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

آرمان بهاری[1]/فرزانه اسدی[2]

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 بهینه‌سازی 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 کاهشی معادل ٤٩/٦ درصد در زمان انتظار و کاهشی معادل ٥١ درصد در هزینه‌های جاری بخش اورژانس شد.

واژه‌های کلیدی: مدل شبیه سازی، بهینه سازی، شبه مدل، طراحی آزمایش

• وصول مقاله: ۹٦/۱۲/۲۸ اصلاح نهایی: ۹۷/۰٤/۲۰ پذیرش نهایی: ۹۷/۰٦/۱۰

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 می سازد 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 رسانان 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 زمان بندی 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 مدل سازی و یا روش‌های فراابتکاری برای برنامه‌ریزی و بهینه سازی در سیستم‌های درمانی استفاده شده‌اند. برای مثال، «بیسلر و سپولودا» یک مدل بهینه سازی شبیه سازی چند منظوره به منظور بهبود جریان بیمار در یک مرکز مراقبت از بیماران سرطانی ارائه کرده‌اند. آنها از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی آرمانی برای بهینه سازی 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 بهینه سازی مدل شبیه سازی استفاده کرده‌اند. مدل بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی 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 شبیه سازی 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 زمان بندی 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 پژوهش‌های گذشته بررسی شده است.

جدول ۱: طبقه‌بندی مقاله‌های حوزه مدیریت خدمات درمانی

نام نویسنده	سال	نوع مسأله			روش حل		
		زمانبندی	برنامه ریزی	شبه مدل	فراابتکاری	تحلیل پوششی داده	برنامه ریزی ریاضی
بیسلر و سپولودا	۲۰۰۱		✓		✓		
احمد و الخمیس	۲۰۰۹		✓		✓		
الرفعی و همکاران	۲۰۱۴		✓			✓	
لین و همکاران	۲۰۱۲		✓			✓	
بیولیو و همکاران	۲۰۰۰	✓					✓
زینالی و همکاران	۲۰۱۵		✓	✓			

روش‌ها

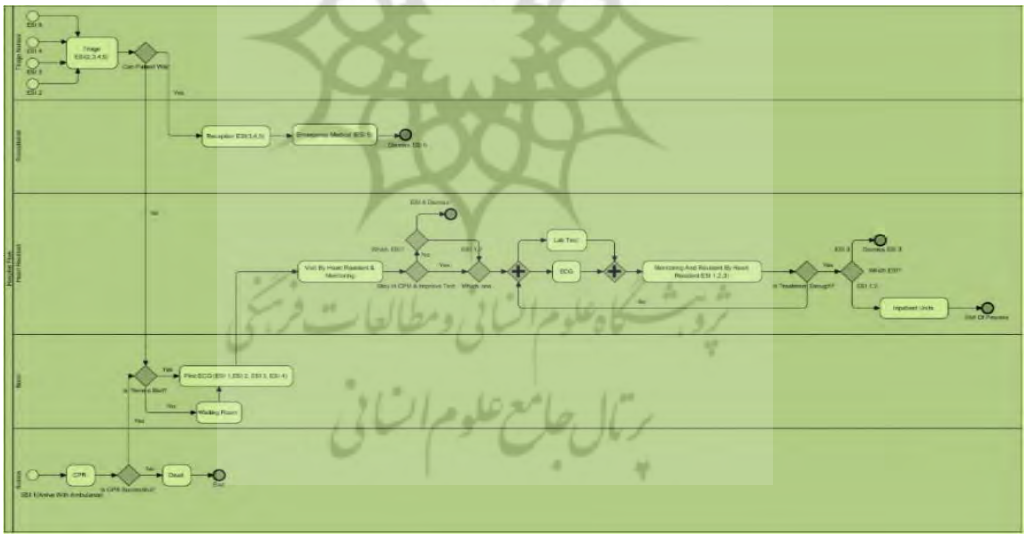
به منظور تشریح سیستم اورژانس، یک مدل شبیه سازی با استفاده از نرم افزار ویژوال پارادایم ساخته شده است. ورودی های کلیدی برای ساخت مدل مذکور شامل میزان تخصیص انواع بیماران برای هر بخش از فرآیند، میزان هزینه تخصیص یافته برای منابع و تعداد بیماران لازم برای انجام تکرار شبیه سازی می‌باشند. در مدل شبیه سازی بخش مذکور، فرآیند زمانی شروع می شود که یک بیمار از درب بیمار ستان وارد می‌شود 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) طبقه‌بندی 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 که بالاترین فوریت را دارند و معمولا با آمبولانس وارد بیمار ستان می‌شوند از تعداد کل مراجعه کنندگان دو درصد است. این بیماران بدون فوت وقت به مرکز احیا فرستاده می‌شوند تا اقداماتی برای بررسی الگوهای مختلف قلبی به منظور تشخیص مشکلات بیمار انجام می گیرد که نتایج آن سریعا مشخص می گردد. اگر عملیات احیا موفقیت آمیز باشد بیمار به بخش مراقبت های ویژه منتقل می‌شود. بیماران نوع دو ابتدا نزد بهیاران می‌روند تا وضعیت جسمانی آنها مورد ارزیابی قرار گیرد. سپس از بخش پذیرش عبور می کنند و وارد بخش مراقبت‌های 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 مراقبت‌های ویژه منتقل می‌شوند 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 می‌شوند، 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 برنامه‌ریزی منابع به

منظور کاهش متوسط زمان انتظار بیماران برای بخش مراقبت‌های 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 بهیاران (X_1)، تعداد منشی اورژانس (X_2)، تعداد پرستار (X_3)، تعداد متخصص قلب (X_4) و تعداد تخت بستری (X_5) می‌باشد. در شکل دو جریان شبیه سازی شده سیستم به زبان شبیه سازی فرآیند محور در نرم افزار ویژوال پارادایم نشان داده شده است. نرم افزار ویژوال 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 می‌دهد. [۱۳]

جدول ۲: پارامترهای مدیریتی تعیین شده برای متغیرهای کلیدی

متغیرهای تصمیم	L_i	U_i	هزینه (ریال)
بهیار(X_1)	۱	۲	۲۷۰۰۰
منشی اورژانس(X_2)	۱	۳	۲۲۵۰۰
پرستار(X_3)	۱	۶	۳۶۰۰۰
متخصص قلب(X_4)	۱	۳	۳۱۵۰۰
تخت بستری(X_5)	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

به منظور کسب نتایج دقیق لازم است مدل شبیه سازی به تعداد مناسب اجرا شود، تعداد اجرای شبیه سازی در این پژوهش با استفاده از رابطه یک تعیین شده است.[۱۴]

$$N(m) = \left(\frac{S(m).t_{(m-1,1-\frac{\alpha}{2})}}{\bar{X}(m)}\right)^2 \quad (۱)$$

که در این رابطه، $N(m)$: تعداد اجراهای شبیه سازی به منظور تعیین سطح مطلوب دقت مدل است، $\bar{X}(m)$: میانگین m اجرای تصادفی اولیه از فضای آزمایش، $S(m)$:انحراف معیار m اجرای تصادفی اولیه از فضای آزمایش، α: 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 توانمند سازی کارایی منابع در یک سیستم پیچیده و تبیین درجه تأثیرگذاری هریک از آنها می‌پردازد، بنابراین؛ از نوع همبستگی محسوب می شود. 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 کتابخانه های عمومی دانشگاه های کشور بوده است. شاخص‌های مورد سنجش در این پژوهش، در معرض قضاوت چندتن از خبرگان و کار شناسان در سیستم مربوطه با موضوع پژوهش قرار گرفته است و نهایتا به منظور ثبت زمان با استفاده از زمانسنج داده های زمانی مورد نیاز برای چهار دوره و هر دوره به طول یک هفته از ساعات چهار صبح تا ۱۲ شب جمع آوری 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.

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: $X_1X_2X_3$، $X_1X_2X_4$، $X_1X_2X_5$، $X_1X_3X_5$، $X_1X_4X_5$، $X_2X_3X_4$، $X_2X_3X_5$، $X_2X_4X_5$ و $X_3X_4X_5$ در شبه مدل استفاده و سایر ترکیب های چهار تایی و پنج تایی متغیر ها 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.

جدول ۳: جدول آزمایش طرح 2^k

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ٤: انتخاب شبه مدل

شبه مدل رگرسیون	P-valueمقدار	وضعیت مدل
دو اثر متقابل	۰/۰۷۸۸	معنی‌دار نیست
سه اثر متقابل	**۰/۰٤۸۳**	**معنی‌دار است**
چهار اثر متقابل	۰/۲۹۸	معنی‌دار نیست
پنج اثر متقابل	۰/۳۱۲	معنی‌دار نیست

جدول ٥: 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 (بهیار)	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

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

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

(۲)

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

در بخش اورژانس بیمارستان می‌توان از شبه مدل ارائه شده در رابطه شماره دو، برای پیداکردن 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 مدل ۰/۰۴۸۳ در جدول پنج گزارش شده است. لذا، می‌توان 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.

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

Subject to

(۴) $L_i \le X_i \le U_i$ برای $i = 1,2,3,4,5$

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

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

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 می‌کند که از طریق شبیه سازی و طراحی و تحلیل آزمایش، با دقت مطلوبی تخمین زده شده است. L_i و U_i کمترین و بیشترین سطوح قابل قبول ظرفیت منابع هستند. X_i، متغیر تصمیم مسأله یا منابع تأثیرگذار در بخش اورژانس و C_i، هزینه بکارگیری هر یک از منابع در جریان پذیرش بیماران 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 می‌آید. 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 می‌دهد که در یک روز کاری برای ۳۸۱ بیمار (تکرار) شبیه سازی شده است.

جدول ٦. مقایسه بین وضعیت جاری و پیشنهادی

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

بحث

در این پژوهش، تعیین مقدار بهینه منابع اثرگذار با استفاده از رویکرد بهینه سازی مدل‌های شبیه سازی و طراحی آزمایش و بهینه سازی ریاضی انجام شده است. در مرحله شبیه سازی، با استفاده از نرم افزار ویژوال 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 بهینه‌سازی، مدل رگرسیون چندجمله‌ای از طریق شناسایی متغیرهای اثرگذار در سیستم با استفاده از طراحی آزمایش‌ها تقریب زده شده و با استفاده از نرم افزار لینگو حل گردیده است. نتایج بدست آمده از حل مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که می‌توان زمان انتظار بیماران در طول فرآیند را، ۴۹/۶ درصد با جایگزینی ترکیب پیشنهادی منابع کاهش داد. اتخاذ چنین تصمیمی برای مدیران حیاتی محسوب می‌شود، زیرا زمان انتظار بیماران در بخش اورژانس به خصوص برای بیماران با اولویت بالا، باید تا حد ممکن کاهش یابد. در مدل پیشنهادی، تعداد بهیاران دو، منشی اورژانس یک، پرستار یک، متخصصان قلب سه و تعداد اتاق‌های بستری ۱۰ نفر تعیین می‌گردد. این تغییرات باعث می‌شود تا مقدار هزینه‌های موجود در سیستم از ۴۱۴۰۰۰۰ ریال، به ۱۹۸۰۰۰۰ ریال کاهش پیدا کند. بنابراین، اگر طبق مدل پیشنهادی در رابطه شماره دو، با وضع محدودیت‌های مدیریتی در روابط چهار و پنج، منابع در سطح بخش اورژانس تخصیص یابند، زمان انتظار بیماران از چهار ساعت و ۴۲ دقیقه (معادل ۲۸۲دقیقه) 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 در صد کاهش ایجاد نمایند به حد کافی رضایت بخش است. علاوه بر این، این مدل می‌تواند ۵۱ درصد در میزان هزینه‌های 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 مطالعه‌ای دیگر که توسط «دنگیز و همکاران»، [۱۶] ارائه شد به دلیل توجه کافی به تحلیل‌های آماری، شبه مدل رگرسیون

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 حا ضر بهبود بیشتری در هدف ا صلی 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 نظرگرفتن یک مسئله با بیش از یک هدف با یافته‌های پژوهش حاضر مقایسه شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه با عنوان کاربرد بهینه سازی مدل‌های شبیه سازی به منظور افزایش بهره‌وری منابع سازمانی، در مقطع کار شنا سی ار شد مهند سی صنایع گرایش مدیریت سیستم و بهره وری، در سال ۱۳۹۶، است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان اجرا شده است.

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

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

9. Al-Refaie A, Fouad RH, Li MH, Shurrab 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 programing 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

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[1]/ Asadi F[2]

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 3rd of April 2017 to 9th 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.