Industrial Management Journal

Print ISSN: 2008-5885

Online ISSN: 2423-5369

Determining the Optimal Surgical Case-Mix and Capacity Assignment for Surgical Services in Hospitals Using Simulated Annealing

Aida Sadat Sajadi
MSc., Department of Industrial Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: sajadi.aidasadat@gmail.com

Saeedeh Ketabi
*Corresponding author, Associate Prof., Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: sketabi@ase.ui.ac.ir

Arezoo Atighehchian
Assistant Prof., Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: a.atighehchian@ase.ui.ac.ir

Abstract

Objective: As a crucial industry, the health system needs both managerial and clinical knowledge to solve its problems. This research studies the strategic planning and capacity allocation in operating rooms considering planning and block scheduling strategies. And then, a combined model for determining the optimal case-mix planning and allocating capacity to surgical services is developed as a stochastic optimal programming to face with the uncertain demand for surgery. The purpose of this model is to minimize undesirable deviations including unsatisfied demand, services overutilization and inactive operating rooms.

Methods: Because the problem is NP-hard in nature, determining the exact solution for real cases will be difficult exponentially. Therefore, a meta-heuristic simulated annealing algorithm is proposed. The results of the mathematical model using GAMS (COINBONMIN) and simulated annealing method, using MATLAB have been compared.

Results: The samples have been extracted from a Canadian hospital with 9 surgical services, 110 surgeries, 16 operating rooms and 220 beds. To decrease the number of variables and solve the mathematic model, only a few services, surgeries and operating rooms have been selected. The number of operating rooms not underutilization as studied by both methods for all samples is zero – the optimal. The difference between the optimal values of the objective function obtained from the stochastic goal programming and the simulated annealing method for the samples lies within the range of [0/05, 0/6].

Conclusion: A stochastic goal programming model has been proposed to determine the number and composition of surgical operations and allocate capacity to surgical services with regard to uncertain demand. The idea of the proposed model is that by changing the number and composition of surgical cases, undesirable deviations can be minimized.

Keywords: Capacity allocation problem, Case-mix problem, Operational room strategic planning, Simulated annealing algorithm, Stochastic goal programming.

Citation: Sajadi, A.S., Ketabi, S., Atighehchian, A. (2018). Determining the Optimal Surgical Case-Mix and Capacity Assignment for Surgical Services in Hospitals Using Simulated Annealing. *Industrial Management Journal*, 10(4), 631-650. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2018, Vol. 10, No.4, pp. 631-650

DOI: 10.22059/imj.2018.255149.1007413

Received: May 26, 2018; Accepted: September 29, 2018

© Faculty of Management, University of Tehran

فصلنامه مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۵۸۸۵
شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۵۳۶۹

تعیین آمیخته بیماران و تخصیص ظرفیت به سرویس‌های جراحی در بیمارستان‌ها به‌کمک شبیه‌سازی تبرید

آیدا سادات سجادی
کارشناس ارشد، مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: sajadi.aidasadat@gmail.com

سعیده کتابی
* نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: sketabi@ase.ui.ac.ir

آرزو عتیقه‌چیان
استادیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: a.atighehchian@ase.ui.ac.ir

چکیده

هدف: نظام سلامت یکی از بزرگ‌ترین صنعت‌ها به‌شمار می‌رود و برای حل مشکلات آن، به تلفیقی از دانش و مهارت‌های مدیریتی و بالینی نیاز است. در این پژوهش، مسئله برنامه‌ریزی استراتژیک و تخصیص ظرفیت اتاق‌های عمل با در نظر گرفتن استراتژی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی بلوکی مطالعه شده است و یک مدل تلفیقی برای تعیین آمیخته بهینه جراحی‌ها و تخصیص ظرفیت به سرویس‌های جراحی به‌صورت برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی برای مقابله با عدم قطعیت در تقاضای هر عمل ارائه شده است. هدف مدل حداقل کردن انحراف‌های نامطلوب شامل تقاضای برآورده نشده، اضافه‌کاری سرویس‌ها و بیکاری اتاق‌های عمل تخصیص یافته، است.

روش: به‌دلیل NP-hard بودن مسئله، دستیابی به جواب دقیق با بزرگ شدن ابعاد آن به‌صورت نمایی مشکل است. برای این منظور، الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید پیشنهاد شده است. نتایج مدل ریاضی به‌کمک نرم‌افزار GAMS با حل‌کننده COINBONMIN و روش شبیه‌سازی تبرید توسط نرم‌افزار متلب R2017a با یکدیگر مقایسه شده است.

یافته‌ها: مثال‌های ارائه شده، از اطلاعات بخش اتاق عمل بیمارستانی در کانادا با ۹ سرویس جراحی، ۱۱۰ عمل جراحی، ۱۶ اتاق عمل و ۲۲۰ تخت بستری استخراج شده است. برای کاهش تعداد متغیرهای تصمیم و قابل حل بودن مدل ریاضی، برای هر مثال، سرویس‌ها و جراحی‌های اندک با اتاق‌های عمل محدودی انتخاب شد. مجموع بیکاری اتاق‌های عمل تخصیص‌یافته در همه مثال‌ها و در هر دو روش برابر با مقدار ایده‌آل صفر بوده است. اختلاف میان مقادیر تابع بهینه هدف به‌دست آمده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در مثال‌های ارائه شده در بازه [۰/۰۵،۰/۶] قرار دارد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی برای برنامه‌ریزی و تعیین تعداد و ترکیب بهینه جراحی‌ها و تخصیص ظرفیت به سرویس‌های جراحی با در نظر گرفتن تقاضای غیرقطعی ارائه شده است. ایده مدل پیشنهاد شده آن است که با تغییر تعداد و ترکیب موارد جراحی، می‌توان انحراف‌های نامطلوب را کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: مسئله تخصیص ظرفیت، مسئله تعیین آمیخته بیماران، برنامه‌ریزی استراتژیک اتاق عمل، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی.

استناد: سجادی، آیدا سادات؛ کتابی، سعیده؛ عتیقه‌چیان، آرزو (۱۳۹۷). تعیین آمیخته بیماران و تخصیص ظرفیت به سرویس‌های جراحی در بیمارستان‌ها به‌کمک شبیه‌سازی تبرید. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۰(۴)، ۶۳۱- ۶۵۰.

فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۳۹۷، دوره ۱۰، شماره ۴، صص. ۶۳۱- ۶۵۰
DOI: 10.22059/imj.2018.255149.1007413
دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

نظام سلامت یکی از بزرگ‌ترین صنعت‌هاست که برای حل مشکلات خود به تلفیقی از دانش و مهارت‌های مدیریتی و بالینی نیاز دارد. یکی از مسائل اصلی در این حوزه، برنامه‌ریزی اتاق عمل است که حدود یک سوم کل هزینه‌ها و دو سوم درآمد بیمارستان‌ها را دربردارد (رزمی، یوسفی و براتی[1]، ۲۰۱۵). برنامه‌ریزی اتاق عمل یکی از مهم‌ترین تصمیم‌های استراتژیک مدیران بخش جراحی است که می‌توان با صرف هزینه اندک و به‌کارگیری ابزارهای صحیح مدیریت و برنامه‌ریزی، به اهداف متفاوت بیمارستان، کارکنان درمانی و بیماران دست یافت و نقشه راه این واحد درمانی را ترسیم کرد. این پژوهش به تعیین آمیخته بیماران و تخصیص ظرفیت اتاق‌های عمل به سرویس‌های جراحی می‌پردازد. آمیخته بیماران[2]، سیستمی برای گروه‌بندی و توصیف انواع بیماران بستری (بیمارانی که چند روزی را در بیمارستان سپری می‌کنند) است (فینلیسون، ریمر، دهل، استارگاردتر و مک گون[3]، ۲۰۰۹). این مفهوم معرف ترکیب انتخاب شده انواع بیماران هر جراح (نظیر جراحی) و تعداد آنها برای یک دوره زمانی است. مسئله تخصیص منابع را می‌توان از این دریچه نگاه کرد: «تعیین کدام یک از موارد و به چه میزان، توسط چه کسی و با چه هزینه‌ای؟»؛ از این رو شبیه به مسئله آمیخته محصول در صنعت است که تصمیم‌گیرندگان باید ترکیب بهینه محصولات یا خدمات لازم، برای رسیدن به سود داده شده یا هزینه هدف را تعیین کنند. برای مدل‌سازی این پژوهش از برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی استفاده شده است. برنامه‌ریزی آرمانی شکل خاصی از برنامه‌ریزی خطی است و امکان ایجاد تعادل میان چندین هدف را فراهم می‌کند (پن[4]، ۲۰۱۴). از سوی دیگر، برنامه‌ریزی تصادفی به‌دنبال یافتن جواب بهینه برای مسائلی با داده‌های غیرقطعی است. به‌طور کلی عدم قطعیت در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل شامل تصادفی بودن مدت زمان فعالیت، تصادفی بودن منابع در دسترس، احتمال لغو شدن جراحی یا ورود بیماران اضطراری است (ریزه، مانینو و بیورک[5]، ۲۰۱۶)؛ اما به‌طور خاص در مسئله تعیین آمیخته بیماران، تقاضای تغییرپذیری در عرضه و تقاضای منابع و عدم قطعیت در ضرایب تابع هدف، به‌مثابهٔ عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شوند (هاف، فوجنر، اسکانفدر و برونر[6]، ۲۰۱۵). در این پژوهش میزان تقاضا برای جراحی‌ها غیرقطعی در نظر گرفته شده است. هدف مدل، حداقل کردن انحرافات نامطلوب است. در این پژوهش تجهیزات مربوط به هر سرویس جراحی، در اتاق یا اتاق‌های خاصی تعبیه شده و هر سرویس جراحی تنها در آن اتاق یا اتاق‌ها قادر به انجام جراحی است. از آنجا که مسئله برنامه‌ریزی تعیین آمیخته جراحی‌ها، صورت کلی از مسئله کوله‌پشتی با متغیرهای صحیح است، در گروه مسائل «غیر چندجمله‌ای سخت»[7] قرار می‌گیرد؛ در نتیجه دستیابی به جواب دقیق مسئله با بزرگ‌شدن ابعاد آن به‌صورت نمایی مشکل خواهد بود (هاف و همکاران، ۲۰۱۵). به این منظور روش فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید پیشنهاد شده است.

هدف این مطالعه، ارائه مدل کاربردی در برنامه‌ریزی بلندمدت اتاق‌های عمل و روش عملیاتی برای تخصیص ظرفیت به سرویس‌های جراحی هم‌زمان با تعیین تعداد عمل‌های منتخب برای آنهاست. در این مقاله پس از بررسی

1. Razmi, Yousefi, & Barati
2. Case-Mix Group
3. Finlayson, Reimer, Dahl, Stargardter & McGowan
4. Penn
5. Riise, Mannino & Burke
6. Hof, Fügener, Schoenfelder & Brunner
7. Np-hard

پیشینه نظری و تجربی پژوهش، به بحث دربارهٔ روش‌شناسی پژوهش، شامل مدل ریاضی مسئله و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهاد شده پرداخته می‌شود؛ سپس یافته‌های پژوهش ارائه شده و در نهایت نتایج و پیشنهادها تشریح می‌شوند.

پیشینه نظری پژوهش

برنامه‌ریزی به معنای «فرایند تطبیق عرضه و تقاضا» است؛ در حالی که زمان‌بندی یعنی ساخت جدول زمانی دقیق که نشان می‌دهد یک کار باید در چه زمان یا تاریخی آغاز شده و پایان یابد (کاردوئن، دمولمیستر و بلین[1]، ۲۰۱۰). زمان‌بندی از نظر زمان انجام، به دو گروه آنلاین و آفلاین دسته‌بندی می‌شود (رضائی و باقری، ۱۳۹۳). برخی مطالعات میان زمان‌بندی پیشین[2] و زمان‌بندی تخصیص[3] نیز تمایز قائل شده‌اند (دوما و آرینقیر[4]، ۲۰۱۵). تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی در این حوزه به سه سطح طبقه‌بندی می‌شود؛ در سطح نخست (سطح استراتژیک) به تخصیص زمان اتاق عمل میان تخصص‌های جراحی از طریق یافتن ترکیب کارآمدی از جراحی‌ها با افق برنامه‌ریزی یک تا دو سال و بر اساس داده‌های تاریخی و (یا) پیش‌بینی تقاضا پرداخته می‌شود. در سطح تاکتیکی که زمان‌بندی اصلی جراحی (MSS) نیز نامیده می‌شود، جدولی ترسیم شده و در آن برای چند هفته تا یک سال، تعداد و نوع اتاق‌های عمل در دسترس، زمان آزاد اتاق‌های عمل و اینکه جراحان به کدامیک از زمان‌های اتاق عمل تخصیص داده شوند، مشخص می‌شود. سطح عملیاتی، به تخصیص بیمار به اتاق عمل و تعیین توالی بیماران می‌پردازد (گویدو و کونفورتی[5]، ۲۰۱۷). به اعتقاد عابدینی، یی و لی[6] (۲۰۱۶)، مرحله برنامه‌ریزی اتاق عمل (سطح استراتژیک) مهم‌ترین مرحله است؛ زیرا محدودیت‌های مربوط به دو مرحله بعد را تنظیم می‌کند.

سه استراتژی برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی جراحی به‌کار می‌رود. در استراتژی زمان‌بندی بلوکی، بلوک‌های اتاق عمل برای جراحان یا تخصص‌های جراحی از قبل و برای یک دوره رزرو می‌شود (بوگرا، ساوی و سوئر[7]، ۲۰۱۵؛ آدیس، کارلو، گروسو و تانفانی[8]، ۲۰۱۵)؛ اما در استراتژی زمان‌بندی باز، جراحان می‌توانند هر روز کاری را برای هر بیمار انتخاب کنند. استراتژی زمان‌بندی بلوکی اصلاح شده، موجب انعطاف‌پذیری در استراتژی زمان‌بندی بلوکی می‌شود (فی، مسکنز و چو[9]، ۲۰۱۰).

بیماران نیز به دو گروه بیماران انتخابی و غیرانتخابی دسته‌بندی می‌شوند. بیماران انتخابی یا در فهرست انتظار قرار دارند یا دارای پذیرش برنامه‌ریزی شده هستند (گویدو و کونفورتی، ۲۰۱۷) که خود به دو دسته بیماران بستری و بیماران سرپایی طبقه‌بندی می‌شوند. اقدامات مربوط به بیماران سرپایی در یک روز به پایان می‌رسد، در حالی که بیماران بستری چند روزی را در بیمارستان سپری می‌کنند (تورهان و بیلگن[10]، ۲۰۱۷). بیماران غیرانتخابی نیز به دو گروه بیماران اورژانسی و فوری دسته‌بندی می‌شوند. بیمار اورژانسی باید در عرض ۲ ساعت از تصمیم به جراحی، عمل شوند، در حالی که بیمار فوری چند ساعت برای عمل فرصت دارد (گوریرو و گویدو[11]، ۲۰۱۱).

1. Cardoen, Demeulemeester & Beliën
2. Advance Scheduling
3. Allocation Scheduling
4. Duma & Aringhieri
5. Guido & Conforti
6. Abedini, Ye & Li
7. Bouguerra, Sauvey & Sauer
8. Addis, Carello, Grosso & Ta`nfani
9. Fei, Meskens & Chu
10. Turhan & Bilgen
11. Guerriero & Guido

مسئله تخصیص ظرفیت[1] عبارت است از تعیین مقرون به صرفه منابع لازم و یافتن تخصیص بهینه از ظرفیت منابع و امکانات موجود برای برآورده کردن هر تقاضا (کائو، گائو و لی[2]، ۲۰۱۲). ظرفیت اتاق عمل معمولاً به سه بخش منابع فیزیکی (شامل تعداد اتاق‌های عمل و تجهیزات آن)، منابع انسانی (شامل جراحان، متخصصان بیهوشی و پرستاران) و زمان در دسترس (شامل تصمیم‌گیری بلندمدت برای مدت زمان کاری روزانه اتاق عمل و تصمیم‌گیری میان‌مدت برای مدت زمان بلوک‌ها) دسته‌بندی می‌شود (چوی و ویلهلم[3]، ۲۰۱۴). ظرفیت ناکافی می‌تواند موجب کاهش کیفیت خدمات درمانی ارائه شده توسط بیمارستان شود و این موضوع بر اهمیت برنامه‌ریزی ظرفیت اشاره می‌کند (بای، هسو و کریشنان[4]، ۲۰۰۸).

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، نوعی روش فراابتکاری و جست‌وجوگر همسایگی است که در بهینه‌سازی مسائل گسسته، کاربرد گسترده‌ای دارد. در این روش بر خلاف روش‌های جست‌وجوی معمولی، در هر تکرار علاوه بر حرکت به سوی جواب بهتر، جواب‌های با مقدار تابع هدف بدتر را نیز با احتمال غیر صفری قبول می‌کند. این احتمال ابتدا بزرگ است و ضمن اجرای روش متناسب با پارامتر دما، کاهش می‌یابد. در نتیجه این روش از لحاظ نظری با غلبه بر بهینگی موضعی، قادر به یافتن جواب بهینه مطلق نیز خواهد بود. کیفیت جواب نهایی این الگوریتم وابستگی زیادی به پارامترهایش دارد. پارامترهای این الگوریتم عبارت‌اند از: جواب اولیه به‌منزلهٔ نقطه آغاز، دمای اولیه تابع توزیع بولتزمن (T_0)، استراتژی خنک‌سازی سیستم و شرایط توقف. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در بودجه‌بندی سرمایه و زمان‌بندی پروژه با منابع محدود، کاربرد گسترده‌ای دارد (رضایی نیک و مولوی، ۱۳۹۴).

پیشینه تجربی

کاردوئن و همکاران (۲۰۱۰) و سامودرا و همکاران[5] (۲۰۱۶) به مطالعه مروری برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل پرداختند و هاف و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه مروری خود را در سطح استراتژیک آن و با تمرکز بر تعیین آمیخته بیماران انجام دادند. در ادامه به برخی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه برنامه‌ریزی و تعیین آمیخته بیماران اشاره شده است.

کاتبی، ارشدی و دنیوی (۱۳۹۶) به برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته چندهدفه برای تخصیص بهینه منابع بیمارستانی به فرایندهای درمانی بیماران پرداختند. توابع هدف مدل آنان، شامل متعادل‌سازی بار کاری منابع انسانی، کمینه‌سازی بیشترین زمان اقامت بیماران و افزایش تعداد بیماران معالجه شده است. آنان سطح مهارت افراد و سطح بیماری مراجعه‌کنندگان، سطح تحمل انتظار بیماران و شیفت‌های کاری مختلف را در مدل خود لحاظ کردند.

مین و ییه[6] (۲۰۱۰) مسئله برنامه‌ریزی بیماران را با اولویت‌های متفاوتی در نظر گرفتند که برای جراحی‌های انتخابی در یک مرکز جراحی با ظرفیت محدود برنامه‌ریزی شده است. هنگامی که ظرفیت در دسترس است، بیمارانی که اولویت بیشتری دارند، از فهرست انتظار انتخاب شده و در برنامه قرار می‌گیرند. برای حل این مسئله یک مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی ارائه شده است.

1. Capacity allocation problem
2. Cao, Gao & Li
3. Choi & Wilhelm
4. Bai, Hsu & Krishnan
5. Samudra & et. al
6. Min & Yih

ما، بلین، دمولمیستر و ونگ[1] (۲۰۱۱) روشی برای حل مسئله تعیین آمیخته جراحی‌ها در بخش مراقبت‌های بهداشتی با هدف حداکثر کردن سود بیمارستان تحت ظرفیت منابع معین، ارائه کردند. آنها یک مدل ریاضی برای ایجاد الگوی بهینه از آمیخته جراحی‌ها و یک طرح تخصیص منابع مرتبط ارائه دادند و برای حل مدل، دو روش دقیق برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و الگوریتم شاخه ـ قیمت را توسعه دادند.

ما و دمولمیستر[2] (۲۰۱۳) برای مسئله برنامه‌ریزی، نوعی رویکرد یکپارچه چندسطحی ارائه کردند که بر اساس مدل‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی و تحلیل شبیه‌سازی است و شامل سه مرحله برنامه‌ریزی آمیخته جراحی‌ها، مرحله زمان‌بندی اصلی جراحی و مرحله ارزیابی عملکرد عملیاتی می‌شود.

یاهیا، التاویل و هراز[3] (۲۰۱۵) به تعیین بهینه آمیخته بیماران با عمل‌های احتمالی برای یک واحد جراحی پرداختند. برای رسیدن به این برنامه بهینه، یک مدل بهینه‌سازی تصادفی ارائه شده و برای کاربرد آن در عمل، روش تقریب میانگین نمونه[4] پیشنهاد شده است. معیار انتخاب آمیخته بهینه، امتیازدهی وزن‌دار تک معیاره بر اساس میزان تقاضای هر گروه بیمار است. گادیر و لگراین[5] (۲۰۱۵) نیز به زمان‌بندی فرایندهای جراحی در یک بخش جراحی شامل دو اتاق عمل و دو جراح، پرداختند. ابتدا به حل نسخه قطعی با استفاده از برنامه‌نویسی محدودیت پرداختند، سپس با استفاده از طرح تقریب میانگین نمونه، نسخه تصادفی را که دربرگیرنده نسخه قبلی بود، حل کردند.

جبالی و دیابت[6] (۲۰۱۷) به برنامه‌ریزی اتاق عمل با محدودیت‌های احتمالی و با در نظر گرفتن بیماران انتخابی و اورژانسی، تحت محدودیت‌های ظرفیتی پایین‌دستی پرداختند و یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای با محدودیت‌های شانس ارائه کردند که در آن مدت زمان عمل، مدت زمان انتظار در ICU و ظرفیت منابع اختصاص داده شده برای موارد اورژانسی، تصادفی در نظر گرفته شده است. برای حل مدل، الگوریتم تقریب میانگین نمونه توسعه داده شده است.

کروئر، فاورسکو، ویلهلمزن، هانسن و لارزن[7] (۲۰۱۸) به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق‌های عمل برای بیماران انتخابی و اورژانسی با زمان غیرقطعی پرداختند و این محدودیت را در نظر گرفتند که باید هر عمل با توجه به راهنمای بالینی خود به یک اتاق عمل خاص و برای یک زمان خاص، زمان‌بندی شود.

در زمینه تخصیص ظرفیت نیز می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد:

چوی و ویلهلم (۲۰۱۴) به تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی ظرفیت و تخصیص روزهای اتاق عمل به تخصص‌های جراحی با هدف حداقل کردن مجموع هزینه‌های مورد انتظار به‌دلیل وجود جریمه برای هر بیماری که جایگزین نمی‌شود، بیکاری یا اضافه‌کاری اتاق عمل پرداختند و یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی تصادفی ارائه کردند.

حسینی و تاف[8] (۲۰۱۵) به‌منظور تعیین نیازهای واقعی اتاق عمل برای هر گروه از بیماران، از تقاضای متغیر استفاده کرده و الگوریتمی برای تخصیص زمان اتاق عمل بر اساس تقاضای متنوع و در نظر گرفتن اضافه‌کاری و کم‌کاری ارائه دادند. این الگوریتم در موقعیتی به جواب می‌رسد که محدودیت ظرفیت وجود نداشته باشد.

---

1. Ma, Beliën, Demeulemeester & Wang
2. Ma & Demeulemeester
3. Yahia, Eltawil & Harraz
4. Sample Average Approximation
5. Gauthier & Legrain
6. Jebali & Diabat
7. Kroer, Foverskov, Vilhelmsen, Hansen & Larsen
8. Hosseini & Taaffe

لی، ژانگ، کونگ و لولی[1] (۲۰۱۶) مسئله برنامه‌ریزی ظرفیتِ شبکه‌های مراقبت طولانی‌مدت را که برای معلولان، سالمندان و سیاست‌گذاران بخش درمان با اهمیت است، بررسی کردند. این بیماران نیازمند مراقبت‌های طولانی‌مدت بوده و میان مجموعه‌های مختلفی (خانه سالمندان و منزل و ...) جابه‌جا می‌شوند. این بیماران با استفاده از یک شبکه جابه‌جایی باز[2] و تدوین برنامه‌ریزی ظرفیت موردنیاز برای ارائه خدمات بلندمدت، مدل‌سازی شده‌اند.

در ادامه به برخی پژوهش‌های انجام شده با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی و الگوریتم‌های فراابتکاری اشاره می‌شود.

بریت[3] (۲۰۱۵) یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی احتمالی برای زمان‌بندی جراحی انتخابی با وجود عدم قطعیت در مدت زمان عمل و مدت زمان بستری ارائه کرده است. این پژوهش مدل زمان‌بندی جراحی اصلی (MSS) را توسعه داده و در آن تیم‌های جراحی را در بلوک‌های اتاق عمل زمان‌بندی می‌کند. همچنین وی یک رویکرد فراابتکاری شبیه‌سازی تبریدی برای یافتن جواب‌های نزدیک بهینه توسعه داده است؛ اما محمودیان، کتابی و عتیقه‌چیان (۱۳۹۷) از برنامه‌ریزی آرمانی در سطح بعدی استفاده کردند و یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی با متغیرهای صحیح برای زمان‌بندی بلوکی اتاق‌های عمل ارائه دادند که در آن، زمان بستری بیماران تصادفی است. هدف زمان‌بندی اصلی جراحی، کمینه‌کردن هزینهٔ واحدهای مراقبت پایین‌دستی است.

در برخی پژوهش‌ها نیز، برای حل مسائل مربوط به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل، از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مبتنی بر روش‌های ابتکاری (تورهان و بیلگن، ۲۰۱۷)، الگوریتم ابتکاری ژنتیک (لاتور- نونز و همکاران[4]، ۲۰۱۶؛ گویدو و کونفورتی، ۲۰۱۶)، الگوریتم فراابتکاری دو مرحله‌ای (آرینقری، لاندا، سوریانو، تانفانی و تستی[5]، ۲۰۱۵) و رویکرد ترکیبی فراابتکاری الگوریتم کلونی مورچگان و شبیه‌سازی مونت کارلو (ایمانی و ایمانلو، ۱۳۹۵) استفاده شده است.

در سال‌های اخیر، محققان بر مسئله زمان‌بندی اتاق عمل با افق زمانی میان‌مدت و کوتاه‌مدت تمرکز کرده‌اند (برای مثال اسکندری و بهرامی، ۱۳۹۶؛ کامران، کریمی و دلارت[6]، ۲۰۱۸) و توجه کمی به مسئله برنامه‌ریزی در سطح بلندمدت و استراتژیک داشته‌اند؛ در صورتی که برنامه‌ریزی بلندمدت پیش‌نیاز و ورودی سایر مراحل است و بدون اصلاح و بهبود مرحله اول، بهبود کاربردی مراحل بعد دچار مشکل می‌شود. در این مقاله به برنامه‌ریزی بلندمدت بیماران و تخصیص ظرفیت اتاق‌های عمل که در مجموعه برنامه‌ریزی استراتژیک قرار دارد، پرداخته شده است. همچنین استفاده از الگوریتم ابتکاری شبیه‌سازی تبرید برای برنامه‌ریزی در سایر حوزه‌ها با ابعاد بزرگ موفق بوده است (برای مثال دای، اقلان، گائو و ژو[7]، ۲۰۱۹؛ منین و بانچ[8]، ۲۰۱۸؛ سلیمی فرد، قاسمیه و پاسبان[9]، ۲۰۱۷)، از این رو برای برنامه‌ریزی ظرفیت اتاق عمل که برای بیمارستان‌های بزرگ مشکل و از مرتبه نمایی بر حسب متغیرهای تصمیم است، به‌کار گرفته می‌شود. در این مقاله ضمن تلفیق دو مسئله تخصیص ظرفیت به‌طور هم‌زمان با تعیین آمیخته بیماران، مدل ریاضی جدید و مناسبی برای آن معرفی شده است. با بررسی ساختار مدل، استفاده از روش شبیه‌سازی تبرید خاصی برای حل آن در نظر گرفته شده که تا کنون در این زمینه به‌کار نرفته است.

1. Li, Zhang, Kong & Lawley
2. Open Migration Network
3. Britt
4. Latorre-Núñez & et. al
5. Aringhieri, Landa, Soriano, Ta`nfani & Testi
6. Kamran, Karimi & Dellaert
7. Dai, Aqlan, Gao & Zhou
8. Menin & Bauch
9. Salimifard, Ghasemiyeh & Pasban

روش‌شناسی پژوهش

در این مقاله که از لحاظ هدف کاربردی است، به توسعه مدل ریاضی برای یکی از مسائل تصمیم‌گیری استراتژیک در بیمارستان‌ها پرداخته شده است. محدودیت‌های مدل، برای توصیف شرایط واقعی حاکم بر بخش اتاق عمل در اغلب بیمارستان‌ها نوشته می‌شود. داده‌های لازم برای مدل، از سیستم اطلاعاتی یکی از بیمارستان‌های کانادا در سال ۲۰۱۴، استخراج شده است. نتایج مد نظر، به‌صورت تحلیلی و با حل مدل از طریق بهینه‌سازی به‌دست می‌آید.

مدل ریاضی

در این پژوهش هم‌زمان به تعیین آمیخته جراحی و تخصیص بلوک‌های اتاق عمل به هر سرویس جراحی پرداخته شده است. برای این منظور یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی با تقاضای غیرقطعی معرفی شده است که نمادهای آن به شرح زیر است.

$i \in I$: جراحی‌ها

$s \in S$: سرویس‌های جراحی

$r \in R$: اتاق‌های عمل

T_i: متوسط زمان عمل جراحی

CC_i: وزن و اهمیت چندمعیاره عمل جراحی

$\tilde{A}_{is}$: تقاضای غیرقطعی هر عمل در هر سرویس

LOS_i: متوسط زمان اقامت در بخش برای عمل

AR_{rs}: اتاق عمل در دسترس برای هر سرویس

M_{is}: حداکثر تقاضا عمل در هر سرویس در سال

BB: تعداد کل تخت‌ها

DW: تعداد روزهای کاری در هفته

DM: زمان کاری روزانه

x_{is}: تعداد عمل نوع i از سرویس s (درهفته)

y_{rs}: تعداد بلوک‌های تخصیص‌یافته از اتاق عمل r به سرویس s (در هفته)

B_s: تعداد تخت تخصیص‌یافته به سرویس s

dn_s/dp_s: انحراف مثبت/ منفی از زمان در دسترس اتاق‌های عمل تخصیصی به سرویس s (اضافه‌کاری/ بیکاری سرویس s)

ddn_s/ddp_s: انحراف مثبت/ منفی بیکاری اتاق عمل از زمان یک بلوک (میزان بیکاری اتاق‌های عمل بیشتر/کمتر از زمان یک بلوک)

fn_{is}/fp_{is}: انحراف مثبت/ منفی میزان عمل i از مقدار تقاضای آن در سرویس s (انجام عمل بیشتر/ کمتر از مقدار تقاضای غیرقطعی)

هدف پژوهش، حداقل کردن مجموع وزن‌دار سه آرمان نامطلوب بدین شرح است: اضافه‌کاری هر سرویس جراحی (dp_s)، بیکاری اتاق‌های عمل تخصیص‌یافته (ddp_s)، تقاضای برآورده نشده (fn_{is}). آرمان‌های اول و دوم دارای وزن‌های w_1 و w_2 هستند که این مقادیر باید طبق نظر مدیر اتاق عمل تعیین شود. برای وزن‌دهی به اهداف بالادستی، مثل کاهش بیکاری اتاق‌ها یا کاهش اضافه‌کاری اتاق‌ها، از نظر مدیر و تصمیم‌گیرنده بهره برده شده است؛ زیرا اهمیت آنها وابسته به سیاست و خط‌مشی بیمارستان و به‌طور خاص مدیر بخش اتاق‌های عمل است. آرمان سوم دارای ضریب عمل CC_i است و به جراحی‌های با اهمیت بیشتر، وزن بیشتری تعلق می‌گیرد. به‌منظور وزن‌دهی به جراحی‌ها از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس استفاده شده است. معیارهای مثبت، شامل متوسط درجه فوریت، متوسط تقاضا و درآمد و معیارهای منفی شامل متوسط زمان کل عمل، متوسط زمان مراقبت بعد از بیهوشی، متوسط زمان بخش ویژه، متوسط زمان انتظار و متوسط زمان بستری در بخش است. امتیازهای نزدیکی نسبی CC_i که با روش تاپسیس محاسبه می‌شود، به‌عنوان وزن‌های تمام جراحی‌ها در نظر گرفته می‌شوند. قسمتی از اطلاعات ماتریس تصمیم و میزان نزدیکی نسبی محاسبه شده نظیر تعدادی از جراحی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. قسمتی از ماتریس تصمیم‌گیری برای تعیین وزن جراحی‌ها

کد عمل جراحی	متوسط زمان کل عمل	متوسط زمان مراقبت بعد از بیهوشی	متوسط زمان بخش ویژه	متوسط زمان انتظار	متوسط درجه فوریت	متوسط تقاضا	درآمد	متوسط زمان بستری در بخش	اندازه نزدیکی نسبی CC_i
۰۰۷	۹۷/۲۶۷	۵۶/۲۴۴	۳۱/۸۸۹	۱۸/۴۹۸	۱۷/۰۶۶	۰/۸۶۵۳	۱۳۶۴۶	۵/۸۴	۰/۴۲۹۸
۰۰۸	۱۰۱/۷۱۴	۷۸/۷۱۴۲۸	۱۷/۳۵۷	۱۸/۹۵۰۶	۹/۴۶۴۲	۰/۵۳۸۴	۷۹۹۹	۴/۶۶۷	۰/۲۲/۸۶
۰۱۲	۱۰۷	۴۴/۹۰۹۰۹	۱۱/۸۱۸۱	۲۳/۸۰۷۹	۱۵/۳۶۳۶	۰/۲۱۱۵	۶۶۷۸	۳	۰/۱۸۱۵
۰۲۶	۲۴/۲۵	۰	۱	۱۸/۲۸۷۲	۱	۰/۰۷۶۹	۷۸۴۸	۸/۶	۰/۲۲۳۲
....	...	....	...	...	...	...	...	...	...
۸۱۰	۳۱/۲۵	۱۴/۲۵	۲/۷۵	۱۵/۷۵۳۲	۱۰۵	۰/۰۸	۸۹۸۶	۹/۳۳۶	۰/۲۶۳۸
۸۱۱	۶۰/۷۷۸	۴۱/۳۳	۱۰/۴۴	۲۲/۴۸۷۵	۸/۲۲۲	۰/۱۷۳	۵۴۱۸	۳/۷	۰/۱۳۶۶

p_1 و p_2 به بی‌مقیاس‌سازی آرمان‌ها از طریق تقسیم مقادیر به‌دست آمده برای انحرافات غیرمطلوب آرمان‌ها بر حداکثر مقدار ممکن آنها می‌پردازند (سجادی، ۱۳۹۶). مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی به شرح است:

رابطه ۱) $$\min z = \sum_s p_{1_s} * (w_1 * dp_s + w_2 * ddp_s) + \sum_i \sum_s p_{2_{is}} * cc_i * fn_{is}$$

Subject to.

$$\sum_i t_i x_{is} + dn_s - dp_s = DM * \sum_r y_{rs} \quad s\epsilon S$$ رابطه ۲)

$$\sum_{s|AR_{rs}=1} y_{rs} \le DW \qquad r\epsilon R$$ رابطه ۳)

$$y_{rs} = 0 \qquad r\epsilon R\,, s\epsilon S\,, AR_{rs} = 0$$ رابطه ۴)

$$X_{is} + fn_{is} - fp_{is} = \tilde{A}_{is} \qquad i\epsilon I, s\epsilon S$$ رابطه ۵)

$$X_{is} \le M_{i.s} \qquad i\epsilon I\,, s\epsilon S$$ رابطه ۶)

$$dn_s + ddn_s - ddp_s = DM \qquad s\epsilon S$$ رابطه ۷)

$$\sum_i LOS_i * X_{is} \le 7B_s \qquad s\epsilon S$$ رابطه ۸)

$$\sum_s B_s \le BB$$ رابطه ۹)

$$X_{is}\,, y_{rs}\epsilon\,\{0\,, 1\}$$ رابطه ۱۰)

$$B_s, dp_s, dn_s, ddp_s, ddn_s, fp_{is}, fn_{is} \ge 0$$ رابطه ۱۱)

رابطه ۲ سعی در کنترل حداکثر زمان تخصیص‌یافته به هر سرویس (s) را دارد. رابطه ۳ تضمین می‌کند که تعداد بلوک‌های تخصیص‌یافته از هر اتاق عمل، بیشتر از ظرفیت موجود نشود. شرط $(s\text{ا}AR_{r,s} = 1)$ و رابطه ۴ نشان می‌دهد که تجهیزات مربوط به هر سرویس جراحی، در اتاق‌های عمل خاصی تعبیه شده‌اند و هر سرویس تنها به اتاق‌های خاصی برای جراحی تخصیص داده شده است. رابطه ۵ میزان انحراف از تقاضاهای غیرقطعی را به ازای جراحی‌های مختلف در سرویس‌های جراحی مختلف تعیین می‌کند. رابطه ۶ حد بالایی برای تعیین آمیخته جراحی است. رابطه ۷ تضمین می‌کند که میزان بیکاری مجموع اتاق‌های عمل تخصیص‌یافته به هر سرویس جراحی، از زمان یک بلوک فراتر نرود و تا حد ممکن بیکاری اتاق‌های عمل تخصیص داده شده به هر سرویس جراحی محدود به زمان یک بلوک جراحی شود. به این ترتیب از تخصیص بلوک اضافه به هر سرویس جراحی جلوگیری می‌شود. رابطه ۸ حداکثر تخت‌های قابل تخصیص به هر سرویس جراحی و رابطه ۹ کل تخت‌های در دسترس در بخش جراحی را کنترل می‌کند. پس از حل مدل به‌منظور دستیابی به حداقل جواب‌های ممکن، لازم است میزان نیاز به منبع تخت بر حسب تخت ـ روز محاسبه شود. وجود جواب چندگانه امکان انجام این تعدیل را فراهم کرده است. مدل تصادفی عدد صحیح فوق، برای موارد واقعی بزرگ با حجم بالای داده‌ها قادر به ارائه جواب در زمان معقول نیست و روش سناریوسازی برای حل آن روی پردازنده‌های خارجی انجام شده است (سجادی، ۱۳۹۶). به همین دلیل در این مقاله از الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید استفاده می‌شود.

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی

همان گونه که بیان شد، از آنجا که مدل تلفیقی پیشنهاد شده جزء مسائل Np-hard است، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای مسائل بزرگ ارائه می‌شود. داده‌های لازم برای این مسئله شامل میزان تقاضای هر عمل در هر سرویس جراحی، حداکثر تقاضای هر عمل در هر سرویس، متوسط زمان جراحی‌ها، متوسط زمان اقامت در بخش، وزن جراحی‌ها، اتاق‌های در دسترس برای هر سرویس جراحی و جواب اولیه است. پارامترهای مسئله نیز، حداکثر تکرار حلقه خارجی (MaxIt1)، حداکثر تکرار حلقه داخلی (MaxIt2)، دمای اولیه (T_0) و نرخ خنک‌سازی دما (alpha) هستند.

ساخت و ارزیابی جواب اولیه

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای شروع به یک جواب اولیه نیاز دارد. در این مطالعه برای استخراج مثال‌های محتمل تقاضای جراحی، از داده‌های سال ۲۰۱۴ بخش اتاق عمل بیمارستانی در کانادا استفاده شده است. میزان جراحی‌های یکی از هفته‌ها به‌عنوان جواب اولیه انتخاب شد. جراحی‌های مختلف، از سرویس‌های مختلف در قالب ماتریس تعداد جراحی‌ها (D) مرتب شدند. عناصر این بردار برابر با میزان تقاضای جراحی‌ها در سرویس‌های مختلف است که به همان ترتیب مرتب شده‌اند. شماره عمل و شماره سرویس هر یک از این عناصر مشخص شده است. بخشی از یک نمونه ماتریس تعداد جراحی‌ها (D) همراه با شماره عمل و شماره سرویس مربوطه در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. قسمتی از ماتریس جواب تعداد جراحی‌ها (D)

شماره عمل	۱	۲	۳	۱	۲	۳
شماره سرویس	۱	۱	۱	۲	۲	۲
تعداد جراحی‌ها	۲	۵	۰	۰	۲	۷

پس از ایجاد جواب اولیه، حداقل تعداد بلوک لازم برای هر سرویس جراحی، بر اساس کل مدت زمان عمل هر سرویس جراحی محاسبه می‌شود. به‌منظور تخصیص بلوک‌های اتاق عمل به سرویس‌های جراحی، از ماتریسی استفاده می‌شود که سطرهای آن، اتاق‌های عمل و ستون‌های آن، سرویس‌های جراحی است. سیاست تخصیص بلوک به هر سرویس این است که ابتدا اتاق‌های عمل غیرمشترک و سپس اتاق‌های عمل مشترک میان سرویس‌ها تخصیص می‌یابد. تخصیص بلوک‌ها در حلقه‌ای صورت می‌گیرد که شرط ادامه آن، برابر نبودن کل بلوک تخصیصی با کل بلوک لازم است ابتدا اتاق عملی که سرویس (s) می‌تواند در آن عمل انجام دهد، تعیین می‌شود. بعد از آن باید به ازای هر یک از عناصر، سه شرط زیر برقرار باشد تا تخصیص بلوک صورت گیرد:

۱. کل بلوک تخصیصی به هر سرویس کمتر از کل بلوک لازم برای هر سرویس جراحی باشد. این کار از طریق جمع ستونی اتاق‌های مختلف به ازای هر سرویس انجام می‌گیرد.
۲. کل بلوک‌های تخصیصی از هر اتاق عمل به سرویس‌های جراحی مختلف کمتر از کل بلوک‌های یک هفته باشد. این کار از طریق جمع سطری سرویس‌های مختلف به ازای هر اتاق عمل انجام می‌گیرد.
۳. شرط سوم مربوط به تخصیص اتاق‌های عمل غیرمشترک است که هر اتاق عمل تنها مربوط به یک سرویس

جراحی باشد و این کار از طریق جمع سطری ماتریس صفر و یک اتاق‌های در دسترس برای هر سرویس انجام می‌گیرد. اگر جمع سطری این ماتریس برای هر اتاق عمل برابر با ۱ باشد، تخصیص انجام شده و یک واحد به بلوک‌های تخصیص یافته اضافه می‌شود. در صورتی که بلوک کافی به هر سرویس تخصیص نیابد، وارد حلقه دیگری برای تخصیص بلوک‌های مشترک شده و باید دو شرط اول بیان شده در تخصیص بلوک‌های غیرمشترک برقرار باشد تا تخصیص بلوک مشترک انجام گیرد. این حلقه تا جایی ادامه می‌یابد که حداقل بلوک لازم برای هر سرویس با کل بلوک تخصیص یافته به هر سرویس برابر نباشد. پس از محاسبه میزان اضافه‌کاری هر سرویس، سرویس‌ها به‌ترتیب نزولی اضافه‌کاری مرتب شده و اگر بلوک خالی خاص هر سرویس موجود باشد، یک بلوک بیشتر به آن سرویس تخصیص‌یافته و اضافه‌کاری آن صفر می‌شود (در این پژوهش $w_1 > w_2$). اولویت تخصیص بلوک بیشتر با سرویسی است که بیشترین اضافه‌کاری را داشته باشد. انحرافات مثبت و منفی، تعداد تخت ـ روز برای هر سرویس و تابع هدف، محاسبه شده و وارد حلقه اصلی الگوریتم می‌شود.

حلقه اصلی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و تولید همسایه

در حلقه اصلی دو حلقه خارجی و داخلی وجود دارد. حلقه خارجی به تعداد MaxIt1 و حلقه داخلی به اندازه MaxIt2 تکرار می‌شوند. تعداد تکرار حلقه‌های داخلی و خارجی و مقدار دمای اولیه با چند بار اجرای برنامه برای چند مثال حل و به‌صورت دقیق، تعیین شده است. برای تولید جواب همسایگی، یکی از عناصر ماتریس تعداد جراحی‌ها (D) به‌طور تصادفی انتخاب شده (ix) و شماره عمل جراحی و شماره سرویس جراحی متناظر با آن تعیین می‌شود. انتخاب عنصر تصادفی در حلقه داخلی انجام می‌گیرد. احتمال انتخاب جراحی‌ها در تمام سرویس‌ها با هم برابر است. بر اساس شماره عمل و شماره سرویس عنصر انتخابی، مقدار حداکثر تقاضای آن عنصر در سال (M_{is}) به‌دست می‌آید. مقدار عنصر انتخاب شده (ix) به‌صورت تصادفی در بازه صفر تا حداکثر تقاضا (M_{is}) تغییر کرده و مقدار جدید، جایگزین مقدار قبلی در ماتریس تعداد جراحی‌ها (D) می‌شود. اگر کل تعداد تخت ـ روز لازم، کوچک‌تر مساوی کل تعداد تخت ـ روز در دسترس باشد، مقادیر جدید محاسبه شده در «جواب جدید» ذخیره می‌شود. چنانچه جوابی پیدا نشود که مقدار تخت ـ روز را نقض نکند، بعد از ۵۰۰ بار تولید جواب همسایگی امکان‌ناپذیر، عملیات این قسمت قطع می‌شود. سپس تعداد بلوک هر سرویس جراحی، تعداد تخت ـ روز هر سرویس جراحی، انحراف‌های مثبت و منفی و میزان تابع هدف برای جواب جدید، محاسبه می‌شود. شرط جایگزینی جواب همسایه جدید به جای جواب فعلی، برقراری هم‌زمان سه شرط است: ۱. بهبود تابع هدف، ۲. کوچک‌تر مساوی بودن تعداد کل تخت ـ روز لازم از کل تخت ـ روز در دسترس و ۳. کوچک‌تر مساوی بودن کل بلوک‌های تخصیص یافته از کل بلوک‌های در دسترس. اگر جواب همسایه جدید نتواند جایگزین جواب فعلی شود، تابع بولتزمن طبق رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود.

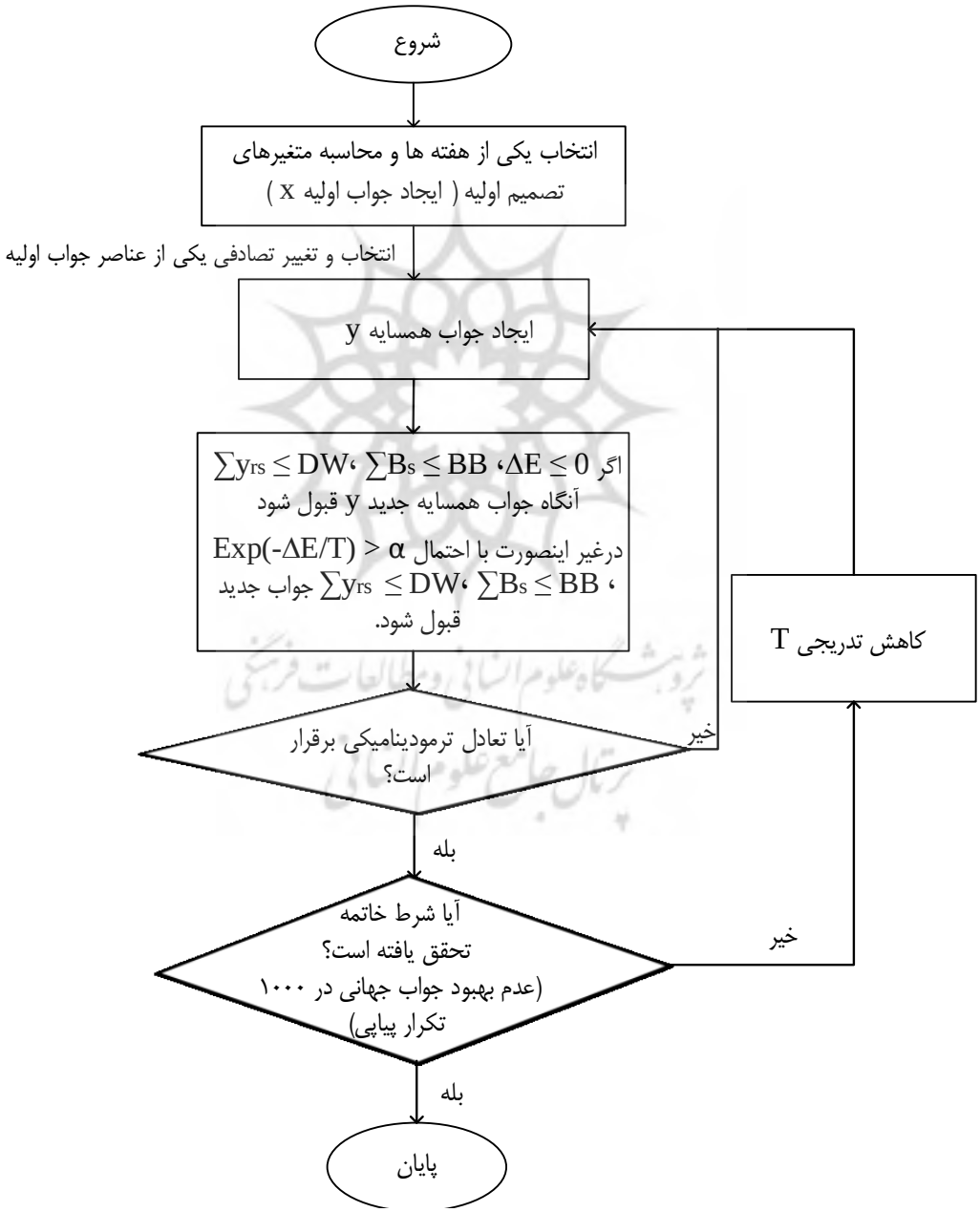
$$P = exp(-\Delta / T)$$ رابطه ۱۲)

Δ نشان‌دهنده اختلاف مقدار تابع هدف جدید و قدیم است. عددی تصادفی (α) در بازه $[۰ - ۱]$ ایجاد شده و با مقدار P مقایسه می‌شود. شرط جایگزینی جواب همسایه جدید به جای جواب فعلی در این مرحله، برقراری هم‌زمان شرط‌های

۲ و ۳ و کمتر بودن مقدار عدد تصادفی ایجادشده نسبت به مقدار P است. جواب جهانی در حلقه خارجی بهنگام شده و دما (T) بر اساس استراتژی خنک‌سازی به‌صورت رابطه ۱۳ کاهش می‌یابد.

$$T = alpha * T0 \quad \text{(رابطه ۱۳)}$$

الگوریتم پس از کاهش دما دوباره وارد حلقه داخلی می‌شود. ایجاد جواب همسایه تا رسیدن به شرط توقف ادامه می‌یابد. شرط توقف حلقه خارجی آن است که در ۱۰۰ تکرار پیاپی، مقدار جواب جهانی بهبود نیابد؛ در غیر این صورت تا رسیدن به طول حلقه خارجی ادامه می‌یابد. فلوچارت و شبه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.



شکل ۱. فلوچارت الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهاد شده

گام ۱: یکی از هفته‌ها را به‌عنوان ماتریس جواب اولیه انتخاب کن.
گام ۲: مقادیر حداقل بلوک لازم، تخصیص بلوک‌ها به سرویس‌ها، تعداد تخت ـ روز، انحراف‌ها و تابع هدف را برای جواب اولیه محاسبه کن.
گام ۳: جواب = بهترین جواب.
گام ۴: دمای اولیه را انتخاب کن.
گام ۵: تا زمان رسیدن به شرط توقف انجام بده:
گام ۵–۱: تا رسیدن به طول حلقه داخلی گام‌های زیر را انجام بده:
گام ۵–۲: با انتخاب تصادفی یکی از عناصر ماتریس جواب و تغییر مقدار آن به‌صورت تصادفی (در بازه صفر تا حداکثر مقدار ممکن) یک جواب جدید بساز.
گام ۵–۲–۱: مقادیر یاد شده در گام ۲ را برای جواب جدید محاسبه کن.
گام ۵–۲–۲: مقدار اختلاف تابع هدف جدید و تابع هدف فعلی را محاسبه کن.
گام ۵–۲–۳: درصورت مثبت بودن مقدار اختلاف تابع هدف جدید و قدیم، کوچک‌تر مساوی بودن کل تخت ـ روز موردنیاز از کل تخت ـ روز در دسترس و کوچک‌تر مساوی بودن کل بلوک تخصیصی از کل بلوک موجود، جواب جدید را جایگزین جواب فعلی کن، در غیر این صورت به گام ۵–۲–۳–۱ برو.
گام ۵–۲–۳–۱: تابع بولتزمن را طبق رابطه ۱۲ محاسبه کن. در صورت کوچک‌تر بودن مقدار عدد تصادفی از تابع بولتزمن، کوچک‌تر مساوی بودن کل تخت ـ روز مورد نیاز از کل تخت ـ روز در دسترس و کوچک‌تر مساوی بودن کل بلوک تخصیص یافته از کل بلوک موجود، جواب جدید را جایگزین جواب فعلی کن، در غیر این صورت به گام ۵–۲ برو.
پایان گام ۵–۱
گام ۶: بهترین جواب هر تکرار را ذخیره کن.
گام ۷: اگر بهترین جواب تکرار از جواب جهانی کمتر بود، جواب جهانی را برابر جواب به‌دست آمده کن.
گام ۸: دما را طبق رابطه ۱۳ تا رسیدن به شرط توقف کاهش بده.
پایان گام ۵
گام ۹: جواب = بهترین جواب.

شکل ۲. شبه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

یافته‌های پژوهش

به‌منظور اعتبارسنجی مدل این پژوهش، ابتدا برای ۱۰ مثال برگرفته شده از داده‌های واقعی، جواب بهینه به‌کمک نرم‌افزار GAMS با حل‌کننده COINBONMIN روی پردازنده Intel Core i7-6700HQ (Intel Core i7) و سپس با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید توسط نرم‌افزار متلب R2017a بررسی شده است. در کلیه مثال‌ها، دوره برنامه‌ریزی یک هفته و میزان زمان کاری در دسترس روزانه ۸ ساعت است و هر اتاق عمل ۵ بلوک دارد. تعداد هفته‌ها معرف تعداد هفته‌های متفاوت با تقاضای مختلف است. هفته‌های انتخاب شده، به‌عنوان تقاضای غیرقطعی و به‌طور تصادفی از میان شلوغ‌ترین (از نظر تعداد جراحی‌ها) هفته‌های بیمارستان مورد مطالعه در کانادا در سال ۲۰۱۴ انتخاب شده‌اند. بیمارستان مورد مطالعه، دارای ۹ سرویس جراحی با ۱۱۰ عمل جراحی، ۱۶ اتاق عمل و ۲۲۰ تخت بستری است. برای قابل حل بودن مدل ریاضی، ناگزیر تعداد متغیرهای تصمیم کم شده است. برای این منظور، در هر مثال، سرویس، تنوع و جراحی‌ها اتاق عمل محدود و اندکی انتخاب شده است.

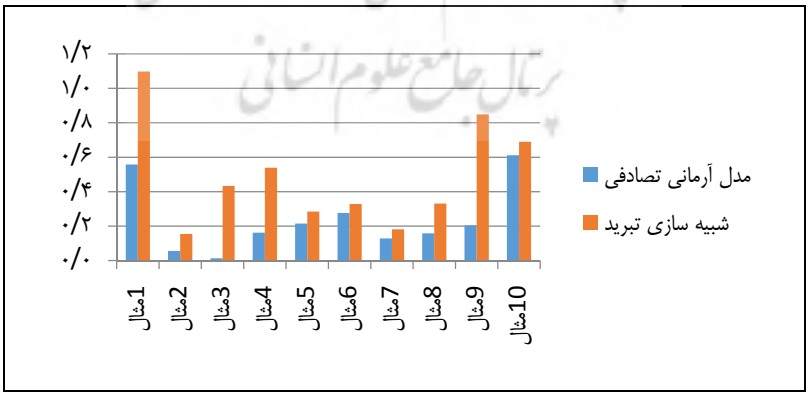
w_1 و w_2 وزن‌های به‌کار برده شده در تابع هدف هستند. مولینا- پرینت، فرناندز - ویاگاس و فرامینان[1] (۲۰۱۵) به وزن‌دهی سه هدف خود در تابع هدف چندگانه پرداختند. یکی از این اهداف حداقل کردن بیکاری جراحان است که مقدار

1. Molina-Pariente, Fernandez-Viagas, & Framinan

آن در سناریوهای مختلف برابر با ۰/۳۳، ۰/۲ و ۰/۶ در نظر گرفته شده است. بوگرا، ساوی و سوئر[1] (۲۰۱۵) نیز به وزن‌دهی تابع هدف خود پرداخته و برای حداکثرسازی میزان بهره‌برداری از اتاق‌های عمل طی دوره وزن α و برای حداقل نمودن زمان بیکاری میان جراحی‌ها وزن β را درنظر گرفته‌اند. برای بیان اهمیت بیشتر جزء اول نسبت به جزء دوم $\beta > \alpha$ در نظر گرفته شده است. در این پژوهش طبق نظر مدیر بخش اتاق‌های عمل، w_1 =۰/۸ و w_2 =۰/۲ انتخاب شده‌اند.

پس از چند بار اجرای برنامه برای چند مثال حل شده به‌صورت دقیق و به‌دلیل همگرایی سریع الگوریتم، مقدار دمای اولیه برابر با ۵۰۰۰، alpha برابر ۰/۹۹، حداکثر تکرار حلقه خارجی ۱۰۰۰ تکرار و حداکثر تکرار حلقه داخلی ۱۰ بار در نظر گرفته شده است. نتیجهٔ مثال‌های کوچک بررسی‌شده در جدول ۳ آورده شده است. شش ستون اول این جدول، داده‌های ورودی مثال‌ها را نشان می‌دهد. سایر ستون‌ها به‌ترتیب نشان‌دهنده دو آرمان درصد تقاضای برآورده نشده و درصد اضافه‌کاری سرویس‌ها در مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید است. با توجه به اینکه تابع هدف درصدد حداقل نمودن انحراف‌های نامطلوب است، نتایج به‌صورت مقادیر نامطلوب تابع هدف بیان می‌شود. میانگین درصد تقاضای برآورد نشده جراحی‌ها (با تقاضای غیرقطعی) بر اساس رابطه ۵، درصد اضافه‌کاری سرویس‌ها بر اساس رابطه ۲ و مجموع بیکاری اتاق‌های عمل تخصیص‌یافته برای هر سرویس بر اساس رابطه ۷ مدل، محاسبه شده است.

مجموع بیکاری اتاق‌های عمل تخصیص‌یافته در همه مثال‌ها و در هر دو روش، برابر با مقدار ایده‌آل صفر است. در اولین سرویس از مثال اول، درصد تقاضای برآورده نشده در مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به‌ترتیب ۵/۸۵ و ۸/۳۳ درصد به‌دست آمده است. سرویس یاد شده در مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی، اضافه‌کاری نداشته، اما در الگوریتم شبیه‌سازی تبرید دارای ۱/۵ درصد اضافه‌کاری است. به‌منظور مقایسه نتایج مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، مقادیر تابع هدف مثال‌ها در شکل ۳ نمایش داده شده است.



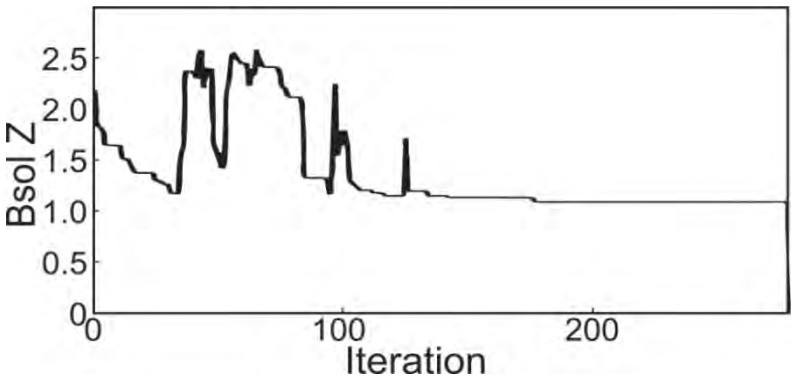
شکل ۳. نمودار تابع هدف مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

1. Bouguerra, Sauvey, & Sauer

جدول ۳. مقایسه نتایج حل دقیق مدل برنامه‌ریزی تصادفی و حل با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

شماره نمونه	تعداد سرویس جراحی	تعداد هفته‌ها	تعداد اتاق عمل	تعداد نوع عمل برای هر سرویس	مجموع تقاضا در هفته‌های مختلف برای هر سرویس	مدل آرمانی تصادفی با تقریب ۰/۰۱			الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با تقریب ۰/۰۱		
						زمان محاسبه (ثانیه)	درصد اضافه‌کاری سرویس‌ها	درصد تقاضای برآورد نشده جراحی‌ها	زمان محاسبه (ثانیه)	درصد اضافه‌کاری سرویس‌ها	درصد تقاضای برآورد نشده جراحی‌ها
۱	۲	۲	۲	۱۲ ۱۳	۲۰ ۳۲	۰/۳۵۳	٪۰ ٪۲/۷	٪۵/۸۵ ٪۲۹/۷	۲/۲۸	٪۱/۵ ٪۳۷/۶۶	٪۸/۳۳ ٪۱۰/۹۶
۲	۴	۲	۲	۷ ۹ ۵ ۸	۳ ۱۵ ۲۲ ۷	۰/۴۷	٪۱۰۰ ٪۰ ٪۰ ٪۰	٪۹/۰۹ ٪۳/۰۳ ٪۴/۵۴ ٪۰	۲/۲۶	٪۰ ٪۰ ٪۲/۷۳ ٪۰	٪۱۳/۶۳ ٪۲/۴۲ ٪۶/۷ ٪۰
۳	۳	۳	۲	۱۷ ۵ ۷	۶۸ ۲۵ ۷۶	۰/۶۴۴	٪۰ ٪۰ ٪۰	٪۹/۰۹ ٪۰ ٪۰/۳	۳/۲۲	٪۴/۳۱ ٪۰ ٪۱۰/۴۵	٪۶/۱۹ ٪۲/۷۷ ٪۰/۳
۴	۳	۳	۲	۱۴ ۱۲ ۹	۳۸ ۴۱ ۵۱	۰/۶۶۹	٪۰/۲۸ ٪۳/۰۴ ٪۰	٪۵/۶۴ ٪۷/۲۲ ٪۰	۲/۸۸	٪۲۲/۹۱ ٪۱۶/۴۷ ٪۰	٪۲/۶۶ ٪۷/۱۱ ٪۱
۵	۲	۳	۲	۹ ۱۱	۵۳ ۷۴	۱/۵۱۶	٪۱/۶۵ ٪۰/۱۷	٪۴/۶۶ ٪۲/۶۹	۲/۵۹	٪۲۱/۸۲ ٪۱۱/۱۲	٪۱/۸۳ ٪۴/۰۹
۶	۳	۳	۲	۷ ۵ ۴	۸۴ ۸ ۱۳	۰/۳۴۸	٪۰/۹۸ ٪۰ ٪۰	٪۱۵/۶ ٪۰ ٪۰	۲/۳۲	٪۷/۸۹ ٪۰ ٪۰	٪۱۴/۲۱ ٪۰/۶۹ ٪۰/۹۲
۷	۳	۳	۲	۷ ۸ ۲	۵۰ ۶۱ ۱۵	۰/۳۸۸	٪۰ ٪۰ ٪۴/۰۳	٪۱۰/۸۶ ٪۰/۴۲ ٪۲/۵۶	۲/۲۶	٪۰ ٪۰/۱۷ ٪۰	٪۱۰/۸۶ ٪۲/۲۲ ٪۰/۶۴
۸	۳	۳	۲	۱۰ ۷ ۶	۳۲ ۲۴ ۱۲	۰/۶۲۱	٪۱/۳۶ ٪۰/۷۳ ٪۰	٪۱۲/۰۸ ٪۱۰/۱۸ ٪۰	۳/۳۱	٪۹/۱۹ ٪۱۵/۲۳ ٪۰	٪۱۲/۷۷ ٪۸/۷۹ ٪۰
۹	۴	۲	۲	۱۲ ۶ ۵ ۹	۳۴ ۳۶ ۱۳ ۷	۱/۱۰۲	٪۱۶/۱۸ ٪۵/۱۲ ٪۳/۴۵ ٪۰	٪۵/۵۵ ٪۲/۴۶ ٪۴/۱۶ ٪۰	۳/۵۷	٪۲/۸۴ ٪۵/۱۲ ٪۲/۲۸ ٪۰	٪۱۱/۳۵ ٪۲/۴۶ ٪۴/۱۶ ٪۰
۱۰	۲	۳	۲	۱۱ ۹	۴۹ ۸۳	۰/۴۳۹	٪۰/۶۵ ٪۰/۳	٪۱۸/۰۵ ٪۹/۸۷	۱/۹۶	٪۲۴/۳۳ ٪۱۶/۸۷	٪۱۴/۳۲ ٪۸/۶۳

همان طور که در شکل ۳ نمایش داده شده است، اختلاف میان مقادیر تابع بهینه هدف حاصل از مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در مثال‌های مورد بررسی در بازه [۰/۰۵,۰/۶] قرار دارد. به‌منظور نمایش روند همگرایی الگوریتم، نمودار همگرایی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای مثال اول در شکل ۴ آمده است.



شکل ٤. نمودار همگرایی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

جدول ٤ . میانگین درصد تقاضای برآورده نشده جراحی‌ها ($\%\bar{f}_n$) و کل بلوک تخصیص یافته(y) برای سرویس‌های مختلف منتج از حل تقریبی مدل ریاضی و روش شبیه‌سازی تبرید

سرویس	$\%\bar{f}_n$		y	
	مدل ریاضی	شبیه‌سازی تبرید	مدل ریاضی	شبیه‌سازی تبرید
اورولوژی	۱/۴۹	۱/۲۲	۸	۹
جراحی عمومی	۱/۴۹	۱/۳۹	۹	۱۲
ارتوپدی	۰/۸	۱/۰۲	۱۳	۱۶
جراحی پلاستیک	۰/۵۳	۰/۶۷	۵	۴
گوش و حلق و بینی	۱/۳۴	۰/۵۵	۳	۴
قلب و عروق	۰/۳۳	۰/۵۹	۴	۳
زنان و زایمان	۰/۳۹	۰/۷	۳	۳
گوارش	۱/۳۵	۲/۳۵	۱۰	۱۰
تنفسی	۰/۰۷	۰/۶۶	۱	۱

در مطالعه موردی که به‌عنوان مثال اصلی در نظر گرفته می‌شود، تعداد اتاق‌های عمل موجود برابر$|r| = ۱۶$ است که از لحاظ تجهیزات و منابع موجود با یکدیگر متفاوت بوده و تنها برخی از سرویس‌ها قادر به انجام عمل جراحی در هر اتاق هستند. بلوک‌های اتاق عمل به‌صورت اتاق ـ روز تعریف شده است و هر اتاق عمل ۵ بلوک دارد. تعداد سرویس‌های جراحی برابر با $|s| = ۹$ شامل اورولوژی، جراحی عمومی، ارتوپدی، جراحی پلاستیک، گوش و حلق و بینی، قلب و عروق، زنان و زایمان، گوارش و تنفسی است. تعداد تخت‌های در دسترس برای بخش جراحی ۲۲۰ تخت است. دوره برنامه‌ریزی برابر با ۱ هفته، افق برنامه‌ریزی سالانه، تعداد روزهای کاری در هفته $|DW| = ۵$ و میزان ساعات کاری در دسترس روزانه برابر با $|DM| = ۸$ است. تعداد جراحی‌های برنامه‌ریزی شده برابر با $|i| = ۱۱۰$ است. در مطالعه موردی، شلوغ‌ترین هفته‌ها به‌عنوان سناریو و تقاضای جراحی‌ها برابر تعداد جراحی‌ها در شلوغ‌ترین هفته‌ها انتخاب شده‌اند. تعداد سناریوها ۱۹ هفته شد. به این ترتیب، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی قادر به حل مسئله واقعی با پردازنده‌های شخصی در زمان قابل قبول نیست. به‌منظور دستیابی به جواب نزدیک به بهینه، این مدل توسط سرور قوی

نئوس[1] که به بیش از ۶۰ حل کننده پیشرفته دسترسی دارد، به‌طور تقریبی حل شد. مقدار اضافه‌کاری سرویس‌ها و مجموع بیکاری اتاق‌های عمل تخصیص یافته حاصل از شبیه‌سازی تبرید برابر با مقدار ایده‌آل صفر بوده، اما مقدار بیکاری حاصل از جواب تقریبی مدل ریاضی مثبت به‌دست آمده است. در جدول ۴ کیفیت جواب شبیه‌سازی تبرید با جواب تقریبی مدل ریاضی مقایسه شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی برای برنامه‌ریزی و تعیین تعداد و ترکیب بهینه جراحی‌ها و تخصیص ظرفیت به سرویس‌های جراحی با در نظر گرفتن تقاضای غیرقطعی ارائه شده است. ایده مدل پیشنهاد شده آن است که با تغییر تعداد و ترکیب موارد جراحی، می‌توان انحراف‌های نامطلوب را کاهش داد. مزیت‌های این مدل به شرح زیر است:

- برای جراحی‌ها، وزن‌های چندمعیاره در نظر گرفته شده است و این معیارها شامل مدت زمان عمل، مدت زمان بخش ویژه، مدت زمان بستری در بخش، مدت زمان انتظار، تقاضا و درجه فوریت عمل جراحی است. در حالی که یاهیا، التاویل و هراز[2] (۲۰۱۵) به وزن‌دهی تک معیاره گروه‌ها پرداخته‌اند و تنها میزان تقاضا را در نظر گرفته‌اند.
- در این پژوهش هر سرویس جراحی تنها در برخی از اتاق‌ها قادر به انجام عمل است و این امر موجب انطباق بیشتر نتایج مدل با شرایط واقعی می‌شود. همچنین، هنگام تصمیم‌گیری دربارهٔ خرید تجهیزات برای هر سرویس جراحی و تجهیز اتاق‌های عمل، با به‌کار بردن مدل می‌توان دریافت که سرمایه‌گذاری بر تجهیزات کدام سرویس ضروری است یا سود بیشتری برای بیمارستان دارد.
- با توجه به Np-hard بودن مسئله تلفیقی، مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی در حجم بالای داده‌ها، قادر به ارائه جواب در زمان معقول نبود، در نتیجه الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید ارائه شده است. اختلاف میان مقادیر تابع هدف حاصل از مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در مثال‌های ارائه شده در بازه [۰/۰۵,۰/۶] قرار دارد.

از نظر پیشنهاد عملی برای بهبود تصمیم‌گیری، اجرای این مدل در یک واحد زمانی می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان بخش درمانی دید کلی از آینده ارائه کند تا بر حسب روند واقعی که در دوره‌های قبل اتفاق افتاده است، منابع لازم را برای آینده، زمان‌بندی در سطوح بعدی و معیاری برای تقسیم و تخصیص منابع در سطوح پایین برنامه‌ریزی کنند. هنگام تصمیم‌گیری دربارهٔ خرید تجهیزات مربوط به هر سرویس جراحی و تجهیز اتاق‌های عمل، با به‌کاربردن مدل می‌توان دریافت که سرمایه‌گذاری روی تجهیزات کدام سرویس ضروری است یا سود بیشتری برای بیمارستان دارد. علاوه بر این، تغییر تعداد تخت‌های در دسترس، روی نتیجه مدل تأثیرگذار است. با استفاده از مدل می‌توان به توازن تعداد تخت بستری و تعداد اتاق عمل دست یافت. همچنین بررسی تأثیر تغییر در تعداد تخت‌های بخش، موجب می‌شود مدیران هر بخش برای تصمیم‌گیری در زمینهٔ افزایش و کاهش تخت‌ها در فصول پیک بیماری یا در نظر گرفتن تخت‌های شناور

1 Neos
2. Yahia, Eltawil, & Harraz

بین بخش‌ها، دید کافی داشته باشند. با به‌کار بردن مدل پیشنهاد شده می‌توان منابع محدود مانند زمان اتاق عمل، ریکاوری، بخش ویژه، پزشکان و کارکنان درمانی را به‌طور صحیح مدیریت کرد و به بالاترین کارایی دست یافت و این امر موجب بهبود فرایند تصمیم‌گیری در حوزه خطیر سلامت می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود که اطلاعات لازم به‌طور کامل و صحیح ثبت و گردآوری شده، سپس به‌صورت دوره‌ای پس از سنجش شرایط حاکم، مدل مناسب اجرا شود.

در پایان، پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه شده است:

- به‌منظور کاهش ابعاد مسئله، جراحی‌ها بر اساس پارامترهایی چون زمان عمل و زمان اقامت بیماران، با استفاده از روش داده‌کاوی گروه‌بندی شوند؛ سپس به جای برنامه‌ریزی تعداد جراحی‌ها، درباره تعداد روندهایی که در هر طبقه انجام خواهد شد، تصمیم‌گیری شود.
- مدت زمان هر بلوک که واحد زمان از هر اتاق عمل برای تخصیص به سرویس‌های جراحی است را کاهش داد تا بتوان زمان آزاد بیشتری را به سایر سرویس‌های جراحی اختصاص داد.
- نسبت کارکنان درمانی به تخت‌ها تعیین شده و محدودیت آن در مدل اعمال شود.
- تعداد تخت‌های هر سرویس را می‌توان با اضافه کردن آرمان جدید تعیین کرد.
- جواب اولیه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید را می‌توان به مقدار جزء صحیح جواب مدل ریاضی ساده شده خطی تغییر داد.
- وزن اهداف تصمیم‌گیری علاوه بر نظر کارشناسان، به‌کمک سایر روش‌های وزن‌دهی تعیین شود.

منابع

اسکندی، حمیدرضا؛ بهرامی، محمد (۱۳۹۶)، زمان‌بندی چندهدفه اتاق عمل با استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی. *نشریه تخصصی مهندسی صنایع*، ۵۱(۱)، ۱-۱۳.

ایمانی ایمانلو، مرضیه (۱۳۹۵). *زمان‌بندی روزانه عمل‌های جراحی با تکنیک بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

رضائی، ناصر؛ باقری، محسن (۱۳۹۳)، بررسی و تحلیل مسایل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل. *هشتمین کنفرانس بین المللی مدیریت و مهندسی صنایع*. تهران: مرکز همایش‌های بین‌المللی صدا و سیما.

رضایی نیک، ابراهیم؛ مولوی، فریبا (۱۳۹۴). مسئلهٔ چندهدفهٔ انتخاب و زمان‌بندی سبد پروژه در شرایط عدم قطعیت (مطالعهٔ موردی: شرکت دانش بنیان پایافناوران فردوسی). مدیریت صنعتی، ۷(۳)، ۴۶۹-۴۸۸.

سجادی، آیدا سادات (۱۳۹۶). *توسعه و حل مدل تلفیقی برای تعیین آمیخته بهینه جراحی‌ها و تخصیص ظرفیت سرویس‌های جراحی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

سلیمی فرد، خداکرم؛ قاسمیه، رحیم؛ پاسبان، اسماعیل (۱۳۹۶)، بالانس عمودی خطوط مونتاژ چندسویه با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید. *نشریه مدیریت تولید و عملیات*، ۱۴(۱)، ۲۱-۴۴.

کاتبی، یلدا؛ ارشدی، سیما؛ دنیوی، علی (۱۳۹۶)، ارائه مدل ریاضی برای مدیریت فرایندهای درمانی بیماران مراجعه کننده به بخش اورژانس. *چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع*. تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.

محمودیان، ناهید؛ کتابی، سعیده؛ عتیقه‌چیان، آرزو (۱۳۹۷)، زمان‌بندی اتاق عمل برای جراحی الکتیو با در نظر گرفتن واحدهای مراقبت بعد از عمل به‌کمک برنامه‌ریزی آرمانی. *نشریه تخصصی مهندسی صنایع*، ۵۲(۱)، ۱۰۳-۱۱۲.

References

Aringhieri, R., Landa, P., Soriano, P., Ta`nfani, E., & Testi, A. (2015). A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem. *Computers & Operations Research*, 54, 21-34.

Bai, G., Hsu, S. H., & Krishnan, R. (2009). Accounting performance, cost structure, and firm's capacity investment decisions, www.researchgate.net, retrieved August 17, 2017.

Bouguerra, A., Sauvey, C., & Sauer, N. (2015). Mathematical model for maximizing operating rooms utilization. *International Federation of Automatic Cotrol*, 48(3), 118–123.

Britt, J. W. (2015). *Stochastic Goal Programming and a Metaheuristic for Scheduling of Operating Rooms* (Doctoral dissertatio), University of Windsor.

Cao, C., Gao, Z., & Li, K. (2012). Capacity allocation problem with random demands for the rail container carrier. *European Journal of Operational Research*, 217, 214–221.

Cardoen, B., Demeulemeester, E., & Beliën, J. (2010). Operating room planning and scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 921–932.

Choi, S., & Wilhelm, W. E. (2014). On capacity allocation for operating rooms. *Computers & Operations Research*, 44, 174–184.

Dai, Z., Aqlan, F., Gao, K., & Zhou, Y. (2019). A two-phase method for multi-echelon location-routing problems in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 115, 618-634.

Duma, D., & Aringhieri, D. (2015). An online optimization approach for the Real Time Management of operating rooms. *Operations Research for Health Care*, 7, 40-51.

Eskandari, H., & Bahrami, M. (2017). Multi-objective scheduling of the operating room using simulation-based optimization. *Journal of Industrial Engineering*, 51(1), 1-13. (*in Persian*)

Fei, H., Meskens, N., & Chu, C. (2010). A planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 221–230.

Finlayson, G. S., Reimer, J., Dahl, M., Stargardter, M., & McGowan, K. (2009). The direct cost of hospitalizations in Manitoba, 2005/06., www.ihe.ca/health-statistics-database/statistic/287, retrieved July 20, 2017.

Gauthier, J. B., & Legrain, A. (2016). Operating room management under uncertainty. *Constraints*, 21, 577-596.

Guerriero, F., & Guido, R. (2011). Operational research in the management of the operating theatre: a survey. *Health care management science*, 14, 89-114.

Guido, R., & Conforti, D. (2017). A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem. *Computers and Operations Research*, 87, 270-282.

Hof, S., Fügener, A., Schoenfelder, J., & Brunner, J. O. (2015). Case mix planning in hospitals: a review and future agenda. *Health Care Management Science*, www.researchgate.net, retrieved November 26,2016.

Hosseini, N.,& Taaffe, K. M. (2015). Allocating operating room block time using historical caseload variability. *Health care management science*, 18, 419-430.

Imani Imanloo, M. (2016). *Daily Scheduling of Surgical Operations using simulation-based Optimization Technique*. Master Thesis, University of Isfahan, Isfahan. (*in Persian*)

Jebali, A., & Diabat, A. (2017). A Chance-constrained operating room planning with elective and emergency cases under downstream capacity constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 114, 329-344.

Kamran, M.A., Karimi, B., & Dellaert, N. (2018). Uncertainty in Advance Scheduling Problem in Operating Room Planning. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 252-268.

Katebi, Y., Arshadi, S., & Donyavi, A. (2018). Presenting a mathematical model for managing the patient's treatment processes at the emergency department, *14th International Engineering Conference*: Isfahan University of Science & Technology. (*in Persian*)

Kroer, L.R., Foverskov, K., Vilhelmsen, C., Hansen, A.S., & Larsen, J. (2018). Planning and scheduling operating rooms for elective and emergency surgeries with uncertain duration, *Operations Research for Health Care*, 19, 107-119.

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.

Li, Y., Zhang, Y., Kong, N., & Lawley, M. (2016). Capacity Planning for Long-Term Care Networks. *IIE Transactions*, www.tandfonline.com , retrieved August 19,2017.

Ma, G., & Demeulemeester, E. (2013). A multilevel integrative approach to hospital case mix and capacity planning. *Computers & Operations Research*, 40, 2198–2207.

Ma, G., Beliën, J., Demeulemeester, E., & Wang, L. (2011). *Solving the strategic case mix problem optimally by using branch-and-price algorithms.* www.researchgate.net, retrieved November 23,2016.

Mahmoodian, N., Ketabi, S., & Atighehchian ,A. (2018). Operating room scheduling for elective surgery consideriing downstream care units using goal planning. *Journal of Industrial Engineering*, 52(1), 103-112. (*in Persian*)

Menin, O.H., & Bauch, C.T. (2018). Solving the patient zero inverse problem by using generalized simulated annealing. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 490, 1513–1521.

Min, D., & Yih, Y. (2010). An elective surgery scheduling problem considering patient priority. *Computers & Operations Research*, 37, 1091–1099.

Penn, M. L. (2014). *Developing a Multi-Methodological Approach to Hospital Operating Theatre Scheduling*. (Doctoral dissertatio), University of Southampton.

Razmi, J., Yousefi, M. S., & Barati, M. (2015). A stochastic model for operating room unique equipment planning under uncertainty. *International Federation of Automatic Cotrol*, 48(3), 1796–1801.

Rezaei Nik, A. & Molavi, F. (2015). Multi-Objective Project Selection and Scheduling Under Uncertainty (Case Study: Danesh Bonyan Paya Fannavaran Ferdowsi Company). *Industrial Management*, 7 (3), 469-488.

Rezaei, N., & Bagheri, M. (2014). Study and Analysis of Operation Room Planning and Scheduling Problems: *Eighth International Management and Industrial Engineering Conference*. Tehran: IRIB International Conference Center. (*in Persian*)

Riise, A., Mannino, C., & Burke, E. K. (2016). Modelling and solving generalized operational surgery scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 66, 1-11.

Sajadi, A. S. (2017). *Developing an Integrated Model and Solving Procedure to Determine the Optimal Surgical Case-Mix and Capacity Allocation for Surgical Services*. Master Thesis, University of Isfahan, Isfahan. (*in Persian*)

Salimifard, K., Ghasemiyeh, R., & Pasban, S. (2017). Vertical Balancing in Multi-sided Assembly Lines Using Simulated Annealing Algorithm. *Journal of Production and Operations Management*, 14(1), 21-44. (*in Persian*)

Samudra, M., Van Riet, C., Demeulemeester, E., Cardoen, B.Vansteenkiste, N., & Rademakers, F. (2016). Scheduling operating rooms: achievements,challenges and pitfalls. *Journal of scheduling*, 19(5), 493-525.

Turhan, A. M., & Bilgen, B. (2017). Mixed integer programming based heuristics for the Patient Admission Scheduling problem. *Computers and Operations Research*, 80, 38-49.

Yahia, Z., Eltawil, A. B., & Harraz, N. A. (2015). The operating room case-mix problem under uncertainty and nurses capacity constraints. *Health care management science*, 19(4), 383-394.