

ارائه یک مدل ریاضی برای زمان بندی اتاق عمل با در نظر گرفتن محدودیت

ظرفیت واحد مراقبت‌های ویژه و مسیرهای درمان چندگانه

میثم جعفری اسکندری^{۱*}، روزبه عزیزمحمدی^۱، نیلوفر صمدی^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام‌نور، تهران

۲. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه پیام‌نور، واحد تهران شمال

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۰۲، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۸/۰۶/۳۰، تاریخ تصویب: ۹۸/۰۷/۱۸)

چکیده

زمان بندی و توالی عملیات، نوعی تصمیم‌گیری است که در سیستم‌های تولیدی و خدماتی کاربردهای فراوانی دارد. یکی از کاربردهای مهم زمان بندی در حوزه بهداشت و درمان است. زمان بندی مناسب بخش‌های درمانی در بیمارستان‌ها می‌تواند سبب استفاده بهینه از منابع، کاهش هزینه‌های اضافه‌کاری کارکنان (جراحان، پرستاران، متخصصان بیهوشی و...) شود. در کنار این دستاوردها، زمان بندی مناسب با کاهش زمان انتظار بیماران برای دریافت خدمت و افزایش سرعت خدمت‌رسانی به بیماران اورژانسی، سطح خدمت‌دهی بیشتری را برای بیماران به دنبال خواهد داشت. در پژوهش پیش‌رو مسئله برنامه‌ریزی و زمان بندی اتاق عمل در بخش جراحی بررسی شده است که با توجه به محدودیت ظرفیت بخش مراقبت‌های ویژه انجام می‌شود. نکته بسیار مهم پژوهش حاضر این است که مسیرهای متفاوتی برای درمان بیماران در نظر گرفته شده است. روند پژوهش بدین صورت است که ابتدا به کمک یک مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای، مسیر درمان بیماران برآورد شده است. سپس با استفاده از یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط، زمان بندی و برنامه‌ریزی بیماران صورت گرفته است. هدف از این زمان بندی کمینه‌سازی زمان درمان کل بیماران و کاهش مدت اقامت و زمان انتظار بیماران است. به منظور سنجش کارایی روش‌های ارائه شده، از داده‌ها و فرایندهای مرکز قلب تهران استفاده شد. مقایسه نتایج مدل رگرسیونی نشان داد که حدود ۸۴ درصد مواقع، مسیر درمان بیماران به درستی پیش‌بینی می‌شود که این درصد نشان‌دهنده کارایی بالای مدل رگرسیونی ارائه شده برای پیش‌بینی مسیر درمان بیماران دارد. همچنین مقایسه زمان‌های انتظار و زمان درمان کل بیماران در شرایط واقعی و مدل ارائه شده حاکی از آن بود که مدل پیشنهادی در این پژوهش، به خوبی عمل کرده است و کارایی بسیار خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی: زمان انتظار، زمان بندی عمل جراحی، مدت اقامت، مسیرهای درمان چندگانه، واحد مراقبت‌های ویژه.

مقدمه

بهبود روند رشد اقتصادی شود، لازم است برنامه‌ریزی برای افزایش بهره‌وری نظام‌های بهداشت و درمان در دولت‌های مختلف مدنظر قرار بگیرد. این موضوع سبب افزایش تلاش‌های پژوهشگران علوم مدیریت، بهینه‌یابی و تصمیم‌گیری در این حوزه است. مسائل بهینه‌سازی در حوزه بهداشت و درمان، در سه دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به دنبال آن پژوهش عملیاتی یکی از ابزارهای مؤثر تصمیم‌گیری مدنظر بسیاری از پژوهشگران حوزه سلامت است. یکی از کاربردهای اصلی پژوهش عملیاتی در مدیریت نظام‌های سلامت، بهبود مکانیسم تخصیص منابع است. برنامه‌ریزی بلندمدت توسعه نظام سلامت، بودجه بندی سالانه و انواع روش‌های زمان بندی در بیمارستان‌ها، از جمله کاربردهای پژوهش عملیاتی در

هزینه‌های بهداشت و درمان بخش عمده‌ای از تولید ناخالص داخلی را در کشورهای توسعه یافته تشکیل می‌دهند. با توجه به آمار سازمان اقتصادی همکاری و توسعه که از کشورهای توسعه یافته برآمده است، میزان هزینه صرف شده برای بهداشت و درمان در کشورهای شرکت کننده در این سازمان در سال ۲۰۰۸، به طور میانگین ۱۰ درصد تولید ناخالص داخلی این کشورها محسوب می‌شود و این هزینه روندی رو به رشد دارد. سهم زیاد هزینه‌های بهداشت و درمان و افزایش مداوم آن در سال‌های اخیر، بهداشت و درمان را به یکی از مسائل جدی دولت‌های توسعه یافته و در حال توسعه تبدیل کرده است. از آنجا که بهبود کیفیت خدمات بخش سلامت می‌تواند سبب

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، حالتی است که کل سیستم به صورت یکجا و یکپارچه در نظر گرفته شود. در این مقاله، به مسئله برنامه‌ریزی و زمان‌بندی بخش جراحی قلب بیمارستان به عنوان سیستم خدمات درمانی پرداخته شد؛ با این فرض که بیماران ممکن است مسیرهای متفاوتی را برای درمان طی کنند.

در بخش دوم این مقاله، سابقه پژوهش و نوآوری ارائه شده است. در بخش سوم نیز مدل ریاضی مسئله وجود دارد. در بخش چهارم، حل مدل برای بخش قلب تهران تشریح شده و نتایج محاسباتی آمده است. در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری نهایی بیان شده است.

پیشینه پژوهش

برنامه‌ریزی فعالیت‌های مربوط به جراحی به کمک مدل‌های پژوهش در عملیات، در سه دهه اخیر توسعه یافته است. دلیل این امر، هزینه بسیار بالای توسعه و مدیریت امکانات جراحی و اتاق عمل، همچنین تأثیر این فعالیت‌ها بر میزان تقاضای خدمات بیمارستان و مدت‌زمان انتظار بیماران است. برنامه‌ریزی جراحی‌ها به دلیل تعدد پارامترها و متغیرهای تصمیم، عدم قطعیت ناشی از ورود بیماران اورژانسی، زمان عمل جراحی و استفاده از سایر منابع از جمله تخت بیمارستان، به‌سادگی انجام نمی‌شود [۳]. متداول‌ترین رویه‌ای که در بسیاری از بیمارستان‌ها به‌منظور برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق‌های جراحی به کار می‌رود، در دو مرحله اصلی تخصیص^۱ و تعیین توالی انجام می‌گیرد و مسئله مربوط به هر یک به ترتیب با SCAP^۲ و SCSP^۳ نمایش داده می‌شود [۴].

طی ۶۰ سال گذشته، بخش وسیعی از پژوهش‌ها در حوزه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق‌های عمل بررسی و دسته‌بندی شده‌اند؛ برای مثال ماگرلین و مارتین زمان‌بندی تقاضای جراحی را به دو دسته پیشرفته و تخصیص یافته تقسیم کردند. منظور از زمان‌بندی پیشرفته، فرایند تثبیت تاریخ عمل جراحی برای یک بیمار است؛ درحالی‌که زمان‌بندی تخصیص یافته، زمان شروع جراحی و اتاق عمل آن را در یک روز خاص مشخص می‌کند [۵]. اگولاتا و ارول در پژوهش خود مجموعه‌ای از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی چندمعیاره سلسله‌مراتبی را توسعه دادند تا به کمک آن‌ها

سطوح راهبردی (بلندمدت)، فنی (میان‌مدت) و عملیاتی (کوتاه‌مدت) در حوزه سلامت هستند [۱].

حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد پذیرش‌های بیمارستانی برای عمل‌های جراحی صورت می‌گیرد. اتاق‌های عمل، ارتباط نزدیکی با سایر دپارتمان‌های بیمارستان دارند. بهبود کارایی آن‌ها نیز علاوه بر افزایش نرخ خدمت‌رسانی به بیماران و افزایش رضایت آن‌ها، تأثیر بسزایی در کاهش هزینه و افزایش کارایی بیمارستان خواهد داشت. زمان‌بندی مناسب عمل‌ها در اتاق‌های عمل با توجه به منابع در دسترس، یکی از روش‌هایی است که می‌تواند افزایش کارایی اتاق عمل را بدون توسعه سخت‌افزاری مورد نیاز آن در پی داشته باشد [۱]. این زمان‌بندی می‌تواند سبب کاهش زمان بیکاری منابع، هزینه‌های اضافه کاری کارکنان (جراحان، پرستاران، متخصصان بیهوشی و...) و هزینه‌های ثابت تجهیزات و وسایل اتاق عمل شود. در کنار این دستاوردها، زمان‌بندی مناسب با کاهش زمان انتظار بیماران برای دریافت خدمت و افزایش سرعت خدمت‌رسانی به بیماران اورژانسی، سطح سرویس بیشتری را برای بیماران به دنبال خواهد داشت [۱].

زمان‌بندی اتاق‌های عمل به دو دلیل مسئله‌ای چالش‌برانگیز است:

- پیچیدگی مسئله تخصیص منابع (اتاق‌های عمل، جراح و از این قبیل) به کارها (عمل‌های جراحی) و تعیین توالی آن‌ها؛
- عدم قطعیت‌های مهم در بسیاری از فعالیت‌های این بخش مانند زمان هر عمل جراحی.

عدم قطعیت‌های مختلف در زمان‌بندی اتاق عمل مانند احتمالی بودن زمان عمل‌های جراحی، ورود تصادفی بیماران اورژانسی، احتمال از دسترس خارج شدن وسایل و تجهیزات و احتمال نبود به‌موقع جراح، بیمار و تکنسین‌ها برای عمل جراحی، این مسئله را به یکی از مسائل پرچالش حوزه برنامه‌ریزی احتمالی تبدیل کرده است [۲]؛ از این رو اهمیت زمان‌بندی اتاق‌های عمل در مراکز خدمات درمانی و بیمارستان‌ها بر کسی پوشیده نیست، اما نکته مهم این است که اتاق‌های عمل جزئی از یک سیستم به‌شمار می‌آیند؛ یعنی هم از مراحل قبلی و هم از مراحل بعدی خود تأثیر می‌پذیرند؛ بنابراین بهترین و صحیح‌ترین حالت

برنامه‌های هفتگی اتاق عمل را طراحی کنند. اهداف در نظر گرفته شده در این مدل، افزایش بهره‌وری اتاق عمل، توزیع عادلانه عمل‌های جراحی میان جراحان به صورت روزانه و کمینه‌سازی زمان عمل و زمان انتظار بیماران بود [۶].
دنتون و همکاران یک مدل شبیه‌سازی برای اتاق‌های عمل چندگانه را ارائه دادند که تعدادی از چالش‌های زمان‌بندی را توصیف می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از این مدل برای بهبود تصمیم‌گیری‌های عملیاتی و راهبردی مرتبط با خدمات جراحی استفاده کرد [۷].

مانکیلا و استورر الگوریتمی را برای مسئله زمان‌بندی عمل‌های جراحی با معیارهای زمان انتظار بیماران، زمان انتظار جراحان، زمان بیکاری اتاق‌های عمل و هزینه‌های اضافه‌کاری توسعه دادند. الگوریتم آن‌ها به گونه‌ای طراحی شده بود که امکان تغییر (زمان‌بندی مجدد) را نیز در طول اجرا فراهم می‌کرد [۸]. لی و بیه یک مسئله زمان‌بندی اتاق عمل را برای تعیین زمان شروع جراحی‌ها پیشنهاد کردند. فرض اساسی مسئله آن‌ها محدود بودن منابع بالادستی، مراقبت بعد از بیهوشی و همچنین عدم قطعیت در زمان جراحی‌ها بود که آن را با استفاده از مجموعه‌های فازی برآورد کردند [۹]. برونو و همکاران چارچوبی جامع را برای مدل‌سازی برنامه‌ریزی تصادفی اتاق‌های جراحی ارائه کردند. یکی از فرضیات استفاده شده در مدل آن‌ها، عدم قطعیت زمان ورود بیماران اورژانسی و زمان جراحی بود که برای حل آن از روش ابتکاری استفاده شد [۱۰].

بای و همکاران مسئله زمان‌بندی اتاق‌های عمل چندگانه را بررسی کردند. آن‌ها یک سیستم پویای گسسته پیشامد را برای این مسئله طراحی کردند و الگوریتمی مبتنی بر گرادیان را برای تقریب میانگین نمونه به کار بردند. اهداف اصلی آن‌ها کمینه‌سازی هزینه انتظار بیماران، زمان بیکاری اتاق عمل، زمان بلاک شدن اتاق عمل و زمان اضافه‌کاری اتاق عمل بود [۱۱]. بام و همکاران مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح را برای زمان‌بندی عمل‌های جراحی انتخابی به صورت روزانه طراحی کردند. آن‌ها با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت جراحان، اتاق‌های عمل و واحد مراقبت‌های پس از عمل جراحی، مسئله خود را به واقعیت نزدیک‌تر کردند. مدل آن‌ها در فاز اول اتاق‌های عمل رزرو را در هر روز مشخص می‌کرد و جراحان را به آن اتاق‌ها

اختصاص می‌داد. در فاز دوم نیز توالی عمل‌های جراحی در آن روز مشخص می‌شد. آن‌ها همچنین برنامه زمانی خود را تحت عدم قطعیت و با استفاده از مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد ارزیابی کردند [۱۲]. وانگ و همکاران به ارائه رویکردی یکپارچه برای تعیین اتاق‌های عمل و نوع عمل‌ها بر اساس رویکرد برنامه‌ریزی خطی و تقریب میانگین نمونه پرداختند [۱۳].
مارکوس و همکاران مدل برنامه‌ریزی خطی جدید و یکپارچه را برای تنظیم برنامه جراحان با مطالعه موردی در یک بیمارستان خصوصی بررسی کردند. در این مدل، به محاسبه میزان کار در بخش‌های پایین دست و تخصیص جراحان بر اساس تقاضاها توجه می‌شود [۱۴].
ناظریانی و همکاران مسئله زمان‌بندی اتاق عمل را با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی کلونی مورچگان بررسی کردند. آن‌ها مسئله خود را در قالب مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر و محدود چندمنبعی مدل‌سازی کردند و هدف خود را انجام به موقع عمل‌های جراحی و ایجاد توازن در به کارگیری منابع بیمارستان قرار دادند [۱۵]. اسکندری و بهرامی نیز به زمان‌بندی چندهدفه اتاق عمل با استفاده از روش بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی پرداختند. آن‌ها ابتدا یک مدل ریاضی را برای مسئله خود ارائه دادند، سپس به شبیه‌سازی آن به کمک الگوریتم فراابتکاری NSGA-II در پنج سناریوی مختلف پرداختند. زمان‌های جراحی و ریکواری غیرقطعی در نظر گرفته شد. هدف آن‌ها نیز کمینه کردن هزینه‌های اضافه‌کاری، خالی ماندن اتاق‌های عمل و کمینه کردن روزهای انتظار بیماران برای جراحی بود [۱۶].
با توجه به پژوهش‌های بسیار در این حوزه، در ادامه به جمع‌بندی پژوهش‌های این حوزه پرداخته شد. همچنین در جدول مقایسه‌ای، پژوهش‌های پیشین و نوآوری پژوهش حاضر بررسی شد. این پژوهش‌ها بر مبنای هدف کاهش زمان انتظار و مدت اقامت بیماران جمع‌آوری شده که خلاصه آن‌ها در جدول ۲ آمده است. به دلیل کمبود فضای ستون‌های جدول ۲ نویسندگان مقاله به جای اسامی ستون‌ها، از برخی علامت‌های اختصاری استفاده کردند که این علامت‌ها در جدول ۱ آمده است.

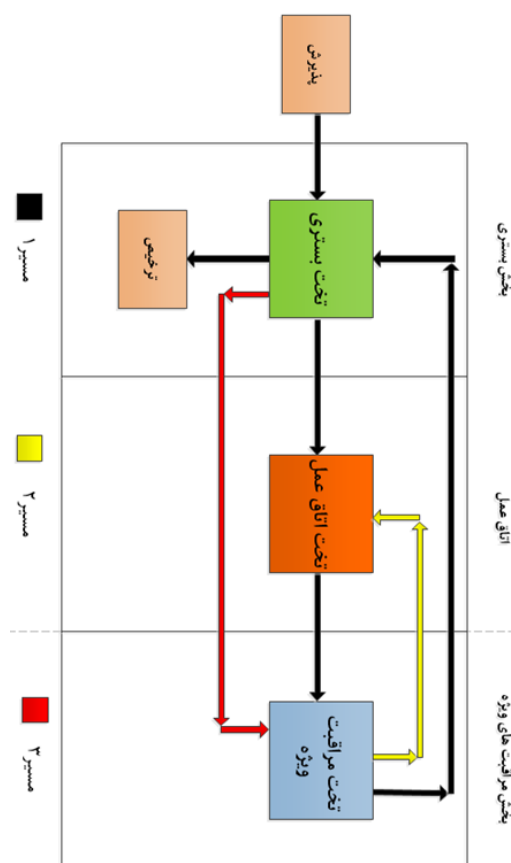
تعریف و مدل سازی مسئله

در مسئله پیش رو به ارائه مدل ریاضی یکپارچه برای زمان بندی اتاق عمل با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت واحد مراقبت های ویژه و مسیره های درمان چندگانه پرداخته شد؛ با این هدف که زمان درمان کل بیماران، مدت اقامت و زمان انتظار آن ها کمینه شود. از آنجا که سیاست های کلی مدیریت بخش های درمانی مشابه است، این پژوهش بخش جراحی قلب مرکز قلب تهران را برای نمونه انتخاب کرده است تا مسئله خود را در آن محیط اجرا کند. واضح است که می توان از نتایج آن برای برنامه ریزی بخش های درمانی دیگر نیز استفاده کرد. شکل ۱ تصویری واضح از کلیات مسئله پیش رو را نشان می دهد.

بخش سوم: بخش مراقبت های ویژه

در این مسئله، پس از نظر سنجی از پزشکان و جراحان بخش جراحی قلب مرکز قلب تهران، سه مسیر متفاوت به صورت زیر برای درمان بیماران در نظر گرفته شده است:

- **مسیر ۱:** پذیرش - بخش بستری - اتاق عمل - مراقبت های ویژه - بخش بستری - ترخیص.
- **مسیر ۲:** پذیرش - بخش بستری - اتاق عمل - مراقبت های ویژه - اتاق عمل - مراقبت های ویژه - بخش بستری - ترخیص.
- **مسیر ۳:** پذیرش - بخش بستری - اتاق عمل - مراقبت های ویژه - بخش بستری - ترخیص.



شکل ۲. مسیرهای متفاوت درمان بیماران

بخش ۳: بخش مراقبت های ویژه	تخت ۱ تخت ۲ ... تخت M3
بخش ۲: اتاق عمل	تخت ۱ تخت ۲ ... تخت M2
بخش ۱: بخش بستری قلب	تخت ۱ تخت ۲ ... تخت M1
بیمار	بیمار ۱ بیمار ۲ ... بیمار N

شکل ۱. نمایی کلی از مسئله پیش رو

مسیر ۱ استانداردترین و رایج ترین مسیری است که بیماران در بخش جراحی قلب برای درمان طی می کنند، اما در شرایطی خاص ممکن است از مسیرهای ۲ و ۳ نیز استفاده شود؛ بنابراین لازم است تا پیش از زمان بندی، با

بر اساس شکل ۱ در این مسئله سه بخش درمانی اصلی وجود دارد:

- بخش اول: بخش بستری قلب
- بخش دوم: اتاق عمل

در نظر گرفتن عواملی خاص مسیر درمان بیماران پیش بینی شود. اکنون با توجه به مطالب ذکر شده، ابتدا فرضیه‌های مسئله معرفی و پس از آن نیز مدل ریاضی مسئله بیان شده است.

فرضیه‌های مسئله

۱. زمان‌های درمان بیماران (جراحی، مراقبت در ICU، بستری در بخش و...) قطعی هستند.
۲. در هر لحظه تنها یک بیمار روی یک تخت قرار می‌گیرد.
۳. تنها یک پزشک جراح مسئولیت عمل جراحی را برعهده دارد.
۴. همه بیماران از نوع انتخابی هستند.
۵. ظرفیت اتاق‌های عمل، مراقبت‌های ویژه و تخت‌های بستری محدود است.
۶. به منظور عمل‌های جراحی انتخابی، به هر یک از پزشکان تعدادی بلوک زمانی اختصاص یافته است.
۷. هر کدام از بلوک‌های زمانی تنها به یک پزشک (جراح) اختصاص می‌یابد.
۸. از زمان انتقال بیماران بین بخش‌ها صرف نظر شده است.
۹. بین هر دو عمل جراحی، زمانی برای آماده‌سازی اتاق عمل در نظر گرفته می‌شود که به دلیل ثابت بودن مقدار آن، از ورود آن به محاسبات صرف نظر شده است.

مدل ریاضی مسئله

در این قسمت، پس از معرفی مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها، به بیان مدل ریاضی ارائه شده در پژوهش پیش رو پرداخته شده است.

مجموعه‌ها

- $i = 1, \dots, I$ شمارنده بیماران
- $k = 1, \dots, O_i$ شمارنده عملیات درمانی
- $l = 1, \dots, L$ شمارنده بخش‌های درمانی
- $j = 1, \dots, M_l$ شمارنده تخت‌ها
- $b = 1, \dots, block_l$ شمارنده بلوک‌های زمانی
- $s = 1, \dots, S$ شمارنده جراحان

پارامترها

- E یک عدد خیلی بزرگ
- I تعداد کل بیماران
- L تعداد کل بخش‌های درمانی
- S تعداد کل جراحان
- O_i تعداد عملیات درمانی بیمار i ام
- M_l تعداد تخت‌های موجود در بخش l ام
- $block_l$ تعداد بلوک‌های زمانی در بخش l ام
- $upper_{bl}$ حد بالای بلوک زمانی b ام در بخش l ام
- $lower_{bl}$ حد پایین بلوک زمانی b ام در بخش l ام
- p_{ikls} زمان انجام عملیات درمانی k ام از بیمار i ام که در بخش l ام و توسط جراح s ام انجام می‌شود
- a_{ikls} اگر عملیات درمانی k ام از بیمار i ام، در بخش l ام و توسط جراح s ام انجام شود = ۱ در غیر این صورت = ۰

متغیرها

- $C \max$ حداکثر زمان تکمیل درمان بیماران در طول افق برنامه‌ریزی
- LOS_i مدت اقامت بیمار i ام
- $start_{ik}$ زمان شروع عملیات درمانی k ام از بیمار i ام
- $comp_{ik}$ زمان تکمیل عملیات درمانی k ام از بیمار i ام
- X_{ikljbs} اگر عملیات درمانی k ام از بیمار i ام، در بخش l ام، روی تخت j ام، در بلوک زمانی b ام و توسط جراح s ام انجام شود = ۱ و در غیر این صورت = ۰
- $Y_{ikik'}$ اگر عملیات درمانی k ام از بیمار i ام قبل از عملیات درمانی k' ام از بیمار i' ام انجام گیرد = ۱ در غیر این صورت = ۰

تابع هدف

$$Min \quad C \max \tag{۱}$$

روابط

$$\forall i, k \tag{۲}$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{b=1}^{block_l} \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{M_l} X_{ikljbs} a_{ikls} = 1 \tag{۳}$$

$$b \leq block_2 \tag{۴}$$

$$\forall i \neq i', k, l = 2, j, s \neq s', b \tag{۵}$$

$$X_{ikljbs} + X_{i'kljbs'} \leq 1 \tag{۶}$$

$$\forall i, k, l, j, b, s \tag{۷}$$

$$comp_{ik} \geq start_{ik} + p_{ikls} - E(1 - X_{ikljbs}) \tag{۸}$$

$$\forall i, l, s \tag{۹}$$

علاوه بر تضمین رعایت قوانین پیش‌نیازی میان عملیات درمانی یک بیمار، بیان می‌کند که میان دو عملیات درمانی متوالی از یک بیمار، نباید هیچ فاصله زمانی باشد. در واقع این رابطه تضمین می‌کند مدت اقامت بیماران به حداقل مقدار ممکن برسد. روابط ۸ و ۹ نیز به محاسبه مدت اقامت بیماران می‌پردازند که مطابق با فرمول تعیین شده باید با مجموع زمان‌های پردازش عملیات درمانی هر بیمار برابر باشند. روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲ تضمین می‌کنند که عملیات درمانی k ام از بیمار i ام و عملیات درمانی k' ام از بیمار i' ام نمی‌توانند هم‌زمان روی یک تخت انجام شوند. براساس روابط ۱۳ و ۱۴، زمان شروع و پایان هر عملیات درمانی، باید در یک بلوک قرار بگیرد. در انتها نیز روابط ۱۵ و ۱۶ نوع متغیرهای به‌کاررفته در این مدل را نشان می‌دهند.

مدل‌سازی آماری

همان‌طور که در بخش قبل عنوان شد، پارامتر صفر و یک a_{ikls} ، مسیر درمان بیماران را مشخص می‌کند، اما نظر به اینکه مسیر درمان بیماران با توجه به شرایط آن‌ها ممکن است با یکدیگر متفاوت باشد، این پارامتر ابتدا باید به کمک روش آماری برآورد شده و خروجی آن در مدل ریاضی قرار داده شود. در این مقاله به‌منظور برآورد مسیر درمان بیماران از مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای^{۱۴} استفاده شده است.

برای هدف‌های محاسباتی در رگرسیون لجستیک، احتمال وقوع یک پیشامد به بخت یا شانس^{۱۵} تبدیل می‌شود. شانس یا بخت با فرمول $p/1-p$ محاسبه می‌شود که در آن p احتمال وقوع پیشامد (وقتی که متغیر پاسخ برابر ۱ باشد) و $1-p$ احتمال عدم وقوع پیشامد است (وقتی متغیر پاسخ صفر باشد)، اما امکان اینکه میان متغیرهای پیشگو و نسبت احتمال شانس، رابطه خطی ایجاد کنیم، وجود دارد. در صورتی که متغیر پاسخ در رگرسیون لجستیک بیشتر از دو حالت داشته باشد، باید از روش رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای استفاده کرد که در واقع تعمیمی از روش رگرسیون لجستیک دو جمله‌ای است. مدل رگرسیونی لجستیک چندجمله‌ای را به صورت زیر نوشت [۲۶]:

$$comp_{i1} \geq p_{i1ls} \quad \forall i, k = O_i \quad (6)$$

$$C \max \geq comp_{ik} \quad \forall i, k \succ 1, l, j, b, s \quad (7)$$

$$start_{ik} = comp_{i(k-1)} \quad \forall i, k = O_i \quad (8)$$

$$LOS_i \geq comp_{ik} - start_{i1} \quad \forall i \quad (9)$$

$$LOS_i = \sum_{k=1}^{O_i} \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S p_{ikls} \quad \forall i \neq i', k, k', l, j, b \quad (10)$$

$$start_{i'k'} \geq comp_{ik} - E(3 - \sum_{s=1}^S X_{ikljbs} - \sum_{s=1}^S X_{i'k'ljbs} - Y_{ik'k'}) \quad \forall i \neq i', k, k', l, j, b \quad (11)$$

$$start_{ik} \geq comp_{i'k'} - E(3 - \sum_{s=1}^S X_{ikljbs} - \sum_{s=1}^S X_{i'k'ljbs} - Y_{i'k'ik}) \quad \forall i \neq i', k, k' \quad (12)$$

$$Y_{iki'k'} + Y_{i'k'ik} = 1 \quad \forall i, k, l, j, b, s \quad (13)$$

$$comp_{ik} \geq upper_{bl} + p_{ikls} - E(1 - X_{ikljbs}) \quad \forall i, k, l, j, b, s \quad (14)$$

$$start_{ik} \geq lower_{bl} + p_{ikls} - E(1 - X_{ikljbs}) \quad \forall i, k \quad (15)$$

$$C \max, LOS_i, start_{ik}, comp_{ik} \geq 0 \quad \forall i, i', k, k', l, j, b, s \quad (16)$$

$$X_{ikljbs}, Y_{iki'k'} \in \{0, 1\}$$

تابع هدف مسئله فوق، کمینه‌سازی حداکثر زمان تکمیل درمان بیماران در طول افق برنامه‌ریزی است؛ البته مدل ارائه‌شده کمینه‌سازی $C \max$ را در شرایطی دنبال می‌کند که بیماران حداقل مدت اقامت را در بیمارستان داشته باشند. براساس روابط ۲ و ۳ تضمین می‌شود که عملیات درمانی بیماران در بخش‌های مربوط و توسط پزشکان مخصوص به خودشان انجام می‌شود. روابط ۴ و ۵ تضمین می‌کنند که اختلاف میان زمان شروع و پایان یک عملیات درمانی، حداکثر برابر زمان پردازش آن عملیات است. رابطه ۶ به محاسبه $C \max$ می‌پردازد. رابطه ۷

بنابراین متغیر پاسخ مسئله مسیر درمان بیماران براساس مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای به شرح جدول ۳ است:

متغیر پاسخ	توضیحات
$Y_1 = 1$	حالت اول متغیر پاسخ (اگر مسیر اول انتخاب شود)
$Y_2 = 2$	حالت دوم متغیر پاسخ (اگر مسیر دوم انتخاب شود)
$Y_3 = 3$	حالت سوم متغیر پاسخ (اگر مسیر سوم انتخاب شود)

معرفی متغیرهای پیشگوی مسئله

متغیرهای پیشگوی مسئله در واقع همان متغیرهایی هستند که با استفاده از آن‌ها باید مسیر درمان بیماران پیش‌بینی شود. به بیانی دیگر، با دانستن این متغیرها و وارد کردن آن‌ها در مدل رگرسیونی، احتمال وقوع هر کدام از مسیرهای ممکن قابل محاسبه است. بدیهی است آن مسیری که بیشترین احتمال وقوع را به خود اختصاص دهد، به‌عنوان مسیر درمان آن بیمار انتخاب می‌شود. پس از جمع‌آوری نظر چندین جراح و پزشک در بخش جراحی قلب مرکز قلب تهران متغیرهای پیشگوی مسئله به‌صورت زیر در نظر گرفته شدند:

متغیر پیشگو	تعداد حالات	توضیحات
\vec{X}_1	۹	بازه‌های سنی بیماران
\vec{X}_2	۸	نوع عمل جراحی بیماران
\vec{X}_3	۲	داشتن یا نداشتن دیابت
\vec{X}_4	۲	داشتن یا نداشتن بیماری کلیوی

استقلال متغیرهای پیشگوی مسئله

متغیرهای پیشگوی استفاده‌شده در مدل رگرسیونی مسئله، مستقل از هم هستند. این موضوع با محاسبه ضریب هم‌بستگی پیرسون^{۱۶} اثبات می‌شود. برای محاسبه ضریب هم‌بستگی میان دو متغیر X و Y ، کافی است نمونه Π تایی از هر کدام از متغیرها تهیه شود. سپس با قراردادن داده‌ها در رابطه ۲۰، ضریب هم‌بستگی پیرسون برای آن متغیرها محاسبه شود.

مجموعه‌ها

شمارنده حالت‌های متغیر پاسخ $j = 1, \dots, M$
شمارنده متغیرهای پیشگو $i = 1, \dots, N$

پارامترها

تعداد کل حالت‌های متغیر پاسخ M
تعداد کل متغیرهای پیشگو N
مقدار ثابت مربوط به حالت j ام متغیر پاسخ $\alpha_{(Y_j)}$
بردار ضریب متغیر پیشگوی i ام برای حالت j ام متغیر پاسخ $\beta_{(Y_j)}^i$
بخت پیش‌بینی شده برای حالت j ام متغیر پاسخ $ODDS(Y_j)$
احتمال موفقیت حالت j ام متغیر پاسخ $p(Y_j)$

متغیرها

حالت j ام متغیر پاسخ Y_j
بردار متغیر پیشگوی i ام \vec{X}_i

مدل رگرسیونی لجستیک چندجمله‌ای

$$\ln[ODDS(Y_j)] = \ln\left(\frac{p(Y_j)}{1-p(Y_m)}\right) = \alpha_{(Y_j)} + \quad (17)$$

$$\beta_{(Y_j)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_j)}^2 \vec{X}_2 + \dots + \beta_{(Y_j)}^N \vec{X}_N$$

$$p(Y_j) = \frac{ODDS(Y_j)}{1 + ODDS(Y_j)} = \quad (18)$$

$$\frac{e^{\alpha_{(Y_j)} + \beta_{(Y_j)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_j)}^2 \vec{X}_2 + \dots + \beta_{(Y_j)}^N \vec{X}_N}}{1 + \sum_{j=1}^{M-1} e^{\alpha_{(Y_j)} + \beta_{(Y_j)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_j)}^2 \vec{X}_2 + \dots + \beta_{(Y_j)}^N \vec{X}_N}}$$

باید توجه داشت که:

$$p(Y_1) + p(Y_2) + \dots + p(Y_M) = 1 \quad (19)$$

مدل آماری مسئله

برای بیان مدل آماری مسئله، ابتدا لازم است متغیر پاسخ و متغیرهای پیشگوی مسئله معرفی شود. پس از آن استقلال متغیرهای پیشگو بررسی، و درنهایت مدل آماری مسئله عنوان می‌شود.

معرفی متغیر پاسخ مسئله

در این پژوهش، ابتدا مسیر درمان بیماران پیش‌بینی و پس از آن مسیر پیش‌بینی‌شده در مدل ریاضی قرار داده شد؛

$$A = e^{\alpha_{(Y_1)} + \beta_{(Y_1)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_1)}^2 \vec{X}_2 + \beta_{(Y_1)}^3 \vec{X}_3 + \beta_{(Y_1)}^4 \vec{X}_4}$$

$$B = e^{\alpha_{(Y_1)} + \beta_{(Y_1)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_1)}^2 \vec{X}_2 + \beta_{(Y_1)}^3 \vec{X}_3 + \beta_{(Y_1)}^4 \vec{X}_4}$$

$$C = e^{\alpha_{(Y_2)} + \beta_{(Y_2)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_2)}^2 \vec{X}_2 + \beta_{(Y_2)}^3 \vec{X}_3 + \beta_{(Y_2)}^4 \vec{X}_4}$$

$$p(Y_1) = \frac{ODDS(Y_1)}{1 + ODDS(Y_1)} = \left(\frac{A}{1 + B + C} \right) \quad (28)$$

$$E = e^{\alpha_{(Y_2)} + \beta_{(Y_2)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_2)}^2 \vec{X}_2 + \beta_{(Y_2)}^3 \vec{X}_3 + \beta_{(Y_2)}^4 \vec{X}_4}$$

$$p(Y_2) = \frac{ODDS(Y_2)}{1 + ODDS(Y_2)} = \left(\frac{E}{1 + B + C} \right) \quad (29)$$

$$p(Y_3) = \left(\frac{1}{1 + B + C} \right) \quad (30)$$

پس از محاسبه ضرایب رگرسیونی و ورود متغیرهای پیشگو در روابط ۲۸، ۲۹ و ۳۰ مسیری انتخاب می شود که احتمال وقوع بیشتری را به خود اختصاص داده باشد. در بخش بعدی نتایج محاسباتی مدل های ارائه شده در بخش جراحی قلب مرکز قلب تهران بررسی و تجزیه و تحلیل شده است.

بحث و یافته ها

در این بخش، کارکرد روش های پیشنهادی در حل مسئله زمان بندی و برنامه ریزی بخش جراحی قلب بررسی شده است. بدین صورت که ابتدا ضرایب رگرسیونی به کمک داده های مربوط به بیماران در مرکز قلب تهران برآورد شده و سپس براساس این ضرایب مسیر درمان بیماران پیش بینی شده است. در نهایت پس از ورود داده ها به مدل ریاضی، خروجی آن تجزیه و تحلیل شده تا کارایی آن مشخص شود. همه آزمایش های عددی به کمک رایانه شخصی با مشخصات CPU 7 GHz core 3.8 و RAM 32 GB انجام شده است.

محاسبه ضرایب رگرسیونی

به منظور محاسبه ضرایب رگرسیونی که به منظور برآورد مسیر درمان بیماران استفاده می شود، از اطلاعات مربوط به بیماران مرکز قلب تهران استفاده شد. این اطلاعات بر مبنای متغیرهای پاسخ و پیشگوی معرفی شده در بخش قبل، از ۱۵۰ پرونده بیمار جمع آوری شد. با توجه به گسسته بودن چهار عامل سن، نوع عمل جراحی، داشتن یا نداشتن بیماری کلیوی و داشتن یا

$$r_{xy} = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{S_x^2 \cdot S_y^2}} - 1 \leq r_{xy} \leq 1 \quad (20)$$

که در آن

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (21)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i \quad (22)$$

$$\bar{xy} = \frac{1}{n} \sum x_i y_i \quad (23)$$

$$S_x^2 = \bar{x^2} - \bar{x}^2 \quad (24)$$

$$S_y^2 = \bar{y^2} - \bar{y}^2 \quad (25)$$

اگر $r_{xy} = 0$ باشد، متغیرهای x و y کاملاً مستقل و در صورتی که $r_{xy} = 1$ باشد این متغیرها کاملاً به هم وابسته اند و رابطه آن ها از نوع مستقیم هستند. همچنین اگر $0 < r_{xy} < 1$ باشد، هم بستگی میان x و y از نوع مستقیم و ناقص و اگر $-1 > r_{xy} > 0$ هم بستگی میان x و y از نوع غیرمستقیم و ناقص هستند.

مدل رگرسیونی مسئله

با توجه به متغیرهای پاسخ و پیشگوی معرفی شده در بالا، همچنین اثبات استقلال متغیرهای پیشگوی مسئله، نوبت به بیان مدل رگرسیونی استفاده شده در این پژوهش به منظور پیش بینی مسیر درمان بیماران می رسد. واضح است مدل رگرسیونی مسئله از نوع رگرسیون لجستیک چندجمله ای است که در بخش های قبلی به تفصیل شرح داده شد. اکنون به بیان مدل رگرسیونی ارائه شده در این مسئله پرداخته می شود.

$$\ln[ODDS(Y_1)] = \ln\left(\frac{p(Y_1)}{1 - p(Y_3)}\right) = \alpha_{(Y_1)} + \quad (26)$$

$$\beta_{(Y_1)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_1)}^2 \vec{X}_2 + \beta_{(Y_1)}^3 \vec{X}_3 + \beta_{(Y_1)}^4 \vec{X}_4$$

$$\ln[ODDS(Y_2)] = \ln\left(\frac{p(Y_2)}{1 - p(Y_3)}\right) = \alpha_{(Y_2)} + \quad (27)$$

$$\beta_{(Y_2)}^1 \vec{X}_1 + \beta_{(Y_2)}^2 \vec{X}_2 + \beta_{(Y_2)}^3 \vec{X}_3 + \beta_{(Y_2)}^4 \vec{X}_4$$

اکنون اگر طرفین روابط بالا در توان e قرار داده شود، با فرض اینکه $p(Y_1) + p(Y_2) + p(Y_3) = 1$ است، احتمال رخداد هریک از مسیرهای درمان به صورت زیر قابل محاسبه است:

به منظور محاسبه ضرایب رگرسیونی، ابتدا باید مشخص شود که آیا متغیرهای پیشگوی معرفی شده در فصل سوم، بر متغیر پاسخ مسئله تأثیرگذارند یا خیر. بدین منظور داده‌های ۱۵۰ بیمار وارد نرم‌افزار SPSS شد و محاسبه مقدار P-Value آزمون برای هر کدام از متغیرهای پیشگو صورت گرفت. بدیهی است در صورتی که مقدار P-Value برای هر کدام از متغیرهای پیشگوی مسئله، کمتر از سطح معناداری آزمون باشد، آن متغیر تأثیر چندانی بر متغیر پاسخ ندارد و می‌تواند از مدل رگرسیونی حذف شود. باید توجه داشت که سطح معناداری آزمون در این پژوهش، ۰/۰۵ است. نتایج محاسبه P-Value آزمون برای داده‌های این مسئله به شرح جدول ۹ است:

جدول ۹. مقادیر P-Value محاسبه شده برای متغیرهای پیشگوی مسئله

متغیر پیشگو	P-Value
سن	۰/۰۰۰
نوع عمل جراحی	۰/۰۱۳
داشتن یا نداشتن بیماری کلیوی	۰/۴۲۳
داشتن یا نداشتن دیابت	۰/۷۰۶

از داده‌های موجود در جدول ۹ می‌توان نتیجه گرفت که از میان چهار متغیر پیشگوی معرفی شده، تنها عامل سن و نوع عمل جراحی بر متغیر پاسخ مسئله تأثیرگذار هستند؛ زیرا مقادیر P-Value آن‌ها کمتر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین می‌توان دو متغیر آخر (\vec{X}_3 و \vec{X}_4) را که مربوط به بیماری‌های دیابت و بیماری‌های کلیوی هستند، از مدل رگرسیونی حذف کرد. حال براساس دو متغیر سن و نوع عمل جراحی، ضرایب رگرسیونی مسئله محاسبه شده که نتایج آن در جدول ۱۰ آمده است.

نتایج عددی اجرای مدل رگرسیون بر داده‌های مسئله

به منظور اجرای مدل رگرسیون بر داده‌های واقعی و سنجش کارایی آن، در این پژوهش از پنج فهرست انتظار ده نفره استفاده شد. بیماران موجود در این فهرست‌های انتظار همگی از نوع بیماران انتخابی هستند که قبلاً در شرایط واقعی عمل‌های جراحی شده و از مرکز قلب تهران ترخیص شده‌اند. دلیل استفاده از این فهرست‌ها آن است که بتوان

نداشتن دیابت، دسته‌بندی‌های مربوط به هر یک از عوامل پیشگو در جدول‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ آمده است. می‌توان دسته‌بندی مربوط به سن بیماران را به بازه‌های کمتر یا بیشتر از تعداد فعلی نیز تقسیم کرد، اما با توجه به نتایج خوب این دسته‌بندی در مدل رگرسیونی، از همین بازه‌ها استفاده شده است.

جدول ۵. بازه‌های سنی بیماران

شماره اختصاص یافته	بازه سنی
۱	۰ تا ۱۰ سال
۲	۱۰ تا ۲۰ سال
۳	۲۰ تا ۳۰ سال
۴	۳۰ تا ۴۰ سال
۵	۴۰ تا ۵۰ سال
۶	۵۰ تا ۶۰ سال
۷	۶۰ تا ۷۰ سال
۸	۷۰ تا ۸۰ سال
۹	۸۰ سال به بالا

جدول ۶. داشتن یا نداشتن بیماری دیابت

شماره اختصاص یافته	بیماری دیابت
۱	دارد
۰	ندارد

جدول ۷. نوع عمل جراحی

شماره	نوع عمل جراحی
۱	CABG (قلب باز) ^{۱۷}
۲	AVR (تعویض دریچه آئورت) ^{۱۸}
۳	MVR (تعویض دریچه میترا) ^{۱۹}
۴	TVR (تعویض دریچه تریکوسپید) ^{۲۰}
۵	ASD (ترمیم نقص بین دو دهلیز) ^{۲۱}
۶	VSD (ترمیم نقص بین دو بطن) ^{۲۲}
۷	Bentall (تعویض قوس صعودی و جابه‌جایی و تعویض دریچه آئورت)
۸	CABG+MVR
۹	MVR+TVR
۱۰	MVR+TVR+AVR

جدول ۸. داشتن یا نداشتن بیماری کلیوی

شماره اختصاص یافته	بیماری کلیوی
۱	دارد
۰	ندارد

جدول ۱۲. نتایج تأثیر اجرای مدل رگرسیون بر داده‌های فهرست انتظار دوم

ردیف	بازه سنی	نوع عمل جراحی	احتمال رخداد مسیر ۱	احتمال رخداد مسیر ۲	احتمال رخداد مسیر ۳	مسیر انتخابی در مدل ارائه شده	مسیر انتخابی در شرایط واقعی
بیمار ۱	۶	۳	۰/۷۷	۰/۰۳	۰/۲۰	۱	۲
بیمار ۲	۶	۴	۰/۹۴	۰/۰۶	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۳	۸	۱	۰/۷۰	۰/۲۱	۰/۰۹	۱	۳
بیمار ۴	۸	۲	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۵	۹	۱	۰/۲۰	۰/۸۰	۰/۰۰	۲	۲
بیمار ۶	۷	۹	۰/۹۰	۰/۰۰	۰/۱۰	۱	۱
بیمار ۷	۶	۲	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۸	۶	۳	۰/۷۷	۰/۰۳	۰/۲۰	۱	۳
بیمار ۹	۶	۳	۰/۷۷	۰/۰۳	۰/۲۰	۱	۱
بیمار ۱۰	۴	۳	۰/۷۶	۰/۰۰	۰/۲۴	۱	۱

جدول ۱۳. نتایج تأثیر اجرای مدل رگرسیون بر داده‌های فهرست انتظار سوم

ردیف	بازه سنی	نوع عمل جراحی	احتمال رخداد مسیر ۱	احتمال رخداد مسیر ۲	احتمال رخداد مسیر ۳	مسیر انتخابی در مدل ارائه شده	مسیر انتخابی در شرایط واقعی
بیمار ۱	۵	۳	۰/۸۹	۰/۰۵	۰/۰۶	۱	۱
بیمار ۲	۵	۱	۰/۷۹	۰/۱۴	۰/۰۷	۱	۱
بیمار ۳	۵	۱	۰/۷۹	۰/۱۴	۰/۰۷	۱	۲
بیمار ۴	۶	۱	۰/۶۸	۰/۰۸	۰/۲۴	۱	۱
بیمار ۵	۱	۱۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۹۲	۳	۳
بیمار ۶	۱	۳	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۹۵	۳	۳
بیمار ۷	۸	۱	۰/۷۰	۰/۲۱	۰/۰۹	۱	۱
بیمار ۸	۹	۸	۰/۱۰	۰/۹۰	۰/۰۰	۲	۲
بیمار ۹	۹	۱	۰/۲۰	۰/۸۰	۰/۰۰	۲	۲
بیمار ۱۰	۹	۴	۰/۳۴	۰/۶۶	۰/۰۰	۲	۲

بر اساس جدول‌های ۱۱ تا ۱۵، مدل رگرسیونی پیشنهادی در بیشتر موارد توانسته است مسیر درمان بیماران را به درستی پیش‌بینی کند. تنها ۸ بیمار مسیر درمانشان به درستی پیش‌بینی نشده که با رنگ خاکستری مشخص شده‌اند. در واقع می‌توان گفت مدل رگرسیونی ارائه شده در این مسئله در ۸۴ درصد مواقع توانسته است،

نتایج حاصل از شرایط واقعی را با نتایج به دست آمده از مدل‌های ارائه شده در این پژوهش به راحتی مقایسه کرد. این پیش‌بینی بر اساس دو عامل سن و نوع عمل جراحی صورت می‌گیرد. جزئیات نتایج هر کدام از فهرست‌های انتظار به شرح جدول‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ است.

جدول ۱۰. ضرایب رگرسیونی محاسبه شده

ضرایب رگرسیونی	مقادیر ضرایب
$\alpha_{(Y_1=1)}$	۱۹/۲۴۷
$\alpha_{(Y_2=2)}$	-۱۴/۱۷۵
$\beta_{(Y_1=1)}^1$	(۰، -۱۶/۳۹۹، -۱۷/۰۶۷، -۱۷/۴۶۳، -۱۶/۱۱۰)
$\beta_{(Y_1=1)}^2$	(-۱۷/۶۳۶، -۰/۴۹۲، -۰/۲۶۲، -۲۱/۷۲۱)
$\beta_{(Y_2=1)}^2$	(۰، ۰/۳۲۲، ۱۶/۳۸۲، ۱۶/۹۱۱، ۰/۳۸۲)
$\beta_{(Y_2=1)}^3$	(۰/۷۳۵، ۱۹/۳۲۱، -۰/۴۳۲، ۱۹/۸۷۱، ۱۹/۲۲۱)
$\beta_{(Y_2=1)}^4$.
$\beta_{(Y_2=1)}^5$.
$\beta_{(Y_1=2)}^1$	(۰، -۱۸/۹۷۱، -۲۰/۵۳۶، -۲۰/۸۷۴، -۱۹/۲۴۴)
$\beta_{(Y_1=2)}^2$	(-۳۷/۰۶۲، -۲/۴۴۸، ۱۵/۰۵۲، -۴۲/۰۴۱)
$\beta_{(Y_2=2)}^2$	(۰، ۰/۳۲۹، ۵۱/۹۸۴، ۴۹/۴۴۰، ۳۴/۳۰۳)
$\beta_{(Y_2=2)}^3$	(۵۳/۶۴۶، ۵۳/۹۴۶، ۳۳/۳۵۶، ۲۰/۴۳۷، ۳۴/۰۵۴)
$\beta_{(Y_2=2)}^4$.
$\beta_{(Y_2=2)}^5$.

جدول ۱۱. نتایج تأثیر اجرای مدل رگرسیون بر داده‌های فهرست انتظار اول

ردیف	بازه سنی	نوع عمل جراحی	احتمال رخداد مسیر ۱	احتمال رخداد مسیر ۲	احتمال رخداد مسیر ۳	مسیر انتخابی در مدل ارائه شده	مسیر انتخابی در شرایط واقعی
بیمار ۱	۱	۱۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۹۲	۳	۳
بیمار ۲	۱	۱۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۹۲	۳	۳
بیمار ۳	۵	۵	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۰۰	۱	۲
بیمار ۴	۲	۹	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۵	۲	۶	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۲	۲
بیمار ۶	۵	۳	۰/۸۹	۰/۰۵	۰/۰۶	۱	۱
بیمار ۷	۵	۹	۰/۹۶	۰/۰۰	۰/۰۴	۱	۱
بیمار ۸	۶	۱	۰/۶۸	۰/۰۸	۰/۲۴	۱	۱
بیمار ۹	۷	۷	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۱۰	۸	۴	۰/۸۷	۰/۱۳	۰/۰۰	۱	۲

زمان بندی بیماران و رزرو تختها براساس مسیر استاندارد انجام می شود. در صورتی که با نگاهی به مسیر انتخابی بیماران در شرایط واقعی مشاهده می شود در بسیاری از مواقع، بیمار مسیری دیگر را طی می کند که مدل رگرسیونی ارائه شده این مسیرها را به درستی پیش بینی کرده است. حال پس از تعیین مسیر درمان بیماران، نوبت به وارد کردن اطلاعات در مدل ریاضی است تا کارایی آن نیز بررسی شود.

نتایج عددی اجرای مدل ریاضی بر داده های مسئله تعیین پارامترهای ورودی مسئله

پیش از ورود اطلاعات به مدل ریاضی و تحلیل نتایج حاصل از اجرای آن باید مقادیر تعدادی از پارامترهای ورودی مسئله مشخص شود. از آنجا که هدف این پژوهش، مقایسه نتایج مدل های ارائه شده با شرایط واقعی است، باید پارامترهای ورودی براساس شرایط واقعی موجود در مرکز قلب تهران تعیین شوند. مقادیر این پارامترها در جدول ۱۶ نشان داده شده است.

جدول ۱۶. پارامترهای ورودی مدل ریاضی

مقدار	پارامتر
۱۰	تعداد بیماران هر فهرست انتظار
۴	تعداد عملیات درمانی مسیر ۱
۶	تعداد عملیات درمانی مسیر ۲
۶	تعداد عملیات درمانی مسیر ۳
۳	تعداد بخش های درمانی
۱۵	تعداد تخت های بخش ۱ (بخش بستری)
۱	تعداد تخت های بخش ۲ (بخش اتاق عمل)
۸	تعداد تخت های بخش ۳ (بخش مراقبت های ویژه)
۴	تعداد جراحان
۹	طول هر بلوک زمانی (ساعت)

ذکر این نکته نیز مهم است که هر روز به دو بلوک زمانی تقسیم بندی شده است. بلوک اول از ساعت ۶ تا ۱۵ و بلوک دوم از ساعت ۱۵ تا ۲۴ در نظر گرفته شده اند. همچنین با توجه به اینکه همه بیماران در این پژوهش از نوع انتخابی هستند، جراح مربوط به هر بیمار از قبل مشخص شده و جزو داده های ورودی مسئله است.

جدول ۱۴. نتایج تأثیر اجرای مدل رگرسیون بر داده های فهرست انتظار چهارم

ردیف	بازه سنی	نوع عمل جراحی	احتمال رخداد مسیر ۱	احتمال رخداد مسیر ۲	احتمال رخداد مسیر ۳	مسیر انتخابی در مدل ارائه شده	مسیر انتخابی در شرایط واقعی
بیمار ۱	۲	۹	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۲	۳	۲	۰/۸۳	۰/۱۷	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۳	۳	۵	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۴	۳	۶	۰/۸۱	۰/۱۹	۰/۰۰	۱	۲
بیمار ۵	۱	۹	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۹۲	۳	۳
بیمار ۶	۱	۱۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۹۲	۳	۳
بیمار ۷	۵	۱	۰/۷۹	۰/۱۴	۰/۰۷	۱	۱
بیمار ۸	۹	۱	۰/۲۰	۰/۸۰	۰/۰۰	۲	۲
بیمار ۹	۹	۷	۰/۷۱	۰/۲۹	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۱۰	۸	۳	۰/۸۳	۰/۱۰	۰/۰۷	۱	۱

جدول ۱۵. نتایج تأثیر اجرای مدل رگرسیون بر داده های فهرست انتظار پنجم

ردیف	بازه سنی	نوع عمل جراحی	احتمال رخداد مسیر ۱	احتمال رخداد مسیر ۲	احتمال رخداد مسیر ۳	مسیر انتخابی در مدل ارائه شده	مسیر انتخابی در شرایط واقعی
بیمار ۱	۷	۸	۰/۷۸	۰/۲۲	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۲	۷	۹	۰/۹۰	۰/۰۰	۰/۱۰	۱	۱
بیمار ۳	۵	۵	۰/۸۹	۰/۱۱	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۴	۵	۷	۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۵	۵	۸	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۶	۶	۳	۰/۷۷	۰/۰۳	۰/۲۰	۱	۱
بیمار ۷	۹	۳	۰/۴۱	۰/۵۹	۰/۰۰	۲	۱
بیمار ۸	۹	۸	۰/۱۰	۰/۹۰	۰/۰۰	۲	۲
بیمار ۹	۳	۵	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۰۰	۱	۱
بیمار ۱۰	۱	۹	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۹۲	۳	۳

مسیر درمان بیماران را به درستی پیش بینی کند. این موضوع نشان می دهد مدل رگرسیونی پیشنهادی از کارایی بسیار خوبی برای پیش بینی مسیر درمان بیماران برخوردار است. همچنین در حال حاضر، در تمامی مراکز درمانی،

$$RPD = \left| \frac{Estimated Value - Real Value}{Real Value} \right| \quad (31)$$

از آنجا که خروجی اصلی مدل ریاضی این مسئله متغیر Cmax است، محاسبه RPD برای این مسئله نیز از طریق رابطه ۳۲ انجام می‌شود:

$$C \max(RPD) = \left| \frac{Estimated C \max - Real C \max}{Real C \max} \right| \quad (32)$$

بدیهی است RPD های منفی یا صفر، نشان از کارایی بسیار بالای مدل ریاضی در زمان بندی عمل‌های جراحی دارند. جدول‌های ۱۸-۲۲ نتایج حاصل از اجرای مدل ریاضی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیمارانی که در شرایط واقعی زمان بندی شده‌اند، بیشتر منتظر بوده‌اند که این موضوع سبب نارضایتی بیماران شده است و همچنین می‌تواند سبب کاهش بهره‌وری منابع درمانی شود، اما با نگاهی به جدول‌های ۱۸-۲۲ می‌توان دریافت بیمارانی که به کمک مدل ریاضی زمان بندی و برنامه‌ریزی شده‌اند، زمان انتظارشان صفر است. دلیل این اتفاق روابط ۷، ۸ و ۹ هستند که در بخش قبل معرفی شده‌اند. این روابط تضمین می‌کنند که بین دو عملیات متوالی از یک بیمار،

جدول ۱۸. نتایج تأثیر اجرای مدل ریاضی بر داده‌های فهرست انتظار اول

نام	LOS		میزان زمان انتظار در شرایط واقعی (ساعت)
	محاسبه شده توسط مدل ریاضی (ساعت)	میزان زمان انتظار بیمار در مدل ارائه شده (ساعت)	
بیمار ۱	۳۰۴/۶	.	۱۳/۳
بیمار ۲	۳۰۴/۶	.	۳
بیمار ۳	۱۲۵/۹	.	۴/۷
بیمار ۴	۱۵۶/۵	.	۹/۴
بیمار ۵	۱۶۵/۳	.	.
بیمار ۶	۱۴۸/۸	.	.
بیمار ۷	۱۵۱/۱	.	۱/۱
بیمار ۸	۱۶۲/۷	.	۶
بیمار ۹	۱۲۵/۶	.	.
بیمار ۱۰	۱۳۴/۲	.	۲/۳
	Cmax محاسبه شده توسط مدل ریاضی		۳۶۳/۵
	Cmax به دست آمده در شرایط واقعی		۴۰۲/۶
	Cmax (RPD)		-۰/۰۹

تعیین زمان حضور بیماران در بخش‌های مختلف به تفکیک نوع عمل جراحی

از آنجا که زمان حضور بیماران در هر کدام از بخش‌ها ثابت در نظر گرفته شده است، با جمع‌آوری نظر خبرگان، پرستاران و تعدادی از جراحان مرکز قلب تهران و محاسبه میانگین آن‌ها، زمان حضور بیمار در بخش‌های مختلف به تفکیک نوع عمل جراحی به شرح جدول ۱۷ محاسبه شد. واحد همه زمان‌ها به ساعت است.

جدول ۱۷. زمان حضور بیماران در هر یک از بخش‌های بیمارستان به تفکیک نوع عمل جراحی

عمل جراحی	بخش بستری قبل از عمل	بخش اتاق عمل	بخش مراقبت‌های ویژه	بخش بستری بعد از عمل
عمل جراحی نوع ۱	۲۳/۳	۴/۵	۴۹/۳	۸۵/۶
عمل جراحی نوع ۲	۲۱/۶	۴/۲	۴۶/۲	۷۲/۱
عمل جراحی نوع ۳	۲۱	۳/۹	۴۵/۹	۷۸
عمل جراحی نوع ۴	۲۰/۹	۳/۶	۴۳/۸	۶۵/۹
عمل جراحی نوع ۵	۱۸/۸	۳/۷	۴۱/۷	۶۱/۷
عمل جراحی نوع ۶	۱۸/۱	۲/۸	۳۹/۸	۶۲
عمل جراحی نوع ۷	۱۷/۵	۲/۳	۴۲/۴	۶۳/۴
عمل جراحی نوع ۸	۲۶	۵/۳	۴۸/۲	۹۰/۷
عمل جراحی نوع ۹	۲۳/۳	۴/۸	۴۷/۱	۸۱/۳
عمل جراحی نوع ۱۰	۲۴/۶	۵/۱	۴۹/۷	۷۸/۸

اجرای مدل ریاضی و تحلیل نتایج آن

با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده و جدول‌های ۱۶ و ۱۷، نوبت به اجرای مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش می‌رسد. به منظور اجرای مدل ریاضی از نرم‌افزار GAMS 24 استفاده شد. باید توجه داشت که با توجه به پیچیدگی بالای مدل ریاضی ارائه شده، هر کدام از فهرست‌های انتظار به مدت ۱۰۰ هزار ثانیه در نرم‌افزار گمز پردازش شدند تا جوابی مناسب تولید شود. بدیهی برای کاهش زمان محاسبات می‌توان قدرت محاسباتی رایانه را افزایش داد. همچنین می‌توان از الگوریتم‌های ابتکاری یا فراابتکاری نیز استفاده کرد که این موضوع می‌تواند در قالب پژوهشی جدید مطرح شود.

به منظور سنجش کارایی مدل ریاضی پیشنهاد شده از معیار درصد انحراف نسبی^{۲۳} استفاده می‌شود که به صورت رابطه ۳۱ تعریف می‌شود:

جدول ۲۱. نتایج تأثیر اجرای مدل ریاضی بر داده‌های فهرست انتظار چهارم

نام	LOS محاسبه شده		
	میزان زمان انتظار	میزان زمان انتظار در شرایط واقعی	
توسط مدل ریاضی	بیمار در مدل	ارائه شده (ساعت)	
(ساعت)	(ساعت)	(ساعت)	
بیمار ۱	۱۵۶/۵	۰	۱/۳
بیمار ۲	۱۴۸/۸	۰	۹/۷
بیمار ۳	۱۲۵/۹	۰	۸
بیمار ۴	۱۲۲/۷	۰	۱۴
بیمار ۵	۲۸۴/۹	۰	۰
بیمار ۶	۳۰۴/۷	۰	۴/۲
بیمار ۷	۱۶۲/۷	۰	۱/۷
بیمار ۸	۲۱۶/۵	۰	۳/۶
بیمار ۹	۱۲۵/۶	۰	۲/۵
بیمار ۱۰	۱۴۸/۸	۰	۰
Cmax محاسبه شده توسط مدل ریاضی	۳۴۸/۷		
Cmax به دست آمده در شرایط واقعی	۳۹۸/۳		
Cmax (RPD)	-۰/۱۲		

جدول ۲۲. نتایج تأثیر اجرای مدل ریاضی بر داده‌های فهرست انتظار پنجم

نام	LOS محاسبه شده		
	میزان زمان انتظار	میزان زمان انتظار در شرایط واقعی	
توسط مدل ریاضی	بیمار در مدل	ارائه شده (ساعت)	
(ساعت)	(ساعت)	(ساعت)	
بیمار ۱	۱۲۵/۶	۰	۱۸
بیمار ۲	۱۵۶/۵	۰	۱۰/۳
بیمار ۳	۱۲۵/۹	۰	۱/۴
بیمار ۴	۱۲۵/۶	۰	۱/۶
بیمار ۵	۱۷۰/۲	۰	۰
بیمار ۶	۱۴۸/۸	۰	۹/۷
بیمار ۷	۱۹۸/۶	۰	۰
بیمار ۸	۲۲۳/۷	۰	۰
بیمار ۹	۱۲۵/۹	۰	۰
بیمار ۱۰	۳۰۳/۴	۰	۱۱/۹
Cmax محاسبه شده توسط مدل ریاضی	۳۷۳/۲		
Cmax به دست آمده در شرایط واقعی	۴۲۵/۳		
Cmax (RPD)	-۰/۱۲		

همچنین مقایسه مقادیر Cmax در مدل ارائه شده با مقادیر Cmax در شرایط واقعی نشان می‌دهد مدل ارائه شده از کارایی بسیار خوبی برخوردار است. مقادیر منفی به دست آمده برای RPD نیز شاهدهی بر مدعای مطرح شده است.

به هیچ عنوان نباید وقفه‌ای حاصل شود. همین موضوع باعث می‌شود تا زمان انتظار بیماران صفر شود. بدیهی است که این مسئله یکی از نقاط قوت مدل ارائه شده است.

جدول ۱۹. نتایج تأثیر اجرای مدل ریاضی بر داده‌های فهرست انتظار دوم

نام	LOS محاسبه شده		
	میزان زمان انتظار در شرایط واقعی	میزان زمان انتظار بیمار در مدل ارائه شده	
توسط مدل ریاضی (ساعت)	مدل ارائه شده (ساعت)	میزان زمان انتظار در شرایط واقعی (ساعت)	
بیمار ۱	۱۴۸/۸	۰	۳/۴
بیمار ۲	۱۳۴/۲	۰	۰
بیمار ۳	۱۶۲/۷	۰	۱/۸
بیمار ۴	۱۴۴/۱	۰	۰
بیمار ۵	۲۱۶/۵	۰	۰
بیمار ۶	۱۵۴/۵	۰	۸/۶
بیمار ۷	۱۴۴/۱	۰	۱۵
بیمار ۸	۱۴۸/۸	۰	۲/۷
بیمار ۹	۱۴۸/۸	۰	۰
بیمار ۱۰	۱۴۸/۸	۰	۹/۳
Cmax محاسبه شده توسط مدل ریاضی	۲۹۶/۴		
Cmax به دست آمده در شرایط واقعی	۳۵۴/۷		
Cmax (RPD)	-۰/۱۶		

جدول ۲۰. نتایج تأثیر اجرای مدل ریاضی بر داده‌های فهرست انتظار سوم

نام	LOS محاسبه شده		
	میزان زمان انتظار در شرایط واقعی	میزان زمان انتظار بیمار در مدل ارائه شده	
توسط مدل ریاضی (ساعت)	مدل ارائه شده (ساعت)	میزان زمان انتظار در شرایط واقعی (ساعت)	
بیمار ۱	۱۴۸/۸	۰	۰
بیمار ۲	۱۶۲/۷	۰	۰
بیمار ۳	۱۶۲/۷	۰	۶/۵
بیمار ۴	۱۶۲/۷	۰	۱۶
بیمار ۵	۳۰۴/۷	۰	۴/۲
بیمار ۶	۲۷۲/۷	۰	۳/۸
بیمار ۷	۱۶۲/۷	۰	۰
بیمار ۸	۲۲۳/۷	۰	۰
بیمار ۹	۲۱۶/۵	۰	۰
بیمار ۱۰	۱۸۱/۶	۰	۱۹/۳
Cmax محاسبه شده توسط مدل ریاضی	۳۸۹/۴		
Cmax به دست آمده در شرایط واقعی	۴۶۱/۸		
Cmax (RPD)	-۰/۱۵		

نتیجه‌گیری

یکی از کاربردهای اصلی پژوهش عملیاتی در مدیریت نظام‌های سلامت، بهبود مکانیسم تخصیص منابع است. برنامه‌ریزی بلندمدت توسعه نظام سلامت، بودجه‌بندی سالانه و انواع روش‌های زمان‌بندی در بیمارستان‌ها، از جمله کاربردهای پژوهش عملیاتی در سطوح راهبردی (بلندمدت)، فنی (میان‌مدت) و عملیاتی (کوتاه‌مدت) در حوزه سلامت هستند. زمان‌بندی مناسب عمل‌های جراحی در اتاق عمل می‌تواند منجر به کاهش زمان بیکاری، منابع، هزینه‌های اضافه‌کاری کارکنان (جراحان، پرستاران، متخصصین بیهوشی و...) و هزینه‌های ثابت تجهیزات و وسایل اتاق عمل شود. در کنار این دستاوردها، زمان‌بندی مناسب با کاهش زمان انتظار بیماران برای دریافت خدمت و افزایش سرعت خدمت‌رسانی به بیماران اورژانسی، سطح سرویس بالاتری را برای بیماران به ارمغان خواهد آورد.

در این پژوهش ابتدا بیماران یک بخش خاص (جراحی قلب مرکز قلب تهران)، به‌عنوان جمعیت مورد مطالعه انتخاب شدند که اطلاعات مربوط به آن‌ها از سیستم HIS استخراج شد. سپس با توجه به اینکه برنامه‌ریزی بیماران به‌صورت دستی، خطاهای زیادی را به بار می‌آورد و این خطاها می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها، انتظار کشیدن

بیش‌ازحد بیماران و در نتیجه نارضایتی آنان از نحوه ارائه خدمات شود، سعی شد تا مدلی یکپارچه برای زمان‌بندی عمل‌های جراحی طراحی شود تا در نهایت خروجی مورد نظر را با کارایی مطلوبی نتیجه دهد. بدین منظور ابتدا بیمارانی که در فهرست انتظار قرار داشتند انتخاب شدند. سپس با توجه به اطلاعات گذشته و شرایط فعلی بیمار، از طریق یک مدل رگرسیونی مراحل درمان بیمار پیش‌بینی شد. در نهایت با استفاده از یک مدل ریاضی، بیماران زمان‌بندی شدند و زمان درمان کل بیماران موجود در فهرست انتظار، مدت اقامت و زمان انتظار هر کدام از آن‌ها مشخص شد. همچنین بیماران از نوع Elective بودند و از ورود بیماران اورژانسی به مدل ارائه‌شده در این پژوهش صرف‌نظر شد. پس از تعیین خروجی‌های مورد نظر، این داده‌ها با روند برنامه‌ریزی فعلی در شرایط واقعی نیز مورد مقایسه قرار گرفتند. مقایسه نتایج حاصل از مدل رگرسیونی نشان داد که در حدود ۸۴ درصد مواقع، مسیر درمان بیماران به‌درستی پیش‌بینی می‌شود که این درصد نشان از کارایی بالای مدل رگرسیونی ارائه‌شده جهت پیش‌بینی مسیر درمان بیماران دارد. همچنین مقایسه زمان‌های انتظار و زمان درمان کل بیماران در شرایط واقعی و مدل ارائه‌شده حاکی از آن بود که مدل پیشنهادی در این پژوهش، به‌خوبی عمل کرده و از کارایی بسیار خوبی برخوردار است.

منابع

۱. عتیقه‌چیان، آرزو، (۱۳۹۰). «زمان‌بندی عمل‌های جراحی با مدت‌زمان احتمالی»، رساله دکتری رشته مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
2. Guerriero, F., and Guido, R., (2011). "Operational Research in the Management of the Operating Theatre: A Survey", *Health Care Management Science*, Vol. 14, No.1, PP.89-114.
3. Fei, H., Chu, C., and Meskens, N., (2009). "Solving a Tactical Operating Room Planning Problem by a Column-Generation-Based Heuristic Procedure with Four Criteria", *Annals of Operations Research*, Vol. 166, No. 1, PP. 91-108.
4. Testi, A., Tanfani, E., and Torre, G., (2007). "A Three-Phase Approach for Operating Theatre Schedules", *Health Care Management Science*, Vol. 10, No. 2, PP.163-172.
5. Magerlein, J. M., and Martin, J. B., (1978). "Surgical Demand Scheduling: A Review", *Health Services Research*, Vol. 13, No. 4, PP. 418- 433
6. Ogulata, S. N., and Erol, R., (2003). "A Hierarchical Multiple Criteria Mathematical Programming Approach for Scheduling General Surgery Operations in Large Hospitals", *Journal of Medical Systems*, Vol. 27, No. 3, PP. 259-270.
7. Denton, B. T., Rahman, A. S., Nelson, H., and Bailey, A. C., (2006). "Simulation of a Multiple Operating Room Surgical Suite", *In Simulation Conference*, PP. 414-424.
8. Mancilla, C., and Storer, R. H., (2012). "Stochastic Integer Programming Based Algorithms for Adaptable Open Block Surgery Scheduling", *Industrial and System Engineering*.
9. Lee, S., and Yih, Y., (2014). "Reducing Patient-Flow Delays in Surgical Suites Through Determining Start-

- Times of Surgical Cases”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 238, No. 2, PP. 620-629.
10. Bruni, M. E., Beraldi, P., and Conforti, D. (2015). “A Stochastic Programming Approach for Operating Theatre Scheduling Under Uncertainty”, *IMA Journal of Management Mathematics*, Vol. 26, No. 1, PP. 99-119.
11. Bai, M., Storer, R. H., and Tonkay, G. L., (2016). “A Sample Gradient-Based Algorithm for a Multiple-Or and Pacu Surgery Scheduling Problem”, *IIEE Transactions*, Vol. 49, No. 4, PP. 367-380.
12. Bam, M., Denton, B. T., Van Oyen, M. P., and Cowen, M. E., (2017). “Surgery Scheduling with Recovery Resources”, *IIEE Transactions*, Vol. 49, No. 10, PP. 942-955.
13. Wang, J., Guo, H., Bakker, M., and Tsui, K., (2018). “An Integrated Approach for Surgery Scheduling under Uncertainty”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 118, No. 1, PP.1-8.
14. Marques, I., Captivo, E., and Barros, N., (2019). “Optimizing the Master Surgery Schedule in s Private Hospital”, *Operations Research for Health Care*, Vol. 20, No. 1, Pp. 11-24.
۱۵. ناظریانی، محمدرضا، ابراهیم‌نژاد، سعداله و موسوی، سیدامیرحسین. (۱۳۹۴). «حل مسئله برنامه زمان‌بندی اتاق‌های عمل با استفاده از رویکرد کلونی بهینه‌سازی مورچگان»، *اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، مدیریت و حسابداری، تهران*.
16. Eskandari, H., and Bahrami, M. (2017). “Multi-Objective Operating Room Scheduling Using Simulation-Based Optimization”, *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 51, No. 1, PP. 1-13.
17. Barkaoui, K., Dechambre, P., and Hachicha, R., (2002). “Verification and Optimization of an Operating Room Workflow. In System Sciences, HICSS”, *Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on*, PP. 2581-2590.
18. Huschka, T. R., Denton, B. T., Gul, S., and Fowler, J. W. (2007). “Bi-Criteria Evaluation of an Outpatient Procedure Center Via Simulation”, *In Proceedings of the 39th Conference on Winter Simulation: 40 Years! The Best Is Yet To Come*, PP. 1510-1518.
19. Chu, F., and Meskens, N., (2009). “Solving a Tactical Operating Room Planning Problem by a Column-Generation-Based Heuristic Procedure with Four Criteria”, *Annals of Operations Research*, Vol. 166, No.1, PP. 83-91.
20. Min, D., and Yih, Y., (2010). “Scheduling Elective Surgery Under Uncertainty and Downstream Capacity Constraints”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 206, No. 3, PP. 642-652.
21. Niu, Q., Peng, Q., El Mekkawy, T., Tan, Y. Y., Bruant, H., and Bernaerdt, L., (2011). “Performance Analysis of the Operating Room Using Simulation”, *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association*.
22. Saremi, A., Jula, P., Elmekawy, T., and Wang, G. G., (2012). “Appointment Scheduling of Outpatient Surgical Services in a Multistage Operating Room Department”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 141, No. 2, PP. 646-658.
23. Saremi, A., Jula, P., Elmekawy, T., and Wang, G. G., (2014). “Bi-Criteria Appointment Scheduling of Patients with Heterogeneous Service Sequences”, *Expert Systems with Applications*, Vol. 42, No. 8, PP. 4029-4041.
24. Astaraky, D., and Patrick, J., (2015). “A Simulation Based Approximate Dynamic Programming Approach to Multi-Class, Multi-Resource Surgical Scheduling”, *European Journal Of Operational Research*, Vol. 245, No. 1, PP. 309-319.
25. Siqueira, C. L., Arruda, E. F., Bahiense, L., Bahr, G. L., and Motta, G. R. (2016). “Long-Term Integrated Surgery Room Optimization and Recovery Ward Planning, with a Case Study in the Brazilian National Institute of Traumatology and Orthopedics (INTO)”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 264, No. 3, PP. 870-883.
26. Agresti, A., (2002). “Categorical Data Analysis”, *New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.*

واژگان انگلیسی به ترتیب استفاده در متن:

1. Assignment
2. Surgical Cases Assignment Problem
3. Surgical Cases Scheduling Problem
4. Magerlein And Martin
5. Ogulata And Erol
6. Denton Et Al.
7. Mancilla And Storer
8. Lee And Yih
9. Bruni Et Al.
10. Bai Et Al.

11. Bam Et Al.
 12. Wang Et Al.
 13. Marques Et Al
 14. Multinomial Logistic Regression
 15. Pearson Correlation Coefficient
 16. Coronary Artery Bypass Grafting
 17. Aortic Valve Replacement
 18. Mitral Valve Replacement
 19. Tricuspid Valve Replacement
 20. Atrial Septal Defect
 21. Ventricular Septal Defect
 22. Relative Percentage Deviation (RPD)
-