فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هفدهم، شماره ۵۲، بهار ۹۸
صفحات ۸۸-۵۹

طراحی مدل ریاضی به‌منظور برنامه‌ریزی اتاق‌های عمل جراحی در شرایط عدم‌قطعیت (مورد مطالعه: بیمارستان قائم (عج) مشهد)

نسترن گلدانی،[*] زهرا ناجی عظیمی،[**] شمس الدین ناظمی[***]

تاریخ دریافت:۹۵/۱۱/۶- تاریخ پذیرش:۹۶/۱۱/۲۸

چکیده

کنترل و برنامه‌ریزی اتاق‌های عمل جراحی به مسئله مهمی برای مدیران بیمارستان‌ها تبدیل شده است. امروزه، اتاق‌های عمل جراحی به‌عنوان منابع کلیدی بیمارستان‌ها باعث اتلاف زمان زیادی در بخش جراحی می‌شوند. بنابراین زمانبندی مناسب عمل‌های جراحی به‌منظور افزایش کارایی بخش جراحی به موضوع تحقیقاتی مهمی در مراقبت‌های پزشکی تبدیل شده است. در این پژوهش مدل برنامه‌ریزی خطی جدیدی در حوزه تخصیص بیماران به اتاق عمل ارائه گردیده است. اما از آن‌جا که مدت زمان اعمال جراحی عددی تصادفی می‌باشد، در این مقاله علاوه بر مدل قطعی، مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای نیز ارائه شده است. مدل‌های ارائه شده به طور همزمان به بررسی مسأله زمانبندی عمل بیماران و تخصیص آن‌ها به اتاق‌های عمل جراحی می پردازند. هدف از این پژوهش حداقل کردن هزینه تخصیص بیماران به اتاق‌های غیرتخصصی هر نوع عمل و کاهش هزینه زمان بیکاری هر پزشک در هر شیفت‌کاری با در نظر گرفتن محدودیت‌های مساله می‌باشد. دو مدل ارائه شده بوسیله نرم‌افزار *ILOG CPLEX 12.6.1* در محیط نرم‌افزاری *Microsoft Visual Studio* کد شده و برای بخش جراحی بیمارستان قائم (عج) مشهد حل گردید. نتایج حاکی از این است که استفاده از مدل قطعی پیشنهادی میانگین کارایی بخش جراحی بیمارستان را به میزان ٪۳۸,۲۷۵ و همچنین مدل برنامه‌ریزی تصادفی میانگین کارایی بخش را به میزان ٪۸۵,۳۲ افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی اتاق عمل، زمانبندی، تخصیص، مدل برنامه‌ریزی خطی.

---

[*] دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

[**] دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران (نویسنده مسئول)
Znajiazimi@um.ac.ir

[***] استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

مقدمه

بخش جراحی بیشترین تقاضا را در خدمات بیمارستانی دارد، چرا که در حدود ۷۰ درصد پذیرش بیمارستان‌ها، مربوط به عمل جراحی می‌باشد لذا افزایش کارایی اتاق عمل و بهره‌برداری بهینه از ظرفیت اتاق عمل از اهمیت بالایی برخوردار است (کتابی، ۱۳۸۸). این بخش از یک طرف درآمد فراوانی برای بیمارستان‌ها دارد و از طرفی دیگر بیشترین سهم را در هزینه‌های بیمارستانی به خود اختصاص داده است. به حدی که حدود یک سوم از کل هزینه‌های بیمارستانی مربوط به این بخش می‌باشد (ماساریو و همکاران[1]، ۱۹۹۵). همانطور که یک سوم از هزینه‌های بیمارستانی مربوط به بخش جراحی می‌باشد، دو سوم از درآمدها از همان بخش تامین می‌گردد (جکسون[2]، ۲۰۰۲). با در نظر گرفتن این که بودجه بیمارستان‌ها اغلب اوقات ثابت است، هدف مدیریت این است که تعداد افراد درمان شده به حداکثر برسد. بنابراین با ارتقاء کارایی بخش جراحی می‌توان مخارج بیمارستان و درمان بیماران را کاهش داد (تاو و همکاران[3]، ۲۰۱۲).

اتاق عمل و بطور کلی بخش جراحی از حساسیت ویژه‌ای در بیمارستان برخوردار است و بعنوان حیاتی‌ترین بخش در بیمارستان‌ها محسوب می‌شود. بنابراین کوچک‌ترین نقص یا عدم‌رعایت برنامه مشخص و استانداردهای از پیش تعیین شده، سبب بروز مشکلاتی خواهد شد. بنابراین می‌توان اتاق عمل بیمارستان را به موتور بیمارستان تشبیه کرد زیرا که بسیاری از منابع بیمارستان‌ها مثل مدیران برنامه‌ریزی اتاق عمل، جراحان، متخصصین بیهوشی، پرستاران و ... که احتمالا اهداف متفاوت و گه‌گاه متناقض با هم دارند وابسته به اتاق عمل و در نهایت برنامه‌ریزی اتاق عمل هستند (لی، چیو و ونگ[4]، ۲۰۱۱).

در بیمارستان‌ها جراحی‌های متفاوتی صورت می‌گیرد که می‌توان آن‌ها را به دو نوع جراحی بیماران اورژانسی و جراحی بیماران انتخابی تقسیم کرد. در جراحی اورژانسی، بیمار در اثر

---

[1] .Macario et al.
[2] Jackson
[3] .Tao et al
[4] L.iu,Chu & Wang

سوانح غیرمنتظره وارد بیمارستان می‌شود و بلافاصله احتیاج به دریافت خدمت و انجام جراحی دارد در حالی که زمان انجام جراحی انتخابی از قبل مشخص شده و بیمار در زمان تعیین شده وارد بیمارستان می‌شود.

جراحی‌های انتخابی به جراحی‌های سرپایی و جراحی‌هایی که بیماران بعد از آن نیاز به بستری شدن دارند، تقسیم می‌شوند. در جراحی سرپایی، بیمار در همان روز جراحی وارد بیمارستان می‌شود و بعد از انجام عمل جراحی به ریکاوری انتقال داده می‌شود و پس از اتمام مراحل ریکاوری از بیمارستان مرخص می‌گردد. اما، در جراحی بیماران بستری، ابتدا بیمار در بیمارستان پذیرش شده و به آن تخت و اتاقی تخصیص داده می‌شود و بعد از اتمام عمل جراحی و ریکاوری به اتاق مربوطه برگردانده می‌شود تا مابقی مراحل ریکاوری در آن‌جا انجام شود.

سه نوع استراتژی مشهور به منظور زمانبندی عمل‌های جراحی در ادبیات موضوع وجود دارد. این استراتژی‌ها عبارتند از استراتژی زمانبندی باز، استراتژی زمانبندی بلوکی و استراتژی زمانبندی بلوکی اصلاح شده. در استراتژی زمانبندی باز هدف انجام عمل جراحی تمام بیماران در روز مورد نظر می‌باشد. در این روش پزشک بیماران را به بخش جراحی معرفی می‌کند و در آنجا زمانبندی و تخصیص اعمال جراحی به اتاق‌های مختلف عمل صورت می‌گیرد (دنتون و همکاران، ۲۰۰۷). در استراتژی زمانبندی بلوکی، جراحان و گروه‌های جراحی به مجموعه‌ای از بازه‌های زمانی که می‌توانند جراحی‌های خود را تنظیم و زمانبندی کنند، تخصیص داده می‌شوند. جراحان پیشاپیش این بازه‌های زمانی را رزرو می‌کنند و در صورت عدم استفاده، بازه‌های زمانی بلااستفاده باقی می‌مانند. استراتژی زمانبندی بلوکی اصلاح شده ترکیبی از دو استراتژی قبل می‌باشد. به این صورت که ساعاتی از اتاق عمل که توسط جراحان رزرو شده است یا بازه‌های زمانی بلااستفاده آنان را می‌توان به صورت توافقی به دیگر جراحان اختصاص داد. در عمل، زمانبندی بلوکی یا بلوکی اصلاح شده به صورت گسترده‌ای در بیمارستان‌ها استفاده می‌شود (فی و همکاران، ۲۰۰۹).

در این مقاله ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی خطی با فرض ثابت و قطعی بودن تمام شرایط بخش جراحی ارائه می‌شود و سپس با توجه به ماهیت تصادفی طول مدت زمان عمل‌های جراحی و به‌تبع آن زمان شروع اعمال جراحی، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای به‌منظور برنامه‌ریزی بهینه اتاق‌های عمل بخش جراحی بیمارستان قائم (عج) مشهد ارائه می گردد. در بخش جراحی بیمارستان مورد مطالعه اعمال جراحی عمومی، زنان و زایمان، پلاستیک، اعصاب، اورولوژی[1] و ارتوپدی[2] صورت می گیرد. این بیمارستان دارای ۱۲ اتاق عمل می‌باشد که به دلیل عدم وجود برنامه زمانبندی مشخص و عدم‌تخصیص مناسب امکانات و منابع بیمارستانی با مشکلاتی از قبیل نارضایتی بیمار به علت انتظار زیاد و هدر رفتن وقت وی، نارضایتی پرسنل به علت عدم‌آگاهی از عمل‌های یک اتاق و همچنین متعدد بودن عمل‌های بخش مربوطه نسبت به زمان موجود مواجه است.

در برنامه‌ریزی ارائه شده تخصیص جراحی‌ها به یک روز کاری در نظر گرفته می‌شود؛ در نتیجه مدل ارائه شده به سیستم زمانبندی باز تعلق دارد. مدل مذکور به بررسی همزمان مسأله زمانبندی و تخصیص بیماران به اتاق‌های عمل جراحی در یک شیفت‌کاری می‌پردازد. توابع هدف عبارتند از: حداقل کردن هزینه تخصیص بیماران به اتاق‌های غیر تخصصی هر نوع عمل و کاهش هزینه زمان بیکاری هر پزشک در هر شیفت‌کاری. شرایط و محدودیت‌های خاصی برای مساله‌ی مورد مطالعه وجود دارد، که عبارتند از: در نظر گرفتن تعداد محدودی تخت در بخش ICU برای انجام عمل جراحی آن دسته از بیمارانی که بعد از عمل جراحی نیازمند مراقبت‌های ویژه می‌باشند، انجام تمام عمل‌های مورد نظر با توجه به ترتیب مشخص شده از طرف پزشک، عدم تجاوز زمان اتمام عمل‌های جراحی از زمان در دسترس کاری، عدم تداخل زمانی عمل‌های مربوط به یک اتاق عمل جراحی و همچنین عدم تداخل زمانی عمل‌های مربوط به یک پزشک.

---

[1] .Urology
[2] .Orthopedic

پیشینه تحقیق

عتیقه‌چیان و همکاران (۱۳۹۰) مساله‌ی زمانبندی روزانه عمل‌های جراحی را در حالت داشتن منابع چندگانه و با در نظر گرفتن احتمالی بودن مدت زمان عمل‌های جراحی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دو مدل برنامه‌ریزی احتمالی عدد صحیح دو مرحله‌ای را با هدف کمینه کردن کل هزینه مورد انتظار شامل هزینه زمان‌های بیکاری اتاق عمل و زمان‌های اضافه‌کاری ارائه دادند. در این بررسی، برای حل مدل‌های احتمالی روش نوینی براساس الگوریتم ال-شیپ[1] ارائه شد. نتایج نشان دهنده کاهش زمان بیکاری و اضافه‌کاری اتاق‌های عمل در زمانبندی بدست آمده از مدل پیشنهادی است. اکبرزاده، صمیمی و شفایی (۱۳۹۲) مساله زمانبندی اتاق‌های عمل جراحی را در دو مرحله‌ی جراحی و ریکاوری بیماران انتخابی ارائه دادند. آنان مدت زمان عمل جراحی و ریکاوری بیماران را تصادفی در نظر گرفتند و برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب[2] استفاده نمودند. نتایج حل نشان دهنده‌ی توانایی الگوریتم پیشنهادی در ابعاد بزرگ می‌باشد.

باغبانی و همکاران (۱۳۹۲) مساله زمانبندی اتاق‌های عمل جراحی را با رویکرد بیشینه‌سازی ترجیحات پزشکان و مدیریت بیمارستان ارائه دادند. نویسندگان مدل پیشنهادی را تحت قالب یک مساله با استفاده از داده‌های بدست آمده از بیمارستان سعدی اصفهان و با استفاده از نرم افزار لینگو[3] حل کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان سطح اشتغال اتاق‌های عمل از ۸۵ درصد به ۸۷ درصد ارتقا یافته و همچنین میزان تفاوت بین زمان‌های اختصاص داده شده به هر یک از جراحان با تعداد ساعات پر شده ایشان به کمتر از مقدار پیش‌بینی شده رسیده است.

توکلی کاشی و سلماسی (۱۳۹۳) یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط[4] برای تخصیص عمل و روز به اتاق عمل در افق یک هفته با توجه به بیماران لیست انتظار فرموله کردند. آنان همچنین تاثیر دو استراتژی مختلف زمانبندی بلوکی[5] و بلوکی اصلاح شده را برای تخصیص

---

[1] .L-shaped

[2] .Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

[3] .Lingo

[4] Mixed Integer Programming (MIP)

[5] Block strategy scheduling

جراحان به اتاق‌های عمل در برنامه‌ریزی بیماران بررسی کردند. نتایج نشان دهنده این است که در تمامی نمونه‌های بررسی شده، مدل با رویکرد زمانبندی بلوکی اصلاح شده در مقایسه با مدل با رویکرد زمانبندی بلوکی، جواب‌های بهتری تولید می‌کند.

سلیمی‌فرد و همکاران (۱۳۹۳) با تمرکز بر روی برنامه‌ریزی و زمانبندی عمل‌های جراحی به جزییات پیشینه نظری تا آن زمان پرداختند. زمینه‌های توصیفی مورد بررسی در این مقاله عبارتند از: مشخصات بیمار و روش حل مدل. منظور از مشخصات بیمار، بازنگری پیشینه بر اساس بیماران انتخابی و غیرانتخابی می‌باشد و همچنین منظور از روش حل، روش‌های ریاضی برنامه‌ریزی، شبیه‌سازی و روش‌های ابتکاری دستیابی به پاسخ می‌باشد.

نوروزی رسول آبادی و رفیعی (۱۳۹۵) به بررسی مساله برنامه‌ریزی اتاق عمل تحت استراتژی باز پرداختند. آنان در این پژوهش، مدل عدد صحیح مختلطی برای زمانبندی بیماران انتخابی در طول افق زمانی یک هفته، با در نظر گرفتن بخش‌های بالادستی اتاق عمل از جمله ریکاوری و بخش مراقبت‌های ویژه، ارائه دادند. پژوهشگران مدل خود را با استفاده از نرم افزار گمز[1] برای مجموعه‌ای از داده‌های تصادفی تولیدشده، اجرا کردند.

بهرامی و اسکندری (۱۳۹۵) به بررسی مساله‌ی زمانبندی عمل‌های جراحی یکی از بیمارستان‌های دولتی تهران پرداختند. تابع هدف مدل ارائه شده شامل کمینه کردن هزینه‌های سربار و بیشینه کردن جراحی‌های برنامه‌ریزی شده، بوده است. پژوهشگران به منظور حل مدل چند هدفه ارائه شده از الگوریتم *FastPGA* استفاده نمودند و با احتمالی در نظر گرفتن مدت زمان اعمال جراحی و ریکاوری به شبیه‌سازی مدل پرداختند.

آزاده، باقرزاد، حسینی فرحانی و زرین (۲۰۱۵) به بررسی مساله‌ی زمانبندی بیماران آزمایشگاه پاتالوژی[2] تهران پرداختند. آنان به علت وجود محدودیت‌های پیش‌نیازی در آزمایشگاه، مسئله مورد بررسی را به صورت مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط و مسئله زمانبندی ترکیبی کارگاهی شبه‌آنلاین[3] فرموله کردند. آنان برای حل مدل از الگوریتم

---

[1] .Gams

[2] .Pathology

[3] .semi-online hybrid shop scheduling problem

ژنتیک[1] استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن است که در صورت استفاده از روش ارائه شده زمان انتظار بیماران به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش و کارایی آزمایشگاه افزایش یافته است.

در خارج از ایران نیز تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است که در این مقاله به تحقیقاتی که بیشتر مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفته شده است و به‌عنوان تحقیقات پایه‌ای در ادبیات موضوع به حساب می‌آیند، اشاره می‌شود.

آرناس و بیلبائو[2] (۲۰۰۲) با هدف برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی تعداد عمل‌های جراحی بیمارستانی در اسپانیا، سیستم اطلاعاتی بر مبنای مدل برنامه‌ریزی آرمانی توسعه دادند. مهم‌ترین اولویت برنامه‌ریزی در بیمارستان مورد مطالعه، کاهش زمان انتظار بیماران به کمتر از ۶ ماه و تعیین ماکزیمم سطح منابع مورد نیاز بوده است. در اثر استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی طراحی شده زمان انتظار بیماران به ۴ ماه کاهش یافته و ماکزیمم سطح منابع مورد نیاز کاهش یافته است.

دنتون و گاپتا[3] (۲۰۰۳) به‌منظور برنامه‌ریزی اتاق عمل، مدل بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای را ارائه دادند. این مدل شامل هزینه‌های زمان انتظار، زمان بیکاری و زمان دیرکرد بود. پژوهشگران به‌منظور حل مدل از الگوریتم ال-شیپ استفاده نمودند. نتایج حاکی از این است که در صورت استفاده از مدل ارائه شده می‌توان به طور کاراتری از منابع گران بهای بیمارستانی استفاده کرد و هزینه‌های بیمارستانی را کاهش داد.

جبلی، آلوئن و لدت[4] (۲۰۰۶)، زمانبندی عمل‌های جراحی را با فرض معین بودن تاریخ جراحی هر بیمار، طی یک فرایند دو مرحله‌ای ارائه کردند. در مرحله اول، عمل‌های جراحی به اتاق‌های عمل تخصیص داده شده و در مرحله دوم به ترتیب‌دهی[5] عمل‌های جراحی در هر اتاق عمل پرداخته شده است.

---

[1] Genetic Algorithm
[2] Arenas & Bilbao
[3] Denton & Gapata
[4] Jebali, Alouane & Ladet
[5] Sequencing

تستی، تنفانی و تور[1] (۲۰۰۷) به منظور برنامه‌ریزی عمل‌های جراحی بیماران از مساله بسته‌بندی ظروف[2] با رویکرد سه مرحله‌ای و سلسله مراتبی استفاده نمودند. پژوهشگران از نرم افزار شبیه‌سازی ویتنس[3] به منظور زمانبندی و تعیین ترتیب اعمال جراحی استفاده نمودند. در نهایت اجرای این مدل سبب بالارفتن کارایی اتاق عمل و کاهش مدت زمان انتظار بیماران شد.

لامیری، خسی، دوگی و گرومد[4] (۲۰۰۸) مساله زمانبندی اتاق عمل را با در نظر گرفتن بیماران انتخابی و بیماران اورژانسی، به صورت یک برنامه‌ریزی تصادفی مدل‌سازی کردند. بیماران اورژانسی که به طور تصادفی وارد می‌شوند، باید فورا در همان روز سرویس داده شوند. در حالی که عمل بیماران انتخابی می‌تواند با تاخیر برای تاریخ‌های آینده، با در نظر گرفتن هزینه مناسب، برنامه‌ریزی شود. آن‌ها نتیجه گرفتند که غیر قطعی در نظر گرفتن زمان‌ها روی نتایج تاثیر می‌گذارد، و مدل تصادفی نه تنها واقعی‌تر است، بلکه هزینه کل را نیز کمتر می‌کند. آن‌ها بهینه‌سازی تصادفی را با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو حل کردند.

ون استروم و همکاران (۲۰۰۸) به منظور زمانبندی اعمال جراحی یک مدل چرخشی ارائه دادند. در این مدل، اعمال جراحی مشابه که بطور مکرر در طول یک روز انجام می‌شدند، به صورت چرخشی برنامه‌ریزی شدند. آنان مدت زمان اعمال جراحی را احتمالی در نظر گرفتند و به علت مشکل بودن حل مدل‌های تصادفی از روش تولید ستون[5] برای حل مدل استفاده کردند. پژوهشگران در این تحقیق جراحی‌هایی که به ندرت انجام می‌شد و جراحی‌های اضطراری را در نظر نگرفتند. با بکارگیری مدل ارائه شده، استفاده از اتاق عمل به حداکثر رسیده و تقاضای تخت در بیمارستان متعادل شده است.

فام و کلینکرت[6] (۲۰۰۸) از مساله توسعه یافته زمانبندی کارگاهی[7] برای برنامه‌ریزی اعمال جراحی و تخصیص منابع بیمارستان به اعمال جراحی استفاده کردند. آنان یک مورد جراحی

---

[1] .Testi, Tanfani & Torre
[2] .Bin packing problem
[3] .Witness
[4] .Lamiri, Xie, Dolgui & Grimaud
[5] .Column generation approach
[6] Pham & Klinkert
[7] Job shop

را به صورت دنباله‌ای از مراحل عملیاتی که با توجه به مجموعه مشخصی از منابع بیمارستانی انجام می‌شود، در نظر گرفتند. بر طبق جریان بیماران این مراحل تشکیل شده از سه مرحله کلی: قبل از عمل، حین عمل و بعد از عمل می‌باشد. مدل توسعه یافته، توسط برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فرمول‌بندی شده و برای بیماران انتخابی و اورژانسی مورد استفاده قرار گرفت.

کاردون، دیمولستر و بلین[1] (۲۰۰۹)، طبقه‌بندی جامعی در خصوص برنامه‌ریزی و زمانبندی اتاق عمل ارائه کردند و مقالات منتشره تا آن زمان را از چشم‌اندازی متفاوت مورد بررسی قرار دادند. این طبقه‌بندی بر اساس ۷ معیار توصیفی: نوع بیمار، نوع عملکرد، قطعیت و عدم‌قطعیت مساله، نوع تکنیک جواب، نوع آنالیز انجام شده، شرح تصمیمات گرفته شده (زمان، تاریخ، اتاق و ظرفیت)، کاربردی بودن یا نبودن مساله می‌باشد. در این مقاله مروری، بیماران به دو دسته‌ی بیماران انتخابی و بیماران غیرانتخابی تقسیم شدند.

دنتون، میلر، بالاسبارمنن و هوشکا[2] (۲۰۱۰) برای تخصیص جراحی‌ها به اتاق‌های عمل در یک روز به دلیل تصادفی بودن مدت زمان جراحی‌ها، از مدل بهینه‌سازی تصادفی استفاده کردند. تابع هدف در این مدل شامل هزینه ثابت باز کردن اتاق عمل و هزینه متغیر اضافه‌کاری بوده است. در این تحقیق دو مدل بررسی شده است. ۱) برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای[3] ۲) مدل بهینه‌سازی استوار. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل‌های ابتکاری و بهینه‌سازی استوار می‌توانند برای حل این مساله مناسب باشند.

مارکوس، کاپتیو و پیتو[4] (۲۰۱۳) به منظور زمانبندی جراحی بیماران انتخابی در بیمارستان ملی پرتقال یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با هدف حداکثر استفاده از ظرفیت اتاق‌های عمل جراحی و بیشینه کردن تعداد اعمال جراحی ارائه دادند. پژوهشگران به منظور تست مدل بر روی داده‌های واقعی با سایز بزرگ از الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. نتایج نشان داد که

---

[1] Cardoen, Demeulemeester & Belien

[2] Denton, Miller, Balasubramanian & Huschka

[3] Two-stage stochastic programming

[4] Marques, Captivo & Pato

استفاده از روش ارائه شده کیفیت برنامه‌ریزی جراحی بیماران را بالا برده است.

هان گلدبرگ و همکاران[1] (۲۰۱۴) به بررسی مسئله‌ی زمانبندی بیماران سرپایی در یک مرکز شیمی درمانی پرداختند. آنان به منظور به‌روز رسانی برنامه‌ریزی و زمانبندی وقت‌های ملاقات بیماران، زمان‌های ملاقات را به صورت تصادفی در نظر گرفتند و از روش جدیدی مبنی بر ترکیب بهینه‌سازی آنلاین[2] و پرواکتیو[3] استفاده نمودند. با استفاده از این روش عملکرد مرکز شیمی درمانی در مقایسه با عملکرد قبلی مرکز حدود ۲۰٪ بهبود یافت.

لاگرین، فورتین، لاریچی و روسو[4] (۲۰۱۴) با همکاری مرکز درمانی لول برای ارائه بهترین زمانبندی و وقت‌دهی به بیماران، مشخصه‌هایی از قبیل: اولویت درمان، شروع اولین درمان، مدت زمان درمان هر یک از بیماران و بیشترین زمان انتظار آنان را در نظر گرفتند. پژوهشگران با در نظر گرفتن احتمالی بودن زمان ورود بیماران به مرکز درمانی لول، یک مدل ترکیبی از بهینه‌سازی آنلاین و بهینه‌سازی تصادفی ارائه کردند. نتایج این تحقیق حاکی از عملکرد خوب مدل ترکیبی در مثال‌های واقعی می‌باشد.

سادولی، جربی، داماک، مسمودی و بوعزیز[5] (۲۰۱۴) به زمانبندی جراحی بیماران انتخابی در بخش ارتوپدی بیمارستان تونس پرداختند. آنان به منظور انجام بهترین تخصیص بیماران به اتاق‌های عمل جراحی، یک مدل ریاضی با هدف استفاده از تمام اتاق‌های عمل جراحی و کوتاه شدن بازه‌ی کاری ارائه دادند. پژوهشگران با احتمالی در نظر گرفتن مدت زمان جراحی‌ها، یک مدل شبیه‌سازی گسسته برای مقایسه برنامه‌ریزی مدل جدید با برنامه‌ریزی دستی که توسط سرپرستار بخش انجام می‌شد، ارائه کردند. در نهایت با حل چند مثال واقعی نشان دادند که کارایی مدل ارائه شده در مقایسه با برنامه‌ریزی سرپرستار بخش جراحی بیشتر می‌باشد.

---

1. Hahn-Goldberg et al.
2. online optimization
3. Proactive optimization
4. Legrain, Fortin, Lahrichi & Rousseau
5. Saadouli, Jerbi, Dammak, Masmoudi & Bouaziz

گرنجا، امادا–لوبو، جنیلا، سیبرا و مندس[1] (۲۰۱۴) روش شبیه‌سازی بر اساس بهینه‌سازی مساله زمانبندی قرارملاقات‌های بیماران ارائه دادند.آنان از ابزارهای مدل‌سازی و تکنیک‌های شبیه‌سازی در بهینه‌سازی بخش تصویر برداری تشخیصی استفاده کردند. پژوهشگران از الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی برای ترتیب‌دهی بهینه به قرارهای ملاقات استفاده کردند. هدف این بررسی حداقل کردن کل زمان اتمام کار و حداقل کردن زمان انتظار بیماران می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به طور متوسط کل زمان اتمام کار ۵٪ و زمان انتظار بیماران ۳۸٪ کاهش یافته است.

ادیس، کارلو، گروسو و تنفانی[2] (۲۰۱۵) نگرشی برای حل و آزمون مساله برنامه‌ریزی و برنامه‌ریزی مجدد پیشرفته ارائه دادند. آنان به منظور تضمین سطح معینی از کیفیت ارائه شده به بیماران، تابع جریمه‌ای بر اساس زمان انتظار و تاخیر بیمار در نظر گرفتند. پژوهشگران در این مساله مدت زمان عمل جراحی و اضافه شدن بیمار جدید به لیست اعمال جراحی را تصادفی در نظر گرفتند. محققین به منظور حل این مساله از مدل بهینه‌سازی رباست[3] استفاده نمودند و برای برنامه‌ریزی مجدد اعمال جراحی، رویکردی چرخشی در افق زمانی مورد نظر ارائه دادند.

گادیو و کانفورتی[4] (۲۰۱۶) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چند هدفه با هدف برنامه‌ریزی و مدیریت کارای اتاق‌های عمل جراحی ارائه دادند. با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه جدید، مدل طراحی شده می‌تواند ۱) زمان اتاق عمل را به تخصص‌های جراحی تخصیص دهد. ۲) زمان اتاق عمل را به هر یک از تیم‌های جراحی تخصیص دهد. ۳) جراحی‌های پذیرش شده را برنامه‌ریزی کند ۴) زمان انجام جراحی‌ها را برنامه‌ریزی کند. نتایج مرزهای ناشی از پارتو، مجموعه‌ای از راه حل‌های بهینه را ارائه می‌کند که میتوانند به

---

1. Granja, Almada-Lobo, Janela, Seabra & Mendes
2. Addis, Carello, Grosso & Ta`nfani
2. Guido, Conforti
3. Robust

مدیران بیمارستان‌ها برای مدیریت منابع و برنامه‌ریزی جراحان و جراحی‌ها به طور موثر کمک کند.

سیر، دوندر، بیکر استیج و پاسپسی[1] (۲۰۱۵) پرسشنامه‌ای برای درک میزان بار کاری در واحد پرستاری بیماران سرپایی طراحی کردند و به واسطه آن توانستند به چند مدل بهینه‌سازی (تحلیلی توصیفی) دست یابند. مدل‌های ارائه شده از شاخص‌های تندرستی بیمار که از سیستم‌های تجاری طبقه‌بندی بیمار و همچنین میزان بارکاری پرستار که بر اساس نظرسنجی به دست آمده است استفاده می‌کنند. این مدل‌ها بیماران را به طور متوازن به پرستاران بر اساس رتبه به دست آمده از سیستم طبقه‌بندی بیماران تخصیص می‌دهند. نتایج عددی نشان می‌دهد که مدل‌های پیشنهادی به یک تخصیص متوازن دست یافتند و حجم کار ادراکی مبتنی بر نظرسنجی نسبت به تخصیصی که تنها بر اساس رتبه‌های به دست آمده از سیستم‌های طبقه‌بندی بیماران می‌باشد کمتر است.

لارتو-نونز و همکاران[2](۲۰۱۶) به منظور حل مسئله زمانبندی جراحی، مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیحی ارائه دادند که می‌تواند جواب‌های بهینه را برای مسائلی با سایزهای کوچک پیدا کند. پژوهشگران در این مطالعه به طور همزمان اتاق‌های عمل، ریکاوری، منابع مورد نیاز جراحی و احتمال ورود جراحی‌های اورژانسی را در نظر گرفتند. آنان مدل ارائه شده را به برنامه‌ریزی محدودیت‌ها تبدیل کردند و یک الگوریتم فراابتکاری براساس الگوریتم ژنتیک و یک الگوریتم هیورستیک سازنده[3] برای حل مسائل بزرگ ارائه دادند.

مرور تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که هیچ یک از مدل‌ها، شرایط در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر را به‌طور یک‌جا در نظر نگرفته‌اند. به‌عبارت دیگر در هر یک از مقالات تنها بعضی از محدودیت‌ها یا اهداف این تحقیق با توجه به شرایط بیمارستانی که زمانبندی برای آن انجام شده است وجود دارد یا برخی دیگر از محدودیت‌ها با توجه به شرایط مورد مطالعه در تحقیقات دیگر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لذا مدل حاضر با محدودیت‌ها و توابع هدف

---

[1] Sir, Dundar, M. Barker Steege, Pasupathy
[2] Latorre-Núñez et al.
[3] Constructive Heuristic

ذکر شده در بخش ۱-۳ و ۲-۳ برای اولین بار است که در حالت قطعی و نیز برای اولین بار در حالت تصادفی ارائه می‌گردد.

مدل ریاضی مساله:

فرض کنید در مساله مورد بررسی در هر شیفت‌کاری m نشان دهنده تعداد اتاق‌های عمل جراحی و n نشان دهنده تعداد بیمارانی باشد که می‌بایست روی هر کدام از آن‌ها یک عمل جراحی صورت بگیرد. در هر شیفت‌کاری چندین پزشک حضور دارند به‌طوری‌که هر کدام از آن‌ها چندین عمل جراحی در شیفت‌کاری مورد نظر انجام می‌دهند. ترتیب عمل‌های هر پزشک توسط خود پزشک تعیین می‌شود. همچنین اتاق‌های عمل بعد از هر عمل می‌بایست پاکسازی شوند که این پاکسازی به عفونی بودن یا نبودن بیمار وابسته است. هدف از این مدلسازی، انجام بهترین تخصیص بیماران به اتاق‌های عمل است، به‌طوری که هزینه عدم-تخصیص بیماران به اتاق‌های عمل جراحی خاص هر نوع بیماری و هزینه زمان بیکاری پزشکان حداقل شود.

پارامترهای مسئله:

I	مجموعه بیماران (I:1,…,n)
K	مجموعه اتاق‌های عمل (K: 1,…,m)
D	مجموعه پزشکان (D:1,…,d)
q_i	نوع عمل بیمار i ام
k_{q_i}	اگر اتاق عمل جراحی k ام مخصوص نوع عمل q ام باشد برابر ۱، در غیر این صورت برابر صفر است.
I_d	مجموعه بیماران پزشک d ام
I_u	مجموعه بیمارانی که بعد از عمل جراحی نیاز به تخت ICU دارند.
l_i	طول مدت زمان لازم برای عمل جراحی بیمار i ام
C_i	زمان پاکسازی اتاق عمل جراحی که به عفونی بودن یا نبودن بیمار i ام وابسته است.

T	کل زمان موجود برای هر اتاق عمل (شامل زمان موجود در شیفت بعلاوه زمان اضافه کاری)
δ	هزینه عدم‌تخصیص بیماران به اتاق‌های عمل جراحی خاص هر نوع بیماری
ξ	هزینه مدت زمان بیکاری پزشک

متغیرهای مسئله:

t_i	زمان شروع عمل بیمار i ام
x_{ik}	متغیر $x_{ik} = 1$ است اگر بیمار i ام به اتاق k ام تخصیص یابد و در غیر اینصورت $x_{ik} = 0$ است.
y_{ij}^{k}	متغیر $y_{ij}^{k} = 1$ است اگر بیمار i ام بلافاصله قبل از بیمار j ام در اتاق عمل k ام عمل شود و در غیر اینصورت $y_{ij}^{k} = 0$ است.

۱-۳ مدل قطعی

فرض کنید تمام پارامترهای مدل، قطعی باشند و هیچ پارامتر تصادفی در مدل وجود نداشته باشد. در این حالت مدل مساله به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

(۱)
$$: \delta * \frac{1}{n} * \sum_I \sum_K x_{ik}\left(1 - k_{q_i}\right) \ \mathrm{Min}\ Z(x)$$
$$+\xi * \frac{1}{d * T} \sum_{d \in D} \sum_{i \in I_d} (t_i - t_{i-1} - l_{i-1})$$

$$\sum_k x_{ik} = 1 \qquad \forall (i \in I)$$ (۲)

$$y_{ij}^{k} + y_{ji}^{k} \leq \frac{x_{ik} + x_{jk}}{2} \qquad \forall (i.\ j \in I)\ .\ \forall\ (k \in K)$$ (۳)

$$\sum_i y_{ij}^{k} \leq 1 \qquad \forall\ (j \in I)\ .\ \forall (\ k \in K)$$ (۴)

$$\sum_j y_{ij}^{k} \leq 1 \qquad \forall (i \in I)\ .\ \forall\ (k \in K)$$ (۵)

$$\sum_i \sum_j y_{ij}^k = \sum_i x_{ik} - 1 \qquad \forall\,(k \in K)$$ (۶)

$$t_i + l_i + C_i - t_j \leq M(1 - y_{ij}^k) \qquad \forall(i.\ j \in I)\ .\ \forall\,(k \in K)$$ (۷)

$$t_i + l_i + C_i(y_{i,i+1}^k) \leq t_{i+1} \qquad \forall(i \in I_d)\ .\forall(\,k \in K)$$ (۸)

$$t_i + l_i + C_i \leq T \qquad \forall(i \in I)$$ (۹)

$$\sum_{i \in I_u} \sum_k x_{ik} \leq \lambda$$ (۱۰)

$$x_{ik}\ , y_{ij}^k \in \{0,1\} \qquad \forall(i.\ j \in I)\ .\forall(\,k \in K)$$ (۱۱)

$$t_i \geq 0 \qquad \forall(i \in I)$$ (۱۲)

قسمت اول تابع هدف بیانگر به حداقل رساندن هزینه تخصیص عمل به اتاق‌های عمل غیرتخصصی آن نوع خاص عمل می‌باشد، و قسمت دوم تابع هدف هزینه زمان بیکاری هر پزشک را به حداقل می‌رساند.

محدودیت دوم، تخصیص بیمار به اتاق‌های عمل را نشان می‌دهد به طوری‌که هر بیمار فقط به یک اتاق عمل تخصیص یابد.

محدودیت سوم، ترتیب عمل‌های یک اتاق عمل را تعریف می کند، به‌طوری‌که به ازای هر دو عمل مربوط به یک اتاق، یکی می‌بایست قبل از دیگری صورت گیرد. در واقع اگر هر دو بیمار i و j به یک اتاق عمل جراحی بروند، تقسیم جمع مقادیر x_{ik} و x_{jk} بر دو برابر با یک خواهد شد که در این حالت یا y_{ij}^k و یا $\mathrm{y}_{\mathrm{ji}}^{\mathrm{k}}$ برابر یک می‌باشند. در صورتی که تنها یکی از مقادیر x_{ik} و یا x_{jk} برابر با یک و یا هر دو برابر با صفر باشند، آن دو بیمار پشت سر هم وارد یک اتاق نشده‌اند (همچنین این قید ارتباط بین متغیرهای x_{ik} و y_{ij}^k را بر قرار می‌سازد).

محدودیت‌های چهارم، پنجم و ششم مجموعا نشان دهنده این است که جراحی‌ها پشت سر هم و بصورت متوالی انجام می‌شوند و همچنین باعث می‌شود که دور در مسائل مورد بررسی

به‌وجود نیاید. در محدودیت چهارم با فرض ثابت بودن اتاق‌های عمل جراحی و ثابت بودن ورود بیمار به اتاق عمل مواردی ممکن است پیش بیاید که با محدودیت سوم در تناقض باشد. به‌همین جهت محدودیت پنجم به‌منظور رفع تناقض‌هایی که ممکن است بین محدودیت سوم و چهارم پیش بیاید، طراحی شده است. به‌عنوان مثال، فرض کنید سه بیمار ۳ و ۲، ۱ به یک اتاق عمل وارد شوند؛ اگر مطابق با محدودیت چهارم تمام حالت‌های ممکن برای ورود بیماران به یک اتاق عمل را در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$\begin{gathered} y^1_{1.2} + y^1_{1.3} \le 1 \\ y^1_{2.1} + y^1_{2.3} \le 1 \\ y^1_{3.1} + y^1_{3.2} \le 1 \end{gathered}$$

اگر فرض کنیم $y^1_{1.2}$ برابر با یک باشد بنا بر محدودیت سوم $y^1_{2.1}$ برابر با صفر خواهد شد و از معادله دوم $y^1_{2.3}$ می‌تواند برابر با یک شود و همینطور از معادله سوم $y^1_{3.1}$ و $y^1_{3.2}$ هر کدام به‌طور مجزا می‌توانند مقدار یک بگیرند. در صورتی که اگر در این معادله $y^1_{3.2}$ برابر با یک شود محدودیت سوم مدل نقض خواهد شد؛ برای اجتناب از این مورد محدودیت پنجم طراحی شده است، که در این مثال خواهیم داشت:

$$\begin{gathered} y^1_{2.1} + y^1_{3.1} \le 1 \\ y^1_{1.2} + y^1_{3.2} \le 1 \\ y^1_{1.3} + y^1_{2.3} \le 1 \end{gathered}$$

با اعمال این محدودیت اگر $y^1_{1.2}$ برابر با یک شود، $y^1_{3.2}$ دیگر نمی‌تواند مقدار یک داشته باشد. در واقع با اعمال این محدودیت تناقض به وجود آمده بین محدودیت سوم و چهارم از بین می‌رود.

این بار فرض کنید که $y^1_{1.2}$، $y^1_{2.3}$ و $y^1_{3.1}$ از محدودیت چهارم برابر با یک باشد. این مورد هیچ تناقضی با محدویت‌های سوم و پنجم ندارد. اما تنها اشکالی که در این حالت به وجود می‌آید این است که اگر بیمار دو بلافاصله بعد از بیمار یک و بیمار سوم بلافاصله بعد از بیمار دوم به اتاق عمل مورد نظر (اتاق ۱) برود و ۱= $y^1_{3.1}$ باشد یک دور در مساله به وجود می‌آید، برای اجتناب از این موضوع محدودیت ششم طراحی شده است. در محدودیت ششم ترکیب-

های دو تایی از ورود بیماران به یک اتاق عمل انتخاب می‌شود، برای جلوگیری از به وجود آمدن دور تعداد این ترکیب‌ها باید از تعداد بیمارانی که به اتاق مورد نظر (در این مثال اتاق ۱) رفته‌اند به اندازه یک کمتر باشد.

محدودیت هفتم، عدم تداخل زمانی بین دو عمل متوالی در یک اتاق عمل را نشان می‌دهد. به عبارتی اگر عمل بیمار i ام قبل از عمل بیمار j ام باشد، زمان شروع عمل بیمار j ام باید از حاصل جمع زمان شروع عمل بیمار i ام، مدت زمان عمل بیمار i ام و زمان پاکسازی اتاق عمل بیشتر مساوی باشد.

محدودیت هشتم، نشان دهنده این است که، عمل‌های مربوط به یک پزشک نه تنها با هم تداخل نداشته باشند بلکه با توجه به لیست عمل تعیین شده توسط پزشک بصورت متوالی انجام گیرند.

محدودیت نهم، اطمینان می‌دهد که زمان اتمام کار هر عمل باید (شامل زمان شروع عمل + طول زمان عمل + طول زمان پاکسازی) کمتر مساوی کل زمان در دسترس باشد.

محدودیت دهم، نشان دهنده این است که، تعداد عمل‌هایی که بیماران آن نیاز به استفاده از ICU دارند باید کمتر مساوی تعداد تخت‌های موجود در ICU باشد و از ظرفیت موجود در ICU تجاوز نکند.

۲-۳ مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای

از آن‌جا که طول مدت زمان عمل جراحی یک پارامتر تصادفی است و بسته به مهارت پزشک، شرایط بیمار و اتفاقات حین عمل می‌تواند متفاوت باشد بنابراین در واقعیت با یک برنامه‌ریزی تصادفی سر و کار داریم. از آن‌جا که تخصیص بیمار به اتاق عمل غیر تصادفی است و در ابتدای صبح توسط سرپرستار تخصیص صورت می‌گیرد و تنها متغیر t_i یعنی زمان شروع عمل i ام یک متغیر تصادفی است؛ بنابراین با یک مساله برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای سر و کار داریم. برای مدل‌سازی مساله در این حالت فرض می‌کنیم، مجموعه S شامل سناریوهای مختلف برای مدت زمان عمل هر جراحی با توجه به مشاهداتی که از قبل موجود است باشد و $s \in S$ نشان دهنده یک سناریو باشد. در این صورت پارامتر l_i را به

صورت l_i^s برابر با طول مدت زمان لازم برای عمل جراحی بیمار i ام در سناریو s ام تعریف می‌کنیم. همچنین فرض کنیم p^s احتمال مربوط به رخداد سناریو s ام باشد. در این‌صورت متغیرهای تصمیم مرحله اول و دوم به شرح زیر می‌باشند.

متغیرهای مرحله اول (متغیرهای قطعی) شامل x_{ik} و y_{ij}^k می‌باشندکه تعریف آن‌ها مشابه مدل قطعی است.

متغیر تصمیم مرحله دوم (متغیرهای تصادفی) عبارت است از t_i^s، زمان شروع عمل بیمار i ام در سناریو s ام.

در این صورت مدل تصادفی مساله به صورت زیر در می‌آید:

$$\text{Min} \quad Z(x): \quad \delta * \frac{1}{n} * \sum_I \sum_K x_{ik}\left(1-k_{q_i}\right) \quad + \sum_{s\in S} p^s * (\xi * \frac{1}{d*T} \sum_{d\in D} \sum_{i\in I_d} (t_i^s - t_{i-1}^s - l_{i-1}^s)) \qquad (۱۳)$$

$$\sum_k x_{ik} = 1 \qquad \forall (i \in I) \qquad (۱۴)$$

$$y_{ij}^k + y_{ji}^k \le \frac{x_{ik} + x_{jk}}{2} \qquad \forall (i.\ j \in I)\ .\ \forall\ (k \in K) \qquad (۱۵)$$

$$\sum_i y_{ij}^k \le 1 \qquad \forall\ (j \in I)\ .\ \forall (\ k \in K) \qquad (۱۶)$$

$$\sum_j y_{ij}^k \le 1 \qquad \forall (i \in I)\ .\ \forall\ (k \in K) \qquad (۱۷)$$

$$\sum_i \sum_j y_{ij}^k = \sum_i x_{ik} - 1 \qquad \forall\ (k \in K) \qquad (۱۸)$$

$$t_i^s + l_i^s + C_i - t_j^s \le M(1 - y_{ij}^k) \qquad \forall (i.\ j \in I)\ .\ \forall\ (k \in K)\ .\forall (\ s \in S) \qquad (۱۹)$$

$$t_i^s + l_i^s + C_i(y_{i.i+1}^k) \le t_{i+1}^s \qquad \forall (i \in I_d)\ .\forall (\ k \in K)\ .\forall (\ s \in S) \qquad (۲۰)$$

$$t_i^s + l_i^s + C_i \le T \qquad \forall (i \in I)\ .\forall (\ s \in S) \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{i\in I_u} \sum_k x_{ik} \le \lambda \qquad (۲۲)$$

$$x_{ik} \,.\, y_{ij}^{k} \in \{0 \,.\, 1\} \qquad \forall(i.\ j \in I)\,.\,\forall(\,k \in K) \qquad (۲۳)$$

$$t_i^s \geq 0 \qquad \forall(i\ \in I)\,.\,\forall(\,s \in S) \qquad (۲۴)$$

همانطور که در این مدل دیده می‌شود، با توجه به تصادفی بودن متغیر $\boldsymbol{t_i}$ و پارامتر $\boldsymbol{l_i}$، در مدل تصادفی دو مرحله‌ای سناریوهای مختلفی برای مدت زمان اعمال جراحی در نظر گرفته شده است. به همین جهت تنها قسمت دوم تابع هدف مدل تصادفی که شامل مقادیر تصادفی است و به دنبال حداقل شدن احتمال زمان بیکاری پزشک در سناریوهای مختلف می‌باشد، نسبت به تابع هدف مدل قطعی تغییر کرده است. همچنین با توجه به متغیر و پارامتر تصادفی مساله تنها محدودیت‌های متناظر آن‌ها یعنی محدودیت‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۴ نسبت به محدودیت‌های مدل قطعی تغییر کرده‌اند.

یافته‌ها

یافته‌های این پژوهش با اجرای مدل در بخش جراحی بیمارستان قائم (عج) مشهد به‌دست آمده است. این بخش دارای دوازده اتاق عمل جراحی می‌باشد که در آن عمل‌های جراحی عمومی، پلاستیک، زنان و زایمان، اورولوژی، اعصاب و ارتوپدی انجام می‌شود. نحوه فراهم کردن آمار و اطلاعات مورد نیاز از طریق مراجعه به بیمارستان و جمع‌آوری داده‌ها و مصاحبه با پرسنل برنامه‌ریز بخش جراحی بوده است.

تابع هدف طرح شده براساس نظرات تیم تصمیم با هدف حداکثر کردن ترجیحات مدیریت بیمارستان و ذینفعان بخش جراحی بوده است. در واقع هدف مساله حداقل کردن تخصیص بیماران به اتاق‌های غیرتخصصی هر نوع عمل و کاهش زمان بیکاری هر پزشک می‌باشد. با توجه به اینکه ضرایب توابع هدف مطرح شده یکسان نیستند به‌منظور جمع توابع هدف لازم است که آن‌ها را با هم، هم واحد کرد. به همین منظور ابتدا توابع هدف با استفاده از روش تابع مطلوبیت نرمالایز شده و سپس به وسیله ضرایب هزینه در نظر گرفته شده به هزینه تبدیل شدند. از آن‌جا که این هزینه‌ها، هزینه‌های ریالی نیستند و در واقعیت پولی پرداخت نمی‌شود؛

هزینه هر یک از توابع هدف از طریق میانگین‌گیری نظرات خبرگان به‌دست آمده است. جدول ۱ هزینه هر یک از توابع را نشان می‌دهد. ستون اول نشان دهنده هزینه تخصیص بیماران به اتاق‌های عمل جراحی غیرتخصصی هر نوع بیماری (δ) و ستون دوم نشان دهنده هزینه مدت زمان بیکاری پزشکان (ξ) می‌باشد.

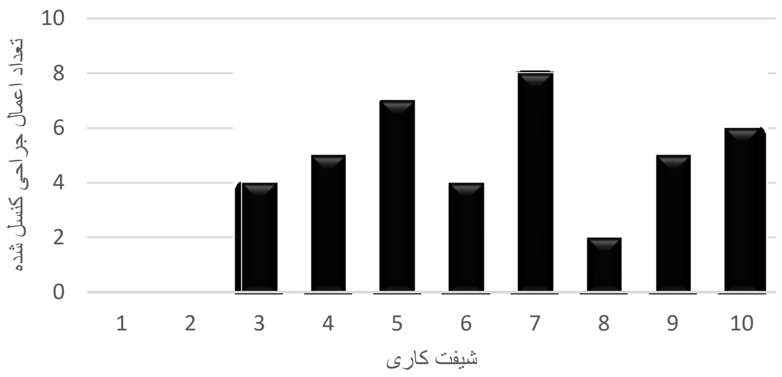
جدول۱. هزینه مربوط به هر یک از توابع

هزینه مدت زمان بیکاری پزشکان (ξ)	**هزینه تخصیص بیماران به اتاق‌های عمل جراحی غیرتخصص هر نوع بیماری (δ)**
۳	۲,۵

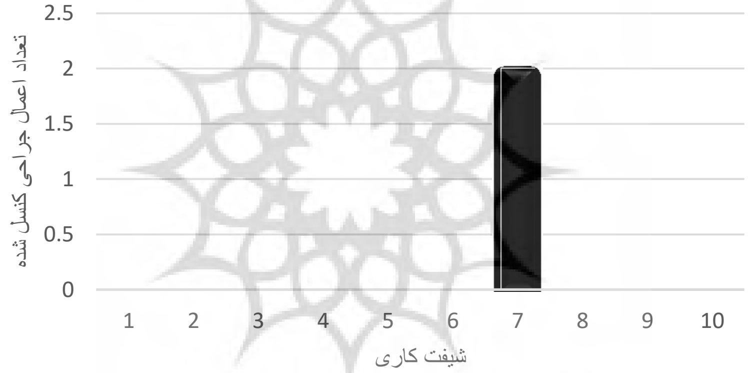
نتایج حل مدل قطعی

در این تحقیق برای مقایسه برنامه‌ریزی زمانبندی و تخصیص اعمال جراحی مدل ارائه شده با برنامه‌ریزی سرپرستار بخش جراحی بیمارستان و همچنین به منظور سنجش اعتبار مدل ارائه شده به بررسی ۲۵۴ عمل جراحی مختلف در ده شیفت کاری در ده روز کاری مختلف پرداخته شد. تمام مثال‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار CPLEX در محیط نرم‌افزاری Microsoft Visual Studio کد شد و جواب بهینه آن‌ها به‌دست آمد.

از آن‌جا که در واقعیت عمل جراحی قرار گرفته در وقت اضافه‌کاری می‌تواند کنسل شود، در اینجا از عبارت عمل کنسل شده برای متحدالشکل شدن شمارش عمل‌های کنسل شده یا انجام شده در وقت اضافه استفاده می‌کنیم. شکل یک نشان دهنده تعداد اعمال جراحی کنسل شده در هر شیفت‌کاری است که توسط سرپرستار بخش جراحی برنامه‌ریزی شده است و شکل دو تعداد اعمال کنسل شده در هر شیفت‌کاری را بر اساس برنامه‌ریزی انجام شده توسط مدل ارائه شده نشان می‌دهد.



شکل ۱. تعداد اعمال جراحی کنسل شده در هر شیفت کاری مطابق با برنامه ریزی سرپرستار



شکل ۲. تعداد اعمال جراحی کنسل شده در هر شیفت کاری مطابق با برنامه ریزی مدل

همانطور که از نمودارها مشخص است با استفاده ازبرنامه‌ریزی مدل ارائه شده تعداد اعمال جراحی کنسل شده از ۵۹ بیمار به ۶ بیمار کاهش یافت. به‌منظور بررسی بیشتر کارایی مدل ارائه شده، جواب حاصل از مدل با جواب برنامه‌ریزی دستی در ده شیفت‌کاری مختلف به شرح جدول زیر مقایسه می‌گردد.

جدول ۲. جواب‌های حاصل از مدل و برنامه ریزی دستی

شماره مساله	تعداد اعمال جراحی	تابع هدف حاصل از مدل	تابع هدف در حالت دستی	میزان بهبود
١	١٩	٠,٢٣٩	٠,٥٧٢٧	٥٨,٢٦٪
٢	٢٢	٠,٦٧٩٧	١,٢٩٥٤	٤٧,٥٢٪
٣	٢٢	٠,٦٧٥	٠,٨١٨١	١٧,٤٩٪
٤	٢٣	٠,٥٢١٣	٠,٧٠٧٤	٢٦,٣٪
٥	٢٤	٠,٥٣٤	٠,٧٥٣٧	٢٩,١٤٪
٦	٢٢	٠,٥٠٤٦	١,٢٨٥٤	٦٠,٧٤٪
٧	٢٤	٠,٥١٦٤	٠,٨٥٤١	٣٩,٥٣٪
٨	٢٢	٠,٥٠١	٠,٧٦٥	٣٤,٥٪
٩	٢١	٠,٦٤٥٨	١,١٢٤٦	٤٢,٥٧٪
١٠	٢٥	٠,٧٠١	٠,٩٥٦٤	٢٦,٧٪

در آخر، کمترین، میانگین و بیشترین میزان بهبود در برنامه‌ریزی مدل ارائه شده نسبت به برنامه‌ریزی دستی سرپرستار بخش جراحی به ترتیب عبارتند از: ۱۷,۴۹٪، ۳۸,۲۷۵٪ و ۶۰,۷۴٪.

در ادامه نمونه‌ای از خروجی برنامه‌ریزی مدل ارائه شده با برنامه‌ریزی دستی سرپرستار بخش جراحی با وجود ۱۰ پزشک و ۲۲ بیمار در یک شیفت‌کاری مقایسه می‌شود. جدول ۲ برنامه‌ریزی دستی اعمال جراحی تهیه شده توسط مسئول مربوطه در یک شیفت‌کاری را نشان می‌دهد. به دلیل حفظ محرمانگی اعداد و حروف جایگزین اسامی بیماران و پزشکان شده است.

جدول ۳. برنامه یک شیفت‌کاری در بخش جراحی بیمارستان قائم (عج)

نوع بیماری	**شماره بیماران**	**نام پزشک**	**شماره اتاق عمل**
ارتوپدی	۱	الف	۱
	۲	الف	۱
	۳	الف	۱
	٤	الف	۱
اورولوژی	۵	ب	۲
	٦	ب	۲
	۷	ب	۲
	۸	پ	۳
مغز و اعصاب	۹	ت	۵
	۱۰	ت	۵
	۱۱	ت	۵
پلاستیک	۱۲	ج	٦
	۱۳	ج	٦
	۱٤	ج	٦
	۱۵	چ	٤
	۱٦	چ	٤
عمومی	۱۷	ح	۷
	۱۸	ح	۷
زنان	۱۹	خ	۹
	۲۰	د	۹
	۲۱	ذ	۸
	۲۲	ذ	۸

جدول ۳ برنامه‌ریزی حاصل از مدل ارائه شده را نشان می‌دهد.

جدول۴. تخصیص بیماران به اتاق‌های عمل جراحی و زمانبندی آن‌ها

نوع بیماری	**شماره بیماران**	**نام پزشک**	**شماره اتاق عمل**	**زمان شروع عمل جراحی (دقیقه)**
ارتوپدی	١	الف	١٠	٠
	٢	الف	١	١٥٠
	٣	الف	١٠	٢٥٠
	٤	الف	١	٤٠٠
اورولوژی	٥	ب	٢	٠
	٦	ب	٢	١٥٠
	٧	ب	٢	٢٢٥
	٨	پ	٢	٣٦٠
مغز و اعصاب	٩	ت	٣	٢٠
	١٠	ت	٧	١٤٠
	١١	ت	٣	٣٢٠
پلاستیک	١٢	ج	٤	٠
	١٣	ج	٥	١٢٠
	١٤	ج	٤	٢٠٠
	١٥	چ	٥	٢٣٠
	١٦	چ	٤	٤١٠
عمومی	١٧	ح	٧	٠
	١٨	ح	٦	١٢٠
زنان	١٩	خ	٨	٠
	٢٠	د	٨	٨٠
	٢١	ذ	٨	١٨٠
	٢٢	ذ	٩	٣٠٠

جواب حاصل از برنامه‌ریزی دستی در این مورد برابر با **۱,۲۹۵۴** و جواب بهینه حاصل از مدل قطعی برابر با **۰,۵۰۴۶** می‌باشد و کارایی برنامه‌ریزی بخش جراحی بیمارستان قائم (عج) به میزان **٪۶۱,۰۴** افزایش یافته است.

نتایج حل مدل تصادفی

به‌منظور بررسی کارایی مدل تصادفی دو مرحله‌ای طراحی شده، برای هر یک از انواع عمل‌های جراحی ده سناریو مختلف از مدت زمان اعمال جراحی در نظر گرفته شد و در نهایت مدل تصادفی حل گردید. لازم به ذکر است که سناریوهای در نظر گرفته شده با توجه به اطلاعات اخذ شده از بخش جراحی مورد مطالعه می‌باشد. جدول ۵ نشان دهنده سناریوها و اعمال جراحی مورد بررسی می‌باشد.

جدول ۵. مدت زمان اعمال جراحی مختلف در سناریوهای متفاوت

شماره سناریو	**عمل جراحی ارتوپدی**	**عمل جراحی اورولوژی**	**عمل جراحی مغز و اعصاب**	**عمل جراحی پلاستیک**	**عمل جراحی عمومی**	**عمل جراحی زنان**
سناریو ۱	٦٠	۱۵	۱۲۰	۹۰	٦٠	۳۰
سناریو ۲	۹۰	۳۰	۱۸۰	۱۰۰	۱۲۰	٦٠
سناریو ۳	۱۵۰	٦٠	۲٤٠	۱۲۰	۱۵۰	۱۲۰
سناریو ٤	۱۲۰	۹۰	۱۵۰	٦٠	۱۳۰	۹۰
سناریو ۵	۱٤٠	۱۲۰	۱۹۰	۱۱۰	۹۰	٤٠
سناریو ٦	۱۸۰	۸۰	۱۱۰	۱٤٠	۱٦٠	۱۱۰
سناریو ۷	۱۰۰	۱٤٠	۱٤٠	٤٠	۱٤٠	۱۳۰
سناریو ۸	۷۰	۱۰۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۰۰	۵۰
سناریو ۹	۱۳۰	٤۵	۱٦٠	۷۰	۱۸۰	۱۰۰
سناریو ۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۲۰۰	۱۳۰	۲۰۰	۱٤٠

در این روش برای سادگی، احتمال وقوع هر سناریو بنا بر تعداد سناریوهای در نظر گرفته شده، ۱/۱۰ منظور شد و در آخر جواب حاصل از حل مدل تصادفی برابر با ۰,۱۳۱۴۱۴ حاصل گردید.

جواب به‌دست آمده از مدل تصادفی دو مرحله‌ای در مقایسه با جواب حاصل از مدل قطعی و برنامه‌ریزی سرپرستار، کارایی بخش جراحی را به میزان ٪۴۷,۶۷ و ٪۸۵,۶۱ افزایش داده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش دو مدل برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای به‌منظور برنامه‌ریزی اعمال جراحی بیمارستان قائم (عج) مشهد ارائه شد. مدل برنامه‌ریزی خطی در حالت قطعی بودن شرایط مسئله و مدل تصادفی با تصادفی در نظر گرفتن مدت زمان اعمال جراحی طراحی گردید. در مدل‌های مورد بررسی به‌طور همزمان به زمانبندی عمل جراحی بیماران و تخصیص آن‌ها به اتاق‌های عمل در یک شیفت‌کاری پرداخته شد. در این مطالعه، عمل‌های جراحی بر اساس لیست مورد نظر پزشک به طور متوالی انجام می‌شوند و تخصیص هر یک از عمل‌های جراحی با در نظر گرفتن حداقل شدن زمان‌های بیکاری پزشک مربوطه و حداکثر شدن انجام عمل‌ها در اتاق‌های تخصصی هر نوع عمل جراحی صورت گرفته است. با استفاده از مدل پیشنهادی، پزشک و پرسنل بخش جراحی بیشترین استفاده را از زمان در دسترس داشتند و بیماران با کمترین زمان انتظار آماده انجام عمل جراحی شدند. مدل‌های ارائه شده در نرم‌افزار *ILOG CPLEX 12.6.1* در محیط نرم افزاری *Microsoft Visual Studio* اجرا و حل گردید. نتایج حاکی از این است که مدل قطعی به طور متوسط کارایی اتاق عمل را به میزان ٪۳۸,۲۷۵ و مدل تصادفی ٪۸۵,۶۱ افزایش داده است.

در واقعیت اکثر مسائل دنیای واقعی شامل برخی از پارامترهای نامعلوم و تصادفی می‌باشند و نمی‌توان تنها با قطعی در نظر گرفتن شرایط مسائل به بررسی و تجزیه و تحلیل آن‌ها پرداخت. در واقع قطعی در نظر گرفتن شرایط باعث می‌شود که بسیاری از تجزیه و تحلیل‌های انجام

شده از واقعیت دور شود و نتوان با اتکاءبه آن‌ها برای آینده برنامه‌ریزی‌های لازم را انجام داد. به‌همین جهت است که در دهه اخیر استفاده از مدل‌های تصادفی در تحقیقات علمی بیشتر دیده می‌شود؛ چرا که به واسطه آن‌ها می‌توان شرایط احتمالی دنیای واقعی را به‌طور مناسبتری تجزیه و تحلیل نمود و تغییرات آینده محیط‌های مورد مطالعه را به طور اثر بخش‌تری بررسی کرد. به همین جهت در مقاله حاضر علاوه بر در نظر گرفتن مدل قطعی به ارائه مدل تصادفی دو مرحله‌ای پرداخته شد تا بتوان شرایط مختلف را در بیمارستان مورد مطالعه بررسی و تجزیه و تحلیل نمود.

در مساله مورد بررسی ترتیب اعمال جراحی توسط پزشک معالج مشخص می‌شود، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی فرض ثابت بودن ترتیب اعمال جراحی برداشته شود و خروجی مدل، ترتیب انجام اعمال جراحی را مشخص کند و در نهایت میزان تغییر در کارائی بخش جراحی محاسبه شود. از آن‌جا که مسئله مورد بررسی در این تحقیق در سایزی است که جواب بهینه آن به‌دست آمد، پیشنهاد می‌شود که از روش‌های متاهیوریستیک[1] برای حل مسائلی با سایز بزرگ گردد.

---

[1] Metaheuristic

منابع

اکبرزاده، ب، صمیمی،ی و شفایی، ر. (۱۳۹۲). برنامه ریزی و توالی عملیات چند مرحله‌ای اتاق عمل با در نظر گرفتن احتمال مواجهه با موارد اضطراری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر، تهران.

باغبانی،م، کتابی، س وعتیقه چیان، آ.(۱۳۹۲، ۱۴ شهریور). *مساله زمانبندی اتاق‌های جراحی با* رویکرد بیشینه‌سازی ترجیحات پزشکان و مدیریت بیمارستان مطالعه موردی :بیمارستان سعدی اصفهان. *اولین کنفرانس ملی حسابداری و میریت*، موسسه بین‌المللی آموزشی و پژوهشی صفاشهر، شیراز.

بهرامی، م و اسکندری، ح. م. (۱۳۹۵). حل مساله زمان‌بندی دوهدفه‌ی اتاق عمل با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و شبیه‌سازی. *کنفرانس بین المللی مدیریت صنعتی*، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

توکلی کاشی،م و سلماسی، ن. (۱۳۹۳، ۱۷ و ۱۸ دی) . زمان بندی اتاق‌های عمل با استفاده از استراتژی زمانبندی بلوکی اصلاح شده با در نظر گرفتن محدودیت‌های تیم جراحی و بخش‌های بعد از عمل .*یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع* ، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

عتیقه‌چیان، آ، سپهری،م.م. (۱۳۹۰) زمانبندی عملهای جراحی با مدت زمان احتمالی. *رساله دکتری*، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

کتابی، س.(۱۳۸۸، ۳۰ الی ۱ خرداد) .مساله زمانبندی اعمال جراحی در بیمارستان‌ها .دومین کنفرانس بین المللی تحقیق در عملیات، ایران، بابلسر.

نوروزی رسول‌آبادی، م و رفیعی، م. (۱۳۹۵). مساله برنامه‌ریزی و زمانبندی اتاق‌های عمل نحن استراتژی باز، با در نظر گرفتن بخش‌های بالا دستی. *دومین کنفرانس مهندسی صنایع و سیستم‌ها*، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

Addis, B., Carello, G., Grosso, A., & Tànfani, E. *(*2016*)*. *Operating room scheduling and rescheduling: a rolling horizon approach.* Flexible Services and Manufacturing Journal*,* 28*(*1-2*)*, 206-232.

Azadeh, A., Baghersad, M., Farahani, M. H., & Zarrin, M. (2015). *Semi-online patient scheduling in pathology laboratories.* Artificial intelligence in medicine, 64(3), 217-226.

Cardeon, b., Demeulemeester, e., & Belien, j. (2009). *Operating room planning and scheduling:A literature review.* European Journal of Operational Research, 201(3), 921–932.

Denton, B., Miller, A., Balasubramanian, H., & Huschka, T. (2010). *Optimal Allocation of Surgery Blocks to Operating Rooms Under Uncertainty.* OPERATIONS RESEARCH, 58(4), 802-816.

Granja, C., Almada-Lobo, B., Janela, F., Seabra, J., & Mendes, A. (2014). *An optimization based on simulation approach to the patient admission scheduling problem using a linear programing algorithm.* Journal of biomedical informatics, 52, 427-437.

Guido, R., & Conforti, D. (2016). *A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem*. Computers & Operations Research, 87, 270-282.

Hahn-Goldberg, S., Carter, M. W., Beck, J. C., Trudeau, M., Sousa, P., & Beattie, K. (2014). *Dynamic optimization of chemotherapy outpatient scheduling with uncertainty.* Health care management science, 17(4), 379-392.

Jebbli, A., Alouane, A., & Ladet, P. (2006). *Operating rooms scheduling.* International Journal of Production Economics, 99, 52-62.

Lamiri, M., Xie, X., Dolgui, A., & Grimaud, F. (2008). *A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery.* European Journal of Operational Research, 185, 1026-1037.

Latorre-Núñez, G., Lüer-Villagra, A., Marianov, V., Obreque, C., Ramis, F., & Neriz, L. (2016). *Scheduling operating rooms with consideration of all resources, post anesthesia beds and emergency surgeries.* Computers & Industrial Engineering, 97, 248-257.

Legrain, A., Fortin, M. A., Lahrichi, N., & Rousseau, L. M. (2015). *Online stochastic optimization of radiotherapy patient scheduling.* Health care management science, 18(2), 110-123.

Marques, I., Captivo, M. E., & Pato, M. V. (2014). *Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic*. Operations Research for Health Care, 3(2), 59-72.

Pham, D.-N., & Klinkert, A. (2008). *Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem.* European Journal of Operational Research, 185, 1011-1025.

Saadouli, H., Jerbi, B., Dammak, A., Masmoudi, L., & Bouaziz, A. (2015). *A stochastic optimization and simulation approach for scheduling operating rooms and recovery beds in an orthopedic surgery department.* Computers & Industrial Engineering, 80, 72-79.

Sir, M. Y., Dundar, B., Steege, L. M. B., & Pasupathy, K. S. (2015). *Nurse–patient assignment models considering patient acuity metrics and nurses' perceived workload.* Journal of biomedical informatics, 55, 237-248.

Testi, A., Tanfani, E., & Torre, G. (2007). *A three-phase approach for operating theatre schedules*. Health Care Manage Sci(1), 163-172.

Van-Oostrum, J., Van Houdenhoven, M., Hurink, J., Hans, E., Wullink, G., & Kazemier, G. (2008). *A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments*. OR Spectrum, 30, 355–374.