



کاهش زمان انتظار بیماران در اورژانس با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی شبیه‌سازی، مطالعه‌ی موردی

حمیدرضا فیلی^۱، مهدی علینقیان^۲، مختار طبری^۳، امیر رحیمی نژاد^۴، مصطفی اکبری^۵، مهدی آبنیکی^۶

استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه الزهرا

HrFeili@gmail.com

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

Alinaghian@iust.ac.ir

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

Mokhtar.tab@gmail.com

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

Amirrahiminejad@yahoo.com

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

Mostafaakbari.iust@gmail.com

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

Mahdi.abniki@yahoo.com

چکیده

در این مقاله یکی از اورژانس‌های بیمارستان‌های تهران مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی به بهینه‌سازی پارامترهای کلیدی اورژانس با توجه به کاهش زمان انتظار و کاهش هزینه (بودجه) پرداخته خواهد شد. ابتدا پارامترهای کلیدی تاثیرگذار بر توابع هدف شناسایی میشوند، سپس تاثیر تغییر مقادیر هر یک از آنها بر توابع هدف مسئله بررسی میگردد. در انتها نمودار پاراتوی زمانانتظار- بودجه در این مطالعه‌ی موردی برای اتخاذ تصمیم درست توسط مدیریت بیمارستان ارائه میشود. نتایج بررسیها نشان داد که با تغییر برخی از پارامترهای کلیدی، توابع هدف در نظر گرفته شده نسبت به وضعیت فعلی بطور چشمگیری قابل بهبود است.

واژه‌های کلیدی: شبیه سازی، بهینه سازی احتمالی، اورژانس، زمان انتظار

reduction of the patients' waiting time at the emergency department using simulation optimization technique, case study

۱- استادیار، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه الزهرا

۲- دانشجوی دکترای مهندسی صنایع

۳،۴،۵،۶- دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع



۱- مقدمه

در سازمانهای بهداشتی و درمانی مانند بیمارستانها چالشهای زیادی همچون تقاضا برای خدمت، هزینههای بالا، بودجه و منابع محدود پیشروی مدیران میباشد. از این رو مدیران این سازمانها همواره به دنبال ابزاری برای ارزشیابی و تحلیل اثرات ناشی از تغییرات احتمالی در داخل سازمان خود میباشند.

در این مقاله، واحد اورژانس یک بیمارستان خصوصی مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که مهمترین بخش یک بیمارستان، اورژانس آن است و در این بخش زمان انتظار بیمارانش بسیار حساس است، تلاش شده است مدلی برای پیکربندی مناسب خدمتدهندگان (پزشکان، پرستاران و...) با هدف حداقل کردن زمان انتظار در بودجههای مختلف با استفاده از تکنیکهای شبیهسازی ارائه شود.

در دهه‌های گذشته تلاشها در زمینه توسعهی مدلهای به شبیهسازی برای حل چالشهای پیشروی مدیران بخش بهداشت و درمان به نتایج مفیدی منجر شده است. گوته^۱ (۱۹۹۹)، فریرا^۲ و الیویرا^۳ (۱۹۹۹) در مقالات خود تغییرات در سازمانهای بهداشتی و درمانی را بررسی و تأثیرات آن در سازمان را با استفاده از مدلهای شبیهسازی تجزیه و تحلیل کردند [۳، ۴]. بولوی^۴ و همکاران زمانبندی پزشکان در اتاق اورژانس را با استفاده از روش برنامه‌ریزی رولهای صورت دادند [۵]. تخصص به منبع بیمارستانی در کشورهای توسعه یافته با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی را فلسا^۵ (۲۰۰۰) عملی نموده [۶] و محاسبه پیکربندی بهینه‌ی خدمتدهندگان در مرکز تریجیات با استفاده از شبیهسازی سیستم، برآورد تابع هدف و به شبیهسازی توسط آنجلس^۶ ارائه گردیده است [۷]. همچنین در رابطه با افزایش ظرفیت پذیرش بیمارانش اورژانس با استفاده از تکنیکهای به شبیهسازی در سال ۲۰۰۷ توسط الخمیس و احمد محمد اقداماتی صورت گرفته است [۸]. البته در کشورمان نیز پژوهشهایی در این زمینه صورت گرفته است. کاهش زمان انتظار بیمارانش سرپایی با استفاده از شبیهسازی [۱] و تعیین تعداد بهینهی تخت بیمارستانی با تلفیق روشهای شبیهسازی و نسبت [۲] نمونههایی از این مطالعات میباشند.

در این مقاله سعی گردیده است با کمک گرفتن از ابزار شبیهسازی و نرمافزار Arena به بهینهسازی متغیرهای تاثیرگذار اورژانس یکی از بیمارستانهای تهران پرداخته شود. در ادامه مقاله و در بخش دوم، سیستم مورد بررسی توضیح داده میشود، در بخش سوم مقاله مدل شبیهسازی ارائه میگردد و نحوهی بهینهسازی تشریح میشود، در بخش چهارم نتایج محاسباتی این مطالعه مطرح میشوند و در پایان نتایج حاصل از پژوهش ارائه میگرددند.

۲- تعریف مساله:

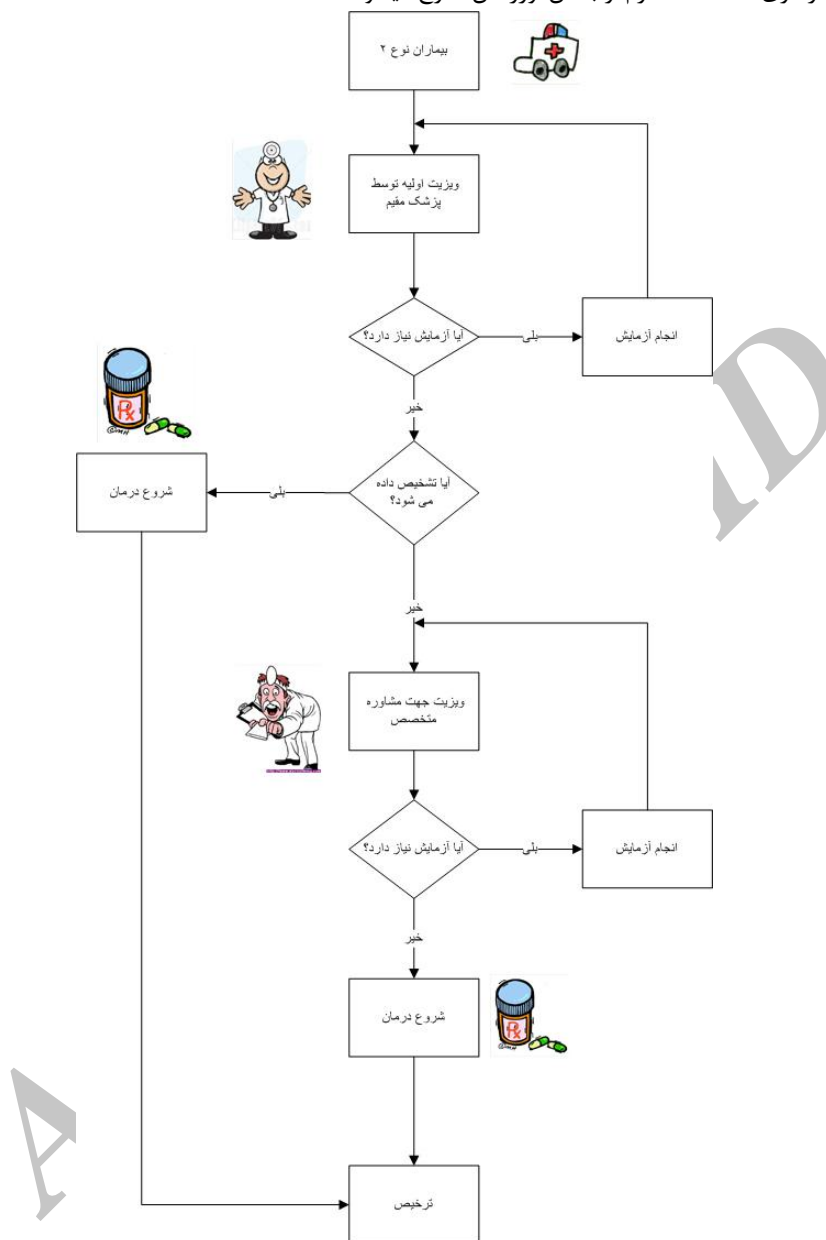
واحد اورژانس بیمارستان به صورت ۲۴ ساعته باز بوده و خدمترسانی میکند. بهطور کلی سه شیفت کاری برای پرسنل این بخش تعریف شده است. شیفتهای عبارتند از شیفت صبح، عصر و شب. در این مقاله، تمرکز اصلی بر شیفت شب بوده که محدودی زمانی آن از ساعت ۲۰ الی ۸ میباشند. در کنار ظرفیت و دستگاههای موجود این بخش، بخشهای دیگر بیمارستان نیز جهت ارائه خدمات، به بخش اورژانس کمک‌رسانی میکنند و ممکن است تعدادی از بیماران جهت انجام معاینات و آزمایشهای تخصصی به این بخشها نظیر ICU, CCU و... فرستاده شوند.

شروع فرایند با ورود بیمار به بخش اورژانس آغاز میشود و زمانی خاتمه می‌گیرد که بیمار مداوا شده و بهطور کامل از بیمارستان خارج شود و جهت انجام معاینات بیشتر به سایر بخشها انتقال یابد. کلیدی بیمارانی که وارد بخش اورژانس بیمارستان میشوند به سه دسته تقسیم میشوند؛ نوع ۱ بیماران بدحال هستند که نیاز به احیاء داشته و مستقیماً به اتاق CPR انتقال می‌یابند. نوع ۲ بیماران تحت نظر میباشند که هنگام ورود به اورژانس روی تختها بستری شده و تحت‌نظر و درمان قرار می‌گیرند که عموماً این دسته از بیماران توسط

¹ Côte
² Ferreira
³ Oliveira
⁴ Beaulieu
⁵ Flessa
⁶ Angelis



آمبولانس به اورژانس انتقال می نمایند. نوع ۳ بچه‌ها سرپایی نامیده میشوند که پس از گرفتن پذیرش به اتاق OR^۱ (اتاق عمل سرپایی) جهت مداوا رفته و پس از دریافت خدمات لازم از بخش اورژانس خارج میشوند.



شکل ۱: نمودار مسیر گردش بیمار در اورژانس

مطالعه‌ی صورت گرفته بچه‌ها نوع دوم را مورد بررسی قرار داده و سعی بر کاهش زمان انتظار این دسته از بچه‌ها دارد. بچه‌ها این دسته پس از ورود به اورژانس بلافاصله به تخت‌های تخصصی منتقل می‌نمایند، سپس پزشک مقیم اورژانس جهت ویزیت اولیه نزد بچه‌ها می‌رود. در صورت نیاز به آزمایش، آزمایش‌های لازم از بچه‌ها گرفته می‌شود. نتایج آزمایش توسط پزشک مقیم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی که پزشک مقیم بچه‌ها را مشکل تشخیص دهد، دستور درمان را صادر می‌کند و فرایند درمان توسط پرستار ادامه می‌گیرد؛ اما در صورتی که پزشک مقیم قادر به تشخیص نوع بچه‌ها نباشد، ادامه‌ی فرایند را به متخصص مقیم ارجاع می‌دهد. پس

¹ Operation Room



انجام مشاوره توسط متخصص مقیم، در صورت نگرانی آزمایش‌های تخصصی روی ب چهار انجام میشود. پس از آن متخصص مقیم دستور درمان را صادر نموده و ادامه‌ی فرایند درمان به پرستاران واگذار میگردد. [شکل ۱]

مسئله بهینه‌سازی که در این مقاله در نظر گرفته شده، تابعی دو هدفه بر اساس مینیمم کردن زمان انتظار بیماران نوع ۲ و مینیمم کردن هزینه‌ی پرسنل بودجه‌ی تخصیص یافته به بیماران مورد نظر میباشد. متغیرهای بخش اورژانس به صورت زیر تعریف میگردد:

(۱) پرستار (X_1)

(۲) پزشک مقیم (X_2)

(۳) متخصص مقیم (X_3)

براساس محدودیتهای هزینه و طراحی اورژانس، مدیتهای بیمارستان حد بالای را برای هر یک از انواع خدمتدهندگان در نظر میگیرد، بهطوری‌که تعداد پرستاران نباید از ۷ نفر، پزشکان مقیم از ۳ نفر و متخصصان مقیم از ۵ نفر تجاوز کند. مدیتهای بیمارستان به دنبال آنست که برای سطوح مختلف بودجه بهترین بیکرهبندی از خدمتدهندگان را جهت کاهش زمان انتظار بیماران به دست آورد. نمونههای از اطلاعات جمعآوری شده در شکل ۲ ارائه شده است:

نوع بیمار	نوع خدمت	تعداد	نوع پرسنل	ساعات	وضعیت	نام پرسنل	نوع بودجه
بیماران اورژانس	درمان	۱۰	پرستار	۱۰	موجود
بیماران اورژانس	درمان	۱۰	پزشک مقیم	۱۰	موجود
بیماران اورژانس	درمان	۱۰	متخصص مقیم	۱۰	موجود

شکل ۲: نمونههای از اطلاعات جمعآوری شده

۳- مساله بهینه‌سازی شبیه‌سازی

۳-۱- الگوریتم:

در این قسمت گامهای اجرائی الگوریتم تشریح میگردد:

- ابتدا یک بازه برای بودجه در نظر بگیرید، این بازه توسط مدیریت تعیین میگردد.
- از کران پایین بودجه شروع کنید گامهای زیر را انجام دهید.
- با توجه به کران بالا و پایین محدودیتها در هر یک از متغیرها و همچنین مقدار بودجه‌ی در دسترس، تعداد سناریوهای ممکن را مشخص کنید. به تعداد $S \leq k$ که S تعداد سناریوهای موجه است، گامهای زیر را تکرار کنید.
- برای هر یک از متغیرها یک عدد تصادفی بین کران پایین و بالا تولید نمایید و در صورت موجه نبودن جواب، جواب فعلی را حذف و جواب دیگری تولید کنید. در صورت موجه بودن جواب ها مدل شبیه سازی را به تعداد ۱۰۰ بار برای متغیرها اجرا کنید. مقدار متوسط زمان انتظار برای ۱۰۰ بار اجرا را به عنوان مقدار تابع هدف در نظر گرفته می شود.
- بهترین جواب یافت شده به ازای بودجه در نظر گرفته شده را گزارش دهید.
- مقدار E را به بودجه اضافه کنید. در صورتی که بودجه‌ی به دست آمده کمتر یا مساوی با کران بالای بودجه باشد گامهای ۳ تا ۶ را تکرار نمایید در غیر این صورت پایان الگوریتم را اعلام نمایید.



ابتدا داده‌های مورد نیاز برای کل فرآیند درمان بهاران نوع دوم در واحد اورژانس با استفاده از آمارگیری و مصاحبه با افراد مختلف به دست آمد. سپس با استفاده از نرم افزار MiniTab توزیع هر یک از فرآیندهای مورد نظر شناسایی شد. با استفاده از این داده‌ها فرآیند کلی واحد اورژانس با استفاده از سیستم شبیه‌سازی گسسته پیشامد، مدل‌سازی شد و توزیع هر یک از این فرآیندها به دست آمد که به شرح زیر است:

رخداد ورود از توزیع پواسون با نرخ $\lambda(t)$ در هر سه ساعت پیروی میکند.

توزیع زمانهای خدمتدهی در فرآیندهای مختلف توسط پزشکان و پرستاران در جدول شماره ۱ یک نشان داده شده است:

جدول ۱: توزیع زمان خدمت دهی

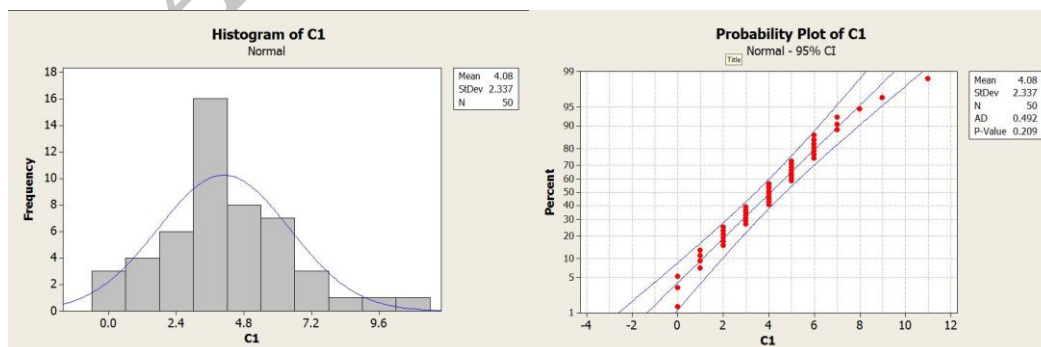
فرایند	نوع توزیع (دقیقه)
وینیت اوله‌هی پزشک مقیم	یکنواخت (۱۵ - ۱۰)
وینیت اوله‌هی متخصص مقیم	یکنواخت (۲۵ - ۱۷)
اجرای آزمایش	مثلی با کمتهای (۴۰ - ۵۰ - ۶۰)
اجرای آزمایش تخصصی	مثلی با کمتهای (۴۵ - ۵۵ - ۶۵)
وینیت مجدد پزشک مقیم	یکنواخت (۱۱ - ۶)
وینیت مجدد متخصص مقیم	یکنواخت (۱۹ - ۱۲)
فرآیند درمان	یکنواخت (۱۳۰ - ۹۰)
وینیت اوله‌هی پزشک مقیم	یکنواخت (۱۵ - ۱۰)

داده‌های مربوط به تخمین نرخ ورود بهاران که از تابع پواسون پیروی میکند، در جدول شماره ۲ ارائه میشود:

جدول ۲: توزیع ورود بهاران (پواسون با نرخ ورود $\lambda(t)$)

نرخ ورود	زمان
۴	۲۰ - ۲۳
۵	۲۳ - ۲
۴	۲ - ۵
۳	۵ - ۸

پس از اتمام تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار مربوطه، بهترین تابع توزیع آماری تشخیص و پارامترهای آن برآورده گردید. در شکل ۳ نمونه‌ای از نتایج برازندگی آورده شده است.



شکل ۳: نتایج برازندگی



۳-۲- مدل سازی ریاضی:

مسئله‌ی بهینه‌سازی که در این مقاله در نظر گرفته شده، تابعی دو هدفه بر اساس مینیمم کردن زمان انتظار بیمارانی نوع ۲ و مینیمم کردن هزینه پرسنل به بودجه‌ی تخصیص یافته به آنها می‌باشد. در این تابع دو هدفه، تابع هدف اول تصادفی است؛ منظور از زمان انتظار در این تابع هدف، زمان مابین ورود بیمار به اورژانس تا شروع درمان می‌باشد و در واقع هیچ روش جبری برای تحلیل این تابع وجود ندارد؛ اما شبیه‌سازی امکان بررسی و تحلیل این تابع هدف را فراهم می‌نماید. تابع هدف دوم در نظر گرفته شده در این مطالعه قطعی می‌باشد و سعی در کاهش هزینه‌های خدمت‌دهنده‌ها می‌باشد. به منظور بررسی دو تابع هدف، از تکنیک C-constraint استفاده شده است.

در این روش یکی از توابع هدف به عنوان محدودیت مسئله در نظر گرفته شده، سپس برای حد بالای این محدودیت مقادیر مختلفی مد نظر قرار می‌گیرد.

تابع هدف به دست آمده به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Min } f(x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

$$\text{s.t. } f_1(x_1, x_2, x_3) \leq B, \quad (2)$$

$$L_i \leq x_i \leq U_i, \quad (3)$$

$$x_i \text{ integer, } i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

نقاط مطلوب پیکره‌بندی بهینه‌ی خدمت‌دهندگان به ازای سطوح مختلف بودجه، با استفاده از اجرا کردن مدل در نرم‌افزار شبیه‌سازی Arena به دست آمد. سپس با استفاده از خروجی‌های به دست آمده از نرم‌افزار و سطوح مختلف بودجه، نمودار زمانانتظار-بودجه ترسیم گردید، به‌طوریکه هر نقطه از این نمودار نشان‌دهنده‌ی بهتر یا پی‌کره‌بندی خدمت‌دهندگان در سطح بودجه‌ی موردنظر می‌باشد.

۴- خروجی مساله و تجزیه و تحلیل آن:

به دلیل محرمانه بودن اطلاعات مربوط به حقوق خدمت‌دهندگان، از واحد پول فرضی برای حقوق آنها استفاده شد. بر اساس واحد پول فرضی تعریف شده حقوق خدمت‌دهندگان به شرح زیر می‌باشد:

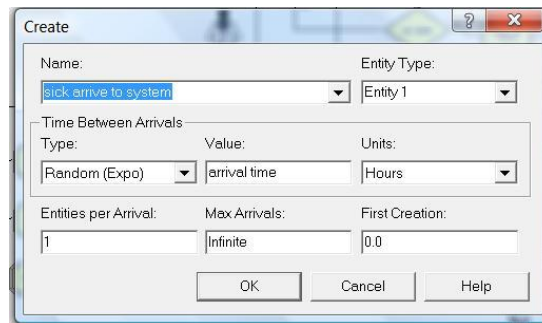
جدول شماره‌ی ۳- حقوق دریافتی خدمت‌دهندگان

نوع خدمت دهنده	حقوق دریافتی (واحد پول)
پرستار	۰.۷
پزشک مؤتم	۱.۱
متخصص مؤتم	۵.۱

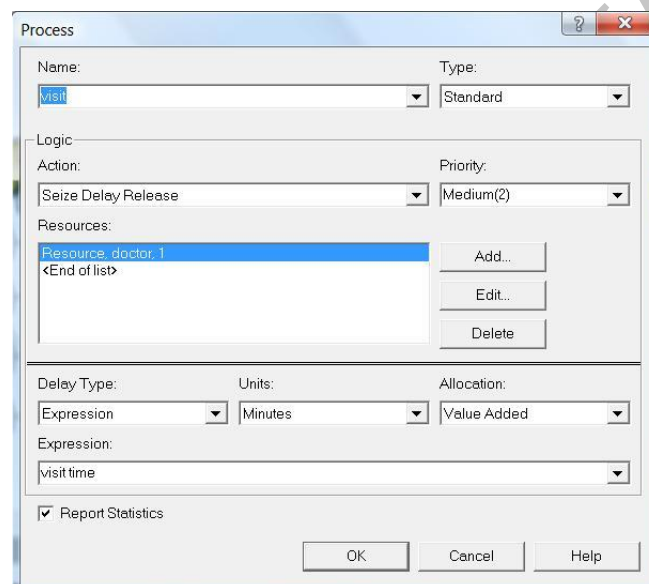
در وضعیت فعلی تعداد خدمت‌دهندگان به این شرح می‌باشد: پرستار ۴ نفر، پزشک مؤتم ۱ نفر و متخصص مؤتم ۳ نفر. طبق وضعیت موجود، هزینه‌ی کل برابر ۱۹.۲ واحد پول بوده و بازه‌ی ارائه شده توسط مدیریت بیمارستان برای بودجه، در فاصله‌ی ۲۵-۱۵ واحد پولی می‌باشد. مقدار پارامتر $\epsilon = 2$ در نظر گرفته شد که با توجه به این مقدار، بودجه‌های قابل بررسی عبارتند از: ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۳ و ۲۵. با توجه به کران‌های بالا و پایین بین خدمت‌دهندگان تعداد کل سناریوهای ممکن برابر $3 \times 7 \times 5 = 105$ بدست آمد. مقدار پارامتر k با توجه به تعداد کل سناریوها، ۲۰ عدد در نظر گرفته شده و به همین میزان جواب تصادفی قابل قبول برای مسئله تولید گردید. مدل به دست آمده در نرم‌افزار Arena به ازای هر یک از جواب‌های تصادفی موجه، ۱۰۰ بار در شیفتهای ۱۲ ساعته اجرا گردید و



در Arena میانگین زمان انتظار بیماران به عنوان مقدار تابع هدف جواب تصادفی در نظر گرفته شد. دو نمونه از ماژولهای نرمافزار شکلهای ۴ و ۵ آورده شده است.

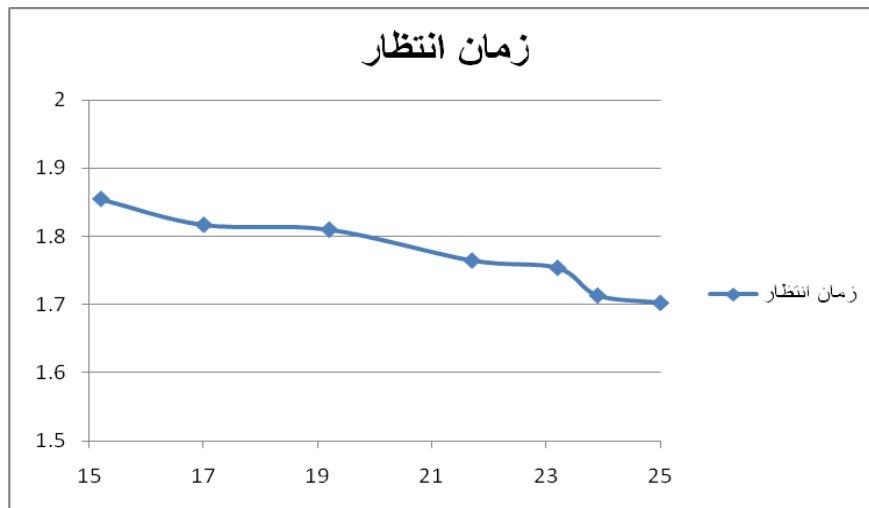


شکل ۴: نمونههای از ماژول مدل اجرا شده در نرمافزار Arena



شکل ۵: نمونههای از ماژول مدل اجرا شده در نرمافزار Arena

نهایتاً با توجه به جوابهای به دست آمده از نرمافزار، نمودار زمان انتظار - بودجه به شکل زیر ترسیم گردید: (شکل ۶)



شکل ۶: نمودار زمانانتظار - بودجه

۶- نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی:

در این مقاله یکی از اورژانسهای بیمارستانهای تهران مورد بررسی قرار گرفت. تابع هدف مسئله کاهش زمان انتظار بیمار از لحظه ورود تا لحظه شروع دوره‌ی درمان بوده و تابع دوم نیز مقدار بودجه‌ی در دسترس برای تخصیص منابع در نظر گرفته شد. در ادامه سعی گردید با استفاده از ابزار شبیه‌سازی به بررسی سناریوهای ممکن براساس متغیر مقدار پارامترهای تأثیرگذار پرداخته شده و مقدار مناسب هر یک از پارامترها مشخص گردد. در انتها نمودار پارتوی تابع هدف برای تصمیم‌گیری به مدیریت بیمارستان ارجاع گردید. برای تحقیقات آتی می‌توان روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی را با روش‌های فراابتکاری ترکیب نمود تا فضای جواب به صورت مناسبتری جستجو گردیده و جوابهای بهتری حاصل شود. ضمناً مدل مساله مورد نظر را میتوان توسعه داد بصورتیکه سایر انواع مراجعه‌کنندگان (بیماران)، تنوع شیفتهای کاری و سایر بخشهای بیمارستان را در تعامل با بخش اورژانس مدنظر قرار داد.

مراجع

- [1] آیین پرست ا.، طبیعی، کامران شهنقی، میربهدرقلی آریانزاد، "زمان انتظار بیماران سرپایی با بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌سازی"، فصلنامه پایش صفحات ۳۳۳-۳۲۷، سال ۱۳۸۵.
- [2] حسینی مطلق، مهدی، خاکزار بفرونی، مرتضی، شاه حسنی، مهرنوش، قنبری، نگار، "تعیین تعداد بهینه‌ی تخت بیمارستانی با تلفیق روشهای شبیه‌سازی و نسبت"، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، ۱۳۸۷.
- [3] Côte, M.J., "Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic". Socioeconomic Planning Sciences 33 (3), 231-245. , 1999.
- [4] Ferreira de Oliveira, M.J., "3D visual simulation platform for the project of a new hospital facility". In: De Angelis,
- [5] V., Ricciardi, N., Storchi, G.(Eds.), "Monitoring, Evaluating, Planning Health Services". Proceedings to the 24th meeting of the ORAHS EURO-WG. World Scientific, Singapore, pp. 82-95. 1999.
- [6] Beaulieu, H., Ferland, J.A., Gendron, B., Michelon, P., A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room. Health Care Management Science 3 (3), 193-200,2000.
- [7] De Angelis, V., Felici, G., Impelluso, P., "Integrating simulation and optimization in health care center management". European Journal of Operational Research 150, 101-114. 2003.
- [8] Mohamed A. Ahmed, Talal M. Alkhamis, "Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait", *Proceeding of European Journal of Operational Research*, No. 198, pp. 936-942,2007.