کاهش میانگین زمان پاسخ خدمات اورژانس پزشکی از طریق بهینه سازی مکان پایگاههای اورژانس

احمد کمالی[a]، سید مجتبی سجادی[b]، فریبرز جولای[c]

[a] دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[b] استادیار گروه کارآفرینی، دانشکده کار آفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[c] استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

نویسنده مسئول: سید مجتبی سجادی (msajadi@ut.ac.ir)

چکیده

تصمیم گیری در مورد محل استقرار پایگاههای اورژانس به منظور پاسخ دهی سریع به تماس های درخواست خدمات اورژانس پزشکی از مسائل پیچیده ای می باشد که مدیران این سیستم ها با آن روبرو هستند. این مساله با افزایش نرخ تماس های اضطراری، بدتر شدن شرایط ترافیکی و افزایش هزینه های عملیاتی پیچیده تر می گردد. در این تحقیق جهت کاهش هزینه های عملیاتی خدمات اورژانس پزشکی و نیز افزایش کیفیت این خدمات از تلفیق تکنیکهای بهینه سازی و شبیه سازی برای مکان یابی پایگاههای اورژانس استفاده می شود. در روش ارائه شده ابتدا با استفاده از تکنیک بهینه سازی، محل استقرار پایگاههای اورژانس مشخص میگردد و آمبولانسها نیز به این پایگاهها تخصیص می یابند. سپس با استفاده از تکنیک شبیه سازی ترکیبهای مختلف استقرار پایگاهها و تخصیص آمبولانسها در محیطی پویا مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. روش ارائه شده با بهینه سازی محل استقرار پایگاههای اورژانس و تخصیص آمبولانسها به این پایگاهها، منجر به کاهش زمان پاسخ می شود. بهعنوان مطالعه موردی، روش ارائه شده در شهر اصفهان اجرا می گردد. مقایسه نتایج بدست آمده از حل مدل پیشنهادی و سیستم فعلی، کارائی این مدل را در دنیای واقعی نشان می دهد.

کلمات کلیدی: خدمات اورژانس پزشکی، مکان یابی، شبیه سازی

۱. مقدمه

هدف از خدمات اورژانس پزشکی کاهش مرگ و میر و صدمات جسمی افراد حادثه دیده یا بیماران و به دنبال آن افزایش سطح سلامت جامعه می باشد. هم اکنون با افزایش عواملی مانند: طول عمر افراد، درگیریهای خیابانی، تصادفات، تعداد افراد بازنشسته و همچنین بیماریهای ناشی از کهولت سن در شهرهای بزرگ، نیاز به خدمات اورژانس پزشکی نیز افزایش یافته است که این موضوع باعث افزایش هزینه های بخش بهداشت و درمان می شود. با توجه به اینکه در تمامی کشورها منابع عمومی برای بخش بهداشت و درمان جهت برآورده کردن تقاضا ناکافی هستند بنابراین مدیران خدمات اورژانس پزشکی شهرهای بزرگ بایستی روشهای خود را جهت کاهش هزینه های عملیاتی و افزایش کیفیت خدمات، به روز رسانی نمایند.

ماموریت اولیه ی سیستمهای خدمات اورژانس پزشکی فراهم نمودن کمکهای اولیه ی پزشکی برای بیماران و یا حادثه دیدگان و در صورت نیاز، انتقال آنها به یک مرکز درمانی می باشد. عملیات انتقال توسط تیمهای بهیاری و با استفاده از آمبولانسهائی که در موقعیتهای استراتژیک جهت پاسخگوئی فوری به نیازهای اورژانسی قرار گرفته اند صورت می پذیرد. از این رو یکی از مهمترین مسائلی که در حوزه بهداشت و درمان مطرح می شود، مکان یابی پایگاههای اورژانس جهت پوشش حداکثری مناطق و خدمت دهی مطلوب به بیماران و حادثه دیدگان در شرایط اضطراری می باشد.

در این پژوهش با استفاده از تلفیق روشهای بهینه سازی و شبیه سازی روشی جدید برای مکان یابی پایگاههای اورژانس پزشکی ارائه می شود. با استفاده از این روش می توان ترکیبهای مختلف محل استقرار پایگاههای آمبولانس و تعداد آمبولانسهای تخصیص یافته به این پایگاهها را که از حل مدل بهینه سازی بدست می آیند در محیطی پویا و با استفاده از تکنیک شبیه سازی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد؛ به همین دلیل می توان از بین ترکیبهای مختلف ترکیبی که دارای بهترین زمان پاسخ می باشد را انتخاب نمود. نتایج مثبت مربوط به اجرای این روش در شهر اصفهان اعتبار این روش را تائید می کند.

۲. ادبیات موضوع

در ادامه با توجه به موضوع مقاله، مطالعات پیشین در دو حوزه‌ی ۱) مکان یابی و ۲) شبیه سازی گسسته پیشامد که در زمینه ی سیستمهای سلامت و درمان انجام شده اند مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱،۲. مکان یابی

مساله مکان یابی آمبولانس به راهبردهائی اشاره دارد که تحت آنها، آمبولانس های در دسترس، ضمن تضمین حداقل آمادگی برای مناطق مختلف، پوشش مورد نیاز را برای مناطقی که به دلیل اعزام یک یا چند آمبولانس، حداقل آمادگی خود را از دست داده اند، تامین می کند. از آنجا که تقاضا برای آمبولانس بسته به روزهای هفته و همچنین ساعات روز، متغیر است، بنابراین می توان سطح عملکرد سیستم را در پاسخ دهی به درخواست های فوریت پزشکی، با بکارگیری مکان یابی و استقرار مجدد آمبولانس ها، بهبود داد.

درنزر دو سوال مهم و اساسی در مورد سیستمهای سلامت و درمان شهرهای بزرگ مطرح نموده است که این سوالات در رابطه با حداقل نمودن منابع مورد استفاده برای پاسخگوئی به تقاضای افراد و نیز اندازه مورد نیاز سیستمهای مدیریت اورژانس جهت دستیابی به زمان پاسخ مناسب می باشد [۱]. بروتکام و همکاران مطالعه ای مروری بر روی جزئیات مدلهای مکان یابی آمبولانس که در سه دهه ی گذشته ارائه شده انجام داده اند. این مطالعه مدلهای قطعی و احتمالی و کاربردهای اصلی آنها را به صورت خلاصه ارائه نموده است [۲].

گلدبرگ می گوید از سال ۱۹۶۰ موضوعات با اهمیتی برای مطالعات تحقیق در عملیات در حوزه ی سلامت و درمان وجود داشته است که برخی از این موضوعات عبارتند از: مکان یابی پایگاههای اورژانس، مکان یابی پویای پایگاههای اورژانس، توزیع تجهیزات، تصحیح هدف و مدیریت منابع [۳]. ساهین و سورال معروفترین مسائل مکان یابی از قبیل سیستمهای سلامت و درمان، سیستمهای مدیریت بازیافت، سیستمهای تولید-توزیع، سیستمهای آموزشی، شبکه های ارتباطی و سیستمهای مدیریت اورژانس را به صورت سلسله مراتبی مورد بررسی قرار داده اند [۴]. اون و داسکین مدلهای مربوط به مسائل مکان یابی را طبق جدول ۱ به سه دسته تقسیم کرده اند [۵].

جدول ۱. مدلهای کلی مسائل مکان یابی

مسائل مکان یابی احتمالی	مسائل مکان یابی پویا	مسائل مکان یابی قطعی
مدلهای احتمالی	مدلهای مکان یابی تک تسهیلاتی پویا	مسائل مکان یابی میانه
مدلهای برنامه ریزی سناریو	مدلهای مکان یابی چند تسهیلاتی پویا	مسائل مکان یابی پوشش
	رویکردهای تناوبی پویا	مسائل مکان یابی مرکز

در ادامه به تفکیک مدلهای مکان یابی به بررسی مطالعاتی که در زمینه ی مکان یابی آمبولانس ها شده است پرداخته می شود:

مدلهای قطعی

شروع مدل های مکان یابی آمبولانس ها با مدل LSCM بود [۶]. هدف از این مدل کمینه سازی تعداد آمبولانس های مورد نیاز به منظور پوشش تمامی نقاط تقاضا با در نظر گرفتن هزینه های یکسان در تابع هدف بود. مهمترین اشکال این مدل این بود که به اشتباه فرض می کرد همواره تمام آمبولانس ها در دسترس می باشند. پس از آن مدلی تحت عنوان MCLP ارائه گردید [۷]. این مدل فرض می کرد به تعداد محدود p آمبولانس در دسترس می باشد. هدف از این مدل بیشینه کردن میزان تقاضای پوشیده شده بوسیله آمبولانس ها در یک محدوده زمانی معین بود[۸].

مدلی با تابع هدف سلسله مراتبی به نام HOSC ارائه گردید که همزمان با بیشینه سازی تعداد نقاط تقاضائی که بیش از یکبار پوشیده می شدند، تعداد آمبولانس های مورد نیاز را نیز کمینه می کرد [۹]. به منظور مکان یابی پایگاههای آمبولانس در سانتو دومینگو واقع در جمهوری دومنیکن مدل دو هدفه DADP که توسعه یافته مدل های LSCM و MCLP بود طراحی گردید [۱۰]. این مدل همزمان با کمینه کردن تعداد آمبولانسهای مورد نیاز، میزان تقاضائی را که در بازه زمانی معینی، چند بار تحت پوشش قرار می گرفت را بیشینه می کرد.

دو مدل جدید به نام های BACOP1 و BACOP2 طراحی شد که به منظور تعیین یکبار پوشش و پوشش دوگانه از دو نوع متغیر صفر و یک استفاده می کردند [۱۱]. مدلی تحت عنوان DSM بوسیله گندرائو و دیگران ارائه شد که از دو استاندارد پوششی r_1 و r_2 واحد زمانی به طوری که $r_1 < r_2$، استفاده می کرد [۱۲]. در این مدل، آمبولانس ها به گونه ای مکان یابی می شدند که در آن تمامی نقاط تقاضا در r_2 واحد زمانی و α درصد از آنها در r_1 واحد زمانی، پوشیده می شد. این مدل تقاضاهائی را که در یک بازه زمانی r_1، دوبار پوشیده می شد، بیشینه می کرد.

مدلهای احتمالی

یکی از اولین مدل های احتمالی، مساله مکان یابی حداکثر پوشش مورد انتظار (MEXCLP) بود [۱۳]. هدف از این مدل، بیشینه سازی میزان تقاضای پوشیده شده بود. در این مدل فرض شده بود که تمام آمبولانس ها یک احتمال یکسان q به نام کسر اشتغال دارند که برابر با احتمال آزاد نبودن آمبولانس در هنگام ورود تماس است. استقلال آمبولانس ها از دیگر فرضیات این مدل بود. مدل PLSCP، شکل توسعه یافته ای از مدل LSCP بود [۱۴]. در این مدل، با استفاده از قابلیت اطمینان معین، تعداد آمبولانس مورد نیاز با تضمین رسیدن به حداقل پوشش لازم، کمینه می شد.

دو مدل احتمالی دیگر به نام های MALPI و MALPII بوسیله روله و ماریانوف با هدف بیشینه سازی تقاضای پوشیده شده با احتمال معین α، طراحی شد [۱۵]. فرض ساده سازی مشترک در هر یک از این دو مدل، استقلال آمبولانس ها از یکدیگر بود. همچنین در MALPI، فرض شده بود که کسر اشتغال q برای تمام پایگاههای بالقوه یکسان است. در مدلی با عنوان AMEXCLP به دلیل اینکه آمبولانس ها در شرایط واقعی نمی توانند به صورت مستقل عمل کنند، تابع هدف در یک عامل تصحیح ضرب می شد [۱۶]. بال و لین مدلی به نام Rel-P را که توسعه ای از مدل LSCM بود، طراحی کردند [۱۷]. این مدل، از یک محدودیت خطی بر روی تعداد آمبولانس مورد نیاز به منظور دستیابی به یک سطح اطمینان معین از پوشش، استفاده نموده است.

ماریانوف و روله با توسعه مدل PLSCP مدلی را به نام QPLSCP طراحی کردند که در آن برای هر پایگاه یک کسر اشتغال جداگانه محاسبه شد [۱۸]. در این مدل، حداقل تعداد آمبولانس های لازم برای پوشش یک نقطه تقاضا به گونه ای تعیین می شد که احتمال اینکه تمام این آمبولانس ها همزمان مشغول باشند از یک حد معین تجاوز نکند. آنها همچنین دو سال بعد، مدلی را تحت عنوان Q-MALP طراحی کردند که تفاوت اصلی آن با مدل MALP، نحوه محاسبه حداقل تعداد آمبولانس های لازم به منظور خدمت دهی به هر نقطه تقاضا بود . [۱۹]

گالوائو و دیگران با آزاد سازی فرضیات استقلال آمبولانس و کسر اشتغال یکسان در نظر گرفته شده در مدل های MEXCLP و MALPI، دو مدل به نام های EMEXCLP و EMALP طراحی کردند [۲۰]. در این مدل ها، کسر اشتغال مربوط به هر آمبولانس از طریق مدل هایپر کیوب محاسبه می شد. راجاگوپلان و سیدام دو مدل به نامهای $MERLP_1$ و $MERLP_2$ طراحی کردند [۲۱]. در هر دو مدل، تعداد ثابتی از آمبولانس ها به نحوی مکان یابی می شدند که زمان پاسخ دهی مورد انتظار با برآورده کردن محدودیت های پوششی، کمینه می شد. در مدل $MERLP_1$ محدودیت های پوشش همان محدودیت های پوششی مدل MEXCLP بودند در حالی که در مدل $MERLP_2$، این محدودیت ها با استفاده از مفهوم پوشش به کار گرفته شده در مدل Q-MALP، طراحی شدند [۲۲].

مدلهای پویا

در این مدل ها آمبولانس ها به منظور پوشش بهتر، در طول شبانه روز می توانند بین پایگاهها جابجا شوند. این مساله اولین بار بوسیله کولسار و واکر به منظور طراحی یک سیستم استقرار مجدد خودروهای سازمان آتش نشانی، مورد بررسی قرار گرفت [۲۳]. رپد و برناردو با توسعه مدل MEXCLP موفق به طراحی مدلی به نام TIMEXCLP شدند [۲۴]. هدف از این مدل، بیشینه کردن پوشش مورد انتظار در زمان های مختلف در طول شبانه روز بود. گندرائو و دیگران با توسعه مدل DSM، مدلی را تحت عنوان DDSM طراحی کردند [۲۵]. این مساله در هر زمان مشخص t و در هنگامی که یک تقاضا رخ می داد، حل می شد.

اندرسون و دیگران یک شاخص آمادگی به منظور تعیین آمادگی هر منطقه ارائه دادند [۲۶]. شاخص هر منطقه تحت تاثیر عواملی از جمله: تعداد آمبولانس پوشش دهنده آن منطقه، زمان سفر هر کدام از این آمبولانس ها تا منطقه مورد نظر و سهم مشارکت هر آمبولانس در پوشش آن منطقه، محاسبه می شد. گندرائو و دیگران با توسعه مدل MCLP، و با در نظر گرفتن احتمال مشغول بودن آمبولانس در هنگام رسیدن تقاضا، مدل احتمالی پویایی را تحت عنوان MECRP طراحی کردند که هدف از ان، تعیین یک راهبرد استقرار مجدد پویا برای پایگاههای آمبولانس به طریقی بود که تقاضای پوشیده شده مورد انتظار بیشینه و تعداد جابجایی آمبولانس ها در بین پایگاهها کنترل شود [۲۷].

اندرسون و واربرند با استفاده از شاخص آمادگی محاسبه شده در سال ۲۰۰۴، یک مدل تحقیق در عملیات به منظور تعیین الگوی بهینه استقرار مجدد آمبولانس ها طراحی کردند [۲۸]. راجاگوپلان و دیگران مدلی به نام DACL را با هدف تعیین حداقل تعداد آمبولانس ها و الگوی استقرار آنها در زمان هایی که تغییرات قابل توجهی در الگوی تقاضا رخ می داد، طراحی کردند که با یک قابلیت اطمینان از پیش تعیین شده، پوشش مورد نظر را تامین می کرد [۲۹]. اشمید و درنر با توسعه مدل DDSM و با در نظر گرفتن فواصل پوشش وابسته به زمان، مدلی به نام MDSM را به گونه ای طراحی کردند که در ان آمبولانس ها به منظور پوشش بیشتر نقاط تقاضا می توانستند در بین پایگاهها جابجا شوند [۳۰].

با توجه به بررسی های انجام گرفته، علی رغم وجود ادبیات موضوع غنی بر روی مسائل مکان یابی و استقرار مجدد آمبولانس ها، در نظر گرفتن فرض امکان اعزام و اتمام ماموریت چندین آمبولانس به طور همزمان و به دنبال آن ارائه مدلی به منظور تعیین نحوه جابجایی آمبولانس از بیمارستان به پایگاه و همچنین از پایگاه به پایگاه، از جمله خلا های تحقیقاتی کنونی مسایل مکان یابی آمبولانس ها و بنابراین از جنبه های اصلی نو اوری این مقاله هستند.

۲،۲. شبیه سازی گسسته – پیشامد

شبیه سازی گسسته پیشامد ابزاری کارآمد جهت ارزیابی و تجزیه و تحلیل پروژه های جدید و سیستمهای موجود می باشد که این ابزار پس از انقلاب کامپیوتری بیشتر مورد علاقه ی عموم قرار گرفته است [۳۱]. سیستم پایگاههای اورژانس با وقوع حادثه اعم از تصادف و یا حوادث طبیعی شروع و با رسیدن مریض یا مصدوم به بیمارستان پایان می یابد [۳۲]. بنابر این این سیستمها از نوع سیستمهای پیچیده و پویا هستند. سیستمهای مدیریت اورژانس شامل فرآیندهای بسیار زیاد و اتفاقات احتمالی می باشند که این موضوع باعث دشوار شدن استفاده از مدلهای تحلیلی جهت حل آنها می باشد. این ویژگی ها باعث شده که شبیه سازی گسسته پیشامدها به عنوان ابزاری جذاب برای تحلیل این سیستمها مورد استفاده قرار گیرد [۳۳].

استفاده از شبیه سازی گسسته پیشامد جهت مکان یابی پایگاههای اورژانس در محیطی پویا و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از ترکیبات مختلف مکان پایگاهها و آمبولانس های تخصیص یافته به این مکانها بدون صرف هزینه ی اجرای واقعی این ترکیبها از دیگر نوآوری های این مقاله می باشد.در این مقاله، در بخش ۳ ابتدا از یک مدل ریاضی موجود در ادبیات موضوع جهت مکان یابی آمبولانس ها به صورت پویا استفاده می شود. در ادامه این بخش، یک مدل شبیه سازی جهت مکان یابی مجدد آمبولانس ها ارائه می شود تا بتوان با استفاده از آن ترکیبات مختلف مکان پایگاههای اورژانس و آمبولانس های تخصیص یافته به آنها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و بهترین ترکیب را انتخاب نمود. در بخش ۴ کارائی مدل ارائه شده با استفاده از نتایج حاصل از اجرای آن بر روی اطلاعات واقعی جمع آوری شده از شهر اصفهان نشان داده می شود. سرانجام در بخش ۵، به نتیجه گیری پرداخته می شود.

۳. روش شناسی

فرآیند زمان پاسخ آمبولانس در شکل ۱ نشان داده شده است همانگونه که از شکل مشاهده می گردد هنگامیکه تماس اورژانسی جدیدی توسط مرکز تلفن واحد توزیع آمبولانس دریافت می گردد اپراتور تماس جدید را دریافت نموده و میزان ضرورت و اهمیت آنرا مشخص می نماید. سازمانهای اورژانس مختلف روشهای متفاوتی جهت طبقه بندی تماسها دارند. پس از طبقه بندی نیز منطق توزیع در هر دسته از تماسها مشخص می کند که کدام آمبولانس یا آمبولانس هائی بایستی به صحنه ی حادثه اعزام شوند.

شکل ۱. فرآیند زمان پاسخ آمبولانس

زمانیکه مرکز مدیریت اورژانس در حال ارائه ی جزئیات تماس جدید به آمبولانس می باشد یک تاخیر کوچک آماده سازی قبل از حرکت آمبولانس به

سمت صحنه بوجود می آید که در اصطلاح به آن زمان شوت (T_M) گفته می شود. پس از آن آمبولانس به سمت صحنه حرکت می کند که این حرکت بر اساس اولویت ارائه شده از سوی مرکز مدیریت اورژانس، ممکن است حرکتی اورژانسی(با چراغ گردان و آژیر) و یا عادی باشد. آماره ی مهمی که فرآیند پاسخ را به صورت خلاصه بیان می نماید زمان پاسخ (T_R) می باشد که مدت زمان طی شده بین زمان دریافت تماس توسط مرکز توزیع آمبولانس و زمان رسیدن به صحنه ی حادثه را مشخص می کند.این زمان شامل سه قسمت می باشد که عبارتند از: مدت زمان دریافت تماس، مدت زمان تاخیری که برای آماده سازی حرکت رخ می دهد و نهایتا مدت زمان سفر.

هنگامیکه پرسنل اورژانس به محل حادثه می رسند مصدوم یا بیمار را معاینه و ارزیابی نموده و مشخص می نمایند که آیا نیازی به رفتن به بیمارستان هست یا خیر؟ که این ارزیابی می تواند طبقه بندی اولیه ای که برای تماسها صورت می گیرد را تغییر دهد که این موضوع ممکن است منجر به اعزام تجهیزات بیشتری به محل حادثه شود.همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می گردد به مدت زمان طی شده بین موقع رسیدن آمبولانس به صحنه تا زمان ماموریت جدیدی که به آن ارجاع داده می شود زمان سرویس(T_S)گفته می شود.

۱،۳. مدل سازی مکان یابی

جهت مکان یابی پایگاههای اورژانس ابتدا بایستی مدل ریاضی این مساله نوشته شود. در ادامه ابتدا به بررسی مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای موجود در مدل مساله پرداخته و نهایتا مدل مساله ارائه می گردد.

مجموعه ها: مجموعه های موجود در این مدل عبارتند از:

I: نقاط تقاضا، J: پایگاههای آمبولانس، H: بیمارستانها، W: انواع آمبولانس

پارامترها: پارامترهای موجود در این مدل عبارتند از:

TT: کل زمان (به دقیقه) در دوره، TS_{ji}: حداقل زمان (به دقیقه) بین پایگاه آمبولانس jو نقطه ی تقاضا i، TH_{ih}: حداقل زمان بین نقطه ی تقاضا i و بیمارستان h، TB_{hj}: حداقل زمان بین بیمارستان h و پایگاه اورژانس j، d_{iw}: وجود نیاز به آمبولانس نوع W در نقطه ی تقاضای i، CI: هزینه ی فعال سازی پایگاه، CW: هزینه ی خرید هر آمبولانس، CT: هزینه ی جابجائی، Q_{jw}: حداکثر تعداد آمبولانس نوع w موجود در پایگاه j، DF: میزان در دسترس بودن آمبولانسها، NA_w:کل تعداد آمبولانسهای نوع w در حال عملیات، TR: زمان پاسخ (به دقیقه)، n: تعداد نقاط تقاضا، P: تعداد پایگاههای آمبولانس جهت انتخاب، K: حداکثر تعداد پایگاههای آمبولانسی که می توان فعال سازی نمود، u: تعداد بیمارستانها

متغیرها: پارامترهای مورد استفاده در این مدل عبارتند از:

x_{ijhw}: مجموع تعداد سفرهای یک آمبولانس نوع w از پایگاه jبه نقطه ی تقاضای i و بیمارستان h، y_j: متغیری صفر و یک که مقدار آن در صورتیکه پایگاهی در مکان jفعال سازی گردد برابر با یک و در غیر اینصورت برابر با صفر می باشد، A_{jw}: تعداد آمبولانسهای نوع w که به پایگاه j تخصیص داده می شود.

مدل:

$$Min \sum_{j=1}^{p}(CI * y_j) + \sum_{j=1}^{p}\sum_{w=1}^{2}(CW * A_{jw}) + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\sum_{h=1}^{u}\sum_{w=1}^{2}\left(CT * (TS_{ji} + TH_{ih} + TB_{hi})\right) * x_{ijhw} \quad (۱)$$

St:

$$\sum_{j=1}^{p}\sum_{h=1}^{u} x_{ijhw} \geq d_{iw} \qquad \forall i, w \quad (۲)$$

$$A_{jw} \leq Q_{jw} * y_j \qquad \forall j, w \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{h=1}^{u} x_{ijhw} * (TS_{ji} + TH_{ih} + TB_{hj}) \leq (TT_t * DF * A_{jw}) \qquad \forall j, w \quad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{p} y_j \leq k \quad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{h=1}^{u} x_{ijhw} \leq \sum_{i=1}^{n} d_{iw} * y_j \qquad \forall j, w \quad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{p} A_{jw} = NA_w \quad \forall w \tag{۷}$$

$$x_{ijhw} \in Z^+ \quad \forall i,j,h,w \tag{۸}$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \tag{۹}$$

$$A_{jw} \in Z^+ \quad \forall j,w \tag{۱۰}$$

۴. روش پیشنهادی جهت مکان یابی پایگاههای اورژانس

روش پیشنهادی برای مکان یابی پایگاههای اورژانس بر اساس مراحل زیر ارائه می گردد:

۱،۴. تعیین مکان فعلی پایگاههای اورژانس

مکان فعلی پایگاههای اورژانس با استفاده از پایگاههای اطلاعاتی در دسترس مشخص می گردد.

۲،۴. تعیین مکان بیمارستانها

جهت مدل سازی مساله مکان و نوع بیمارستانهای موجود در محل مورد مطالعه مشخص می گردد. در این مدل دو نوع بیمارستان در نظر گرفته شده است. یکی بیمارستانهای جامع که قابلیت ارائه ی کلیه ی خدمات پزشکی را دارند و دیگری کلینیکهای مراقبتی که از بیمارستانها کوچکتر بوده و قادر به ارائه ی کلیه ی خدمات پزشکی نمی باشند.

۳،۴. تعیین نقاط تقاضا

نقاط تقاضا به صورت تصادفی در کل سطح شهر مورد مطالعه پراکنده می باشند. جهت ساده نمودن مدل، تقاضا های مربوط به هر ناحیه متمرکز شده اند به گونه ای که بتوان مختصات مراکز نواحی مختلف شهر را به عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفت.

۴،۴. تعیین فاصله بین تقاط مورد نظر

مدل مساله جهت محاسبه ی مسافت بین مختصات تقاط تقاضا، پایگاههای اورژانس و بیمارستانها از روش فاصله ی اقلیدسی استفاده مینماید. همچنین جهت محاسبه ی مسافت واقعی پیموده شده توسط آمبولانسها مدل از ضریب تصحیح استفاده می نماید که این ضریب تصحیح در شهرهای مختلف، متفاوت می باشد.

۵،۴. تعیین هزینه

هزینه ی عملیات فعال سازی(CI): منظور از هزینه ی عملیات فعال سازی، مجموع هزینه ی راه اندازی یک پایگاه اورژانس می باشد که متوسط این هزینه در شهرهای مختلف، متفاوت می باشد.

متوسط هزینه ی خرید آمبولانس(CW):در صورتیکه انواع متفاوتی از آمبولانسها موجود باشد بنابراین هزینه ی خرید آنها نیز متفاوت خواهد بود. در این مساله فرض شده است که دو نوع آمبولانس پایه و پیشرفته وجود دارد که می توان متوسط هزینه ی خرید هر یک از این دو نوع آمبولانس را به صورت مقادیری ثابت بدست آورد.

متوسط هزینه ی جابجائی(CT): شامل مجموع کلیه ی هزینه های مربوط به جابجائی آمبولانس از قبیل هزینه ی تیم پیراپزشک همراه هر آمبولانس، هزینه ی سوخت مصرفی توسط آمبولانس و هزینه ی استهلاک آن و همچنین هزینه ی نگهداری و تعمیرات می باشد که می توان متوسط این هزینه ها را بدست آورده و به صورت مقداری ثابت در مدل در نظر گرفت.

۶،۴. تعیین مکان پایگاههای اورژانس با استفاده از مدل ریاضی

با استفاده از مدل ریاضی ارائه شده در قسمت ۳ مکان پایگاههای اورژانس مشخص می گردد.

۷،۴. مدل شبیه سازی مساله

مدل شبیه سازی پیشامد گسسته ی بر اساس شکل ۱ ایجاد شده و سپس مدل کامپیوتری در نرم افزار ارنا پیاده سازی می شود. مدل شبیه سازی جهت مقایسه ی زمانهای پاسخ حاصل از شبیه سازی مدل بهینه سازی مورد استفاده قرار می گیرد.جهت مقایسه ی سناریوهای مختلف تغییراتی از قبیل ۱) افزایش تعداد آمبولانسهای سیستم ۲) ایجاد پایگاهای جدید آمبولانس ۳)مکان یابی مجدد پایگاههای آمبولانس ۴)ایجاد بیمارستانهای جدید و ۵)افزایش میزان در دسترس بودن آمبولانسها از طریق بهبود سیستم نگهداری و تعمیرات در مدل اصلی ایجاد می گردد. فرآیند نجات با ورود تماس اورژانسی به مرکز تلفن اورژانس آغاز می گردد. پس از دریافت تماس، اپراتور تحلیل اولیه ای در مورد تماس انجام داده و سعی می نماید نوع تماس را

مشخص نماید. که انواع تماس عبارتند از: تماسهای صرفا جهت دریافت اطلاعات اورژانسی،تماس جعلی و اشتباه و تماسهای درخواست کمکهای اورژانسی

نهایتا در صورتیکه تماس دریافت شده از نوع درخواست کمکهای اورژانسی بود اطلاعات اولیه ای شامل محل جغرافیائی مصدوم یا بیمارو نوع آسیب یا بیماری جمع آوری می گردد.سپس پزشک مسئول شدت حادثه و یا بیماری را تحلیل نموده و در مورد اعزام آمبولانس تصمیم گیری می نماید. مدل ارائه شده برای اینکه از بین آمبولانسهای آماده بکار یکی را جهت اعزام به محل تقاضا انتخاب نماید دو مورد اولیه و اساسی را در نظر می گیرد که این دو مورد عبارتند از: مختصات محل تقاضا تا آمبولانس مورد نظر جهت اعزام و زمان سفر از محل آمبولانس تا نقطه ی تقاضا. در نظر گرفتن این دو معیار به صورت همزمان تضمین می نماید که به جای انتخاب نزدیکترین آمبولانس به محل تقاضا، آمبولانسی جهت اعزام انتخاب می گردد که زودتر از سایر آمبولانسهای آماده بکار به محل تقاضا می رسد.

۵. مطالعه موردی

جهت آزمایش و اعتبار سنجی روش پیشنهادی، با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده، یک مساله واقعی حل شده است. طی سالهای اخیر بدلیل توسعه جغرافیایی شهر اصفهان، تعداد مناطق شهری از ۱۱ به ۱۵ رسیده است ولی موقعیت مکانی و تعداد پایگاههای اورژانس در مناطق اضافه شده مناسب نمی باشد. لذا پوشش مناسب کلیه مناطق پانزده گانه از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین ۴ منطقه اضافه شده به عنوان محدوده مساله نمونه انتخاب شده اند. در این چهار منطقه، ۲۵۵ حوزه شهری، چهار بیمارستان و ۸ پایگاه آمبولانس وجود دارد که در هر کدام از این پایگاهها یک آمبولانس مستقر است. برای تجمیع نقاضا، با استفاده از نرم افزار GIS، مختصات مراکز ثقل هر یک از این ۲۵۵ حوزه شهری به دست آمد که هر کدام از این مراکز ثقل به عنوان یک نقطه تقاضا با جمعیتی معادل جمعیت حوزه مربوط مشخص شد.

با توجه به اینکه نوع آمبولانس های مورد استفاده در پایگاههای اورژانس با توجه به امکانات موجود در آنها متفاوت می باشد، انواع آمبولانسی که در پایگاههای اورزانس شهر اصفهان مورد استفاده قرار می گیرند به طور کلی به دو دسته ی عادی و پیشرفته تقسیم می گردد. مشخص است که هزینه های عملیاتی و نیز هزینه ی تامین آمبولانس های پیشرفته نسبت به آمبولانس های عادی بیشتر می باشد. از آنجاییکه حجم ترافیک بر میزان سرعت آمبولانس ها و در نتیجه بر مقدار زمان پاسخ تاثیر گذار می باشد، جهت در نظر گرفتن تاثیر ترافیک در مدل مساله زمان های تماس جهت درخواست خدمات اورژانس پزشکی به ۴ بازه ی زمانی سپیده دم(۱۲ شب تا ۶ صبح)، صبح(۶ صبح تا ۱۲ظهر)، بعد ازظهر(۱۲ ظهر تا ۶ عصر) و شب(۶ عصر تا ۱۲ شب) طبقه بندی می شوند و با استفاده از اطلاعات مربوط به تماس های ورودی ۲ ماه گذشته نرخ تماس ورودی برای بازه های زمانی ذکر شده مطابق با جدول شماره ۱ بدست می آید. در این جدول علاوه بر نرخ تماسهای ورودی طی بازه های زمانی مختلف، میانگین سرعت آمبولانس ها نیز در بازه های یاد شده مشخص می باشد.

جدول ۲. توزیع تماسهای ورودی در بازه های زمانی مختلف

بازه زمانی	تعداد کل تماسها در ۲ ماه گذشته	درصد تماس های ورودی	میانگین سرعت آمبولانس ها(کیلومتر بر ساعت)
صبح	۴۵۱۰	٪۳۰	۶۰
بعد از ظهر	۴۵۰۹	٪۳۰	۵۰
عصر	۳۷۵۸	٪۲۵	۵۰
سپیده دم	۲۲۵۵	٪۱۵	۶۰
کل تماسهای دریافتی	۱۵۰۳۲	٪۱۰۰	

جهت بهینه سازی مکان پایگاههای اورژانس ۵ سناریو برای مدل بهینه سازی پیشنهاد می گردد. جهت بررسی رفتار سیستم در محیطی پویا پس از اجرای مدل بهینه سازی برای سناریوهای پیشنهادی، بهترین خروجی های حاصل از مدل بهینه سازی به عنوان ورودی های مدل شبیه سازی در نظر گرفته می شوند. سناریو های پیشنهادی عبارتند از:

۱-ترکیب کنونی پایگاههای اورژانس پزشکی موجود در مناطق مورد نظر شهر اصفهان که شامل ۸ پایگاه۱۳ آمبولانس(۸ آمبولانس معمولی و ۵ آمبولانس پیشرفته) می باشد. از این سناریو جهت محاسبه ی کوتاه ترین زمان پاسخ سیستم اورژانس پزشکی شهر اصفهان استفاده می شود.

۲-ترکیب کنونی پایگاههای اورژانس پزشکی موجود درشهر اصفهان با این تفاوت که بدلیل خرابی های تصادفی، همیشه تعداد ۲ دستگاه از آمبولانس های عادی در حال تعمیر بوده و بنابراین ۸ پایگاه با ۶ آمبولانس معمولی و ۵ آمبولانس پیشرفته وجود دارد.

۳-محل ۸ پایگاه بر اساس توزیع تقاضای بالقوه ی حوزه های مختلف شهری انتخاب می شود به گونه ای که درحوزه هایی که دارای تقاضای بالقوه ی بیشتری می باشند، پایگاههای اورژانس بیشتری قرار می گیرد.

۴-در این سناریو محل پایگاههای اورژانس از بین ۸ محل موجود و ۴۴ محل بالقوه (جمعا ۵۲ محل) انتخاب می شود. البته در این سناریو فرض بر این است که می توان از یک تا ۸ پایگاه اورژانس راه اندازی نمود.

۵-تنها تفاوت این سناریو با سناریوی ۴ این است که در این سناریو دقیقا ۸ پایگاه اورژانس راه اندازی می شود.

شبیه سازی برای سناریوهای ذکر شده، در بازه های زمانی که قبلا مشخص شدند انجام می شود. با توجه به اینکه زمان پاسخ سیستم فعلی برابر با ۱۶ دقیقه و زمان پاسخ استاندارد بر اساس نظر سازمان بهداشت جهانی ۸ دقیقه می باشد بنابراین زمان پاسخ مورد انتظار در این مساله بین ۸ تا ۱۶ دقیقه می باشد. به همین دلیل در صورتیکه زمان پاسخ بدست آمده از اجرای هر یک از سناریوهای پنج گانه بیشتر از ۱۶ دقیقه باشد آن سناریو حذف می گردد. جهت آنالیز نتایج حاصل از اجرای سناریو های پنج گانه جدول ۲ نتایج بدست آمده را برای بازه های زمانی مشخص شده به صورت خلاصه نشان می دهد. از آنجاییکه مدت زمان پاسخ بدست آمده برای سناریوی ۲ بیش از ۱۶ دقیقه بود، این سناریو از بین سناریوهای پیشنهادی حذف گردید و به همین دلیل نتایج حاصل از اجرای این سناریو در جدول ذکر نشده است.

جدول ۳. نتایج حاصل از اجرای سناریوها در باز زمانی ۱۲ نیمه شب تا ۶ صبح

تعداد آمبولانسهای پیشرفته	تعداد آمبولانسهای عادی	پایگاههای راه اندازی شده	بهترین زمان پاسخ(TR)	حداکثر تعداد آمبولانس در پایگاه(Q)	بازه زمانی	شماره سناریو
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۱
۵	۸	۸	۱۵	۲	صبح	
۵	۸	۸	۱۵	۲	بعد از ظهر	
۵	۸	۸	۱۴	۲	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۳
۵	۸	۸	۱۵	۲	صبح	
۵	۸	۸	۱۵	۲	بعد از ظهر	
۵	۸	۸	۱۴	۲	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۴
۵	۱۰	۱۰	۱۰	۲	صبح	
۵	۹	۹	۱۰	۳	بعد از ظهر	
۶	۸	۹	۹	۴	شب	
۶	۱۰	۱۱	۱۰	۲	سپیده دم	۵
۵	۸	۸	۱۴	۲	صبح	
۶	۹	۱۰	۹	۴	بعد از ظهر	
۶	۸	۹	۹	۴	شب	

۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۱
۵	۸	۸	۱۵	۲	صبح	
۵	۸	۸	۱۵	۲	بعد از ظهر	
۵	۸	۸	۱۴	۲	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۳
۵	۸	۸	۱۵	۲	صبح	
۵	۸	۸	۱۵	۲	بعد از ظهر	
۵	۸	۸	۱۴	۲	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۴
۵	۱۰	۱۰	۱۰	۳	صبح	
۵	۹	۹	۱۰	۳	بعد از ظهر	
۶	۸	۹	۹	۴	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۵
۶	۱۰	۱۱	۱۰	۳	صبح	
۶	۹	۱۰	۹	۴	بعد از ظهر	
۶	۸	۹	۹	۴	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۱
۵	۸	۸	۱۵	۲	صبح	
۵	۸	۸	۱۵	۲	بعد از ظهر	
۵	۸	۸	۱۴	۲	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۳
۵	۸	۸	۱۵	۲	صبح	
۵	۸	۸	۱۵	۲	بعد از ظهر	
۵	۸	۸	۱۴	۲	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۴
۵	۱۰	۱۰	۱۰	۳	صبح	
۵	۹	۹	۱۰	۳	بعد از ظهر	
۶	۸	۹	۹	۴	شب	
۵	۸	۸	۱۴	۲	سپیده دم	۵
۶	۱۰	۱۱	۱۰	۳	صبح	
۶	۹	۱۰	۹	۴	بعد از ظهر	
۶	۸	۹	۹	۴	شب	

نتایج حاصل از اجرای شبیه سازی سناریو های پنج گانه نشان می دهد که سناریو های ۴ و۵ در کلیه ی بازه های زمانی، زمان پاسخ بهتری نسبت به سایر سناریوها ارائه می کنند. البته اجرای واقعی یکی از سناریو های ۴ یا ۵ به جای سیستم فعلی نیازمند صرف هزینه جهت ایجاد پایگاههای جدید می باشد. با توجه به اینکه اجرای سناریوهای ۴ یا ۵ باعث کاهش قابل توجهی در زمان پاسخ می شود می توان از هزینه ی ایجاد پایگاههای جدید چشم پوشی نموده و این کار را انجام داد زیرا در سیستمهای سلامت و درمان و به ویژه سیستمهای خدمات اورژانس زمان از اهمیت فوق العاده ای برخوردار می باشد به گونه ای که کاهش زمان پاسخ می تواند منجر به نجات جان انسانهای زیادی شود. البته از آنجاییکه تفاوت بین زمان پاسخ ارائه شده توسط سناریوهای ۴ و ۵ چندان چشمگیر نمی باشد و سناریوی ۴ نسبت به سناریوی ۵ به ایجاد تعادا پایگاههای کمتری نیاز دارد به نظر می رسد سناریوی ۴ گزینه ی مناسب تری باشد.

۶. نتیجه گیری

در این پژوهش جهت کاهش زمان پاسخ تقاضاهای خدمات اورژانس پزشکی، رویکردی تلفیقی از روشهای بهینه سازی و شبیه سازی برای مکان یابی پایگاههای اورژانس مورد استفاده قرار گرفت. با اجرای مدل بهینه سازی از خروجی های این مدل به عنوان ورودی های مدل شبیه سازی استفاده گردید. پس از آن با تعریف سناریوهای مختلف، عملکرد سیستم خدمات اورژانس پزشکی اصفهان بر اساس این سناریوها در بازه های زمانی چهارگانه مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت پس از اجرای متعدد سناریوهای انتخاب شده، نتایج حاصل از اجرا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از آنجا که از بین سناریو های مشخص شده، دو مورد از سناریوها زمان پاسخ بسیار مناسب تری نسبت به زمان پاسخ سیستم کنونی ارائه کردند و با توجه به اهمیت زمان در سیستمهای اورژانس پزشکی بنابراین مشخص می گردد با تغییراتی در مکان پایگاههای اورژانس و بدون اضافه کردن تعداد پایگاهها و نیز تعداد آمبولانسها می توان به زمان پاسخ بهتری دست یافت.

با استفاده از روش پیشنهادی در این پژوهش، عملکرد سیستم خدمات اورژانس پزشکی در محیطی پویا مورد بررسی قرار گرفت. رویکرد ارائه شده در این مقاله محدود به سیستمهای خدمات پزشکی نبوده و می‌تواند در سایر سیستمهای اورژانسی مانند خدمات آتش نشانی مورد استفاده قرار گیرد با این تفاوت که ممکن است هزینه های احداث پایگاههای جدید خدمات آتش نشانی از اهمیت بیشتری برخوردار باشد. هر چند روش مورد استفاده در این پژوهش جهت مکان یابی پایگاههای اورژانس پزشکی از کارائی مناسبی برخوردار می‌باشد ولی در نظر گرفتن عواملی مانند تاثیر تغییرات آب وهوایی فصلی بر روی میانگین سرعت آمبولانسها، پیشنهاد می‌گردد. همچنین تعیین هزینه و فرصت کاهش یک دقیقه ای زمان پاسخ، جهت انجام تجزیه وتحلیل دقیق شرایط ایجاد پایگاههای جدید، می تواند در آینده مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

[۱] Drezner, T., Drezner, Z., 1997. Replacing Continuous Demand with Discrete Demand in a Competitive Location Mode.l, Naval Research Logistics, 44, 81-95.
[۲] Brotcorne, L., Laporte, G., Semet, F., 2003. Ambulance Location and Relocation Models, European Journal of Operational Research, 147, 451-463.
[۳] Goldberg, J., 2004. Operations research models for the deployment of emergency services vehicles, Journal of EMS Management, 1, 20-39.
[۴] Sahin, G., Sural, H., 2007. A review of hierarchical facility location models, Computers & Operations Research, 34, 2310-2331.
[۵] Owen, S., Daskin, M., 1998. Strategic facility location: a review, European Journal of Operational Research, 111, 423-447.
[۶] Alsalloum, O., Rand, G., 2006. Extensions to Emergency Vehicle Location Model, Computers & Operations Research, 33, 2725-2743.
[۷] Basar, A., Catay, B., Unluyurt, T., 2011. A Multi-Period Double Coverage Approach for Locating the Emergency Medical Service Stations in Istanbul, Operations Research, 62, 627-637.
[۸] Sepehri, M.M., Maleki, M., Majlesi nasab, N., 2013. Designing a Redeployment Model for Located Ambulances, International Journal of Industrial Engineering & Production Management, 24, 171-182.
[۹] Beraldi, P., Bruni, M.E., 2009. A Probabilistic Model Applied to Emergency Service Vehicle Location, European Journal of Operational Research, 196, 323-331.
[۱۰] Simpson, N., Hancock, P., 2009. Fifty Years of Operational Research and Emergency Response, European Journal of Operational Research, 60, 126-139.
[۱۱] Ingolfsson, A., Budge, S., Erkut, E., 2008. Optimal Ambulance Location with Random Delays and Travel Times, Health Care Management, 11, 262-274.
[۱۲] Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F., 1997. Solving an Ambulance Location Model by Tabu Search, Location Science, 5, 75-88.
[۱۳] Taillard, E., et al., 1997. Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows, Transportation Science, 31, 170-186.

[۱۴] Parragh, N., Hogan, K., 2010. The Maximum Availability Location Problem, Computers & Operations Research, 37, 1129-1138.
[۱۵] Marianov, V., 1994. Variable Neighborhood Search for the Dial-a-Ride Problem, Socio-Economic Planning Sciences, 28, 167-178.
[۱۶] Cordeau, J., Laporte, G., 2007. The Dial-a-Ride Problem: Models and Algorithms, Operations Research, 153, 29-46.
[۱۷] Ball, M., Lin, F., 1993. A Reliability Model Applied to Emergency Service Vehicle Location, Operations Research, 160, 18-36.
[۱۸] Marianov, V., ReVelle, C., 1996. The Queueing Maximal Availability Location Problem: a Model for the Siting of Emergency Vehicles, European Journal of Operational Research, 93, 110-120.
[۱۹] Galvão, R., Fernando, Y., Morabito, R., 2005. Towards Unified Formulations and Extensions of Two Classical Probabilistic Location Models, Computers & Operations Research, 32, 15-33.
[۲۰] Rajagopalan, H., Saydam, C., 2009. A Minimum Expected Response Model: Formulation, Heuristic Solution, and Application, Socio-Economic Planning Sciences, 43, 253-262.
[۲۱] Tavakoli, A., Lightner, C., 2004. Implementing a Mathematical Model for Locating EMS Vehicles in Fayetteville, Computers & Operations Research, 31, 1549-1563.
[۲۲] Repede, J.F., Bernardo, J.J., 1994. Developing and Validating a Decision Support System for Locating Emergency Medical Vehicles in Louisville, Kentucky, European Journal of Operational Research, 75, 567-581.
[۲۳]Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F., 2001. A Dynamic Model and Parallel Tabu Search Heuristic for Real-Time Ambulance Relocation, Parallel Computing, 27, 1641-1653.
[۲۴] Andersson, T., Peterson, S., Varbrand, P., 2004. Calculating the Preparedness for an Efficient Ambulance Health care, 7th International IEEE Conference. Washington, USA, 14-20.
[۲۵] Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F., 2006. The Maximal Expected Coverage Relocation Problem for Emergency Vehicles, Journal of the Operational Research Society, 57, 22-28.
[۲۶] Andersson, T., Värbrand, P., 2007. Decision Support Tools for Ambulance Dispatch and Relocation, Journal of the Operational Research Society, 58, 195-201.
[۲۷] Rajagopalan, H., Saydam, C., Xiao, j., 2008. A Multiperiod Set Covering Location Model for Dynamic Redeployment of Ambulances, Computers & Operations Research, 35, 814-826.
[۲۸] Schmid, V., Doerner, K., "Ambulance Location and Relocation Problems with Time-Dependent Travel Times." European Journal of Operational Research, Vol. 90, 2010, pp. 580-595.

[۲۹] Robinson, S., 2005. Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next, Journal of the Operational Research Society, 56, 619-629.
[۳۰] Carson, J., 2005. Introduction to modeling and simulation, 5th Winter Simulation Conference, New York, USA, 16–23.
[۳۱] Nogueira, L., 2014. Reducing Emergency Medical Service response time via the reallocation of ambulance bases, Health Care Management Science, 58, 551-511.
[۳۲] آرمان ساجدی نژاد، عرفان حسن نایبی، جعفر حیدری، جعفر رزمی، ۱۳۹۴. مدل سازی تردد ناوگان اتوبوسرانی شهری بر اساس داده های موقعیت مکانی مورد کاوی: خطوط اتوبوسرانی شهری تهران، مجله مدلسازی در مهندسی دانشگاه سمنان، ۴۲، ۱۰۲-۱۱۸.
[۳۳] نوشین آزادی، مسعود منجزی، مجید عطایی پور، ۱۳۹۳. بهبود کارایی ناوگان حمل و نقل معدن مس سونگون با استفاده از تکنیک شبیه سازی، مجله مدلسازی در مهندسی دانشگاه سمنان، ۳۹، ۹۹-۱۱۰.