مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی توزیع و تخصیص آمبولانس خدمات فوریت‌های پزشکی در حوزه شهری

پرهام عظیمی [1*] مهرناز منصوری [2]

دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین دانشگاه علامه طباطبایی تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

چکیده

سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی فراهم آورنده خدمات از نوع مراقبت‌های فوری پیش بیمارستانی برای افراد بیمار و آسیب‌دیده است. زمان مورد نیاز برای پاسخ‌گویی به یک تماس اورژانسی یعنی زمان رسیدن به محل از جنبه‌های پر اهمیت برای تسهیلات خدمات رسان سیستم EMS می‌باشد. تصادفی بودن شمار درخواست‌ها برای آمبولانس و محدودیت‌های عملیاتی، برنامه‌ریزی بهینه منابع برای پاسخگویی سریع را دشوار ساخته است. این دشواری به ویژه در توزیع و تخصیص آمبولانس به نقاط گوناگون شهر از اهمیت زیادی برخوردار است. در پژوهش حاضر مدل‌سازی شبیه‌سازی به‌منظور برنامه‌ریزی توزیع و تخصیص آمبولانس در حوزه شهری به‌کارگرفته شده است. این مدل‌سازی برای دستیابی به پاسخ‌گویی سریع، اولویت‌دهی را در تماس‌های اورژانسی اعمال کرده تا بدین ترتیب بیماران خاصی مانند بیماران قلبی در کمترین زمان ممکن پوشش داده شوند. بدین منظور از نرم‌افزار شبیه‌سازی ED برای مدل‌سازی جهت توزیع و تخصیص سرورهای اورژانس در سطح یک شهر با نقاط تقاضای متفاوت و نیز توابع تصادفی برای تقاضا و سرویس‌دهی به تماس‌های اورژانسی استفاده شده است. در این راستا، دو سناریو ایجاد شده که به تعداد موردنیاز تکرار شده و سپس با استفاده از روش‌های آماری با توجه معیارهای عملکردی همچون احتمال زنده ماندن بیماران، میانگین زمان پاسخ‌گویی و زمان سرویس مورد مقایسه قرارگرفته است. در این پژوهش سناریویی پاسخ بهتری می‌دهد که با قرار دادن یک دستگاه سرور متغیر در هر پایگاه جهت پاسخ‌گویی اورژانسی منجر به بهبود پاسخ‌گویی و معیارهای عملکردی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: خدمات فوریت‌های پزشکی، تخصیص آمبولانس، شبیه‌سازی گسسته پیشامد، نرم‌افزار ED

۱- مقدمه

رشد روزافزون هزینه‌های خدمات درمانی، افزایش شمار تماس‌ها و پیچیدگی ترافیک در کلان‌شهرها، مراکز کنترل خدمات اورژانس پزشکی را با فشارهای زیادی روبرو می‌کند. سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی فراهم‌کننده خدمات از نوع مراقبت‌های فوری پیش بیمارستانی برای افراد بیمار و آسیب‌دیده است. به‌موقع بودن یکی از اهداف مهم برای انعکاس کیفیت خدمات سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی به حساب می‌آید [1]. زمان موردنیاز برای پاسخ‌گویی به یک تماس اورژانسی یعنی زمان رسیدن به محل از جنبه‌های پراهمیت برای تسهیلات خدمات رسان سیستم EMS می‌باشد. نتایج پژوهش‌ها حاکی از این است که با کاهش ۱۰ دقیقه زمان پاسخ‌گویی (از ۲۵ به ۱۵ دقیقه) احتمال مرگ در تصادفات جاده‌ای یک سوم کاهش می‌یا؛ . بنابراین، کمینه

۱*- دانشیار، مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین؛ نویسنده مسئول ، آدرس: قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی پست الکترونیک: p.azaimi@qiau.ir

۲- دانشجوی دکتری تحقیق در عملیات، دانشگاه علامه طباطبایی تهران؛ پست الکترونیک me_mansouri@atu.ac.ir

کردن زمان پاسخ‌گویی به‌عنوان یک تعهد منطقی و یا آرمان مدیریتی، هدفی روشن و شفاف در پیش‌روی سیستم EMS است [2]. این موضوع یکی از دلایل اصلی مهم بودن مسئله در حوزه‌ی شهری؛ ست. بنابراین، زمان پاسخ‌گویی نقطه شروعی ضروری برای بهبود مراقبت‌های پزشکی و کاهش عواقب ناشی از بیماری و حادثه‌های اورژانسی است [3]. در همین راستا برای دستیابی به هدف‌های درمانی، خدمات فوریت‌های پزشکی در حوزه شهری سازمان‌دهی و برنامه-ریزی می‌شود [2].

در حوزه خدمات فوریت‌های پزشکی (اورژانس)، نخست باید پایگاه‌های اورژانس شهری مکان‌یابی شوند. این پایگاه‌ها می‌بایست به گونه‌ای جانمایی شوند که بتوانند در مدت زمان بهینه به درخواست‌های خدمات اورژانس شهروندان پاسخ دهند. از سوی دیگر، باید شماری آمبولانس به هر پایگاه تخصیص داده شود به گونه‌ای که با میزان تقاضا برای آمبولانس سازگار باشد [4]. تعداد نحوه قرارگیری منابع تأثیر بسزایی بر کیفیت خدمات دارد [5]. افزون بر این، مدیریت خدمات اورژانس با مسئله‌های گوناگون و گاه پر چالش مانند تخصیص آمبولانس به محل‌های تقاضا [6]، جانمایی و باز جانمایی آمبولا [7]، و مسیریابی آمبولانس [8] روبرو است. برای دستیابی به عملکرد بهتر خدمات اورژانس، نیاز به‌دقت بیشتر در برنامه‌ریزی منابع است که به کمک روش‌های مدل‌سازی به تصمیم درست برای مدیریت منابع دست‌یافت. هدف این دسته از پژوهش‌ها، نخست تجزیه‌وتحلیل داده‌ها برای شناسایی رفتار سیستم و سپس برنامه‌ریزی بهینه با به‌کارگیری مدل‌های متفاوت از بهینه-سازی و شبیه‌سازی میباشد [9].

برنامه‌ریزی برای آمبولانس دربرگیرنده دو گونه تصمیم-گیری در سطوح مختلف مانند انتخاب مکان پایگاه (که یک تصمیم‌گیری راهبردی است) و تخصیص آمبولانس‌ها به هر پایگاه (که یک تصمیم‌گیری تاکتیکی است) می‌باشد و در دوره زمانی مختلف می‌تواند متفاوت باشد [2]. اگرچه مکان پایگاه‌ها برای مدت زیادی ثابت است اما شمار و تخصیص آمبولانس‌ها می‌تواند در بازه‌های زمانی گوناگون، تغییر کند [4]. تعداد آمبولانس موردنیاز هر پایگاه به میزان تقاضا و میانگین زمان پاسخ‌گویی بستگی دارد [10, 11]. بنابراین، نیاز به آمبولانس‌ها در هر پایگاه در گذر زمان و به شیوه پویا تغییر می‌کند، زیرا داده‌های ورودی برای تعیین آن در زمان-های متفاوت، در تغییر است [11]. از این‌رو، مدیریت خدمات اورژانس در پی تصمیم‌گیری برای تعیین شمار آمبولانس برای جانمایی در هر پایگاه است. برخی پژوهش‌ها به شناسایی عوامل محیطی مؤثر بر تغییر منابع یک پایگاه پرداخته و تخصیص منابع را برمبنای تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام می‌دهند [5]. اما این تصمیم‌گیری در یک محیط پویا با توزیع چند بعدی درخواست‌ها که در واحد زمان تغییرپذیرند، دشوار و پیچیده خواهد بود. برخی پژوهشگران بر این نظرند که شبیه‌سازی توانایی در نظر گرفتن این تغییرات در محدوده گسترده‌تری را داشته و تأثیرات عدم اطمینان تقاضا برای برنامه‌ریزی تسهیلات را به حداقل می-رساند[12] .

پژوهش حاضر به‌گونه‌ای سازمان‌یافته است که در بخش دوم به پیشینه پژوهشی مدل‌های برنامه‌ریزی و تخصیص آمبولانس پرداخته که مروری بر ادبیات موضوع و پژوهش-های مهم در این حوزه دارد. سپس، در این پژوهش سعی بر این است که با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد به مدل‌سازی تخصیص شهری آمبولانس پرداخته شود. بدین منظور از داده‌های تصادفی و ویژگی‌های نرم‌افزار ED برای مدل‌سازی بهره گرفته‌شده که در بخش چهارم، پس از حل یک مثال عددی و یافته‌های ابتدایی، دو سناریو متفاوت طراحی و با روش‌های آماری بررسی انجام‌گرفته و بهترین سناریو شناخته‌شده است.

۲- پیشینه پژوهشی

مدیریت سیستم‌های خدماتی نسبت به سیستم‌های تولیدی قابلیت اهمیت و حساس‌تر است. یکی از دلیل‌های تمایز سیستم از سیستم تولیدی، حضور مستقیم مشتری یا درخواست‌کننده خدمات در طول فرایند خدمت‌رسانی است

که نیاز به‌دقت و تمرکز بیشتر بر مشتری و خدمت‌رسانی را افزایش می‌دهد [13]. مفهوم خدمات سلامتی از به‌کارگرفتن بهینه منابع برای دستیابی به تعادل میان خدمات ارائه‌شده برای بیماران و کارایی منابع خدمت‌رسانی نشأت می‌گیرد [14]. به عبارتی، یکی از موضوع‌های مهم در مسائل بخش درمان دسترسی برابر به خدمات درمانی و سطح بالای درمان در زمان رخداد مسائل همگانی و نامحدود است [15]. درنتیجه، طراحی و چیدمان سیستم‌های درمانی جهت دستیابی به اهداف سازمانی مهم همچون کمینه‌سازی هزینه-های سیستم و بیشینه‌سازی سطوح خدماتی برای ارائه خدمات شایسته نقشی به سزا دارد [16].

مسئله مهم مکان‌یابی و تخصیص سرورها به پایگاه‌ها با بکارگیری رویکردهای متفاوت، همچنان در حوزه پژوهش-های در حال پیشرفت است. اغلب موارد توسعه‌یافته بر آنچه که دستیابی به عملکردهای دلخواه و مطلوب را بهینه کند، تمرکز دارند. مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات مربوط به بخش درمان به دلیل وجود ذی‌نفعان متفاوت معمولاً چندهدفه و به‌طور عمده عمومی هستند [17]. بنابراین، تصمیم‌های اتخاذشده در این زمینه بر مشتریان سیستم‌های خدمات عمومی، گردآورندگان خدمات و همچنین کل جامعه تأثیرگذار خواهد بود. درنتیجه وجود همین سه عنصر در بخش سلامت می‌تواند ویژگی‌ها و توابع هدف گوناگون و متمایزی را به مسائل مکان‌یابی تسهیلات بیفزاید [15]. افزون بر مدل مکان‌یابی تسهیلات عمومی کلاسیک در بخش خدمات درمانی، دو گونه دیگر مسئله شامل برنامه‌ریزی آمبولانس و مسئله چیدمان بیمارستان توسعه یافته است [15].

سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی معمولاً دارای اهداف عملکردی «رسیدن به x% از بیماران در y دقیقه یا کمتر» هستند. بنابراین، با توجه به همین هدف عملکردی در سیستم، معیارهای عملکردی متفاوتی تعریف می‌شود تا از طریق آن بتوان عملکرد سیستم را بهبود بخشید و سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی را برای دستیابی به اهداف توانمند و کارآتر سازد. در پژوهش [14] معیارهای عملکردی برای بیماران میانگین زمان انتظار و میانگین طول صف و برای سیستم اورژانسی بهره‌وری سیستم، به‌کارگیری منابع و کارایی چیدمان شناخته شده است. بنابراین، پاسخ‌گویی سریع معیار بسیار مهمی برای سنجش عملکرد سیستم‌های فوریت‌های پزشکی است [3, 18]. عامل‌های مهمی همچون جایابی آمبولانس، قوانین توزیع، اولویت تماس‌ها، شرایط ترافیک، تأخیر در پاسخ‌گویی و موارد دیگر می‌توانند بر زمان پاسخ‌گویی تأثیرگذار باشند. در این میان، قوانین توزیع آمبولانس و تصمیمات مرتبط با آن با پتانسیل ایجاد تغییرات موقتی و الگوهای متفاوت تأثیر بسیاری می‌تواند بر افزایش شمار تماس‌های اورژانسی پوشش یافته داشته و تخصیص آمبولانس را جهت کاهش زمان پاسخ‌گویی بهبود بخشد [19]. روش‌های متفاوتی برای توزیع آمبولانس به کار گرفته می‌شود که معمول‌ترین آن نزدیک‌ترین همسایگی است. این روش بااینکه تماس‌های اولیه را در کوتاه‌ترین زمان ممکن پاسخ می‌دهد اما ممکن است تماس‌های بعدی در یک صف با زمان انتظار بالا قرار گیرند. بنابراین، در پژوهش‌ها روش نزدیک‌ترین همسایگی باسیاست‌های توزیعی گوناگونی برای رفع این نقص ترکیب می‌شود. عامل مهم دیگر نوع صف و اولویت‌بندی تماس‌های اورژانسی برای تخصیص آمبولانس به آن‌ها است. از این‌رو، یک روش ترکیبی ممکن است با برنامه-ریزی صحیح از این روش‌ها برای کاهش زمان پاسخ‌گویی و افزایش احتمال نجات جان افراد در سیستم اورژانسی شود [19].

از دید برخی پژوهشگران شبیه‌سازی توانایی در نظر گرفتن این تغییرات در محدوده گسترده‌تری را داشته و تأثیرات عدم اطمینان تقاضا برای برنامه‌ریزی تسهیلات را به حداقل می‌رساند. از فرضیات بسیاری برای ساده‌سازی مدل‌ها استفاده‌شده که برای بازگرداندن آن‌ها به مدل و ضمانت حل بهینه می‌بایست شبیه‌سازی به‌کار گرفته شود [12]. از این‌رو شبیه‌سازی برای شناسایی خطاهای منجر به عدم اعتبار

[12] و ارزیابی انتخاب‌های مدل‌های بهینه‌سازی به‌طورکلی استفاده شده و موجب شکل‌گیری داده‌های عملکردی مهم همچون توزیع‌های تقاضا و زمان پاسخ‌گویی و آماره‌های به‌کارگیری آمبولانس در سیستم اورژانس می‌شود [20]. در شبیه‌سازی، می‌توان سطوح متفاوت از جزئیات مسئله را مدل‌سازی نمود، همچنین ماهیت ناقطعی و پیچیده رفتار سیستم و ارتباط میان پدیده‌ها را در مدل در نظر گرفت [21]. پیشینه پژوهشی شبیه‌سازی برای مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات اورژانسی، کاربردهای مهم و متمایزی از آن می‌توان در این زمینه دید. برخی از پژوهش‌ها برای ارزیابی سیاست‌های مکان‌یابی از شبیه‌سازی در ترکیب با مدل‌های بهینه‌سازی استفاده کرده‌اند. پژوهش‌هایی همچون [2, 22] از شبیه‌سازی برای ارزیابی سیستم آمبولانس اورژانس بهره گرفتند. ژن و همکاران [4] در پژوهش خود روش ترکیبی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی را برای جانمایی آمبولانس ارائه دادند و عملکرد عملیاتی جانمایی را با شبیه‌سازی ارزیابی کردند. آنگناستو و همکاران [23] از پتانسیل شبیه‌سازی برای مدل-سازی شبیه‌سازی هیبرید توزیع‌شده (گسسته پیشامد و مبتنی بر عامل) بهره گرفته و انتزاع مسئله را در حوزه EMS کاسته است [24].

برخی دیگر از پژوهش‌ها به دلیل وابستگی توزیع آمبولانس به تقاضا و زمان پاسخ‌گویی به‌منظور خدمت‌رسانی به هنگام از شبیه‌سازی برای تعیین معیارهای عملکردی مؤثر استفاده کرده‌اند. بنابراین در گامی فراتر از ارزیابی، برلین و لیبمن [10] افزون بر ارزیابی سیاست‌های مکان‌یابی به شبیه‌سازی تقاضا و زمان پاسخ‌گویی همراه با توابع توزیع ویبول و نمایی منفی برای تعیین آن‌ها پرداخته‌اند. تعیین تعداد آمبولانس‌های تخصیص‌یافته به هر پایگاه، عاملی کارآمد برای پاسخ‌گویی به تمام درخواست‌های پایگاه است که در اینجا رویکرد شبیه‌سازی احتمال دسترس‌پذیری آمبولانس‌های موردنیاز را در سطح اطمینان مشخص در واحد زمان تعیین می‌کند [10]. لی و همکاران [21] برای بیشینه نمودن پوشش خدمات در مسئله‌ی مکان‌یابی هم‌زمان با شمار محدود منابع از شبیه‌سازی برای تولید تخمین‌های جدید برای محاسبه احتمال مشغولی منابع استفاده کرده‌اند. با این حال، فان‌اسن و همکاران [11] که در پژوهش خود به مکان‌یابی آمبولانس و شبیه‌سازی شمار آمبولانس برای هر پایگاه در دو سطح تاکتیکی و استراتژیک پرداخته، با وجود بکارگیری مدل‌های پوششی از سناریوهای مختلف برای عدم اطمینان به‌جای محاسبه احتمال مشغولی به کار گرفته‌اند.

اغلب مدل‌ها برای ارائه کیفیت خدمات در سیستم EMS از یک‌فاصله/زمان استاندارد میان گره تقاضا و تسهیلاتی که به آن تخصیص داده می‌شود، استفاده کرده‌اند. درحالی‌که برخی پژوهش‌ها روش دیگری به‌نام احتمال بقا برای اعمال کیفیت به‌کار گرفتند که کیفیت خدمات سیستم را به‌طور مستقیم در ارتباط با بازده بیماران (نسبت بیماران بهبودیافته) دانسته‌اند [25]. تابع بقا، یک تابع یکنواخت و کاهشی و تابعی از زمان پاسخ‌گویی است که برای تقریب احتمال زنده ماندن بیماران حساس همچون موارد ایست قلبی و حوادث خطرناک دیگر در سیستم EMS استفاده می‌شود[26, 20] . در پیشینه پژوهشی کاربرد احتمال بقا در سیستم‌های EMS سه روشبرای محاسبه آن مورد استفاده قرارگرفته است که شامل ۱) رگرسیون خطی چندگانه [27]، ۲) رگرسیون لجستیک [28]، ۳) رگرسیون لجستیک گام‌به‌گام [29] می‌باشد.

چانتا و همکاران [25] در پژوهش خود مسئله p-envy را با افزودن هدف بقا برای مکان‌یابی تسهیلات خدماتی فوریت-های پزشکی با استفاده از مسئله مکان‌یابی با التزام به حداقل نرخ بقا ارتقا بخشیده است. نایت و همکاران [30] به تخصیص آمبولانس به سطوح چندگانه تقاضا به‌منظور بیشینه بقا همراه با سطوح چندگانه تقاضا و معیارهای ناهمگون پرداخته است. همچنین، کرمک و کواتس [20] مدلی برای مکان‌یابی-تخصصیص وسایل نقلیه EMS با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل شبیه‌سازی منتهی به احتمال بقای بیماران در سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی با در نظر گرفتن دو مبحث مهم تقاضای متفاوت برای دو سطح وسایل

نقلیه و سرعت پاسخ‌گویی آن‌ها و سطوح چندگانه بیمار نیز برای ایجاد تفاوت در سطوح مختلف خدماتی ارائه کرده‌اند. سطوح اولویتی اورژانسی چندگانه به‌دلیل اهمیت آن می-بایست در پژوهش‌های جانمایی مجدد و سیاست‌های توزیعی آمبولانس به‌کار گرفته د که کانچالا و همکاران [31] نیز برای توزیع آمبولانس چندگانه سیاست‌های اولویتی روش شبیه‌سازی با الگوریتم ابتکاری ترکیب کرده‌اند. در راستای به‌کارگیری سیاست‌های اولویتی و قوانین توزیع آمبولانس برای کاهش زمان پاسخ‌گویی و به دنبال آن زمان سرویس و افزایش احتمال زنده ماندن بیماران، در این پژوهش از رویکرد شبیه‌سازی برای ایجاد یک روش ترکیبی استفاده می‌گردد. از همین رو، دو سناریو با سیاست‌های توزیعی متفاوت، اولویت‌دهی به بیماران خاص مانند بیماران قلبی و غیره و به‌کارگیری توابع تصادفی برای تقاضا و سرویس‌دهی طراحی و تولیدی‌شود.

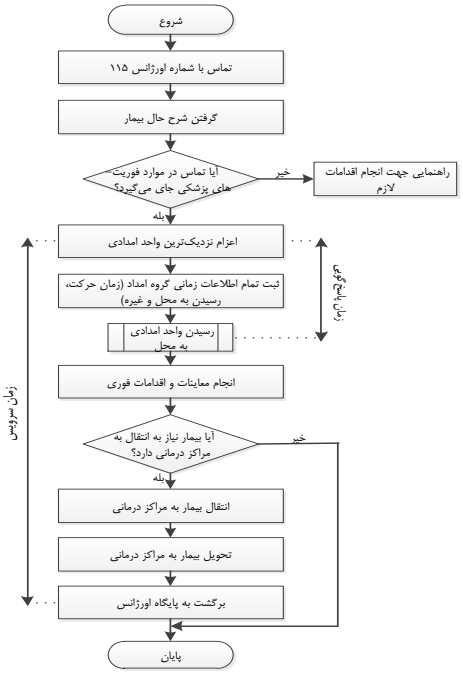
۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱- تشریح مسئله: خدمات فوریت‌های پزشکی

بیماران جهت دریافت خدمات فوریت‌های پزشکی با شماره ۱۱۵ تماس گرفته و پس از بررسی اولیه نیروهای امدادرسانی برای پاسخ‌گویی به محل حادثه فرستاده می-شوند. اورژانس پیش بیمارستانی زیرمجموعه مرکز مدیریت حوادث و فوریت‌های پزشکی است. وظیفه اساسی خدمات فوریت‌های پزشکی پاسخ‌گویی سریع به موارد فوریتی و فراهم کردن خدمات مناسب برای بیماران و مصدومان اورژانسی است. ساختار خدمات فوریت‌های در هر شهر شامل اتاق فرمان و واحدهای فرماندهی عملیات است. با هر ورود تماس اورژانسی، تماس به اتاق فرمان منتقل‌شده که در آن پزشک، پرستار و اپراتور بی‌سیم حضور دارند. هر تماس اورژانسی نیاز به یک بررسی اولیه جهت تشخیص وضعیت کنونی و سوابق بیمار دارد که با طرح سوالاتی همچون وضعیت کنونی، سن، سابقه بیماری‌های خاص مانند قلبی، ریوی و غیره از جانب اپراتور گردآوری می‌شود. در صورت تأیید حادثه اورژانسی، آدرس دقیق به نزدیک‌ترین واحد اورژانسی ابلاغ می‌شود. هر واحد اورژانسی شامل پرسنل تخصصی، تجهیزات تخصصی و وسایل نقلیه اورژانسی است.

بنابراین، پس از اعزام واحد اورژانسی به محل حادثه اطلاعات کامل بیمار به واحد گزارش می‌شود. همچنین، کلیه اطلاعات مرتبط با مأموریت اورژانسی مانند زمان‌های مهم اعزام، زمان رسیدن به محل و زمان حرکت و تشخیص‌های به هنگام شده وضعیت بیمار توسط واحد اورژانسی ثبت می-شود. اقدامات موردنیاز برای بهبودی بیمار از طریق پزشک مستقر در واحد اورژانسی به پرسنل ابلاغ شده و سپس انجام می‌گیرد. تصمیم‌گیری برای انتقال بیمار به مراکز درمانی در حوزه وظایف واحد اورژانسی است که با توجه به نوع بیماری، وضعیت بیمار، فاصله محل حادثه تا مراکز درمانی و وضعیت پذیرش مراکز درمانی تصمیم گرفته می‌شود. درنهایت، با تحویل بیمار به مراکز درمانی مأموریت واحد اورژانسی به سرانجام می‌رسد. فرایند انجام مأموریت توسط واحدهای امدادرسان فوریت‌های پزشکی را می‌توان در شکل۱ دید.

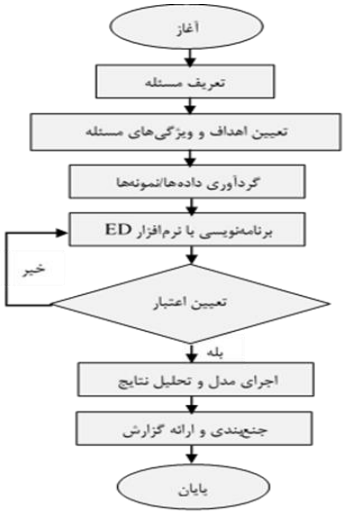
ازآنجایی‌که تماس‌های اورژانسی می‌تواند شامل بیمارهای قلبی و یا بیمارهای با وضعیت مساعدتر که گاهی نیاز به اعزام به بیمارستان داشته و در برخی موارد در همان محل اعزام اقدامات لازم انجام می‌گیرد، باشد. در این پژوهش تماس‌های اورژانسی از هم متمایز و به سه نوع تماس تفکیک‌شده است. نوع اول به بیماران قلبی و عروقی اختصاص می‌یابد که نیاز به اقدامات فوری و اعزام سریع به بیمارستان دارند. دلیل تمایز میان تماس‌های اورژانسی سرعت پاسخ‌گویی به بیماران حادتر و استفاده از قابلیت‌های شبیه‌سازی برای توزیع آمبولانس به تماس‌ها با اولویت‌دهی و دستیابی به هدف بیشینه احتمال زنده ماندن آنان است. نوع دوم، به بیمارانی تخصیص داده شد که در همان محل اقدامات درمانی انجام می‌گیرد. نوع سوم دربرگیرنده‌ی بیمارانی است که بیماری قلبی نداشته اما نیاز به اعزام آن‌ها به بیمارستان وجود دارد.



شکل (۱): فرایند خدمات فوریت‌های پزشکی

۳-۲- مدل‌سازی شبیه‌سازی

در بخش پیشین مسئله به‌طور کامل شرح داده شد، اکنون متناسب با رویه پژوهش‌های شبیه‌سازی در شکل ۲ مدل-سازی انجام می‌گیرد.



شکل (۲): رویه انجام پژوهشی

۳-۳- اهداف مدل

کاهش زمان پاسخ‌گویی و زمان سرویس: هدف اساسی سیستم‌های خدمات فوریت‌های کاهش زمان پاسخ-گویی و ارائه سرویس در زمان مناسب برای بیماران است؛ بنابراین، مدل‌ها اعم از ریاضی و یا شبیه‌سازی سعی بر این است تا به کمترین زمان ممکن در مدل برای پاسخ‌گویی دست یابند. در این راستا، مدل مورد طراحی از جهت میانگین زمان پاسخ‌گویی و زمان سرویس در سناریوهای طراحی‌شده مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

تابع احتمال زنده ماندن بیماران: همان‌طور که در بحث‌های گذشته مطرح شد، یکی از اهداف اساسی مدل‌های توزیع و تخصیص آمبولانس کاهش زمان پاسخ‌گویی به بیماران حاد اورژانسی از جمله بیماران قلبی و دیگر بیماری-های حاد می‌باشد؛ بنابراین، افزون بر اولویت‌دهی در سیاست توزیع، تابع احتمال زنده ماندن بیماران نوع اول با متغیر زمان پاسخ‌گویی T_{1i} این نوع بیماران با رابطه (۱) در مدل اعمال گردید. رابطه (۲) میانگین احتمال زنده ماندن بیماران سطح سوم با پارامتر تعداد بیماران این سطح n_1 در این مدل محاسبه می‌گردد.

$$Sc = 1/(1+\exp(-0.26+.0139*T_{1i})) \qquad (۱)$$

$$f(s) = \sum Sc_i / n_1 \qquad (۲)$$

۳-۴- فرضیه‌های مدل

در مورد اشکال، مدل سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی با ۱۵ گره تقاضا و ۵ پایگاه اورژانس طراحی‌شده است. در این راستا فرض‌هایی در نظر گرفته‌شده که در ادامه مطرح می-گردد.

مکان‌یابی مشخص پایگاه‌ها: اولین فرض پژوهش حاضر این است که مکان‌یابی پایگاه‌های اورژانس در سطح یک شهر از پیش انجام‌گرفته است. ارتباط میان گره‌های تقاضا و پایگاه‌های اورژانسی برای تخصیص آمبولانس به گره‌های

میان پایگاه‌ها و گره‌های تقاضا تعیین و در مدل شبیه‌سازی اعمال گردیده است.

اولویت تماس‌ها: سه سطح تماس اورژانسی برای این سیستم تعریف‌شده که بر اساس این سطوح سیاست توزیع و تخصیص آمبولانس با اولویت‌دهی میان آن‌ها انجام می‌گیرد. اولویت پاسخ‌گویی به تماس‌ها بدین ترتیب است که تماس نوع اول یعنی بیماران قلبی و عروقی بدون توجه به ترتیب ورود همواره در ابتدای صف تخصیص آمبولانس قرار می‌گیرد تا زمان پاسخ‌گویی را کاسته و بر احتمال زنده ماندن آنان بیفزاید. پس‌ازآن سرور خدمت‌رسان به بیماران سطح دوم و سوم بدون اولویت تخصیص می‌یابد.

زمان پاسخ‌گویی و زمان سرویس: در طراحی مدل فوریت‌های پزشکی زمان پاسخ‌گویی از زمان اعزام آمبولانس تا زمان رسیدن آمبولانس به محل در نظر گرفته‌شده است. زمان سرویس از زمان اعزام آمبولانس شروع یافته و تا زمانی که خدمات موردنیاز با توجه به هر نوع بیمار به‌طور کامل انجام گیرد، ادامه می‌یابد. زمان پاسخ‌گویی و سرویس را در شکل ۱ نیز می‌توان مشاهده کرد.

توزیع تماس‌های اورژانسی: در این پژوهش فرض بر این است که تماس‌های اورژانسی در ساعات مختلف روز از شمار و یا توزیعی متفاوت ممکن است برخوردار باشد. بدین ترتیب، ساعت ۰۶:۰۰ تا ۲۰:۰۰ به‌عنوان زمان شلوغ در نظر گرفته‌شده و در ساعات دیگر از تراکم تماس‌ها کاسته می‌گردد.

۳-۵- داده‌های ورودی

داده‌ها و اطلاعات مدل می‌بایست از سیستم واقعی مشاهده و گردآوردی شود. ازآنجایی‌که گردآوری داده‌ها در سیستم خدمت‌رسانی عمومی بسیار زمان‌بر است و هدف این پژوهش نیز طراحی مدل توزیع و ارزیابی آن بوده، در اینجا از یک مثال عددی تصادفی استفاده‌شده است؛ بنابراین، پس از تعریف معیارهای عملکردی در بخش تشریح مسئله، توابع توزیع زمان میان ورود تماس‌های اورژانسی، زمان پاسخ‌گویی و زمان خدمت‌رسانی (سرویس) بر اساس داده‌های گذشته سیستم‌های واقعی در پژوهش‌های مشابه و بر اساس تجربه برآورد و در مدل‌سازی لحاظ گردید.

در این پژوهش یک مدل تصادفی با ۱۵ گره تقاضا و ۵ پایگاه با ۲ سرور ثابت ساخته شد. در این مدل سه نوع تماس اورژانسی تعریف‌شده که زمان سرویس به‌ازای هر یک از آن‌ها در سیستم و مدل اعمال شد. ازآنجایی‌که زمان پاسخ‌گویی به ازای انواع بیماران یکسان است، زمان پاسخ‌گویی و زمان ادامه سرویس در محل تفکیک‌شده که در جدول ۱ نمایش داده‌شده است.

جدول (۱): توابع توزیع داده‌ها

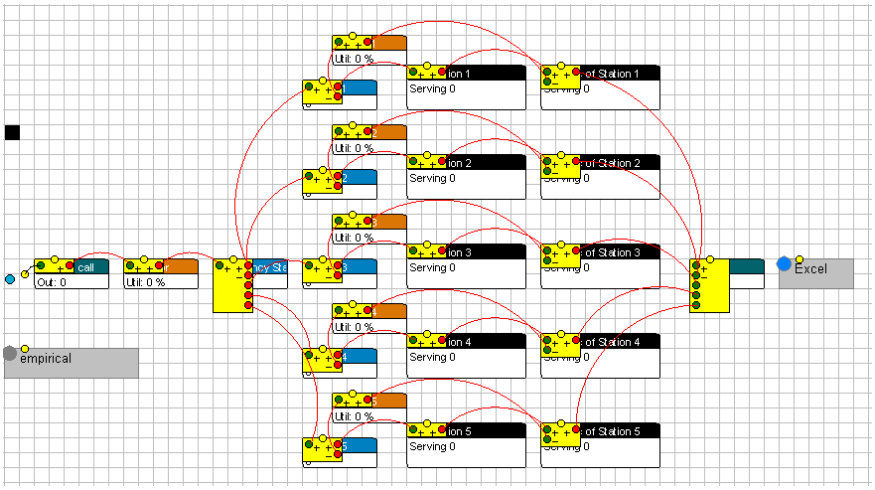
داده‌ها	توابع توزیع		
زمان میان ورود تماس‌ها	۰۶:۰۰-۰۰:۰۰	۲۰:۰۰-۰۶:۰۰	۲۴:۰۰-۲۰:۰۰
	NegExp(700)	NegExp(120)	NegExp(700)
زمان پاسخ‌گویی	NegExp(720)		
زمان سرویس تماس نوع اول	NegExp(600)		
زمان سرویس تماس نوع دوم	1.5*NegExp(600)		
زمان سرویس تماس نوع سوم	1.5*NegExp(600)		

زمان میان ورود بیماران در سیستم خدمات اورژانسی در ساعات مختلف روز متفاوت در نظر گرفته و در سه بازه شبیه‌سازی‌شده است. افزون بر این داده‌ها، امکان ارتباط پایگاه‌ها و گره‌های تقاضا جهت پاسخ‌گویی پایگاه‌ها به تماس‌های اورژانسی با ماتریس ابتدایی که بر اساس فاصله میان آن‌ها می‌باشد، مشخص‌شده که در مدل شبیه‌سازی اعمال‌شده است. توابع توزیع داده‌های به‌کاررفته در این پژوهش را به تفکیک می‌توان در جدول ۱ دید.

برای شبیه‌سازی سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی استفاده‌شده است. فرایند خدمات‌رسانی اورژانسی با در نظر گرفتن فرضیه‌های مدل و اعمال توزیع‌های آماری در این نرم‌افزار طراحی و سپس اجرا گردید. ازآنجایی‌که این نرم‌افزار ابزاری سه‌بعدی برای شبیه‌سازی است از آن برای اطمینان و اعتبار مدل در زمان اجرا می‌توان استفاده کرد. شکل ۳ نمای دوبعدی طراحی‌شده را نشان می‌دهد.

۳-۶- مدل شبیه‌سازی

با توجه به شرح مسئله و برآورد توزیع‌های آماری معیارهای عملکردی از نرم‌افزار ED.8 با قابلیت کد نویسی 4D Script



شکل (۳): نمای مدل شبیه‌سازی در نرم‌افزار ED

۴- یافته‌ها و تحلیل آن‌ها

۴-۱- سناریوها و معیارهای عملکردی

سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی از سرورهای ثابت و معینی در واقعیت برای توزیع آمبولانس و پوشش تماس‌های اورژانسی استفاده می‌کند. باوجود اینکه سیستم‌ها می‌توانند از سرورهای خاص جایگزین در مواقع ضرورت برای افزایش زمان پاسخ‌گویی بهره ببرند و در همان حال از هزینه‌های اضافی برای نگه‌داشتن سرورهای با احتمال به‌کارگیری کم بکاهد. بدین ترتیب در این پژوهش، دو سناریو تعریف گردیده تا مدل‌ها را در دو وضعیت متفاوت مقایسه کرده و تغییر در معیارهای عملکردی مدل را موردبررسی قرار دهد. سناریو اول وضعیت کنونی سیستم استفاده از یک نوع آمبولانس به تعداد دو تا در هر پایگاه اورژانس و سناریو دوم، افزون بر دو سرور پیشین شامل یک سرور متغیر و سبک‌تر تنها برای پاسخ‌گویی اولیه و انجام خدمات در محل است. با توجه به توضیحاتی که تاکنون در مورد این سیستم خدماتی گفته‌شده و اهداف و فرضیه‌هایی که برای مدل شبیه‌سازی این پژوهش مطرح‌شده، معیارهای عملکردی همچون احتمال زنده ماندن بیماران نوع اول، زمان پاسخ‌گویی و زمان سرویس جهت بررسی موردنظر شناخته‌شده است.

با توجه به روش به‌کارگرفته در این پژوهش، پس‌ازاینکه هر دو سناریو تولید گردید، به‌صورت جداگانه در مدل شبیه‌سازی می‌گردد. هر دو سناریو به تعداد کافی تکرار گردیده و شاخص‌های آماری معیارهای عملکردی مدل شبیه‌سازی محاسبه می‌شود. در همین راستا، ۱۰ تکرار اولیه انجام و داده‌های حاصل از آن ثبت شد. نتایج حاصل از این تکرارها را در جدول ۲ برای مهم‌ترین معیار احتمال زنده ماندن افراد برای بیماران نوع اول می‌توان مشاهده کرد که حداقل ۲۴ تکرار را نیز با توجه به واریانس ناچیز داده‌ها کافی دانسته است. بااین‌حال، برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر در تمامی معیارهای عملکردی از حداقل ۳۰ تکرار برای دو سناریو استفاده شد.

جدول (۲): حداقل تکرار موردنیاز برای معیار عملکردی احتمال زنده ماندن افراد

سناریو اول	
تعداد تکرار	۱۰
میانگین	۱۳،۵۹
واریانس	۰،۰۲
$Z_{۰.۰۲۵}$	۱،۹۶
خطای استاندارد	۰،۱

$$n(i) > \frac{z^{۲}_{۰.۰۲۵}.pq}{\varepsilon^{۲}} \approx ۲۴$$

دو سناریو تولیدشده در ۳۰ تکرار با مدل شبیه‌سازی گردید که شاخص‌های آماری حاصل از هر معیار عملکردی و به تفکیک هر یک از سناریوها در ادامه در جدول ۳ و جدول ۴ نمایش داده‌شده است.

جدول (۳): شاخص‌های آماری سناریو اول

معیار عملکرد / شاخص	سناریو ۱		
	زمان پاسخ‌گویی (دقیقه)	زمان سرویس(دقیقه)	احتمال زنده ماندن بیماران
میانگین	۵۳,۸۸	۶۸,۹۶	۱۴,۵۱
واریانس	۲۳۲,۶۴	۲۷۴,۳۹	۰,۰۴
انحراف استاندارد	۱۵,۲۵	۱۶,۵۶	۲,۱۶

جدول (۴): شاخص‌های آماری سناریو دوم

معیار عملکرد / شاخص	سناریو ۱		
	زمان پاسخ‌گویی (دقیقه)	زمان سرویس(دقیقه)	احتمال زنده ماندن بیماران
میانگین	۱۵,۲۸	۲۹,۵۴	۲۳,۵۷
واریانس	۱,۴۵	۲,۵۷	۰,۰۸
انحراف استاندارد	۱,۲۰	۱,۶۰	۲,۸۳

۴-۳- بررسی سناریوها

با توجه تاکنون نتایج حل شبیه‌سازی دو سناریو به‌دست‌آمده و خلاصه‌ای از آن ارائه گردید. حال می‌بایست به مقایسه دو سناریو تولیدشده پرداخت. در راستای بررسی دو سناریو در مدل‌های شبیه‌سازی برحسب نوع سیستم و معیارهای عملکردی می‌توان رویه‌های آماری متفاوتی را در پیش گرفت. آزمون فرضیه‌ها و فاصله‌های اطمینان موارد کاربردی این‌گونه مسائل هستند. اگرچه هر دو رویکرد بیانگر وجود یا عدم وجود اختلاف معنادار میان دو سناریو می‌باشند، اما فاصله‌های اطمینان افزون بر این میزان اختلاف میان این دو را نمایان ساخته که از همین جهت پرکاربردتر از آزمون فرضیه در مقایسه سناریوها می‌باشد. بنابراین، جهت مقایسه دو سناریو از یک‌فاصله اطمینان با درصد خطای مشخص استفاده‌شده که با تعبیر حد بالا و پایین آن فاصله به اختلاف میان آن‌ها می‌توان دست‌یافت. یکی از روش‌های مطرح در این زمینه روش ولش بوده که در این پژوهش مورداستفاده قرار می‌گیرد. یکی از ویژگی‌های بارز این روش این است که دیگر نیازی به بررسی تشابه واریانس‌های دو سناریو نبوده زیرا که تمام محاسبات فاصله اطمینان با بدترین فرض ممکن یعنی عدم برابری واریانس‌ها انجام می‌گیرد.

بنابراین، با توجه به داده‌های میانگین و انحراف استاندارد معیارهای عملکردی از شبیه‌سازی دو سناریو در جدول ۳ و جدول ۴ به ازای هر معیار این مقایسه انجام می‌گیرد. اولین معیار عملکردی موردبررسی زمان پاسخ‌گویی است که فاصله اطمینان زمان پاسخ‌گویی دو سناریو با استفاده از رابطه (۳) و رابطه (۴) انجام می‌گیرد.

$$\left[\left(\bar{x}_1-\bar{x}_2\right)\pm t_{\alpha/2,df}\cdot\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}}\right] \quad (۳)$$

$$df=\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1}+\frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}} \quad (۴)$$

حال، نتیجه حاصل از این مقایسه و فاصله اطمینان با درصد خطای ۵٪ برای زمان پاسخ‌گویی را به دست آورده که در جدول ۵ می‌توان دید. فاصله اطمینان دارای حد مثبت بالا و پایین بوده که بیانگر بزرگ‌تر بودن میانگین زمان پاسخ‌گویی سناریو ۱ از سناریو ۲ در سطح اطمینان ۹۵٪ است. ازآنجایی‌که هدف کاهش زمان پاسخ‌گویی در سیستم اورژانسی است، پس می‌توان نتیجه گرفت که ازنظر این معیار سناریو ۲ عملکرد بهتری دارد.

جدول (۵): فاصله اطمینان تفاوت میانگین زمان پاسخ‌گویی سناریو ۱ و سناریو ۲

	سناریو ۱	سناریو ۲
تعداد تکرار	۳۰	۳۰
میانگین ($\bar{x}$)	۵۳,۸۸	۱۵,۲۷
واریانس (S^2)	۲۳۲,۶۴	۱,۴۵
انحراف استاندارد	۱۵,۲۵	۱,۲۰
df	۲۹	
$t_{..۰۲۵,۲۹}$	۲,۳۶	
فاصله اطمینان	$[۳۲-۴۵,۲۱]$	

فاصله اطمینان با درصد خطای ۵٪ برای معیار عملکردی زمان سرویس محاسبه‌شده که نتایج حاصل از آن مطابق جدول ۶ است. فاصله اطمینان با حد بالا و پایین مثبت نشان‌دهنده‌ی اختلاف میان دو میانگین زمان سرویس و همچنین بزرگ‌تر بودن میانگین زمان سرویس سناریو ۱ از سناریو ۲ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در سطح اطمینان ۹۵٪ سناریو ۲ به میانگین زمان سرویس بهتری دست می‌یابد.

فاصله اطمینان با درصد خطای ۵٪ برای معیار عملکردی زمان سرویس محاسبه‌شده که نتایج حاصل از آن مطابق جدول ۶ است. فاصله اطمینان با حد بالا و پایین مثبت نشان‌دهنده‌ی اختلاف میان دو میانگین زمان سرویس و همچنین بزرگ‌تر بودن میانگین زمان سرویس سناریو ۱ از سناریو ۲ می‌باشد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در سطح اطمینان ۹۵٪ سناریو ۲ به میانگین زمان سرویس بهتری دست می‌یابد.

جدول (۶): فاصله اطمینان تفاوت میانگین زمان سرویس سناریو ۱ و سناریو ۲

	سناریو ۱	سناریو ۲
تعداد تکرار	۳۰	۳۰
میانگین ($\bar{x}$)	۶۸,۹۶	۲۹,۵۴
واریانس (S^2)	۲۷۴,۴	۲,۵۸
انحراف استاندارد	۱۵,۲۵	۱,۲۰
df	۲۹	
$t_{..۰۲۵,۲۹}$	۲,۳۶	
فاصله اطمینان	$[۳۲,۲۴-۴۶,۶۰]$	

درنهایت، فاصله اطمینان احتمال زنده ماندن بیماران اولویت اول با سطح اطمینان ۹۵٪ برآورد گردیده که نتایج حاصل از آن در جدول ۷ گزارش‌شده است. با توجه به فاصله اطمینان برآورد شده میان نسبت دو جامعه و حد پایین منفی و حد بالای مثبت در آن، می‌توان گفت ازنظر آماری تفاوت معناداری میان احتمال زنده ماندن بیماران نوع اول این دو سناریو وجود ندارد؛ اما می‌بایست به این نکته اشاره کرد که با توجه به اهمیت فراوان این تابع و مقدار احتمال زنده ماندن بیماران خاص حتی افزایش مقدار اندک آن در مدل‌های توزیع و تخصیص آمبولانس در سیستم‌های اورژانسی دارای اهمیت و غیرقابل اغماض است. افزون بر این، با توجه نوع

تابع احتمال کاهشی و مقدار این احتمال در خوشبینانه‌ترین وضعیت سیستم و کوتاه‌ترین زمان پاسخ‌گویی می‌توان به‌طور قطعی بیان کرد که افزایش مقدار آن از ۱۴٫۵۱٪ در سناریو اول به ۲۳٫۵۷٪ در سناریو دوم برای مدل شبیه‌سازی بهبود وضعیت سیستم به همراه دارد.

جدول (۷): فاصله اطمینان میانگین احتمال زنده ماندن افراد

	سناریو ۱	سناریو ۲
تعداد تکرار	۳۰	۳۰
میانگین	۱۴٫۵۱	۲۳٫۵۷
واریانس	۰٫۰۴	۰٫۰۸
انحراف استاندارد	۲٫۱۶	۲٫۸۳
$z_{.,.۲۵}$	۱٫۹۶	
فاصله اطمینان	$[-۰٫۲۸۷ - ۰٫۱۰۶]$	

سه معیار عملکردی شامل احتمال زنده ماندن، زمان پاسخ‌گویی و زمان سرویس برای مدل شبیه‌سازی سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی شناخته‌شده بود که با توجه به آن‌ها دو سناریو تولیدشده موردبررسی و مقایسه گرفت. سناریو دوم با معیارهای زمان پاسخ‌گویی و زمان سرویس نتایج آماری بهتری نسبت به سناریو اول کرد. باوجود نبود اختلاف معنادار در احتمال زنده ماندن بیماران میان دو سناریو در فاصله اطمینان برآورد شده، می‌توان با توجه به توضیحات بالا سناریو دوم را گزینه بهتری برای بهبود سیستم اورژانسی در نظر گرفت. درنهایت، از بررسی دو سناریو با برآوردهای آماری نتیجه گرفته می‌شود که سناریو دوم در هر سه معیار عملکردی گزینه بهتر و به تبع آن دارای عملکرد بهتر است.

۵-نتیجه و جمع‌بندی

مدیریت سیستم‌های خدماتی نسبت به سیستم‌های تولیدی قابلیت اهمیت و حساس‌تر است. یکی از دلیل‌های تمایز سیستم از سیستم تولیدی، حضور مستقیم مشتری یا درخواست‌کننده خدمات در طول فرایند خدمت‌رسانی است که نیاز به‌دقت و تمرکز بیشتر بر خدمت‌رسانی را افزایش می‌دهد. سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی فراهم‌کننده خدمات از نوع مراقبت‌های فوری پیش بیمارستانی برای افراد بیمار و آسیب‌دیده است. زمان موردنیاز برای پاسخ‌گویی به یک تماس اورژانسی یعنی زمان رسیدن به محل از جنبه‌های پراهمیت برای تسهیلات خدمات رسان سیستم EMS می‌باشد. سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی معمولاً دارای هدف عملکردی «رسیدن به x% از بیماران در y دقیقه یا کمتر» هستند. بنابراین، با توجه به همین هدف عملکردی در سیستم، معیارهای عملکردی متفاوتی تعریف می‌شود تا از طریق آن بتوان عملکرد سیستم را بهبود بخشید و سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی را برای دستیابی به اهداف توانمند و کارایی‌تر سازد. در راستای پژوهش حاضر، افزون بر مدل مکان‌یابی تسهیلات در بخش خدمات درمانی، گونه دیگر مسئله شامل برنامه‌ریزی آمبولانس توسعه‌یافته است. تصادفی بودن شمار درخواست‌ها برای آمبولانس از یک‌سو و از سوی دیگر محدودیت‌های عملیاتی، برنامه‌ریزی بهینه منابع برای پاسخگویی سریع را دشوار ساخته است.

در پژوهش حاضر مدل‌سازی شبیه‌سازی به‌منظور برنامه‌ریزی توزیع و تخصیص آمبولانس در حوزه شهری به‌کارگرفته شد. این مدل‌سازی برای دستیابی به پاسخ‌گویی سریع، اولویت‌دهی را در تماس‌های اورژانسی اعمال کرده تا بدین ترتیب بیماران خاصی مانند بیماران قلبی و دیگر بیمارانی که به پاسخ‌گویی سریع‌تری برای افزایش احتمال نجات جان آنان نیاز هست، در کمترین زمان ممکن پوشش داده شوند. بدین منظور از نرم‌افزار شبیه‌سازی ED برای مدل‌سازی جهت توزیع و تخصیص سرورهای اورژانس در سطح یک شهر با نقاط تقاضای متفاوت استفاده شد. هدف این مدل شبیه‌سازی دستیابی به کمینه زمان پاسخ‌گویی و زمان سرویس بوده و افزون بر این برافزایش احتمال زنده ماندن بیماران دارای اولویت اول و اورژانسی تأکید دارد؛ بنابراین، سه معیار عملکردی شامل احتمال زنده ماندن، زمان پاسخ‌گویی و زمان

سرویس برای مدل شبیه‌سازی سیستم خدمات فوریت-های پزشکی شناخته شد. در پژوهش حاضر، دو سناریو تولیدشده که به تعداد موردنیاز تکرار شده و سپس با استفاده از روش‌های آماری و برآورد فاصله اطمینان ازنظر معیارهای عملکردی مورد مقایسه قرار گرفت. پس از بررسی دو سناریو با برآوردهای آماری نتیجه گرفته شد که سناریو دوم در هر سه معیار عملکردی گزینه بهتر و به‌تبع آن دارای عملکرد بهتر است؛ بنابراین، در این پژوهش سناریویی پاسخ بهتری می‌دهد که با قرار دادن یک دستگاه سرور متغیر در هر پایگاه جهت پاسخ‌گویی اورژانسی منجر به بهبود پاسخ‌گویی و معیارهای عملکردی می‌گردد.

۶- منابع و مآخذ

[1] Goldberg, J. (2004). Operation research models for the deployment of emergency services vehicles. EMS Management Journal, 1(1), 20-39.

[2] Aringhieri, R., Carello, G., & Morale, D. (2007). Ambulance location through optimization and simulation: the case of Milano urban area. Univerity of Milano, Italy.

[3] Billhardt, H., Lujak, M., Sanchez-Brunete, V., Fernandez, A., & Ossowski, S. (2014). Dynamic coordination of ambulances for emergency medical assistance services. Knowledge-Based Systems, 70, 268-280.

[4] zhen, L., Wang, K., Hu, H., & Chang, D. (2014). simulation optimization framework for ambulance deployment and relocation problems. Computers & Industrial Engineering, 72, 12-23.

[5] Ebrahimi, M., & Mirzaei Modam, M. (2015). Ranking Zones of Tehran to Add New Emergency Services Using Fuzzy AHP. Journal of Industrial Engineering, University of Tehran, 49(2), 149-163.

[6] Shiah, D. M., & & Chen, S. W. (2007). Ambulance allocation capacity model. 9th International Conference on e-Health Networking, Application and Services (pp. 40-45). Taipei: IEEE.

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

[8] Nordin, N., Zaharudin, Z., & Maasar, M. (2012). Finding shortest path of the ambulance routing: Interface of A∗ algorithm using C# programming. Symposium on Humanities. Science and Engineering Research, 1569-1573.

[9] Wang, Y., Luangkesorn, K., & Shuman, L. (2012). Modeling emergency medical response to a mass casualty incident using agent based simulation. Socio-Economic Planning Sciences, 46(4), 281-290.

[10] erlin, G. N., & Liebman, J. C. (1974). Mathematical analysis of emergency ambulance location. Socio-Economic Planning Sciences, 8(6), 323-328.

[11] Van Essen, J., Hurink, J., Nickel, S., & Reuter, M. (2013). Models for ambulance planning on the strategic and the tactical level. Beta working paper series.

[12] Aringhieri, R., Bruni, M., Khodaparasti, S., & van Essen, J. (2017). Emergency medical services and beyond: Addressing new challenges. Computers & Operations Research, 78, 349-368.

[۱۳] م. امیری, م. علی پور و م. حیدری فرسنگی, "الگوریتم های ژنتیک و ممتیک برای مدل صف فازی حداکثر پوشش مکان یابی-تخصیص با در نظرگرفتن تراکم در سیستم و چند نوع تقاضا," مهندسی صنایع و مدیریت شریف, جلد ۲, 15-25, 1390.

[14] Abo-Hamad, W., & Arisha, A. (2013). Simulation-based framework to improve patient experience in an emergency

department. European Journal of Operational Research, 224, 154-166.

[15] Laporte, G., Nickel, S., & Saldanha da Gama, F. (2015). Location Science. Springer International Publishing.

[16] S. Syam, S. (2008). A multiple server location–allocation model for service system design. Computers & Operations Research, 35, 2248 – 2265.

[۱۷] ح. شاه بندرزاده و م. منصوری, "مدل ریاضی فازی مکان یابی تخصیص سلسله مراتبی برای خدمات فوریت های پزشکی با به کارگیری الگوریتم NSGA-II در دومین کنفرانس بین المللی مدیریت صنعتی, تهران, ۱۳۹۶.

[18] Alsalloum, O., & Rand, G. (2006). Extensions to emergency vehicle location models. Computers & Operations Research, 33, 2725-2743.

[19] Zarkeshzadeh, M., Zare, H., Heshmati, Z., & Teimouri, M. (2016). A novel hybrid method for improving ambulance dispatching response time through a simulation study. Simulation Modelling Practice and Theory, 60, 170–184.

[20] McCormack, R., & Coates, G. (2015). A simulation model to enable the optimization of ambulance fleet allocation and base station location for increased patient survival. European Journal of Operational Research, 247, 294-309.

[21] Lee, T., Jang, H., Cho, S., & Turner, J. (2012). A simulation-based iterative method for trauma center–air ambulance location problem. Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, (pp. 1-12). Berlin.

[22] Ünlüyurt , T., & Tunçer, a. (2016). Estimating the performance of emergency medical service location models via discrete event simulation. Computers & Industrial Engineering, 102, 467-475 [6] [23] Anagnostou, A., Nouman, A., & J.E. Taylor, S. (2013). distributed hybrid agnt-based discrete event emergancy medical services simulation. Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference (pp. 1625-1636). IEEE.

[۲۴] خ. سلیمی فرد و م. منصوری, "مکانیابی و تخصیص آمبولانس با رویکرد آمیخته تیوری صف (شبیه سازی) و برنامه ریزی عدد صحیح," در دومین کنفرانس بین المللی تحولات نوین در مدیریت ، اقتصاد و حسابداری, تهران, ۱۳۹۷.

[25] Chanta, S., E. Mayorga, M., & A. McLay, L. (2014). The minimum p-envy location problem with requirement on minimum survival rate. Computers & Industrial Engineering, 74, 228-239.

[26] Erkut, E., Ingolfsson, A., & Erdogan, G. (2007). Ambulance location for maximum survival. Naval Research Logistics, 55, 42-58.

[27] Larsen, M., Eisenberg, M., Cummins, R., & Hallstrom, A. (1993). Predicting survival from out-of-hospital cardiacarrest—A graphic model. Annals of Emergency Medicine, 22(11), 1652–1658.

[28] Waalewijn , R., De Vos , R., Tijssen , J., & Koster , R. (2001). Survival models for out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation from the perspectives of the bystander, the first responder, and the paramedic. Resuscitation , 51(22), 113-122.

[29] De Maio, V., G. Stiell, I., A. Wells, G., & W. Spaite, D. (2003). Optimal defibrillation response intervals for maximum out-of-hospital cardiac arrest survival rates. Annals of Emergency Medicine, 42(2), 242–250.

[30] Knight, V., Harper, P., & Smith, L. (2012). Ambulance allocation for maximal survival with heterogeneous outcome measures. Omega, 40, 918-926.

[31] Kanchala, S., Mayorga, M., & McLay, L. (2014). Recommendations for dispatching emergency vehicles under multi tiered response via simulation. International Transactions in Operation Research, 21(4), 581-617.