



# بهینه سازی توزیع منابع اورژانس: شبیه سازی به روش سطح پاسخ

آرمان بهاری<sup>۱</sup> / فرزانه اسدی<sup>۲</sup>

چکیده

**مقدمه:** هدف از نگارش این مقاله، نخست بررسی وضعیت موجود منابع اثرگذار در بخش اورژانس و سپس ارائه ترکیب بهینه منابع مذکور به منظور کم کردن زمان انتظار بیماران مراجعه کننده به این بخش از طریق بهینه سازی رویکرد شبه مدل محور است.

**روش‌ها:** مدل پژوهش بر اساس روش سطح پاسخ و با استفاده از طراحی آزمایش‌ها، مناسب سازی شده است. متغیر وابسته مدل مذکور، متوسط زمان انتظار بیماران در بخش اورژانس است که این سطح پاسخ از طریق اجرای آزمایش‌های ایجاد شده طرح عاملی در مدل شبیه سازی ساخته شده است. داده‌های مورد نیاز پژوهش از اسناد بایگانی ثبت شده برای هر بیمار در نیمه اول سال ۱۳۹۶ جمع آوری شده است.

**یافته‌ها:** نتایج پژوهش نشان داد تعداد بهیاران، تخت‌های بستری، در تابع تخمینی متوسط زمان انتظار بیماران، معنی‌دار هستند. با وجود معنی‌دار نبودن اثرهای منشی اورژانس، تعداد پرستاران و تعداد متخصصان قلب از نظر آماری، از آنها در مدل مذکور عمدا استفاده شده است، زیرا هدف پژوهش تعیین ترکیب بهینه این متغیرها از طریق حل مسأله است.

**نتیجه‌گیری:** در این پژوهش، بهینه سازی زمان انتظار بیماران مراجعه کننده به بخش اورژانس با استفاده از شبیه سازی، طراحی آزمایش و شبه مدل رگرسیون انجام گرفته است. از حل مسأله بهینه سازی ایجاد شده و استقرار ترکیب بدست آمده، مطلوب‌ترین زمان انتظار در بخش اورژانس به دست آمد که این امر باعث ایجاد کاهش معادل ۴۹/۶ درصد در زمان انتظار و کاهش معادل ۵۱ درصد در هزینه‌های جاری بخش اورژانس شد. **واژه‌های کلیدی:** مدل شبیه سازی، بهینه سازی، شبه مدل، طراحی آزمایش

• وصول مقاله: ۹۶/۱۲/۲۸ اصلاح نهایی: ۹۷/۰۴/۲۰ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۶/۱۰

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده صنعت و معدن، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران؛ نویسنده مسئول (arman\_Bahari@aut.ac.ir)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش مدیریت سیستم و بهره‌وری واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

## مقدمه

در سال‌های اخیر، با توجه به رشد چشمگیر تقاضا به دلایل مختلف از قبیل افزایش جمعیت، روند استفاده از بخش اورژانس به عنوان نقطه اصلی ورود به بیمارستان‌ها افزایش پیدا کرده است که این امر سبب ایجاد نارضایتی برای افراد مراجعه کننده شده است. [۱،۴] نارضایتی افراد از خدمت رسانی بیمارستان‌ها از طرفی با وجود ظرفیت‌های بالا و هزینه‌ها و از طرف دیگر تقاضای رو به افزایش بهداشت و درمان، مدیران این حوزه را وادار ساخته تا با تخصیص بهینه منابع درصدد کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی و بهره‌وری برآیند. علاوه بر آن، وضع قوانین دولتی در کشورها به خصوص در ایران براساس سند چشم انداز افق ۱۴۰۴ هجری شمسی، این سیستم‌ها را ملزم می‌سازد تا خدمات خود را با کیفیت بالا در کمترین زمان برای بیماران ارائه دهند. از این رو، مسأله مهمی که پژوهشگران حوزه مدیریت بهینه مراکز بهداشتی و درمانی برای بهبود وضعیت موجود در نظر می‌گیرند، بکارگیری ترکیبی از خدمت رسانی و منابع کمیاب حوزه سلامت در بخش‌های مختلف مراکز مذکور به منظور تعیین معیار عملکرد مورد نظر تحت شرایط و محدودیت‌های خاص است. [۵]

تصمیم‌گیری در مورد منابع بخش اورژانس فعالیتی مهم به شمار می‌رود که تأثیر قابل توجهی بر عملکرد این بخش دارد. هر تصمیم نادرست عواقب جبران ناپذیری بر کیفیت خدمات ارائه شده به بیماران دارد، بنابراین، تصمیم‌گیرنده باید سیستم و منابع بیمارستان را به طور صحیح و مؤثر تحلیل کرده و اختصاص دهد. این تحلیل در سیستمی مانند بخش اورژانس امری دشوار است زیرا، رفتار چنین محیطی تصادفی و وابسته به زمان است. این بدین معنی است که در بیشتر موارد با گذشت زمان شاهد تغییراتی عمده در نرخ ورود بیماران و نرخ خدمات خواهیم بود. [۶]

مسائل مدیریت خدمات درمانی را براساس ادبیات موجود می‌توان در دو بخش زمان‌بندی و برنامه‌ریزی تقسیم بندی کرد. در بخش زمان‌بندی، زمان اختصاص یافته به هر عملیات و در بخش برنامه‌ریزی، فرآیند تطبیق عرضه و تقاضا مورد

توجه قرار می‌گیرد. [۵] با توجه به اینکه، در ادبیات موجود کمتر به جنبه زمان‌بندی توجه شده است؛ از این رو، در پژوهش حاضر به جنبه برنامه‌ریزی توجه شده است. در سال‌های اخیر روش‌های ترکیبی مدل‌های شبیه سازی با سایر روش‌های مدل‌سازی و یا روش‌های فراابتکاری برای برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی در سیستم‌های درمانی استفاده شده‌اند. برای مثال، «یسلر و سپلودا» یک مدل بهینه‌سازی شبیه‌سازی چند منظوره به منظور بهبود جریان بیمار در یک مرکز مراقبت از بیماران سرطانی ارائه کرده‌اند. آنها از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی آرمانی برای بهینه‌سازی و طراحی سیستم استفاده کرده‌اند. [۷] «احمد و الخمیس» به منظور طراحی یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای عملیات بخش اورژانس یک بیمارستان دولتی در کویت از بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. مدل بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی ارائه شده در مقاله مذکور قادر است علاوه بر تعیین مقادیر بهینه منابع تخصیص یافته، ۴۰ درصد زمان انتظار بیماران را نسبت به وضعیت موجود کاهش دهد. [۸] «الرفعی و همکاران» با استفاده از شبیه‌سازی و تحلیل پوششی داده‌ها در بخش اورژانس، بهترین توزیع پرستاران را به منظور ارزیابی کارایی و کاهش زمان انتظار بیماران تعیین کردند. [۹] «لین و همکاران» با استفاده از نقاط کارایی نسبی حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها و برازش، مقدار مشاهده‌ها را در خدمات جراحی از طریق الگوریتم ژنتیک ترکیب بهینه منابع را تعیین کردند. [۱۰] «بیولیو و همکاران» با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی، برنامه زمان‌بندی پزشکان بخش اورژانس را تهیه کردند. [۱۱] «فلسا» با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی خطی، تخصیص منابع بخش خدمات درمانی را در کشورهای در حال توسعه بررسی کردند. [۱۲] «زینالی و همکاران»، با استفاده از رویکرد شبه مدل محور، تخصیص منابع اثرگذار بخش اورژانس یک بیمارستان دولتی را در ایران بررسی کردند. طبق نتایج بدست آمده توانستند تا ۴۸ درصد زمان انتظار بیماران را در وضعیت بهینه نسبت به وضع موجود کاهش دهند. [۴]

در جدول شماره یک، بررسی ادبیات بهینه سازی شبیه سازی در حوزه خدمات درمانی براساس پژوهش های گذشته بررسی شده است.

جدول ۱: طبقه بندی مقاله های حوزه مدیریت خدمات درمانی

| نام نویسنده      | سال  | نوع مسأله |             | روش حل  |                   |
|------------------|------|-----------|-------------|---------|-------------------|
|                  |      | زمان بندی | برنامه ریزی | شبه مدل | فرا ابتکاری       |
| بیسر و سپولودا   | ۲۰۰۱ | ✓         | ✓           |         |                   |
| احمد و الخمیس    | ۲۰۰۹ | ✓         | ✓           |         |                   |
| الرفعی و همکاران | ۲۰۱۴ | ✓         |             | ✓       | تحلیل پوششی داده  |
| لین و همکاران    | ۲۰۱۲ | ✓         |             | ✓       |                   |
| بیولیو و همکاران | ۲۰۰۰ |           | ✓           |         | برنامه ریزی ریاضی |
| زینالی و همکاران | ۲۰۱۵ | ✓         | ✓           |         |                   |

مراقبت های ویژه منتقل می شود. بیماران نوع دو ابتدا نزد بهیاران می روند تا وضعیت جسمانی آنها مورد ارزیابی قرار گیرد. سپس از بخش پذیرش عبور می کنند و وارد بخش مراقبت های ویژه می شوند. ۲۰ درصد بیماران این بخش از نوع دو هستند. بیماران نوع سه، چهار و پنج باید ابتدا به سمت پذیرش بروند تا در این قسمت اطلاعات شخصی بیماران جمع آوری و ثبت گردد. بعد از پذیرش بیماران نوع سه و چهار برای دریافت خدمات به بخش مراقبت های ویژه منتقل می شوند و بیماران با اولویت نوع پنج، بخش اورژانس را بعد از ویزیت توسط پزشکان عمومی ترک می کنند. در این بین، بیماران نوع سه (۳۵ درصد)، نوع چهار (۴۳ درصد) و نوع پنج (۸۰ درصد) هستند. بطور متوسط بیمارانی که به این اورژانس در طی ۲۴ ساعت مراجعه می کنند ۵۲۰۰۰ بیمار در سال است، که این مقدار در حدود ۱۴۵ بیمار در روز است. بخش اورژانس فعلی دارای یک بهیار، دو منشی اورژانس، سه پرستار، یک متخصص قلب و هفت تخت بستری است. در جدول دو پارامترهای مدیریتی تعیین شده، به تفکیک هر یک از منابع ذکر شده نشان داده شده است. در این بخش اورژانس ۴۰ درصد بیماران که وارد اورژانس می شوند، ناراحتی قلبی دارند و رسیدگی به این بیماران بسیار حیاتی است. [۴] بنابراین، این نوع بیماران به محض ورود به بخش لازم است خدمت دریافت نمایند. به علت اینکه برنامه ریزی منابع به

### روش ها

به منظور تشریح سیستم اورژانس، یک مدل شبیه سازی استفاده از نرم افزار و ویژوال پارادایم ساخته شده است. ورودی های کلیدی برای ساخت مدل مذکور شامل میزان تخصیص انواع بیماران برای هر بخش از فرآیند، میزان هزینه تخصیص یافته برای منابع و تعداد بیماران لازم برای انجام تکرار شبیه سازی می باشند. در مدل شبیه سازی بخش مذکور، فرآیند زمانی شروع می شود که یک بیمار از درب بیمارستان وارد می شود و زمانی پایان می یابد که یک بیمار از بخش اورژانس سلامت خارج می شود یا فوت می کند. سیستم تریاژ در هر بخش اورژانس بر اساس فوریت عمل می کند. طبق این سیستم بیماران در سطوح یک (بیشترین اولویت) تا پنج (کمترین اولویت) طبقه بندی می شوند. طبق اسناد بایگانی ثبت شده برای هر بیمار مراجعه کننده در فاصله زمانی فروردین ماه سال ۱۳۹۶ تا شهریور ماه همان سال سهم بیماران نوع یک به بالاترین فوریت را دارند و معمولاً با آمبولانس وارد بیمارستان می شوند از تعداد کل مراجعه کنندگان دو درصد است. این بیماران بدون فوت وقت به مرکز احیا فرستاده می شوند تا اقداماتی برای بررسی الگوهای مختلف قلبی به منظور تشخیص مشکلات بیمار انجام می گیرد که نتایج آن سریعاً مشخص می گردد. اگر عملیات احیا موفقیت آمیز باشد بیمار به بخش

سازی شده سیستم به زبان شبیه سازی فرآیند محور در نرم افزار ویتروال پارادایم نشان داده شده است. نرم افزار ویتروال پارادایم یک ابزار مدیریت کسب و کار و توسعه نرم افزار است که تمام امکانات مورد نیاز جهت طراحی معماری کسب و کار، مدیریت پروژه، مدیریت فرآیندهای کسب و کار، توسعه نرم افزار و همکاری تیمی را ارائه می دهد. [۱۳]

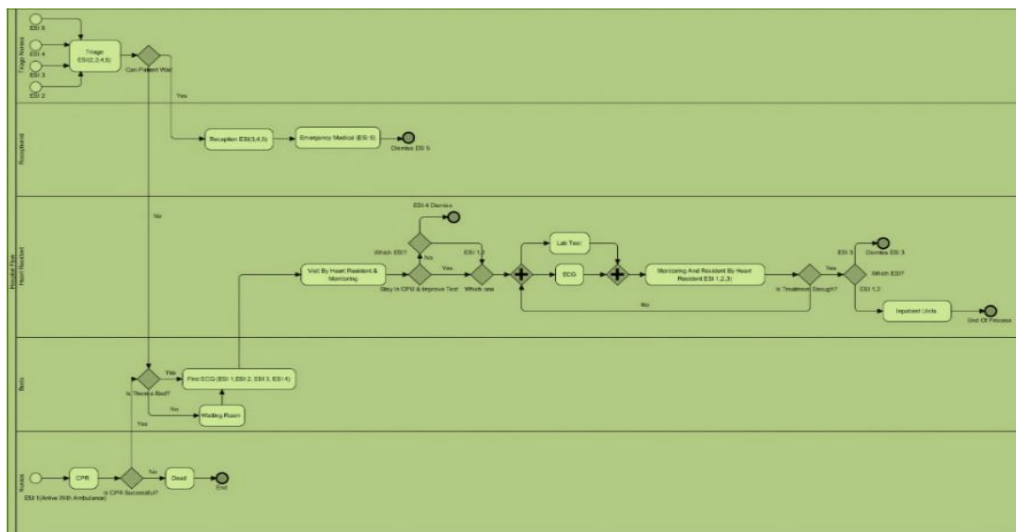
منظور کاهش متوسط زمان انتظار بیماران برای بخش مراقبت های ویژه مهم است، در این پژوهش این بخش در شبیه سازی فرآیند محور در نظر گرفته شده است. منابع کلیدی در این بخش شامل تعداد بیماران ( $X_1$ )، تعداد منشی اورژانس ( $X_2$ )، تعداد پرستار ( $X_3$ )، تعداد متخصص قلب ( $X_4$ ) و تعداد تخت بستری ( $X_5$ ) می باشد. در شکل دو جریان شبیه

جدول ۲: پارامترهای مدیریتی تعیین شده برای متغیرهای کلیدی

| متغیرهای تصمیم       | $L_i$ | $U_i$ | هزینه (ریال) |
|----------------------|-------|-------|--------------|
| $(X_1)$ بیمار        | ۱     | ۲     | ۲۷۰۰۰        |
| $(X_2)$ منشی اورژانس | ۱     | ۳     | ۲۲۵۰۰        |
| $(X_3)$ پرستار       | ۱     | ۶     | ۳۶۰۰۰        |
| $(X_4)$ متخصص قلب    | ۱     | ۳     | ۳۱۵۰۰        |
| $(X_5)$ تخت بستری    | ۵     | ۱۰    | ۹۰۰۰۰        |

\*  $L_i$ : کمترین مقدار قابل قبول برای منابع

\*  $U_i$ : بیشترین مقدار قابل قبول برای منابع



شکل ۲: جریان شبیه سازی شده ی بیمار در بخش اورژانس در Visual Paradigm

پژوهش با استفاده از رابطه یک تعیین شده است. [۱۴]

به منظور کسب نتایج دقیق لازم است مدل شبیه سازی به تعداد مناسب اجرا شود، تعداد اجرای شبیه سازی در این

$$N(m) = \left( \frac{S(m).t}{\bar{X}(m)} \right)^2 \quad (1)$$

یافته ها

در این پژوهش، داده‌های تولید شده برای ورودی به شبه مدل از طریق طرح آزمایش  $2^K$  جمع‌آوری شده است. براساس نتایج «بارتون» طرح عاملی، انطباق کاملی با روش سطح پاسخ جهت برآورد سطح مورد نظر دارد. از این رو، در این پژوهش از این طرح برای انجام آزمایش استفاده شده است. [۱۵] طبق این روش برای پنج متغیر کلیدی، ۳۲ آزمایش در دو سطح مینیمم و ماکزیمم، طراحی و اجرا شده است. در جدول سه آزمایش‌های طرح به همراه متغیر سطح پاسخ، قرار داده شده است. متغیر پاسخ، خروجی نرمال شده هر آزمایش در مدل شبیه سازی است. بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌های آماری اعتبار سنجی در نرم افزار مربوطه که در جدول چهار برای شبه مدل سطح پاسخ رگرسیون با اثرهای مختلف گردآوری شده است، شبه مدل سطح پاسخ با سه اثر مختلف به‌عنوان شبه مدل کاندید انتخاب می‌شود. یعنی تنها ترکیب‌های سه تایی از متغیرهای اصلی که عبارت اند از:  $X_1X_2X_3$ ،  $X_1X_2X_4$ ،  $X_1X_2X_5$ ،  $X_1X_3X_5$ ،  $X_1X_4X_5$ ،  $X_2X_3X_4$ ،  $X_2X_3X_5$  و  $X_2X_4X_5$  در شبه مدل استفاده و سایر ترکیب‌های چهار تایی و پنج تایی متغیرها کنار گذاشته می‌شوند. زیرا، مقدار P-Value شبه مدل با سه اثر متقابل کمتر از ۰/۰۵ است. شبه مدل منتخب در جدول چهار به صورت پررنگ نشان داده شده است. تحلیل آماری و مناسب سازی فاکتورهای آزمایش در جدول پنج نشان داده شده است. با توجه به این جدول، فاکتورهایی که مقدار P-Value کمتر از ۰/۰۵ ( $p < 0/05$ ) دارند در شبه مدل باقی می‌مانند. برای آزمایش مدت زمان انتظار بیماران، مقدار  $R^2$  ۹۴/۱۹ درصد بدست آمده است که میزان دقت تغییرات در نرخ مدت زمان انتظار بیماران را در مدل توضیح می‌دهد.  $R^2$  تعدیل شده، مقدار ۷۰ درصد تغییر در متغیرهای مستقل مدل (تعداد منابع کلیدی) را نشان می‌دهد. مجموع مربعات خطای پیش بینی برای مدل ۲/۹۴ بدست آمده است. همچنین، مقدار آماره جهت کنترل کفایت پیش بینی حاکی از عملکرد مناسب مدل مورد مطالعه در مرحله پیش بینی است.

که در این رابطه،  $N(m)$ : تعداد اجراهای شبیه سازی به منظور تعیین سطح مطلوب دقت مدل است،  $\bar{X}(m)$ : میانگین اجرای تصادفی اولیه از فضای آزمایش،  $S(m)$ : انحراف معیار  $m$  اجرای تصادفی اولیه از فضای آزمایش،  $\alpha$ : سطح اطمینان و  $t_{(m-1, 1-\frac{\alpha}{2})}$ : مقدار آماره توزیع  $t$  در سطح قابل قبول با درجه آزادی  $m - 1$  است.

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است و از نظر ماهیت توصیفی است. همچنین، پژوهش حاضر به شناسایی متغیرهای مؤثر بر توانمندسازی کارایی منابع در یک سیستم پیچیده و تبیین درجه تأثیرگذاری هر یک از آنها می‌پردازد، بنابراین؛ از نوع همبستگی محسوب می‌شود. جامعه آماری در این پژوهش عناصر کلیدی و تأثیر گذار در بخش اورژانس بیمارستان مدرس تهران است که شامل تعداد بهیاران، تعداد پرستاران، تعداد متخصصان قلب، تعداد منشی اورژانس و تعداد تخت‌های بستری در این بیمارستان می‌باشد. جهت تدوین مبانی، تعاریف و مفاهیم نظری از منابع کتابخانه‌ای استفاده شده است که مهمترین و مفیدترین منبع موتورهای جستجو در اینترنت، مقاله‌ها، بانک‌های اطلاعاتی و کتابخانه‌های عمومی دانشگاه‌های کشور بوده است. شاخص‌های مورد سنجش در این پژوهش، در معرض قضاوت چندتن از خبرگان و کارشناسان در سیستم مربوطه با موضوع پژوهش قرار گرفته است و نهایتاً به منظور ثبت زمان با استفاده از زمانسنج داده‌های زمانی مورد نیاز برای چهار دوره و هر دوره به طول یک هفته از ساعات چهار صبح تا ۱۲ شب جمع‌آوری شده است. برای اعتبار سنجی مدل و همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها از آمار استنباطی و آزمون F (تحلیل واریانس یک طرفه) استفاده گردیده است. برای انجام اقدامات ذکر شده از نرم افزار تخصصی طراحی آزمایش‌ها استفاده شده است. بدین صورت اثرهای فاکتورهای اصلی، دو طرفه و سه طرفه در سطح قابل قبول ۰/۹۵ تعیین و مقادیر P-Value و ضرایب فاکتورها در شبه مدل برآورد گردیده است. لازم به ذکر است، فاکتورهایی قابل قبول هستند که مقدار P-Value آنها کمتر از ۰/۰۵ باشد.

جدول ۳: جدول آزمایش طرح  $2^k$

| زمان انتظار<br>بیماران | متغیرها      |              |        |                 | شماره آزمایش |
|------------------------|--------------|--------------|--------|-----------------|--------------|
|                        | تخت<br>بستری | متخصص<br>قلب | پرستار | منشی<br>اورژانس |              |
| ۰/۱۰۲                  | ۵            | ۳            | ۱      | ۳               | ۱            |
| ۰/۱۷۹                  | ۵            | ۳            | ۶      | ۱               | ۲            |
| ۰/۰۷۱                  | ۵            | ۱            | ۶      | ۳               | ۳            |
| ۰/۰۹۵                  | ۱۰           | ۱            | ۶      | ۳               | ۴            |
| ۰/۱۳۱                  | ۱۰           | ۳            | ۱      | ۱               | ۵            |
| ۰/۱۷۹                  | ۵            | ۱            | ۶      | ۱               | ۶            |
| ۰/۰۲۳                  | ۱۰           | ۳            | ۱      | ۱               | ۷            |
| ۰/۱۸۷                  | ۵            | ۱            | ۱      | ۳               | ۸            |
| ۰/۰۰۴                  | ۱۰           | ۳            | ۶      | ۱               | ۹            |
| ۰/۱                    | ۱۰           | ۳            | ۶      | ۱               | ۱۰           |
| ۰/۲۶۴                  | ۵            | ۳            | ۱      | ۱               | ۱۱           |
| ۱                      | ۵            | ۱            | ۶      | ۳               | ۱۲           |
| ۰/۲۰۶                  | ۵            | ۳            | ۱      | ۳               | ۱۳           |
| ۰/۰۲۷                  | ۵            | ۱            | ۱      | ۱               | ۱۴           |
| ۰/۰۶۴                  | ۱۰           | ۱            | ۶      | ۱               | ۱۵           |
| ۰/۱۵۲                  | ۱۰           | ۱            | ۱      | ۱               | ۱۶           |
| ۰/۴۵۳                  | ۵            | ۱            | ۱      | ۱               | ۱۷           |
| ۰/۰۶۱                  | ۱۰           | ۳            | ۶      | ۳               | ۱۸           |
| ۰/۱۳۲                  | ۵            | ۳            | ۶      | ۳               | ۱۹           |
| ۰/۰۴۶                  | ۵            | ۱            | ۱      | ۳               | ۲۰           |
| ۰/۰۹۷                  | ۱۰           | ۳            | ۱      | ۳               | ۲۱           |
| ۰/۳۹۹                  | ۱۰           | ۱            | ۱      | ۱               | ۲۲           |
| ۰/۰۲۱                  | ۵            | ۳            | ۱      | ۱               | ۲۳           |
| ۰/۹۳۲                  | ۵            | ۳            | ۶      | ۳               | ۲۴           |
| ۰/۲۴۲                  | ۱۰           | ۱            | ۶      | ۳               | ۲۵           |
| ۰/۳۶۵                  | ۱۰           | ۳            | ۱      | ۳               | ۲۶           |
| ۰/۱۹۹                  | ۱۰           | ۱            | ۱      | ۳               | ۲۷           |
| ۰/۰۶                   | ۱۰           | ۳            | ۶      | ۳               | ۲۸           |
| ۰/۱                    | ۵            | ۳            | ۶      | ۱               | ۲۹           |
| ۰/۰۷۲                  | ۱۰           | ۱            | ۱      | ۳               | ۳۰           |
| ۰/۵۷۵                  | ۵            | ۱            | ۶      | ۱               | ۳۱           |
| ۰/۰۷۵                  | ۱۰           | ۱            | ۶      | ۱               | ۳۲           |

جدول ۴: انتخاب شبه مدل

| شبه مدل رگرسیون | P-value مقدار | وضعیت مدل     |
|-----------------|---------------|---------------|
| دو اثر متقابل   | ۰/۰۷۸۸        | معنی دار نیست |
| سه اثر متقابل   | ۰/۰۴۸۳        | معنی دار است  |
| چهار اثر متقابل | ۰/۲۹۸         | معنی دار نیست |
| پنج اثر متقابل  | ۰/۳۱۲         | معنی دار نیست |

جدول ۵: تخمین اثرها و ضرایب برای مدت زمان انتظار بیماران

| منبع                 | مجموع مربعات | تخمین ضرایب | خطای استاندارد | F-Value | P-value |
|----------------------|--------------|-------------|----------------|---------|---------|
| مدل                  | ۱/۶۷         | ۰/۲۱        | ۰/۰۲۳          | ۳/۸۹    | ۰/۰۴۸۳  |
| $X_1$ (بیمار)        | ۰/۲۱         | -۰/۰۸       | ۰/۰۲۳          | ۱۲/۰۵   | ۰/۰۱۳۳  |
| $X_2$ (منشی اورژانس) | ۰/۰۳۹        | ۰/۰۳۵       | ۰/۰۲۳          | ۲/۲۸    | ۰/۱۸۱۵  |
| $X_3$ (پرستار)       | ۰/۰۴۰        | ۰/۰۳۵       | ۰/۰۲۳          | ۲/۳۰    | ۰/۱۸۰۲  |
| $X_4$ (متخصص قلب)    | ۰/۰۳۵        | -۰/۰۳۳      | ۰/۰۲۳          | ۲/۰۴    | ۰/۲۰۳۴  |
| $X_5$ (تخت بستری)    | ۰/۱۷         | -۰/۰۷۳      | ۰/۰۲۳          | ۹/۹۱    | ۰/۰۱۹۹  |
| $X_1X_5$             | ۰/۱۶         | ۰/۰۷۱       | ۰/۰۲۳          | ۹/۳۹    | ۰/۰۲۲۱  |
| $X_3X_5$             | ۰/۲۱         | ۰/۰۸۱       | ۰/۰۲۳          | ۱۲/۲۷   | ۰/۰۱۲۸  |
| $X_1X_2X_5$          | ۰/۱۱         | ۰/۰۵۷       | ۰/۰۲۳          | ۶/۱۳    | ۰/۰۴۸۱  |
| $X_1X_3X_5$          | ۰/۱۶         | ۰/۰۷۱       | ۰/۰۲۳          | ۹/۲۹    | ۰/۰۲۲۶  |

\*:  $R^2 = 0/9419$ ,  $adjusted - R^2 = 0/70$ ,  $PRESS = 2/94$ ,  
Adeq - Precisor = 9/020

بنابراین، می توان تابع هدف غیرخطی را به کمک معادله رگرسیون با سه اثر متقابل طبق رابطه شماره دو مناسب سازی کرد.

(۲)

$$Y = 0/21 - 0/08X_1 + 0/035X_2 + 0/035X_3 - 0/033X_4 - 0/073X_5 + 0/071X_1X_5 - 0/081X_3X_5 + 0/057X_1X_2X_5 + 0/071X_1X_3X_5$$

مدل ۰/۰۴۸۳ در جدول پنج گزارش شده است. لذا، می توان نتیجه گرفت که این مدل در حد کافی معتبر است. ساختار کلی مسأله ریاضی برای بهینه سازی منابع بر اساس روابط سه تا شش است.

در بخش اورژانس بیمارستان می توان از شبه مدل ارائه شده در رابطه شماره دو، برای پیدا کردن تعداد بهینه منابع کلیدی به منظور کاهش زمان انتظار بیماران با اعمال محدودیت های مدیریتی استفاده کرد. با توجه به اینکه، مقدار آماره  $p$  برای

$$(۳) \min Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$$

Subject to

$$(۴) i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad \text{برای} \quad L_i \leq X_i \leq U_i$$

$$(۵) i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad \text{برای} \quad \sum_{i=1}^5 C_i X_i \leq B$$

$$(۶) i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad \text{برای} \quad X_i \text{ Integer}$$

است که نباید از مقدار بودجه در دسترس تجاوز کند و  $B$  مقدار بودجه در دسترس برای منابع است که از سوی مدیریت تعیین شده است و از جمع هزینه هر یک از منابع بدست می آید. استقرار ترکیب بهینه بدست آمده از حل مدل، قادر است زمان انتظار بیماران در بخش اورژانس بیمارستان را کمینه نماید. جدول شش مقایسه بین وضعیت موجود و پیشنهادی را نشان می دهد که در یک روز کاری برای ۳۸۱ بیمار (تکرار) شبیه سازی شده است.

رابطه سه بیان کننده یک مسأله بهینه سازی است که در آن  $Y$  ترکیب بهینه منابع اورژانس با متغیرهای  $(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$  است. این تابع بصورت جعبه سیاه عمل می کند که از طریق شبیه سازی و طراحی و تحلیل آزمایش، با دقت مطلوبی تخمین زده شده است.  $U_i$  و  $L_i$  کمترین و بیشترین سطوح قابل قبول ظرفیت منابع هستند.  $X_i$  متغیر تصمیم مسأله یا منابع تأثیرگذار در بخش اورژانس و  $G_i$  هزینه بکارگیری هر یک از منابع در جریان پذیرش بیماران

جدول ۶. مقایسه بین وضعیت جاری و پیشنهادی

| هزینه<br>(ریال) | مدت زمان انتظار<br>(دقیقه) | متغیر تصمیم  |              |        |                 |       | وضعیت    |
|-----------------|----------------------------|--------------|--------------|--------|-----------------|-------|----------|
|                 |                            | تخت<br>بستری | متخصص<br>قلب | پرستار | منشی<br>اورژانس | بهبار |          |
| ۴۱۴۰۰۰۰         | ۲۸۲                        | ۷            | ۱            | ۳      | ۲               | ۱     | جاری     |
| ۱۹۸۰۰۰۰         | ۱۴۲                        | ۱۰           | ۳            | ۱      | ۱               | ۲     | پیشنهادی |

تعداد بهیاران دو، منشی اورژانس یک، پرستار یک، متخصصان قلب سه و تعداد اتاق های بستری ۱۰ نفر تعیین می گردد. این تغییرات باعث می شود تا مقدار هزینه های موجود در سیستم از ۴۱۴۰۰۰۰ ریال، به ۱۹۸۰۰۰۰ ریال کاهش پیدا کند. بنابراین، اگر طبق مدل پیشنهادی در رابطه شماره دو، با وضع محدودیت های مدیریتی در روابط چهار و پنج، منابع در سطح بخش اورژانس تخصیص یابند، زمان انتظار بیماران از چهار ساعت و ۴۲ دقیقه (معادل ۲۸۲ دقیقه) به دو ساعت و ۲۲ دقیقه (معادل ۱۴۲ دقیقه) در یک روز کاری کاهش می یابد. این کاهش در میزان زمان انتظار در مقایسه با پژوهش «زینالی و همکاران»، [۴] که توانسته بودند در موردی مشابه میزان ۴۸ درصد کاهش ایجاد نمایند به حد کافی رضایت بخش است. علاوه بر این، این مدل می تواند ۵۱ درصد در میزان هزینه های موجود بهبود حاصل نماید. این رقم در مقایسه با پژوهش «زینالی و همکاران»، [۴] که به میزان ۴۹ درصد کاهش در هزینه ها ایجاد شده، قابل قبول است. همچنین، در مقایسه با مطالعه ای دیگر که توسط «دنگیز و همکاران»، [۱۶] ارائه شد به دلیل توجه کافی به تحلیل های آماری، شبه مدل رگرسیون

### بحث

در این پژوهش، تعیین مقدار بهینه منابع اثرگذار با استفاده از رویکرد بهینه سازی مدل های شبیه سازی و طراحی آزمایش و بهینه سازی ریاضی انجام شده است. در مرحله شبیه سازی، با استفاده از نرم افزار ویزوال پارادایم یک مدل شبیه سازی ساخته شده و به اجرا درآمده است. در مرحله طراحی آزمایش، به کمک طرح عاملی که انطباق کاملی با مدل رگرسیون دارد، ۳۲ آزمایش طراحی و اجرا شد. در مرحله بهینه سازی، مدل رگرسیون چند جمله ای از طریق شناسایی متغیرهای اثرگذار در سیستم با استفاده از طراحی آزمایش ها تقریب زده شده و با استفاده از نرم افزار لینگو حل گردیده است. نتایج بدست آمده از حل مدل پیشنهادی نشان می دهد که می توان زمان انتظار بیماران در طول فرآیند را، ۴۹/۶ درصد با جایگزینی ترکیب پیشنهادی منابع کاهش داد. اتخاذ چنین تصمیمی برای مدیران حیاتی محسوب می شود، زیرا زمان انتظار بیماران در بخش اورژانس به خصوص برای بیماران با اولویت بالا، باید تا حد ممکن کاهش یابد. در مدل پیشنهادی،



## References

1. Trzeciak S, Rivers E. Emergency department overcrowding in the United States: an emerging threat to patient safety and public health. *Emerg Med J.* 2003; 20: 402-3.
2. Hoot NR, Aronsky D. Systematic review of emergency department crowding: causes, effects, and solutions. *Ann Emerg Med.* 2008; 52: 126-136.
3. Zilm F, Crane J, Roche KT. New directions in emergency service operations and planning. *J Ambul Care Manage.* 2010; 33: 296-306.
4. Zeinali F, Mahootchi M, Sepehri MM. Resource Planning in the Emergency Department: A Simulation – Based Meta Modeling Approach. *Simulation Modeling Practice and Theory.* 2015; 53(2): 123-148.
5. Zeinali F, Mahootchi M. Application of Metamodeling for Resource Planning in Healthcare unit. 9th International Industrial Engineering, K.N.Toosi University of Technology. Tehran, Iran 2013. [In Persian]
6. Amaral TM, Costa APC. Improving decision-making and management of hospital resources: an application of the PROMETHEE II method in an emergency department, *Oper Res Health Care.* 2014; 3: 1-6.
7. Baesler FF, Sepolveda JA. Multi-objective simulation optimization for a cancer treatment center. *Proceedings of the winter Simulation conference.* 2001; 1405-1411.
8. Ahmed MA, Alkhamis TM. Simulation optimization for an emergency department

مطلوب‌تری ارائه گردیده است. به طوری که «دنگیز و همکاران»، با بهره‌گیری از شبه مدل رگرسیون با سه اثر متقابل در پژوهش خود فقط توانستند ۱۵ درصد بهبود در فرآیند تحت بررسی ایجاد نمایند، این در حالی است که در پژوهش حاضر بهبود بیشتری در هدف اصلی مطالعه در مقایسه با این شبه مدل بوجود آمده است. پیشنهاد برای مطالعه‌های آتی عبارت‌اند از استفاده از روش ارائه شده برای حل مسائل پیچیده دیگر در دنیای واقعی برای تعیین ترکیب بهینه منابع، به کارگیری سایر شبه مدل‌ها نظیر کرایگینگ، توابع شعاع مدار و شبکه عصبی و در نظر گرفتن یک مسأله با بیش یک از هدف برای این پژوهش می‌باشد. همچنین، توصیه می‌شود با فراهم آوردن شرایط مناسب، نتایج مطالعه‌های پیشنهادی ضمن در نظر گرفتن یک مسئله با بیش از یک هدف با یافته‌های پژوهش حاضر مقایسه شود.

## تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه با عنوان کاربرد بهینه‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی به منظور افزایش بهره‌وری منابع سازمانی، در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش مدیریت سیستم و بهره‌وری، در سال ۱۳۹۶، است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان اجرا شده است.

healthcare unit in Kuwait. *Eur J Oper Res.* 2009; 198: 936–942.

9. Al-Refaie A, Fouad RH, Li MH, Shurrah M. Applying simulation and DEA to improve performance of emergency department in a Jordanian hospital. *Simulation Modeling and Practice Theory.* 2014; 41: 59–72.

10. Lin RC, Mustafa Y, Pasupathy KS. Multi-objective simulation optimization using data envelopment analysis and genetic algorithm: specific application to determining optimal resource levels in surgical services. *Omega.* 2013; 41(5): 881-892.

11. Beaulieu H, Ferland JA, Gendron B, Michelon PA. Mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room. *Health Care Manag Sci.* 2000; 3 (3): 193–200.

12. Flessa S. Where efficiency saves lives: A linear programming for the optimal allocation of health care resources in developing countries. *Health Care Manag Sci.* 2000; 3 (3): 249–267.

13. Introducing of the Visual Paradigm Software [Internet]. 2018 [Updated 2018 Mar 28; Cited 2018 Jun 29]; Available from: [www.abpmp-ir.org](http://www.abpmp-ir.org)

14. Ahmed K. Modeling driver's acceleration and lane changing behavior [PhD Thesis]. Cambridge: Massachusetts Institute of technology; 1999.

15. Barton RR. Simulation Optimization Using Metamodels. *Proceedings of the Winter Simulation Conference;* 2009 Dec 13-16; Texas, USA. New York: IEEE; 2009. p. 230-238.

16. Dengiz B, Tansel F, Belgin O. A meta-Model based Simulation optimization using hybrid simulation-analytical modeling to increase the

productivity in automotive industry. *Math Comput Simul.* 2016; 120: 120-128.



# Optimizing Emergency Resources Allocation: Simulation Based on Response-Surface Method

Bahari A<sup>1</sup>/ Asadi F<sup>2</sup>

---

## Abstract

---

**Introduction:** The present study aimed to explore the effective resources in the emergency department and present an optimal combination of these resources using the Meta-Modeling optimization approach to reduce the waiting times for patients visiting emergency department.

**Methods:** The research model was based on the Response Surface method and designed experiments. The dependent variable, the average waiting time for patients visiting emergency department, was made through the implementation of the created experiments of factor design in the simulated model. Patient data were collected from archived files from 3<sup>rd</sup> of April 2017 to 9<sup>th</sup> of September 2017.

**Results:** The results indicated that Community health workers and beds were significant in the estimate function of average waiting time for patients. Although the effects of other major variables (emergency secretary, nurses and cardiologists) were not statistically significant, they were deliberately used in this model to determine the optimal combination of these variables created by solving the problem.

**Conclusion:** Optimization of Patients waiting time in the emergency department was performed using simulation, Design of Experiment and Regression Meta-model. The reduction of waiting time and the expenditure in the emergency department caused by the optimal waiting time was, 49/6% and 51%, respectively.

**Keywords:** Emergency, Simulation, Optimization, Simulation optimization model, Factor design

---

• Received: 19/March/2018 • Modified: 11/July/2018 • Accepted: 1/Sep/2018

---

1. Faculty of Industry and Mining, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran; Corresponding Author (arman\_Bahari@aut.ac.ir)

2. MSc Student of Industrial Engineering Productivity and System Management Branch of Zahedan, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.