‌های آتش‌نشانی شروع شد (کلوزار، ۱۹۷۱). باگذشت زمان مدل‌های ارائه‌شده مفروضات را کنار گذاشته، جنبه‌های بیشتری از واقعیت را در نظر گرفتند و همچنین روش حل‌های مختلفی را ارائه کردند.

منظور از مکان‌یابی آمبولانس تعیین محل احداث ایستگاه‌های آمبولانس است که در بیشتر مطالعات این حوزه تعیین اندازه ناوگان را نیز شامل می‌شود. مدل‌های ارائه‌شده در این زمینه به چهار دسته ایستا قطعی، ایستا احتمالی، پویا چند دوره‌ای و پویا در لحظه تقسیم می‌شوند. در زمینه مسائل مربوط به مکان‌یابی آمبولانس‌ها به‌طور خاص، یک مدل ایستا، مدلی است که در مورد مکان‌یابی محل احداث ایستگاه‌های آمبولانس بر اساس یک تصویر ایستا

تصمیم‌گیری می‌کند و دانشی در مورد مشغول بودن آمبولانس‌ها در طول زمان، چگونگی مکان‌یابی مجدد آمبولانس‌ها و اعزام آمبولانس‌ها به تماس‌ها ارائه نمی‌دهد. اولین مطالعات در زمینه مکان‌یابی آمبولانس‌ها به‌صورت ایستا، مدل پوشش مجموعه‌ای منطقه[1] (تورگاس و همکاران، ۱۹۷۱) و مدل پوشش بیشینه منطقه[2] (چرچ و همکاران، ۱۹۷۴) هستند که هر دو بر مفهوم تضمین پوشش بناشده‌اند. این دو مدل اولیه به‌مرورزمان توسط بسیاری از پژوهشگران توسعه داده شدند. از مهم‌ترین توسعه‌های مدل‌های مکان‌یابی ایستا می‌توان به مدل پوشش بیشینه منطقه با در نظر گرفتن پوشش نسبی (کاراسکال و همکاران، ۲۰۰۴)، مدل سلسله مراتبی مسئله پوشش مجموعه‌ای منطقه (داسکین و همکاران، ۱۹۸۱) مدل پوشش بیشینه منطقه با در نظر گرفتن پوشش دوگانه (هوگان و همکاران، ۱۹۸۶) و مدل پوشش دوگانه استاندارد (دورنر و همکاران، ۲۰۱۰؛ اشمید، ۲۰۱۲) اشاره کرد.

با توجه به عدم کارایی مدل‌های ایستا قطعی و ضعف آن‌ها در تضمین پوشش منطقه در طی زمان، مدل‌های ایستا احتمالی ارائه شدند. داسکین در سال ۱۹۸۳ با واردکردن یک نسبت مشخص به‌عنوان احتمال مشغول بودن آمبولانس‌ها، مدل پوشش بیشینه منطقه را توسعه داد و آن را مسئله بیشینه میانگین پوشش منطقه نامید. مطالعات بسیاری به توسعه مدل یادشده پرداختند که می‌توان به (گلدبرگ و همکاران، ۱۹۹۱)، (بیانچی و همکاران، ۱۹۸۸)، (توکلی و همکاران، ۲۰۰۴) و (سورنسن و همکاران، ۲۰۱۰) اشاره کرد.

یکی از کمبودهای اصلی توسعه‌های مدل مسئله بیشینه میانگین پوشش منطقه این است که نسبت دادن یک مقدار از پیش تعیین‌شده به‌عنوان احتمال مشغول بودن آمبولانس‌ها، کار کردن با این‌گونه مدل‌ها را سخت می‌کند چون احتمال و یا نسبت مشغول بودن آمبولانس‌ها شاخصی است که باید با حل مدل به دست آید درصورتی‌که در این مسائل به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر عدم قطعیت اصلی در نظام خدمات فوریت‌های پزشکی زمان، مکان و تعداد تماس‌های اضطراری است که با روند تخصیص و اعزام آمبولانس‌ها منجر به مشغول بودن آمبولانس‌ها می‌شود. (نیکل و همکاران، ۲۰۱۶) برای غلبه بر این مشکل عدم قطعیت را در مکان وقوع تماس‌های اضطراری مدل‌سازی کردند و با ارائه روش نمونه‌گیری از سناریوها راهی برای غلبه بر بزرگ شدن مسئله ارائه کردند. (نائوم-ساویا و همکاران، ۲۰۱۳) یک مدل مکان‌یابی مجدد ارائه کردند و (عنایتی و همکاران، ۲۰۱۸) و (بوژما و همکاران، ۲۰۱۸) عدم قطعیت مربوط به محل وقوع تماس‌های اضطراری را با تابع توزیع پواسون[3] وارد مسئله کردند و مسئله را به‌صورت پویا مدل‌سازی کردند.

به‌طور خاص هیچ پژوهشی تاکنون انجام‌نشده است که با در نظر گرفتن تابع هدف از جنس هزینه‌ها بتواند استاندارد مدت‌زمان پاسخگویی و استاندارد مدت‌زمان دریافت درمان قطعی را تضمین کند. در مدل‌های پیشین میانگین مدت‌زمان پاسخ به‌عنوان خروجی مدل و با اجرای روش‌های شبیه‌سازی گزارش می‌شد اما در مدل ارائه‌شده این پژوهش مقدار میانگین مدت‌زمان پاسخ به‌صورت صریح و در قالب یک محدودیت تضمین می‌شود؛ همچنین در نظر گرفتن سناریوهای مختلف می‌تواند تا حد زیادی بر کمبود مدل‌های ایستا، مبنی بر احتمال مشغول بودن آمبولانس‌ها و از بین رفتن پوشش غلبه کند. نظام‌های خدمات فوریت‌های پزشکی با پیروی از سیاست‌های ناشی از اجرای مدل ارائه‌شده می‌توانند به این اطمینان برسند که استاندارد جهانی زمان پاسخ و مدت‌زمان دریافت درمان قطعی را رعایت می‌کنند.

---

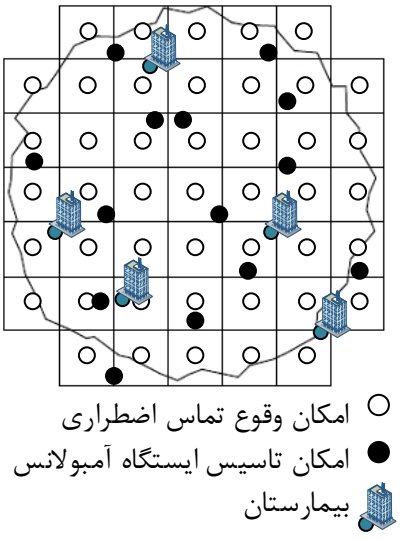
[1] Location set covering problem (LACP)
[2] Maximal covering location problem (MCLP)
[3] Poisson distribution

3- روش‌شناسی تحقیق

در این تحقیق از روش مدل‌سازی خطی و تحقیق در عملیات برای تصمیم‌گیری در مورد محل احداث ایستگاه‌های آمبولانس و تعیین اندازه ناوگان استفاده می‌شود و مدل ارائه‌شده به‌صورت دقیق در نرم‌افزار بهینه‌سازی IBM ILOG CPLEX Optimization studio اجرا می‌شود.

4- بیان مسئله

سؤال اصلی که این پژوهش به آن جواب می‌دهد این است که برای پاسخگویی مناسب و باکیفیت به تماس‌های اضطراری یک نظام خدمات فوریت‌های پزشکی باید ایستگاه‌های آمبولانس را در کجا احداث کند و به هر ایستگاه چه تعداد آمبولانس تخصیص دهد تا این اطمینان را داشته باشیم که میانگین مدت‌زمان پاسخ و میانگین مدت‌زمان دریافت درمان قطعی در حد استاندارد خود رعایت می‌شوند و هزینه‌های احداث ایستگاه و تأمین ناوگان هم حداقل است. به دلیل محدودیت‌های مدل‌سازی و نیاز به گسسته در نظر گرفتن فضای موردمطالعه، در تحقیق حاضر منطقه موردبررسی به تعداد i زیر منطقه تقسیم می‌شود. در هر زیر منطقه i، یک نقطه به‌عنوان نماینده آن زیر منطقه انتخاب شود. تماس‌های اضطراری محقق شده در کل زیر منطقه به نقطه نماینده نسبت داده می‌شود و مسافت بین زیر منطقه‌ها و به‌تبع آن فاصله زمانی طی کردن مسیر بین زیر منطقه‌ها در اصل فاصله زمانی بین نقاط نماینده است. شکل ۱ منطقه موردبررسی را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل 1. منطقه موردبررسی

4-1- تعریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل‌سازی

مجموعه $V = \{i | i = 1,2,3, \dots\}$ شامل تمام نقاطی است که احتمال وقوع تماس اضطراری در آن‌ها وجود دارد و به عبارتی شامل تمام نقاط نماینده است. مجموعه $W = \{j | j = 1,2,3, \dots\}$ شامل نقاطی است که امکان تأسیس

ایستگاه آمبولانس در آن‌ها وجود دارد. مجموعه $H = \{h|h = 1,2,3, \dots\}$ شامل بیمارستان‌های منطقه است. مجموعه $N = V \cup W \cup H$ شامل تمام نقاط است.

همان‌طور که گفته شد نظام خدمات فوریت‌های پزشکی همواره با عدم قطعیت در مورد تعداد، مکان و زمان وقوع تماس‌های اضطراری مواجه است؛ بنابراین نیاز است این عدم قطعیت مهم که تأثیر زیادی بر عملکرد این سیستم می‌گذارد در قالب سناریوها در مدل‌سازی لحاظ شود. عدم قطعیت تحت پارامتر $d_{i,s}, i \in V, s \in \xi$ وارد مدل‌سازی می‌شود که تعداد تماس‌های اضطراری محقق شده در نقطه $i \in V$ تحت سناریو $s \in \xi$ است. توزیع پواسون یک توزیع احتمالی گسسته است که احتمال اینکه یک حادثه به تعداد مشخصی در فاصله زمانی یا مکانی ثابتی رخ دهد را مدل‌سازی می‌کند به‌شرط اینکه این حوادث با نرخ میانگین مشخصی و مستقل از آخرین حادثه رخ دهند. با توجه به نوع تعریف تابع توزیع پواسون مشخص است که این تابع توزیع برای شبیه‌سازی تماس‌های اضطراری مناسب است. همچنین در نظر گرفتن تابع توزیع پواسون برای تقاضا با توجه به دنباله بی‌نهایت این تابع توزیع این امکان را ایجاد می‌کند که شرایط حاد که در آن‌ها تعداد تماس‌های اضطراری در یک زیر منطقه زیاد است نیز حتی با احتمال وقوع بسیار کم در مدل لحاظ شوند. اگر میانگین وقوع تماس اضطراری در یک منطقه در یک ساعت λ باشد احتمال وقوع d تماس اضطراری در یک ساعت طبق تابع توزیع پواسون برابر است با:

$$p(d) = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^{d}}{d!}, d = 0,1,2, \dots \quad (۱)$$

با توجه به اینکه منطقه به تعدادی زیر منطقه با جمعیت‌های مختلف تقسیم شده‌است، در هر سناریو شبیه‌سازی‌شده d تماس اضطراری با توجه به جمعیت مناطق به زیر منطقه‌های مختلف نسبت داده می‌شوند و بنابراین پارامتر تصادفی $d_{i,s}\ i \in V, s \in \xi$ را تولید می‌کند. مجموعه $\xi = \{s|s = 1,2,3, \dots\}$ شامل سناریوهای شبیه‌سازی شده‌است.

از زمان وقوع تماس اضطراری تا تخصیص آمبولانس به تماس تأخیر ایجاد می‌شود، این تاخیر با عنوان $ASSDt$[1] در مدل‌سازی لحاظ شده است. میانگین مدت‌زمان خدمت‌دهی آمبولانس‌ها در محل بیمار $AOSt$ [۲] نام دارد و میانگین مدت‌زمان موردنیاز برای انتقال بیماران به بیمارستان $ATHt$[3] است. فاصله بین نقاط پارامتر $dis_{n,n'}, n, n' \in N$ است که با در نظر گرفتن پارامتری تحت عنوان میانگین سرعت آمبولانس‌ها as، پارامتر فاصله مکانی به پارامتر فاصله زمانی بین نقاط $t_{n,n'}, n, n' \in N$ تبدیل می‌شود. ازآنجایی‌که تابع هدف مدل ارائه‌شده در این پژوهش از جنس هزینه است، هزینه‌های ثابت و متغیر ساخت ایستگاه‌ها به ترتیب تحت پارامترهای bfc و $bvc_j, j \in W$ و هزینه تأمین یک واحد آمبولانس تحت پارامتر ac در نظر گرفته‌می‌شود. فضای موردنیاز برای تخصیص به هر واحد آمبولانس در ایستگاه‌ها با عنوان os و درنهایت عوامل اثرگذار بر کیفیت خدمت‌دهی که عبارت‌انداز مقدار سطح خدمت‌دهی مطلوب با عنوان dsl[۴]، مقدار استاندارد زمان پاسخ با عنوان drt[۵] و مقدار استاندارد زمان دریافت درمان قطعی با عنوان $drdtt$[6] در مدل‌سازی لحاظ می‌شود.

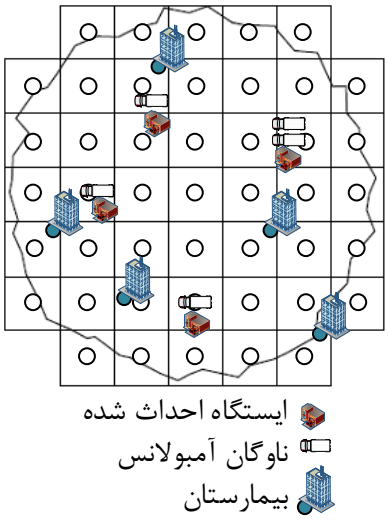
جدول ۱ متغیرهای تصمیم مسئله را به‌طور خلاصه ارائه می‌کند.

جدول 1. متغیرهای تصمیم مسئله

[1] Average Start of Service Delay time
[2] Average On-Site time
[3] Average Transferring to Hospital time
[4] Desired service level
[5] Desired response time
[6] Desired receiving definite treatment time

عنوان	شرح متغیر
$S_j, j \in W$	اگر در نقطه j ایستگاه آمبولانس احداث شود $S_j = 1$
$C_j, j \in W$	ظرفیت (مساحت) ایستگاه احداث‌شده در نقطه j
$F_j, j \in W$	اندازه ناوگان آمبولانس در نقطه j
$X_{j,i}^{s}, j \in W, i \in V, s \in \xi$	تعداد آمبولانس اعزام‌شده از ایستگاه تأسیس‌شده در نقطه j به نقطه i تحت سناریو s
$T_{i,h}^{s}, i \in V, h \in H, s \in \xi$	تعداد آمبولانس که از نقطه i بیماران را به بیمارستان h منتقل می‌کنند در سناریو s

درنهایت مدل با اجرا بر روی‌داده‌ها، بهترین نقاط برای احداث ایستگاه آمبولانس را انتخاب می‌کند و اندازه ناوگان تخصیص داده‌شده به هر ایستگاه را نیز مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که نقاط انتخاب‌شده هم ازنظر هزینه برای نظام خدمات فوریت‌های پزشکی به‌صرفه هستند و هم تأسیس ایستگاه در این نقاط تضمین می‌کند که محدودیت‌های سطح خدمت‌دهی، استاندارد مدت‌زمان پاسخ و استاندارد مدت زمان دریافت درمان قطعی رعایت می‌شوند. شکل ۲ تصویر شماتیک جواب مسئله را نشان می‌دهد.



شکل 2. تصویر نمونه جواب حاصل از اجرای مدل

2-4- مدل مسئله

مسئله موردنظر پژوهش تحت قالب یک مدل بهینه‌سازی خطی با تابع هدف از جنس هزینه‌ها و تعدادی محدودیت مدل‌سازی شده است که در این بخش ارائه می‌شود.

$$\min z = \sum_{j \in W} (bfc \times S_j + bvc_{j\times} C_j + ac \times F_j) \quad (۲)$$

$$s.t.$$

$$C_j \leq bigM \times S_j, \forall j \in W \quad (۳)$$

$$F_j \times os \leq C_j, \forall j \in W \quad (۴)$$

$$\sum_{i\in V} X_{j,i}^{s} \le F_j, \forall j \in W, s \in \xi \quad (۵)$$

$$\sum_{j\in W} X_{j,i}^{s} \le d_{i,s}, \forall i \in V, s \in \xi \quad (۶)$$

$$\sum_{s\in\xi}\sum_{j\in W}\sum_{i\in V} X_{j,i}^{s} \ge dsl \times \sum_{s\in\xi}\sum_{i\in V} d_{i,s} \quad (۷)$$

$$\sum_{s\in\xi}\sum_{j\in W}\sum_{i\in V} X_{j,i}^{s} \times \left(t_{j,i} + ASSDt\right) \le drt \times \sum_{s\in\xi}\sum_{i\in V} d_{i,s} \quad (۸)$$

$$\sum_{h\in H} T_{i,h}^{s} = \sum_{j\in W} X_{j,i}^{s}, \forall i \in V, s \in \xi \quad (۹)$$

$$\sum_{s\in\xi}\sum_{j\in W}\sum_{i\in V} X_{j,i}^{s} \times \left(t_{j,i} + ASSDt\right) + AOSt + \sum_{s\in\xi}\sum_{i\in V}\sum_{h\in H} T_{i,h}^{s} \times (t_{i,h} + ATHt) \le drdtt \times \sum_{s\in\xi}\sum_{i\in V} d_{i,s} \quad (۱۰)$$

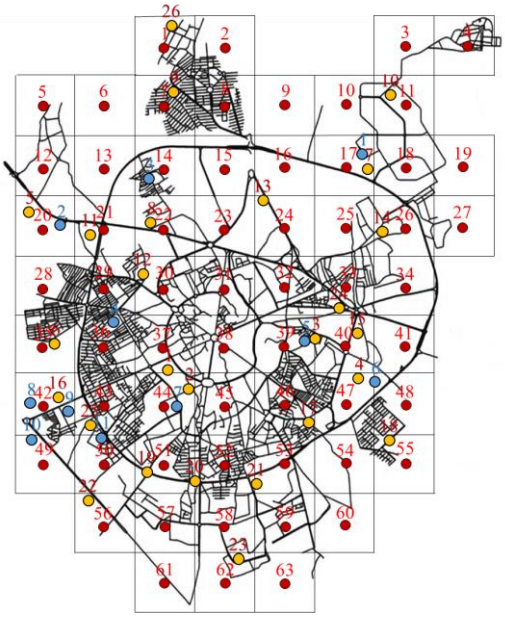
$$S_j \in \{0,1\}, C_j \ge 0, F_j \ge 0, \forall j \in W, X_{j,i}^{s}, T_{i,h}^{s} \ge 0, \forall j \in W, i \in V, h \in H, s \in \xi \quad (۱۱)$$

عبارت (۲) تابع هدف مسئله است. تابع هدف از جنس کمینه‌سازی هزینه‌ها است که به ترتیب به هزینه‌های ثابت و متغیر ساخت ایستگاه‌های آمبولانس و هزینه‌های تأمین ناوگان آمبولانس‌ها اشاره دارد. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که تنها در صورتی می‌توان به یک نقطه آمبولانس تخصیص داد که در آن نقطه ایستگاه آمبولانس احداث‌شده باشد. به عبارتی این محدودیت مدل را مجبور به در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت ساخت ایستگاه‌ها می‌کند. محدودیت (۴) تضمین می‌کند که مجموع فضای موردنیاز برای قرارگیری آمبولانس‌ها در هر ایستگاه احداث‌شده از ظرفیت آن تجاوز نخواهدکرد. محدودیت (۵) بیان می‌کند تعداد آمبولانس اعزام‌شده از یک ایستگاه از تعداد آمبولانس‌های تخصیص‌داده‌شده به آن ایستگاه تجاوز نخواهد کرد. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که تعداد آمبولانس‌های اعزام‌شده به یک نقطه در هر سناریو از تعداد تماس‌های اضطراری آن نقطه تجاوز نخواهد کرد. محدودیت (۷) محدودیت تضمین سطح خدمت‌دهی است و تضمین می‌کند که حداقل به‌اندازه سطح خدمت‌دهی مطلوب به تماس‌های اضطراری پاسخ‌داده‌شده است. محدودیت (۸) محدودیت تضمین میانگین مدت‌زمان پاسخ است و تضمین می‌کند که میانگین مدت‌زمان پاسخ به تماس‌های اضطراری با در نظر گرفتن فاصله زمانی بین نقاط و تأخیر در اعزام آمبولانس از حد مطلوب خود تجاوز نخواهد کرد. محدودیت (۹) محدودیت تضمین ورود و خروج است و بیان می‌کند تمام بیماران به بیمارستان منتقل می‌شوند. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که میانگین مدت‌زمان بین وقوع تماس‌ها تا تحویل بیماران به بیمارستان از مقدار استاندارد مدت‌زمان دریافت درمان قطعی تجاوز نخواهد کرد و بیماران به‌طور میانگین در زمان استاندارد به بیمارستان می‌رسند. درنهایت محدودیت (۱۱) محدودیت تعیین علامت و مقدارگیری متغیرهای تصمیم‌گیری است.

3-4- نتایج حاصل از اجرای مدل بر روی داده‌های واقعی شهر همدان

برای اثبات این ادعا که مدل ارائه‌شده قابلیت اجرا بر روی داده‌های واقعی و بزرگ را دارد، مدل بر روی داده‌های واقعی شهر همدان اجرا شد. شهر همدان مرکز استان همدان واقع‌شده در غرب کشور ایران است. این شهر با مساحت حدود ۶۳ کیلومترمربع و جمعیت ۶۰۰ هزار نفر یکی از کلان‌شهرهای کشور محسوب می‌شود. داده‌های مورداستفاده در این پژوهش با همکاری اورژانس پیش بیمارستانی و مدیریت حوادث استان همدان گردآوری‌شده و مربوط به سال

۱۳۹۹ شمسی است. فرض می‌شود حداقل تا مدت چند سال تغییر ناگهانی و قابل توجهی در وضعیت شهر همدان از جمله تغییرات جمعیتی، آلودگی هوا، شرایط اجتماعی و اقتصادی و فراگیری بیماری خاصی رخ نخواهد داد و نتایج حاصل از اجرا مدل حداقل برای بازه ۵ ساله اعتبار دارد. شکل ۳ منطقه موردبررسی را به‌طور کامل نشان می‌دهد. شهر همدان به تعداد ۶۳ زیر منطقه مربع شکل با مساحت ۱ کیلومترمربع تقسیم‌بندی شده است. مراکز زیر منطقه‌ها به‌عنوان نماینده‌ی آن‌ها با دایره‌های قرمز مشخص‌شده‌اند. در حال حاضر شهر همدان دارای ۸ پایگاه اورژانس است و درمجموع ۱۶ عدد آمبولانس در شرایط عادی آماده‌به‌کار هستند. ۱۸ نقطه دیگر به‌عنوان مکان‌هایی که امکان احداث ایستگاه آمبولانس در آن‌ها وجود دارد نیز در مدل لحاظ شده است. در مجموع ۲۶ نقطه وجود دارد که امکان احداث ایستگاه و تخصیص آمبولانس را دارند و در شکل با دایره‌های نارنجی رنگ مشخص‌شده‌اند. همچنین شهر همدان تعداد ۱۱ بیمارستان فعال دارد که بیمارستان‌ها نیز با دایره‌های آبی رنگ مشخص‌شده‌اند.



شکل 3. مورد مطالعه: شهر همدان

در سال ۱۳۹۹ میانگین تعداد تماس‌های اضطراری در هر ساعت ۵ عدد بوده است. طبق تابع توزیع پواسون در هر سناریو تعداد تماس‌های اضطراری شبیه‌سازی شد و با فرض اینکه جمعیت زیر منطقه‌ها باهم برابر است تماس‌ها بین مناطق مختلف تقسیم شد. برای غلبه بر وابستگی جواب مدل بر مقادیر پارامترهای اولیه تعداد ۱۰۰ سناریو متفاوت شبیه‌سازی شد. طبق اطلاعات مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی شهر همدان میانگین مدت‌زمان تأخیر در اعزام $ASSDt$ برابر با ۱ دقیقه است. میانگین مدت‌زمان خدمت‌دهی در محل بیمار $AOSt$ طبق آمار موجود ۱۵ دقیقه و میانگین فاصله زمانی بین رسیدن آمبولانس به بیمارستان و تحویل کامل بیمار $ATHt$، ۸ دقیقه است. فواصل مکانی بین نقاط با استفاده از نرم‌افزار تحت وب گوگل مپس[1] استخراج شده‌است که با فرض اینکه در محیط شهری میانگین سرعت آمبولانس‌ها ۳۰ کیلومتر بر ساعت است، فواصل زمانی طی کردن مسیرها برحسب دقیقه به دست آمد. مقدار مطلوب

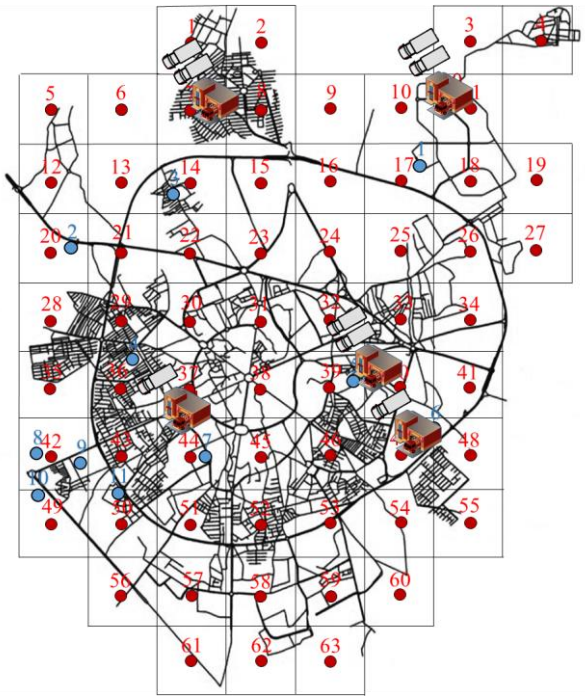
[1] Google maps

سطح خدمت‌دهی ۹۰٪ در نظرگرفته‌شد. استاندارد جهانی مدت‌زمان پاسخ که برابر ۸ دقیقه است به‌عنوان مقدار عددی پارامتر drt و برای پارامتر $drdtt$ مقدار عددی ۴۵ دقیقه به عنوان میانگین مدت‌زمان مطلوب جهت دریافت درمان قطعی در نظر گرفته شده‌است. با مشورت با متخصصین حاضر در مرکز خدمات فوریت‌های پزشکی شهر همدان عدد ۲۴ مترمربع برای مساحت موردنیاز هر واحد آمبولانس در نظر گرفته شد. هزینه ثابت ساخت هر ایستگاه ۱ میلیارد تومان و هزینه تأمین هر واحد آمبولانس ۳.۸ میلیارد تومان است. هزینه‌های متغیر ساخت ایستگاه نیز با مشورت متخصصین و بر اساس قیمت زمین در هر منطقه مشخص شد. اطلاعات مربوط به بیمارستان‌های شهر همدان در جدول ۲ به طور خلاصه گزارش شده‌است.

جدول ۲. اطلاعات بیمارستان‌های شهر همدان.

شماره بیمارستان	نام بیمارستان	موقعیت جغرافیایی		شماره بیمارستان	نام بیمارستان	موقعیت جغرافیایی	
		طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی			طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	آتیه	48.542	34.8247	۷	فرشچیان (سینا)	48.5079	34.7882
۲	ابن‌سینا ارتش	48.4883	34.8154	۸	فرشچیان (قلب و عروق)	48.4845	34.7873
۳	دکتر حافظ کلوندی	48.5044	34.8211	۹	بوعلی	48.4876	34.787
۴	فاطمیه	48.4982	34.8011	۱۰	بهشتی	48.4832	34.7829
۵	تأمین اجتماعی	48.5311	34.7974	۱۱	ولیعصر	48.4979	34.781
۶	بعثت	48.5416	34.7918				

با اجرای مدل بر روی داده‌های واقعی شرح‌داده‌شده مربوط به شهر همدان با تعداد ۱۰۰ سناریو در نرم‌افزار بهینه‌سازی IBM ILOG CPLEX Optimization studio، مدل در زمان ۹۵ ثانیه به‌صورت قطعی حل می‌شود که نشان‌دهنده کارایی حل مدل بر روی داده‌های واقعی، بزرگ و پیچیده است. نتایج عددی طبق شکل ۴ حاصل می‌شود.



شکل 4. نتیجه حاصل از اجرا مدل بر روی داده‌های واقعی شهر همدان

طبق شکل ۴ مدل تصمیم می‌گیرد درمجموع ۵ ایستگاه آمبولانس به ترتیب در نقطه شماره ۳ با ظرفیت دو آمبولانس، نقطه شماره ۴ با ظرفیت دو آمبولانس، نقطه شماره ۹ با ظرفیت دو آمبولانس، نقطه شماره ۱۰ با ظرفیت دو آمبولانس و نقطه شماره ۱ با ظرفیت یک آمبولانس احداث کند و هزینه کل نیز مقدار ۳۵ میلیارد تومان می‌شود.

با مقایسه جواب حاصل از اجرای مدل بر روی داده‌های واقعی شهر همدان و شرایط حال حاضر نظام خدمات فوریت‌های پزشکی در این شهر می‌توان نتیجه گرفت که تعداد ایستگاه‌های آمبولانس از ۸ عدد به ۵ عدد قابل کاهش است و درعین‌حال افزایش پراکندگی ایستگاه‌ها برای تضمین سطح خدمت‌دهی و استاندارد مدت‌زمان پاسخ نیاز است. همچنین اندازه کل ناوگان آمبولانس موردنیاز در حالت بهینه ۸ واحد آمبولانس است که در مقایسه با وضعیت حال حاضر کمتر از ۵۰٪ ناوگان آمبولانس بکارگرفته‌شده در شرایط عادی است.

5- بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف ارائه مدل بهینه‌سازی هزینه‌های نظام خدمات فوریت‌های پزشکی ارائه شد. نظام خدمات فوریت‌های پزشکی در هر شهر و کشور یک سیستم پیچیده است که از اجزا مختلف تشکیل‌شده و با هدف مهم نجات جان بیماران اضطراری فعالیت می‌کند. طولانی بودن مدت‌زمان پاسخ به تماس‌های اضطراری موجب کاهش احتمال نجات جان بیماران می‌شود و درنتیجه هزینه‌های هنگفتی به سیستم اجتماعی و اقتصادی هر کشور وارد می‌کند. خدماتی که آمبولانس‌ها به بیماران ارائه می‌کنند خدمات ابتدایی پزشکی بوده و در نتیجه بیماران برای دریافت درمان قطعی نیاز دارند به موقع به بیمارستان منتقل شوند. در این پژوهش برای اولین بار مدلی بر اساس بهینه‌سازی هزینه‌ها ارائه شد که تضمین می‌کند میانگین مدت‌زمان پاسخ به تماس‌های اضطراری و میانگین مدت زمان دریافت درمان

قطعی از استاندارد خود تجاوز نخواهند کرد؛ بنابراین نظام‌های خدمات فوریت‌های پزشکی هر منطقه با اجرای نتایج حاصل از اجرای این مدل می‌تواند ادعا کنند که کیفیت خدمات ارائه‌شده آن‌ها در سطح مطلوبی است. برای جلوگیری از وابستگی مدل به داده‌های اولیه و عدم قطعیت غیرقابل‌کنترل در تعداد، زمان و مکان وقوع تماس‌های اضطراری، مدل به‌صورت غیرقطعی و با شبیه‌سازی تعداد ۱۰۰ سناریو در زمان منطقی حل شد.

با تحلیل نتایج حاصل از حل مدل بر روی داده‌های واقعی شهر همدان می‌توان به این نتیجه رسید که نظام خدمات فوریت‌های پزشکی این شهر با افزایش پراکندگی ایستگاه‌ها با تعداد ۵۰٪ از آمبولانس‌های در دسترس می‌تواند به‌طور مطلوبی به تماس‌های اضطراری خدمت‌رسانی کند.

نظام خدمات فوریت‌های پزشکی با انواع مختلف بیماران سروکار دارد که می‌توانند ازلحاظ نوع و شدت بیماری در گروه‌های مختلفی جای بگیرند. پژوهشگران علاقه‌مند می‌توانند انواع مختلف بیماران را در مدل ارائه‌شده این پژوهش در نظر بگیرند تا نظام خدمات فوریت‌های پزشکی بتواند با دسته‌بندی بیماران خدمات ارزنده‌تر و باکیفیت‌تری به بیماران ارائه دهد. همچنین مدل ارائه‌شده همان‌طور که پیش‌تر گفته شد یک مدل غیرقطعی است که ابعاد آن با افزایش تعداد سناریوها افزایش پیدا می‌کند. ارائه یک روش حل کارا برای حل مدل با سناریوهای بیشتر می‌تواند راهگشای اجرای مدل بر روی داده‌های بزرگ‌تر و با در نظر گرفتن تعداد سناریوهای بیشتر باشد.

منابع

Bianchi, G., & Church, R. L. (1988). A hybrid fleet model for emergency medical service system design. In *Social Science and Medicine* (Vol. 26, Issue 1, pp. 163–171).

Boujemaa, R., Jebali, A., Hammami, S., Ruiz, A., & Bouchriha, H. (2018). A stochastic approach for designing two-tiered emergency medical service systems. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, *30*(1–2), 123–152.

Brotcorne, L., Laporte, G., & Semet, F. (2003). Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, *147*(3), 451–463.

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

Daskin, M. S. (1983). MAXIMUM EXPECTED COVERING LOCATION MODEL: FORMULATION, PROPERTIES AND HEURISTIC SOLUTION. *Transportation Science*, *17*(1), 48–70.

Daskin, M. S., & Stern, E. H. (1981). Hierarchical Objective Set Covering Model for Emergency Medical Service Vehicle Deployment. In *Transportation Science* (Vol. 15, Issue 2, pp. 137–152).

Enayati, S., Özaltın, O. Y., Mayorga, M. E., & Saydam, C. (2018). Ambulance redeployment and dispatching under uncertainty with personnel workload limitations. In *IISE Transactions* (Vol. 50, Issue 9, pp. 777–788).

Goldberg, J., & Paz, L. (1991). Locating emergency vehicle bases when service time depends on call location. *Transportation Science*, *25*(4), 264–280.

Hogan, K., & ReVelle, C. (1986). Concepts and Applications of Backup Coverage. *Management Science*, *32*(11), 1434–1444.

Karasakal, O., & Karasakal, E. K. (2004). A maximal covering location model in the presence of partial coverage. In *Computers and Operations Research* (Vol. 31, Issue 9, pp. 1515–1526).

Kolesar, P., & Walker, W. E. (1974). An Algorithm for the Dynamic Relocation of Fire Companies. *Operations Research*, *22*(2), 249–274.

Loscalzo, J. M. (2016). *Harrison's Cardiovascular Medicine* (3rd ed.). McGraw-Hill Education / Medical.

Naoum-Sawaya, J., & Elhedhli, S. (2013). A stochastic optimization model for real-time ambulance redeployment. In *Computers and Operations Research* (Vol. 40, Issue 8, pp. 1972–1978).

Nickel, S., Reuter-Oppermann, M., & Saldanha-da-Gama, F. (2016). Ambulance location under stochastic demand: A sampling approach. *Operations Research for Health Care*, *8*, 24–32.

Schmid, V. (2012). Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming. *European Journal of Operational Research*, *219*(3), 611–621.

Schmid, V., & Doerner, K. F. (2010). Ambulance location and relocation problems with time-dependent travel times. *European Journal of Operational Research*, *207*(3), 1293–1303.

Sorensen, P., & Church, R. (2010). Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems. In *Socio-Economic Planning Sciences* (Vol. 44, Issue 1, pp. 8–18).

Tavakoli, A., & Lightner, C. (2004). Implementing a mathematical model for locating EMS vehicles in fayetteville, NC. In *Computers and Operations Research* (Vol. 31, Issue 9, pp. 1549–1563).

Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The Location of Emergency Service Facilities. *Operations Research*, *19*(6), 1363–1373.

Ambulance Location and fleet size problem considering the factors affecting the emergency medical services system performance, Case study: Hamadan city

Farnaz Khoshgehbari[1]
Amirkabir University of Technology
S.M.J. Mirzapour Al-e-hashem [2*]
Amirkabir University of Technology

Abstract

The emergency medical service system is a complex system. The complexity of this system stems from the existence of many dependent components, the complex urban environment and the purpose of the system, which is to respond well to emergency calls to save the lives of patients with a high probability of death. A systematic view of this system can give decision makers a clear insight in order to reduce costs and increase the likelihood of saving patients' lives. Mathematical modeling based on operations research can look at this system in an integrated way and at the same time control factors affecting the quality of services, including response time and recieving definitive treatment time, by considering budget constraints. In the model of locating stations and determining the fleet size presented in this study, for the first time, in addition to the average response time to emergency calls, the average receiveig definitive treatment time is explicitly considered in the modeling. The results of the implementation of the model ensure that on the one hand, the global standard for the average response time that is 8 minutes is garanteed, and on the other hand, on average, patients are transported to the hospital in a timely manner to receive definitive treatment. Uncertainty of the location of emergency calls in the form of scenarios has been applied in modeling. The presented model was implemented on real data of Hamedan city in 1399. The salient point of the implementation results is that the emergency medical service system of Hamedan city should increase the dispersion of stations and if the dispersion increases, it can operate with 8 ambulance units in normal conditions with world standard quality.

Keywords: Emergency medical services system, System thinking, Optimization, Response time, Receiving definitive treatment time.

[1] fkhoshgebari@gmail.com
[2*] mirzapour@aut.ac.ir