Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 10, Serial Number 37, Spring 2020, Pages 167-196 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.10.1.167

Proposing a Two-Step Method for Creating and Updating the Master Surgical Scheduling Program

Shayan Barafkandeh[*], Arezoo Atighehchian[**], Kamran Kianfar[***]

Abstract

In this paper the integrated Master Surgical Scheduling program and Case Mix Planning is investigated. A new two-step approach is proposed for creating and updating this program. In the first step, a model is proposed for creating master surgical schedule considering the demand distributions of different surgery kind of each surgeon. In the second step, having the weekly waiting list of patients, a model is proposed for updating this program in order to cope with demand fluctuations and maximize the use of operating rooms capacity in weekly period. In this paper the limitation of down-stream resources is also considered. Three objectives are considered for this problem: minimizing over time cost and idle time cost of operating rooms, maximizing the surgeons' preferences and minimizing the not fulfilled demand. The real data from Al-Zahra hospital of Isfahan, Iran is used to evaluate the models and analyze the results. The proposed approach is evaluated using these real data in several problem instances. The experiments show that the proposed approach leads to better results than real program of hospital with significant different which displays the efficiency of the proposed approach.

Keywords: Operating Room Scheduling; Master Surgical Schedule; Case Mix Planning; Mathematical Model; Mixed Integer Programming.

Received: Dec. 20, 2018, Accepted: Feb. 22, 2020.
* M.Sc., University of Isfahan.
** Assistant Professor, University of Isfahan (Corresponding Author).
E-mail: a.atighehchian@ase.ui.ac.ir
*** Assistant Professor, University of Isfahan.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال دهم، شماره ۳۷، بهار ۱۳۹۹، ص‌ص ۱۶۷ – ۱۹۶ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.10.1.167

ارائه یک روش دومرحله‌ای برای ایجاد و بهنگام‌کردن برنامه زمان‌بندی جراحی اصلی

شایان بارافکنده*، آرزو عتیقه‌چیان، کامران کیانفر*****

چکیده

در این پژوهش، مسئله ایجاد جدول زمان‌بندی جراحی اصلی به‌صورت یکپارچه با برنامه‌ریزی آمیخته عمل‌های جراحی بررسی شده است. یک روش دومرحله‌ای برای ارائه و بهنگام‌سازی این جدول طراحی شده است. در مرحله نخست، مدلی برای ساخت جدول برنامه‌ریزی جراحان با توجه به توزیع تقاضای عمل‌های جراحی هر یک از آن‌ها پیشنهاد شده است. در مرحله دوم، با داشتن فهرست انتظار بیماران هفتگی، برای مقابله با نوسانات تقاضا و استفاده حداکثری از ظرفیت اتاق‌های عمل، مدلی برای اصلاح جدول زمان‌بندی جراحی اصلی در بازه هفتگی ارائه شده است. در این پژوهش، محدودیت منابع پایین‌دستی مانند تخت بخش نیز در نظر گرفته شده است. برای این مسئله سه هدف «کمینه‌کردن هزینه‌های اضافه‌کاری و بیکاری اتاق عمل»، «بیشینه‌کردن ترجیحات جراحان» و «کمینه‌کردن تقاضای برآورده‌نشده» در نظر گرفته شد. تحلیل نتایج با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از «بیمارستان الزهرا اصفهان» صورت گرفت. مدل ارائه‌شده در هفته‌های متعددی با داده‌های واقعی این بیمارستان اعتبارسنجی شد. در آزمایش‌های انجام‌شده، میانگین درصد بهبود در توابع هدف اول، دوم و سوم نسبت به برنامه واقعی بیمارستان به‌ترتیب ۲۹/۷۳، ۴۳/۳۵ و ۷۸/۷۳ به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهد مدل ارائه‌شده با تفاوتی معنادار نسبت به برنامه واقعی بیمارستان بهتر برنامه‌ریزی کرده است که نشان از کارایی مدل ارائه‌شده دارد.

کلیدواژه‌ها: زمان‌بندی اتاق عمل؛ زمان‌بندی جراحی اصلی؛ برنامه‌ریزی آمیخته اعمال جراحی؛مدل‌سازی ریاضی؛ برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۹/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۳.

* کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.

** استادیار، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول).

E-mail: a.atighehchian@ase.ui.ac.ir

*** استادیار، دانشگاه اصفهان.

۱. مقدمه

امروزه تغییر روش زندگی مردم، تغییر الگوی بیماری‌ها و نیازهای پزشکی مردم و رشد سریع جمعیت، مسئله عرضه امکانات و خدمات بهداشتی – درمانی را با مشکلات و موانع جدی روبه‌رو ساخته است. افزایش هزینه‌های خدمات درمانی به حدی است که چگونگی کنترل این هزینه‌ها، مشکل اصلی سیستم‌های بهداشت و درمان کشورهای مختلف، حتی کشورهای ثروتمند جهان است. به همین منظور امروزه مدیران بهداشت و درمان به دنبال کاهش هزینه‌های موجود در مراکز بهداشتی و درعین‌حال بهبود کیفیت خدمات درمانی خود هستند. یکی از مشکلات عمده‌ای که مراکز بهداشتی و درمانی با آن روبه‌رو هستند، این است که در بیشتر مواقع منابع دردسترس پاسخگوی نیاز بیماران نیست و به همین دلیل مسئله تخصیص منابع در بیمارستان‌ها بسیار موردتوجه قرار گرفته است. زمان‌بندی یکی از طرح‌های کلیدی برای موفقیت در مدیریت سازمان‌ها است که سال‌ها در صنایع تولیدی مورداستفاده قرار گرفته و اخیراً موردتوجه بسیاری از صنایع خدماتی و ازجمله صنعت بهداشت و درمان واقع شده است.

نظام بهداشتی ـ درمانی هر جامعه از اجزای مختلفی تشکیل شده است که طبیعتاً بیمارستان‌ها جزء اصلی این نظام به‌شمار می‌آیند. با توجه به مشکلاتی که به آن‌ها اشاره شد، در دهه‌های اخیر پژوهشگران تحقیق در عملیات توجه ویژه‌ای به بیمارستان‌ها و حل مشکلات آن‌ها دارند. یکی از اجزای مهم هر بیمارستان، اتاق‌های عمل است. اتاق‌های عمل[1] پرهزینه‌ترین بخش هر بیمارستان به‌شمار می‌آیند؛ زیرا در این بخش از تجهیزات پزشکی گران و نیروی انسانی متخصص پرهزینه استفاده می‌شود. اتاق‌های عمل منبع حیاتی برای تأمین درآمدهای بیمارستان نیز هستند؛ بنابراین ارائه یک برنامه دقیق و مدون با استفاده از زمان‌بندی اهمیت بسیاری دارد.

سطوح برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل به سه سطح استراتژیک[2]، تاکتیکال[3] و عملیاتی[4] قابل‌تقسیم است. در سطح استراتژیک، توزیع ظرفیت زمانی اتاق عمل بین تخصص‌های مختلف یا گروه‌های جراحی مختلف صورت می‌گیرد. در این سطح مسئله تعیین آمیخته اعمال جراحی (CMP[5]) مطرح است که به تصمیم‌گیری راجع به تخصیص زمان اتاق عمل به هر گروه از بیماران (هر گروه از اعمال جراحی) می‌پردازد. سطح تاکتیکال به دنبال ایجاد جدول زمان‌بندی چرخه‌ای (جدول زمان‌بندی جراحی اصلی: MSS[6]) است که بلوک زمانی مختلف اتاق‌های عمل را در طول هفته به جراح یا گروه‌های جراحی تخصیص می‌دهد. برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اعمال

1. Operating rooms
2. Strategic Level
3. Tactical Level
4. Operational Level
5. Case Mix Problem
6. Master Surgical Schedule

جراحی در بازه هفتگی و روزانه در سطح عملیاتی صورت می‌گیرد که هر مورد جراحی به روز و اتاق عمل خاصی تخصیص می‌یابد و توالی و زمان‌بندی اعمال جراحی تعیین می‌شود [۱۶]. در این پژوهش سطح اول و دوم از برنامه‌ریزی اتاق عمل، یعنی تعیین جدول زمان‌بندی اصلی چرخه‌ای و تعیین آمیخته اعمال جراحی، به‌صورت یکپارچه بررسی می‌شود. با یکپارچه در نظرگرفتن این دو سطح و تعیین تعداد و نوع عمل‌های جراحی در هر بلوک جراح در هر روز، امکان مدیریت منابع پایین‌دستی مانند تخت‌های بخش فراهم می‌شود.

در زمان‌بندی اتاق‌های عمل سه استراتژی وجود دارد: ۱. استراتژی باز به این معنا است که جراحان می‌توانند در هر روز و در هر اتاقی عمل کنند؛ ۲. استراتژی بلوکه یک روش رایج برای تخصیص زمان اتاق عمل به جراح‌ها یا گروه‌های جراحی است. در این روش، زمان دردسترس اتاق عمل به بلوک‌هایی شکسته می‌شود و بر اساس اهداف و محدودیت‌های موجود به جراح یا گروه‌های جراحی تخصیص می‌یابد. ۳. استراتژی بلوکه اصلاح‌شده، ترکیبی از دو استراتژی قبلی است. در این استراتژی بعضی از بلوک‌های جراحی برای انعطاف‌پذیری بیشتر باز می‌مانند.

در این پژوهش، مسئله تعیین جدول زمان‌بندی چرخه‌ای (MSS) به‌صورت یکپارچه با مسئله CMP با درنظرگرفتن استراتژی بلوکه در دو مرحله بررسی شده است. در مرحله نخست با داشتن توزیع تقاضای عمل‌های جراحی مختلف جراحان، بلوک‌های زمانی تخصیص‌داده‌شده به هر جراح و ترکیب نوع عمل‌های تخصیص‌داده‌شده به هر بلوک مشخص می‌شود. در مرحله دوم با داشتن فهرست انتظار هفتگی جراحان مختلف، جدول به‌دست‌آمده در مرحله نخست به‌منظور درنظرگرفتن تغییرات تقاضا و با هدف استفاده حداکثر از بلوک‌های اتاق عمل و با استفاده از یک استراتژی اصلاحی اصلاح می‌شود.

برای تشکیل بلوک‌های اتاق عمل از فرمولاسیون الگو[1] استفاده شده است؛ به این معنا که زمان اتاق عمل در یک روز برای تخصیص به جراحان می‌تواند به بلوک‌های زمانی مختلفی تقسیم شود. با این روش انعطاف‌پذیری مدل به‌مراتب بالاتر خواهد رفت. با درنظرگرفتن محدودیت‌های واقعی و محدودیت‌های منابع پایین‌دستی، مانند محدودیت تخت، مدل به شرایط دنیای واقعی نزدیک‌تر شده است.

سه رکن اساسی در زمان‌بندی اتاق عمل شامل بیمارستان، جراحان و بیماران هستند. در این پژوهش سه هدف متناظر با هر سه رکن مسئله در نظر گرفته شده‌اند. هدف نخست، کمینه‌کردن هزینه‌های اضافه‌کاری و بیکاری اتاق عمل است. هدف دوم، بیشینه‌کردن ترجیحات جراحان و هدف سوم، کمینه‌کردن تقاضای پوشش‌داده‌نشده است.

1. Pattern Formulation

برای هر مرحله از روش دومرحله‌ای، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده است. «بیمارستان الزهرای اصفهان» به‌عنوان مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. این بیمارستان یکی از بزرگ‌ترین بیمارستان‌های ایران است. بخش جراحی این بیمارستان دارای دو مجموعه اتاق‌های عمل (مجموعه الکتیو ۱ و ۲) است که مجموعه الکتیو ۱، دارای ۲۰ اتاق عمل تخصصی و فوق‌تخصصی است. در حال حاضر ایجاد جدول MSS در این بیمارستان به‌صورت دستی و با نظر کارشناسان انجام می‌گیرد و ارائه یک برنامه زمان‌بندی جراحی اصلی کارا در این بیمارستان از اهمیت زیادی برخوردار است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مسئله زمان‌بندی در هر دو شاخه مدیریت تولید و بهینه‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار است. زمان‌بندی با تخصیص منابع به فعالیت‌ها سروکار دارد؛ به‌طوری‌که هدف، بهینه‌سازی یک یا تعداد بیشتری معیارهای عملکرد باشد [۹]. مسائل زمان‌بندی معمولاً پیچیدگی زیادی دارند. برای کاهش پیچیدگی این مسائل پژوهشگران به روش‌های تجزیه متوسل شده‌اند و به‌طور هم‌زمان به تمام منابع محدود نپرداخته و برخی از این محدودیت‌ها را نادیده گرفته‌اند [۱۸]. در دهه‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در زمینه زمان‌بندی اتاق عمل صورت گرفته است. مطالعات بسیاری مسئله تعیین MSS را در شرایط قطعی بررسی کرده‌اند. نخستین بار بلیک و همکاران (۲۰۰۲)، یک مدل برنامه عدد صحیح برای تخصیص بلوک زمانی به گروه‌های جراحی بر اساس مطالعه موردی ارائه دادند [۵]. تستی و همکاران (۲۰۰۷)، یک روش سلسله‌مراتبی سه‌مرحله‌ای را برای برنامه‌ریزی اتاق‌های عمل ارائه کردند. در مرحله نخست، تعداد بلوک‌هایی که باید به هر بخش تخصیص داده شود، مشخص می‌شود. مرحله دوم، ایجاد MSS است و در مرحله سوم، توالی اعمال جراحی تعیین می‌شود [۲۰]. تنفانی و تستی (۲۰۱۰)، یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک برای مسئله زمان‌بندی جراحی اصلی ارائه کردند که هدف آن کمینه‌کردن زمان انتظار بیماران بود. در این پژوهش اضافه‌کاری، محدودیت تخت بخش و ICU نیز لحاظ شده است. مدل در حالت قطعی بوده و توسط یک الگوریتم ابتکاری حل شده است [۱۹]. گاناوان و لایو (۲۰۱۳)، یک مسئله دنیای واقعی را برای ایجاد یک جدول زمان‌بندی جراحی اصلی بررسی کردند. در این مسئله مشخص می‌شود که جراحان چه بلوک‌هایی از جدول را در طول دوره زمانی دارا هستند. هدف، بیشینه‌کردن ترجیحات جراحان بوده و از یک الگوریتم ابتکاری برای تولید نتایج مناسب استفاده شده است [۱۳].

بندیتوری و همکاران (۲۰۱۳)، مدلی برای جدول زمان‌بندی جراحی اصلی ارائه کردند که در آن بیمارانی که در فهرست انتظار بیمارستان قرار دارند، می‌توانند در گروه‌های جراحی یکسان بر اساس منابع دسته‌بندی شوند. تابع هدف مدل از سه قسمت تشکیل شده است: قسمت اول، تعداد

جراحی‌های برنامه‌ریزی‌شده را بیشینه می‌کند؛ قسمت دوم، جریمه ناشی از تجاوز از موعد تحویل را کمینه می‌کند و قسمت سوم، عدم‌انطباق‌های تخت‌های بخش‌ها را کمینه می‌کند. برای حل مدل یک روش ترکیبی شبیه‌سازی ـ بهینه‌سازی ارائه شده است [۳]. فوگنر و همکاران (۲۰۱۴)، مدلی برای مسئله زمان‌بندی جراحی اصلی ارائه کردند که زمان بلوک اتاق عمل را به تخصص‌های جراحی مختلف تخصیص می‌دهد. در این پژوهش، منابع پایین‌دستی مانند تخت بخش و ICU نیز در نظر گرفته شده است. مدل با هدف کمینه‌کردن هزینه‌ها با دو الگوریتم دقیق و ابتکاری حل شده است [۱۱].

چوی و ویلهلم (۲۰۱۴)، روشی برای زمان‌بندی جراحی بلوکه (BSS[1]) پیشنهاد دادند. در این پژوهش فرض شده است که تصمیم‌های استراتژیک، تخصیص تخصص‌ها به بلوک‌ها را تعیین کرده و BSS تخصیص زیرتخصص‌ها به بلوک‌ها، مدت‌زمان بلوک و همچنین توالی را مشخص می‌کند. هدف مدل ارائه‌شده، کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های دیرکرد و زودکرد موردانتظار است [۷]. آرینقیری و همکاران (۲۰۱۵)، مدلی برای تخصیص بلوک‌های اتاق عمل به جراحان ارائه کردند. هدف از این پژوهش، پیوند بین برنامه‌ریزی اتاق عمل و زمان‌بندی بود. آن‌ها یک مدل سلسله‌مراتبی دوسطحی ارائه دادند که در آن ابتدا بلوک‌های جراحی به تخصص‌های جراحی تخصیص می‌یابد و سپس در مرحله بعد، زمان‌بندی بیماران با توجه به مرحله قبل صورت می‌گیرد. مدل در حالت قطعی با هدف کاهش هزینه‌های زمان انتظار و هزینه‌های بیمارستان طراحی شده است. درنهایت مدل با داده‌های واقعی توسط یک روش فراابتکاری دوسطحه حل شد [۱]. کاپانرا و همکاران (۲۰۱۶)، مدلی برای مرحله دوم زمان‌بندی اتاق عمل یعنی MSS ارائه کردند که تخصیص هر تخصص به اتاق عمل، بخش و روز در افق زمانی را تعیین می‌کند. مدل قطعی ارائه‌شده در این پژوهش، چندهدفه است و با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی حل شده است [۶]. دلارت و جیونت (۲۰۱۷)، مسئله برنامه‌ریزی عمل‌های جراحی را در سطح تاکتیکال بررسی کردند. هدف این مدل، کاهش اضافه‌کاری و بیکاری چندین منبع مانند اتاق عمل‌ها، تخت بخش‌ها و پرستاران بود و مسئله با استفاده از یک الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر حل شد [۸].

در ایجاد برنامه MSS، پژوهش‌هایی نیز با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت در پارامترهایی نظیر تقاضا، مدت‌زمان عمل جراحی و مدت‌زمان اقامت صورت گرفته است. بلین و دمیولمستر (۲۰۰۷)، مدل‌هایی را برای ساختن زمان‌بندی جراحی با هدف کمینه‌کردن کمبود کل تخت بخش موردانتظار پیشنهاد کرده‌اند. مدل‌های توسعه‌داده‌شده دو محدودیت تقاضا و ظرفیت را در نظر گرفته‌اند. محدودیت تقاضا تضمین می‌کند که هر جراح تعداد مشخصی بلوک اتاق عمل

1. Block Surgical Schedule

به‌دست آورد و محدودیت ظرفیت، تعداد بلوک دردسترس در هر روز را محدود می‌کند. در این پژوهش، تعداد بیماران جراحی‌شده و مدت اقامت هر بیمار به‌صورت احتمالی در نظر گرفته شده است. مدل‌ها با استفاده از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری حل شده‌اند [۴].

اوسترام و همکاران (۲۰۰۸)، یک مسئله زمان‌بندی اتاق عمل را در سطح تاکتیکال با درنظرگرفتن مدت‌زمان عمل جراحی به‌صورت غیرقطعی بررسی کردند. اهداف مدل ارائه‌شده در این پژوهش، افزایش کارایی اتاق عمل و بالانس تخت بخش‌های موردنیاز بود که با استفاده از روش تولید ستون حل شد [۱۷]. مانینو و همکاران (۲۰۱۲)، مدلی بر اساس فرمولاسیون مبتنی بر الگوی انعطاف‌پذیر برای ساختن MSS با تقاضای غیرقطعی ارائه کردند. هدف این مدل، ایجاد تعادل در طول صف بیماران بین تخصص‌های مختلف و کمینه‌کردن اضافه‌کاری بود و برای مقابله با عدم‌قطعیت از یک روش استوارسازی ضعیف استفاده شد [۱۶].

گرانمایه (۲۰۱۵)، مدل‌های بهینه‌سازی برای طراحی یک جدول زمان‌بندی جراحی اصلی با هدف کمینه‌کردن نقطه اوج ماندن بیماران در بخش پیشنهاد داده است. همه مدل‌ها شامل محدودیت‌هایی بر روی اتاق‌های عمل و در دسترس‌پذیری جراحان هستند؛ همچنین ترجیحات جراحان در طول زمان هفتگی در نظر گرفته شده است. در این پژوهش مدت‌زمان اقامت بیمار به‌صورت غیرقطعی است؛ بنابراین یک روش بهینه‌سازی استوار برای مقابله با عدم‌قطعیت به‌کار رفته است. سناریوهای مختلفی برای بررسی تأثیر تغییرپذیری دردسترس‌بودن اتاق‌های عمل در هر روز از هفته نیز توسعه داده شده است. مدل‌ها با استفاده از Cplex حل شده و با مدل شبیه‌سازی در Arena موردارزیابی قرار گرفته است [۱۲].

لوئیس رز (۲۰۱۵)، در پژوهش خود نشان داد که چگونه با MSS می‌توان با استفاده از تکنیک‌های تحقیق در عملیات، تعداد لغو بیماران انتخابی را کمینه کرد. عدم‌قطعیت در این پژوهش بر روی میزان تخت بخش در دسترس، در نظر گرفته شده است که با استفاده از مدل استوار برتسیماس و سیم مدل شده است. در این پژوهش یک فرآیند مدل‌سازی دومرحله‌ای برای ساخت و شبیه‌سازی یک MSS که تعداد لغوها را کمینه می‌کند، گسترش داده شده است [۱۵]. آستاراکی و پاتریک (۲۰۱۵)، یک روش برنامه‌ریزی پویای مبتنی بر شبیه‌سازی برای زمان‌بندی جراحی چندسطحه ـ چندمنبعی ارائه کردند. مدل با دادن MSS، سیاست زمان‌بندی را برای همه جراحی‌ها به‌گونه‌ای فراهم می‌کند که زمان انتظار بیماران، اضافه‌کاری در اتاق عمل و ازدحام در بخش‌ها کمینه شود [۲]. ایمانی و عتیقه‌چیان (۱۳۹۶)، مسئله زمان‌بندی روزانه اعمال جراحی را در ۳ مرحله آماده‌سازی جراحی، جراحی و ریکاوری بررسی کردند. این مسئله به تعیین توالی، زمان شروع هر یک از اعمال جراحی و تخصیص منابع موردنیاز در هر مرحله با هدف کمینه‌کردن مجموع زمان بیکاری و اضافه‌کاری اتاق عمل در شرایط عدم‌قطعیت در مدت‌زمان عمل‌های جراحی با رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی می‌پردازد [۱۴].

فیوگنر (۲۰۱۵)، مسئله تعیین MSS را با هدف بیشینه‌کردن درآمدهای بیمارستان با توجه به تأثیر منابع پایین‌دستی، یعنی واحدهای مراقبت ICU و بخش، بررسی کرد. تقاضا برای این منابع به‌صورت جریان احتمالی بیمار مدل شده است. در این پژوهش، مسئله MSS (سطح تاکتیکال) به‌صورت یکپارچه یا سطح استراتژیک دیده شده و هدف، تعیین این است که چه تعداد بلوک (سطح استراتژیک) و چه بلوک‌هایی (سطح تاکتیکال) به هر تخصص جراحی تخصیص یابد [۱۰]. مطالعه مبانی نظری موضوع نشان می‌دهد در تعدادی از مقاله‌ها مسئله MSS به‌صورت یکپارچه یا سلسله‌مراتبی با برنامه‌ریزی هفتگی و با فرض داشتن فهرست انتظار بیماران دیده شده است؛ ولی تاکنون مسئله MSS و CMP به‌صورت یکپارچه با یکدیگر در نظر گرفته نشده‌اند. این در حالی است که تعیین برنامه آمیخته بیماران تأثیر زیادی بر تعداد منابع موردنیاز حین و بعد از عمل در هر روز از افق برنامه‌ریزی دارد. در پژوهش حاضر مسئله MSS به‌صورت یکپارچه با مسئله تعیین آمیخته عمل‌های جراحی در هر بلوک در نظر گرفته شده است؛ همچنین مدلی برای بهنگام‌سازی جدول زمان‌بندی MSS برای مقابله با نوسانات تقاضا و با داشتن فهرست انتظار بیماران در بازه هفتگی، توسعه داده شده است. بدین ترتیب هرچند در این پژوهش با درنظرگرفتن میانگین تقاضای انواع اعمال جراحی هر جراح، مسئله به‌صورت قطعی در نظر گرفته شده، استراتژی‌ای برای مقابله با نوسانات تقاضا در بازه هفتگی توسعه داده شده است.

بر اساس پژوهش‌های بررسی‌شده در بخش قبلی، نوآوری‌های پژوهش حاضر به‌صورت زیر است:

ـ ارائه یک روش دومرحله‌ای برای ایجاد MSS و اصلاح‌کردن آن به‌صورت هفتگی با اعمال استراتژی اصلاحی؛

ـ حل یکپارچه مسئله تعیین جدول MSS و تعیین آمیخته عمل‌های جراحی هر جراح در هر بلوک؛

ـ استفاده از فرمولاسیون الگو برای بلوک‌بندی اتاق عمل (این نوع فرمولاسیون فقط در یکی از پژوهش‌ها استفاده شده و در این پژوهش با حالتی متفاوت نسبت به آن مطالعه در نظر گرفته شده است)؛

ـ درنظرگرفتن هم‌زمان اهداف کاهش هزینه‌های اضافه‌کاری و بیکاری، افزایش ترجیحات جراحان و کاهش تقاضای برآورده‌نشده و ارائه یک رویکرد حل سه‌هدفه؛

ـ درنظرگرفتن محدودیت‌های واقعی در مدل و استفاده از داده‌های واقعی «بیمارستان الزهرای اصفهان» برای تحلیل نتایج و مقایسه با نتایج واقعی بیمارستان.

۳. روش شناسی پژوهش

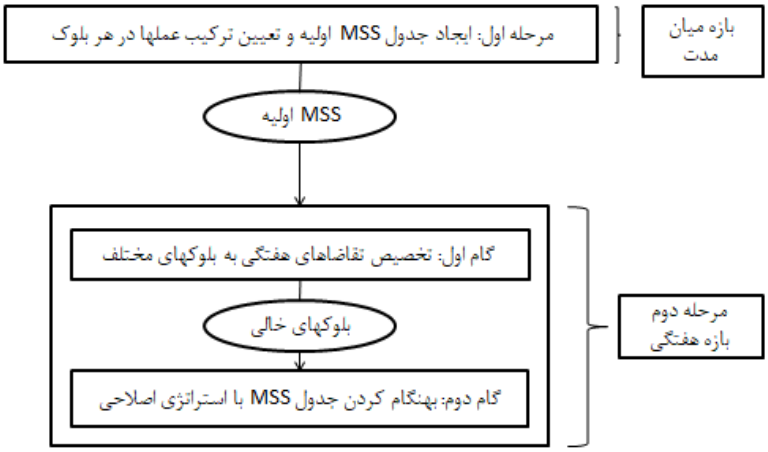
این پژوهش از نوع توسعه‌ای ـ کاربردی است. در مدل ریاضی توسعه یافته، مساله زمان‌بندی جراحی اصلی و مساله برنامه‌ریزی آمیخته بیماران ترکیب و یک روش دو مرحله‌ای برای بهنگام‌کردن آن ارائه شده است. در این مدل ریاضی، محدودیت‌های واقعی بیمارستان در نظر گرفته شده و برای بیمارستان‌هایی که از استراتژی بلوکه استفاده می‌کنند قابل کاربرد است. تحلیل نتایج با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از «بیمارستان الزهرا اصفهان» صورت گرفته است.

تعریف مسئله. در پژوهش حاضر، مسئله تولید جدول زمان‌بندی جراحی اصلی به‌صورت یکپارچه با تعیین آمیخته اعمال جراحی با درنظرگرفتن سه هدف بررسی شده است. هدف نخست، کاهش هزینه‌ها شامل هزینه اضافه‌کاری و بیکاری اتاق عمل، هدف دوم، بیشینه‌کردن ترجیحات جراحان و هدف سوم، کاهش تقاضای برآورده نشده است. مسئله به دنبال ایجاد یک جدول زمانی دوره‌ای است تا مشخص کند که جراح یا گروه جراحی به کدام روز و کدام بلوک و کدام اتاق عمل تخصیص می‌یابد و در هر بلوک چه تعداد از هر نوع عمل جراحی را برنامه‌ریزی کند. عمل‌های جراحی در طول دوره زمانی بر اساس نوع عمل تقسیم می‌شود.

مسئله تخصیص عمل‌های جراحی که مشخص‌کننده این است که کدام اتاق عمل در کدام روز به عمل‌های جراحی تخصیص یابد، زمانی که دارای تابع هدف کمینه‌کردن هزینه‌های متناظر با منابع باشد، به‌صورت NP-hard شناخته می‌شود [۲۱]؛ بنابراین مسئله موردبررسی در این پژوهش نیز NP-hard است. در این پژوهش یک روش دومرحله‌ای برای تولید جدول زمان‌بندی جراحی اصلی طراحی شده است. در مرحله نخست با داشتن تابع توزیع تقاضای جراحان مختلف، بلوک‌های زمانی تخصیص‌داده‌شده به هر جراح و ترکیب نوع عمل‌های تخصیص‌داده‌شده به هر بلوک در بازه میان‌مدت مشخص می‌شود. با توجه به اینکه یکی از منابع حیاتی بعد از عمل جراحی، تخت‌های بخش هستند، محدودیت این منابع در نظر گرفته شده است و ترکیب اعمال جراحی در بلوک‌های زمانی به‌گونه‌ای مشخص می‌شود که این منابع با کمبود مواجه نشوند.

در مرحله دوم با داشتن فهرست تقاضای هفتگی هر جراح، ابتدا بر اساس MSS مرحله اول، تقاضا به بلوک‌های مختلف جراحان تخصیص می‌یابد. ازآنجاکه به علت نوسانات تقاضای هفتگی جراحان ممکن است برخی از بلوک‌ها پر نشده و در عوض برخی جراحان با کمبود ظرفیت روبه‌رو شوند، در گام بعدی، جدول MSS با به‌کارگیری یک استراتژی اصلاحی اصلاح می‌شود؛ به این صورت که جراحان مواجه‌شده با کمبود ظرفیت می‌توانند از بلوک‌های استفاده‌نشده سایر جراحان

استفاده کنند. مراحل تولید جدول زمان‌بندی جراحی اصلی در این پژوهش در شکل ۱، نشان داده شده است.

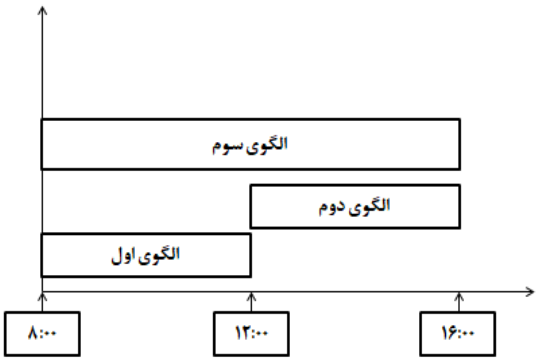


شکل ۱. مراحل تولید جدول زمان‌بندی جراحی اصلی در روش پیشنهادی

هر بلوک در این پژوهش نشان‌دهنده یک بلوک زمانی از یک اتاق عمل در یک روز است. برای مدل‌سازی مسئله از فرمولاسیون الگو استفاده شده است. فرمولاسیون الگو نشان می‌دهد که می‌توان ظرفیت اتاق عمل در یک روز را با روش‌ها و الگوهای متفاوت به بلوک‌های زمانی معنادار تقسیم کرد تا انعطاف مدل بالاتر رود. برای مثال، در این پژوهش هر اتاق عمل به یک بلوک هشت‌ساعته یا دو بلوک چهارساعته تقسیم شده است. بدین ترتیب سه الگو تعریف می‌شود: الگوی نخست نشان‌دهنده بلوک چهارساعته اول، الگوی دوم نشان‌دهنده بلوک چهارساعته دوم و الگوی سوم نشان‌دهنده بلوک هشت‌ساعته است. شکل ۲، انواع روش‌های تقسیم زمان اتاق عمل به بلوک‌های مختلف را نشان می‌دهد. با فرض اینکه از ساعت ۸ تا ۱۶ زمان در دسترس برای زمان‌بندی اتاق‌های عمل در هر روز باشد، می‌توان کل ۸ ساعت را یک بلوک در نظر گرفت و آن را به یک جراح/ گروه جراحی تخصیص داد و یا ۸ ساعت را به‌صورت دو بلوک چهارساعته در نظر گرفت که می‌تواند هر بلوک به جراح/ گروه جراحی متفاوتی تخصیص یابد.

تعداد بلوک‌های چهارساعته تخصیص‌داده‌شده به هر جراح در هفته نباید از یک بلوک تجاوز کند؛ زیرا در غیر این صورت بهتر است به جراح بلوک هشت‌ساعته تخصیص داده شود. با توجه به اینکه در بیمارستان‌های آموزشی ـ درمانی، عمل‌های جراحی توسط رزیدنت‌ها و زیر نظر استادان جراح انجام می‌گیرد، استادان جراح امکان نظارت بیش از یک اتاق عمل در روز را دارند؛

بنابراین می‌توان در یک روز به یک جراح بیش از یک اتاق عمل تخصیص داد؛ ولی تعداد اتاق عمل‌هایی که در طول یک روز مشخص به یک جراح داده می‌شود، محدود شده است.



شکل ۲. الگوهای زمانی هر بلوک اتاق عمل

در این پژوهش در مرحله اول یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای ایجاد جدول زمان‌بندی جراحی اصلی ارائه شده است. این مرحله به دنبال ایجاد جدول‌های MSS مختلف بر اساس اهداف سه‌گانه است؛ سپس جدول MSS موردنظر تصمیم‌گیرنده به‌عنوان ورودی به مدل مرحله دوم داده می‌شود. در مرحله دوم، در گام نخست مطابق با جدول به‌دست‌آمده، عمل‌های یک هفته برنامه‌ریزی می‌شوند. در گام دوم MSS ورودی مطابق با داده‌های آن هفته اصلاح می‌شود. فرضیه‌های مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

۱. جراحانی در مدل مجاز به داشتن بلوک هستند که در جدول MSS بیمارستان حضور داشته‌اند.

۲. برای ترجیحات هر جراح مطابق با میزان تقاضای هفتگی جراح، دو و یا سه روز از روزهای جدول برنامه‌ریزی هفتگی را که آن جراح بیشتر در آن روزها جراحی کرده است به‌عنوان ترجیحات آن جراح در نظر گرفته شده است.

۳. هر اتاق عمل در هر روز به سه الگوی زمانی مختلف تقسیم شده است که عبارت‌اند از: الگوی p_1 شامل چهارساعته اول، الگوی p_2 شامل چهارساعته دوم و الگوی p_3 شامل بلوک هشت‌ساعته.

۴. اضافه‌کاری و بیکاری اتاق‌های عمل مجاز است.

۵. بیماران اورژانسی به علت داشتن وجود عمل مجزا برای این بیماران، در این پژوهش لحاظ نشده‌اند.

۶. تعداد بلوک‌های تخصیص‌یافته به هر جراح در طول روز و همچنین تعداد بلوک از نوع ۴ ساعته به هر جراح در طول هفته محدود شده است.

تقاضاها در این مدل بر اساس نوع عمل‌های جراحی به‌دست‌آمده است.

مدل‌سازی مسئله. در این قسمت، با توجه به تعریف مسئله و مفروضات بیان‌شده، مدل ریاضی مسئله ارائه خواهد شد. در ابتدا نمادهای استفاده‌شده در مدل ریاضی توضیح داده شده و سپس مدل ریاضی هر مرحله آورده می‌شود.

معرفی نمادها. مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها در ادامه، ارائه شده اند.

اندیس‌ها، مجموعه‌ها

$j \in J$: اندیس جراحان

$k \in K$: اندیس اتاق‌های عمل

$g \in G$: اندیس تخصص‌ها

$t \in T$: اندیس روزهای جدول برنامه‌ریزی

$t' \in Tw$: اندیس روزهای هفته جاری (برای مدل مرحله دوم)

$op \in OP$: اندیس نوع عمل‌های جراحی

$p \in \{p_1, p_2, p_3\}$: اندیس الگوهای بلوکی

$tb(op, t)$: مجموعه روزهایی که اگر یک عمل نوع op در آن‌ها انجام شود در روز t تخت اشغال می‌کند.

$op(j) \in \mathrm{OP}$: مجموعه عمل‌های جراح j

$op(g) \in \mathrm{OP}$: مجموعه عمل‌های تخصص g

پارامترها

W_1: هزینه هر واحد اضافه‌کاری اتاق عمل

W_2: هزینه هر واحد بیکاری اتاق عمل

W_p: هزینه باز بودن اتاق عمل با الگوی p

d_j^{op}: مقدار تقاضای نوع عمل op در طول هفته برای جراح jام

S: بیشترین تعداد اتاق عملی که در یک روز به یک جراح داده می‌شود.

$minB_j$: حداقل تعداد بلوکی که باید به جراح j تخصیص داد.

Pr_j^t: اگر ترجیح جراح j بر اختصاص بلوک به او در روز t باشد، مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

le_p: طول بلاک الگوی p

td_{op}: مدت‌زمان نوع عمل op

e_{op}: ضریب اهمیت نوع عمل op

bed_g: تعداد تخت موجود در بخش برای تخصص g

$Bm_g^{t'}$: تعداد تخت‌های تخصص g که در روز t' توسط جراحی‌های هفته قبل اشغال شده‌اند (برای مدل مرحله دوم).

M_p: پارامتر کنترل‌کننده ساعات تخصیص‌داده‌شده و حداکثر اضافه‌کاری

β: درصد تقاضای برآورد¬نشده مجاز

R: کل ساعات وقت عادی در جدول MSS هفتگی

α_i: ضریب اهمیت تابع هدف iام

Z_i^{min}: حداقل مقدار تابع هدف iام بدون درنظرگرفتن سایر اهداف

Z_i^{max}: حداکثر مقدار تابع هدف iام بدون درنظرگرفتن سایر اهداف

متغیرهای تصمیم

Z_i: مقدار تابع هدف iام

$Ext_{j,op}$: تقاضای نوع عمل op از جراح jام برحسب ساعت که برآورده نمی‌شود.

$V_{k,t,p}$: میزان اضافه‌کاری الگوی بلوک p از اتاق عمل k در روز t

$H_{k,t,p}$: میزان بیکاری الگوی بلوک p از اتاق عمل k در روز t

$X_{j,k,t}^p$: اگر الگوی بلوک p از اتاق عمل k در روز t به جراح j تخصیص یابد، ۱ و در غیر این صورت صفر می‌شود.

$Xm_{j,k,t}^p$: اگر بلوک p از اتاق عمل k در روز t به جراح j طی استراتژی اصلاحی تخصیص یابد. درواقع این متغیر یک متغیر صفر و یک است که به‌ازای بلوک‌های خالی در گام اول از مرحله دوم فعال می‌شود (برای مدل مرحله دوم).

$Y_{j,k,t}^{op,p}$: تعداد عمل نوع op جراح j که به اتاق k در روز t و الگوی بلاک p تخصیص می یابد.

B_{op}^t: تعداد تخت بخش اشغال‌شده مربوط به نوع عمل op در روز t

Tb_j^t: اگر جراح j در روز t بلوک داشته باشد، ۱ و در غیر این صورت صفر می‌شود.

$O_{k,t,p}$: اگر بلوک p از اتاق عمل k در روز t استفاده شود، ۱ و در غیر این صورت صفر می‌شود.

مدل ریاضی مرحله اول. همان‌طور که توضیح داده شد، برای این مسئله، سه هدف در نظر گرفته شده است. هدف نخست، کمینه‌کردن مجموع هزینه بیکاری و اضافه‌کاری اتاق عمل است (رابطه ۱). هدف دوم، بیشینه‌کردن ترجیحات جراحان (رابطه ۲) و هدف سوم کمینه‌کردن تقاضای برآورده نشده با لحاظ ضرایب اهمیت نوع عمل‌ها است(رابطه ۳).

$$Z_1 = \sum_k \sum_t \sum_p \left(W_1 . V_{k,t,p} + W_2 . H_{k,t,p}\right) \quad (۱)$$

$$Z_2 = \sum_j \sum_t Tb_j^t . Pr_j^t \quad (۲)$$

$$Z_3 = \sum_j \sum_{op} Ext_{j,op} .\ e_{op} \quad (۳)$$

تابع هدف به‌صورت مجموع وزن‌دار اهداف در نظر گرفته شده است. ازآنجاکه تابع هدف دوم، حداکثرسازی است با علامت منفی آمده است (رابطه ۴).

$$Min\ Z = \alpha_1 \frac{Z_1 - Z_1^{min}}{Z_1^{max} - Z_1^{min}} - \alpha_2 \frac{Z_2 - Z_2^{min}}{Z_2^{max} - Z_2^{min}} + \alpha_3 \frac{Z_3 - Z_3^{min}}{Z_3^{max} - Z_3^{min}} \quad (۴)$$

مجموعه محدودیت‌های مدل مرحله اول در ادامه آورده شده‌اند.

$$V_{k,t,p} \geq \sum_j \left(\sum_{op(j)} td_{op} . Y_{j,k,t}^{op,p} - le_p . X_{j,k,t}^p \right) \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall p \in P \quad (۵)$$

$$H_{k,t,p} \geq \sum_j \left(le_p . X_{j,k,t}^p - \sum_{op(j)} td_{op} . Y_{j,k,t}^{op,p} \right) \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall p \in P \quad (۶)$$

$$\sum_k \sum_t \sum_p Y_{j,k,t}^{op,p} \leq d_j^{op} \quad \forall j \in J, \forall op(j) \in OP \quad (۷)$$

$$\sum_{k}\sum_{t}\sum_{p} td_{op}.Y_{j,k,t}^{op,p} \geq td_{op}.d_{j}^{op} - Ext_{j,op} \quad \forall j \in J, \forall op(j) \in OP \tag{۸}$$

$$\sum_{j}\sum_{op(j)} Ext_{j,op} \leq \beta.\sum_{j}\sum_{op(j)} td_{op}.d_{j}^{op} \tag{۹}$$

$$\sum_{p\in C}\sum_{j} X_{j,k,t}^{p} \leq 1 \qquad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall C = \{p_1, p_3\} or \{p_2, p_3\} \tag{۱۰}$$

$$\sum_{k}\sum_{t}\sum_{p\in pab} X_{j,k,t}^{p} \leq 1 \qquad \forall j \in J \ , \qquad pab = \{p1, p2\} \tag{۱۱}$$

$$\sum_{k}\sum_{p} X_{j,k,t}^{p} \leq S \qquad \forall j \in J, \forall t \in T \tag{۱۲}$$

$$\sum_{k}\sum_{t}\sum_{p} X_{j,k,t}^{p} \geq minB_{j} \qquad \forall j \in J \tag{۱۳}$$

$$\sum_{k}\sum_{p} X_{j,k,t}^{p} \geq Tb_{j}^{t} \qquad \forall j \in J, \forall t \in T \tag{۱۴}$$

$$\sum_{op(j)} td_{op}.Y_{j,k,t}^{op,p} \leq M_{p}.X_{j,k,t}^{p} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall p \in P \tag{۱۵}$$

$$\sum_{j}\sum_{k}\sum_{t}\sum_{p} le_{p}.X_{j,k,t}^{p} = R \tag{۱۶}$$

$$B_{op}^{t} = \sum_{j(op)}\sum_{k}\sum_{p}\sum_{t''\in tb(op,t)} Y_{j,k,t''}^{op,p} \qquad \forall op \in OP, \forall t \in T \tag{۱۷}$$

$$\sum_{op\in op(g)} B_{op}^{t} \leq bed_{g} \qquad \forall g \in G \ , \forall t \in T \tag{۱۸}$$

$$X_{j,k,t}^{p} \ , Tb_{j}^{t} \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall p \in P$$
$$Y_{j,k,t}^{op,p} \ , V_{k,t,p} \ , H_{k,t,p} \ , Ext_{j,op} \ , B_{op}^{t} \in Z^{+} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall p, \forall op \tag{۱۹}$$

محدودیت‌های ۵ و ۶، مشخص می‌کنند اگر عمل‌های تخصیص‌داده‌شده از ظرفیت اتاق عمل بیشتر باشد، اضافه‌کاری و درصورتی‌که عمل‌های تخصیص‌داده‌شده از ظرفیت اتاق عمل در هر بلوک کمتر باشد، بیکاری خواهیم داشت. محدودیت ۷، نمایانگر این است که تعداد عمل‌های نوع op تخصیص‌داده‌شده جراح j به اتاق‌های عمل در روزهای مختلف نباید از تقاضای جراح j برای نوع عمل op بیشتر باشد. محدودیت ۸، نشان می‌دهد که مجموع ساعات تخصیص‌داده‌شده به جراح j برای نوع عمل op بزرگ‌تر یا مساوی تفاضل میزان کل تقاضای ساعتی و تقاضای برآورده‌نشده آن جراح برای آن نوع عمل است. محدودیت ۹، تضمین می‌کند که مدل حداکثر

مجاز به برآورده‌نکردن β درصد از کل تقاضا جراحان بر اساس عمل‌های مربوط به جراح است. محدودیت ۱۰ از هم‌پوشانی بلوک‌های تخصیص داده شده در هر اتاق عمل و هر روز جلوگیری می‌کند؛ به‌نحوی‌که مجموعه C نشان‌دهنده مجموعه بلوک‌های دارای همپوشانی در یک روز است. محدودیت ۱۱، نشان می‌دهد که حداکثر یک بلوک چهارساعته به هر جراح در طول دوره تخصیص داده می‌شود. محدودیت ۱۲، تعداد بلوک تخصیص‌داده‌شده به هر جراح در هر روز را به S محدود می‌کند. محدودیت ۱۳، نشان می‌دهد که به هر جراح در طول جدول برنامه‌ریزی باید حداقل به تعداد $minB_j$ بلوک تخصیص داده شود. محدودیت ۱۴، برای فعال‌سازی متغیر مربوط به تابع هدف دوم است. محدودیت ۱۵ تضمین می‌کند در صورتی که بلوکی از اتاق عمل به جراحی اختصاص یابد، می‌توان نوع عمل‌های مختلف مربوط به آن جراح را به آن بلوک اختصاص داد. محدودیت ۱۶، نشان می‌دهد که باید کل بلوک‌های موجود در جدول برنامه‌ریزی MSS پر شود. درواقع این رابطه موجب می‌شود که مدل قطعاً یک جدول MSS کامل را ارائه کند. محدودیت ۱۷، تعداد تخت بخش موردنیاز در طول دوره زمان‌بندی را نشان می‌دهد. این محدودیت مشخص می‌کند که هر نوع عمل در هر روز توسط جراحان مربوط به آن عمل چند بار انجام شده است و همچنین بر اساس مدت‌زمان ماندن مربوط به آن عمل خاص، تخت بخش در روزهای بستری نیز پر می‌شود. در صورتی که زمان ماندن یک نوع عمل بیش از هفت باشد، ممکن است برخی از اندیس‌های t در مجموعه $\mathrm{tb(op,t)}$ تکرار شوند. محدودیت ۱۸، نشان می‌دهد که تعداد تخت بخش‌های اشغال‌شده در یک روز هر تخصص نباید از تعداد تخت بخش دردسترس آن تخصص بیشتر باشد. رابطه ۱۹، نوع متغیرهای به‌کاررفته در مدل را نشان می‌دهد.

مدل ریاضی مرحله دوم. در مرحله اول از مدل، هدف ایجاد یک جدول MSS با درنظرگرفتن محدودیت تخت بخش است. مقدار متغیر $X^p_{j,k,t}$ که تخصیص بلوک اتاق عمل در هر روز را به جراحان نشان می‌دهد و خروجی مدل مرحله اول است، ورودی مدل مرحله دوم در نظر گرفته می‌شود. مرحله دوم که به‌صورت هفتگی انجام می‌شود از دو گام تشکیل شده است. در گام نخست با در نظر گرفتن متغیر $X^p_{j,k,t}$ به‌عنوان پارامتر ورودی، تقاضای هفتگی به بلوک‌های مختلف تخصیص می‌یابد و در گام دوم با مشخص‌شدن بلوک‌های خالی‌مانده در گام دوم، این بلوک‌ها به جراحانی که با کمبود ظرفیت روبه‌رو شده‌اند، تخصیص می‌یابد.

گام اول: در گام اول از مرحله دوم، تقاضای مربوط به هفته‌ای مشخص مطابق با جدول MSS ورودی از مرحله اول در بلوک‌ها پخش می‌شود. در این گام مقادیر به‌دست‌آمده متغیر $X^p_{j,k,t}$ به‌عنوان پارامتر ورودی به مدل این مرحله داده می‌شود. در مدل این گام، دو تابع هدف در نظر گرفته می‌شود که اولی مربوط به کاهش تقاضای پوشش‌داده‌نشده و دومی مربوط به کاهش

هزینه‌ها است. در تابع هدف دوم این مرحله، علاوه بر هزینه اضافه‌کاری و بیکاری اتاق عمل، هزینه بازبودن اتاق عمل نیز در نظر گرفته شده است. دلیل اضافه‌کردن هزینه بازبودن اتاق عمل این است که نوسانات تقاضا در هفته‌های مختلف ممکن است موجب کمبود ظرفیت برای یک جراح یا مازاد ظرفیت برای جراحی دیگر شود؛ بنابراین برای جراحانی که با مازاد روبه‌رو می‌شوند باید طوری تقاضاها را در بلوک‌ها پخش کرد که امکان اینکه بلوکی خالی بماند و در گام بعد به جراحی دیگر اختصاص یابد، وجود داشته باشد. برای مثال به جراحی ۵ بلوک هشت‌ساعته در مرحله اول اختصاص یافته است، درحالی‌که در هفته‌ای خاص ۲۴ ساعت تقاضا دارد، در این حالت بهتر است که ۳ بلوک پر شود و دو بلوک برای گام بعد خالی بماند؛ نه اینکه تقاضاها به‌گونه‌ای نادرست بین ۵ بلوک پخش شود. بدین ترتیب تابع هدف دوم این مرحله به‌صورت رابطه ۲۰، قابل‌بیان است.

$$Z_2= \sum_k \sum_{t\prime} \sum_p \left(W_p * O_{k,t,p} + W_1 * V_{k,t\prime,p} + W_2 * H_{k,t\prime,p}\right) \quad (۲۰)$$

رابطه ۲۰، مجموع هزینه بازبودن اتاق‌های عمل و هزینه اضافه‌کاری و بیکاری اتاق‌های عمل را نشان می‌دهد. تابع هدف افزایش ترجیحات جراحان در مرحله قبل در نظر گرفته شده است و در این مرحله اگر بلوکی هم خالی بماند به جراحی داده می‌شود که در آن روز در بیمارستان حضور دارد. محدودیت‌های مدل عبارت‌اند از: روابط ۵، ۶، ۷، ۸ و ۱۵

$$\sum_j \sum_{op} td_{op} * Y_{j,k,t\prime}^{op,p} \le M_p * O_{k,t\prime,p} \qquad \forall k \in K, \forall t' \in Tw, \forall p \in P \quad (۲۱)$$

$$B_{op}^{t\prime} = \sum_{j(op)} \sum_k \sum_p \sum_{t' \in tb(op,t)} Yt_{j,k,t'}^{op,p} \qquad \forall op \in OP, \forall t' \in Tw \quad (۲۲)$$

$$\sum_{op \in op(g)} B_{op}^{t\prime} + Bm_g^{t\prime} \le bed_g \qquad \forall g \in G, \forall t' \in Tw \quad (۲۳)$$

محدودیت‌های ۵، ۶، ۷، ۸ و ۱۵، در این قسمت نیز در نظر گرفته می‌شوند؛ با این تفاوت که مقادیر به‌دست‌آمده از متغیر $X_{j,k,t}^{p}$ در مرحله نخست در این قسمت به‌عنوان پارامتر به‌کار می‌رود. پارامتر d_j^{op} در این حالت تقاضای هفته‌ی جاری است که جدول MSS آن بهنگام می‌شود. رابطه ۲۱، متغیر بازبودن اتاق عمل را تعریف می‌کند. محدودیت ۲۲، تعداد تخت اشغال شده در هر بخش در طول دوره یک‌هفته‌ای را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۳، تضمین می‌کند که تعداد

تخت بخش‌های اشغال‌شده در یک روز هر تخصص (از هفته‌های قبل و هفته جاری) نباید از تعداد تخت بخش دردسترس آن تخصص بیشتر باشد.

گام دوم: در گام دوم، ابتدا باید مشخص شود که چه بلوک‌هایی در گام قبل خالی مانده‌اند تا در این گام به جراحانی که دچار کمبود ظرفیت شده‌اند، اختصاص یابد. بدین منظور یک پارامتر $F_{k,t,p}$ تعریف می‌شود که اگر اتاق k در روز t با الگوی p اشغال شده باشد، مقدار یک بگیرد و در غیر این صورت صفر می‌شود. در این گام نیز دو تابع هدف کاهش هزینه‌ها و تقاضای برآورده‌نشده در نظر گرفته می‌شود. در این حالت دیگر نیازی به تعریف هزینه بازبودن اتاق عمل نیست. محدودیت‌های مدل در این گام عبارت‌اند از:

روابط ۷، ۸، ۲۲ و ۲۳

$$V_{k,t\prime,p} \geq \sum_{j}\left(\sum_{op} td_{op} * Y_{j,k,t\prime}^{op,p} - le_p * \left(X_{j,k,t\prime}^{p} * F_{k,t\prime,p} + Xm_{j,k,t\prime}^{p}\right)\right) \quad \forall k \in K, \forall t' \in Tw, \forall p \in P \quad (۲۴)$$

$$H_{k,t\prime,p} \geq \sum_{j}\left(le_p * \left(X_{j,k,t\prime}^{p} * F_{k,t\prime,p} + Xm_{j,k,t\prime}^{p}\right) - \sum_{op} td_{op} * Y_{j,k,t}^{op,p}\right) \quad \forall k \in K, \forall t' \in Tw, \forall p \in P \quad (۲۵)$$

$$\sum_{op} td_{op} * Y_{j,k,t'}^{op,p} \leq M_p * \left(X_{j,k,t}^{p} * F_{k,t,p} + Xm_{j,k,t\prime}^{p}\right) \quad \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t' \in Tw, \forall p \in P \quad (۲۶)$$

$$\sum_{k}\sum_{p} Xm_{j,k,t\prime}^{p} \leq S * \sum_{k}\sum_{p} X_{j,k,t\prime}^{p} \quad \forall j \in J, \forall t' \in Tw \quad (۲۷)$$

$$\sum_{j} Xm_{j,k,t\prime}^{p} \leq 1 - F_{k,t\prime,p} \quad \forall t' \in Tw \quad (۲۸)$$

در مدل بالا، عبارت $X_{j,k,t}^{p}$، به‌عنوان پارامتر در نظر گرفت می‌شود و به‌صورت ثابت از مرحله اول به مرحله دوم وارد خواهد شد. محدودیت‌های ۲۴ و ۲۵، اضافه‌کاری و بیکاری را کنترل می‌کنند. اگر پارامتر $F_{k,t,p}$ مقدار یک داشته باشد، یعنی بلوک در گام قبل خالی نبوده است و جراح آن بلوک در آن بلوک جراحی داشته است؛ اما اگر پارامتر $F_{k,t,p}$ مقدار صفر داشته باشد؛ یعنی بلوک در گام قبل خالی مانده است؛ بنابراین بلوک با متغیر $Xm_{j,k,t}^{p}$ امکان تخصیص به جراح دیگر را خواهد داشت. محدودیت ۲۶، نشان می‌دهد که اگر بلوکی در اختیار جراحی قرار گرفت، باید تقاضاهای همان جراح در آن بلوک پخش شود. محدودیت ۲۷، تضمین می‌کند اگر بلوکی خالی ماند، باید به جراحی اختصاص یابد که در آن روز حضور دارد. محدودیت ۲۸، نشان می‌دهد تنها در صورتی که بلوکی خالی ماند، متغیر $Xm_{j,k,t}^{p}$ فعال می‌شود و تنها به یک جراح اختصاص خواهد یافت.

در این پژوهش یک مدل ریاضی دومرحله‌ای برای طراحی جدول MSS و بهنگام‌کردن آن مطابق با تغییرات تقاضای هفتگی ارائه شده است که این چارچوب دومرحله‌ای تاکنون در هیچ پژوهشی ارائه نشده است و محدودیت‌های گام‌های اول و دوم مدل مرحله دوم متعلق به پژوهش حاضر هستند. از طرفی در تهیه مدل مرحله اول هرچند مشابه برخی از محدودیت‌ها مانند محدودیت تعیین اضافه‌کاری و بیکاری (محدودیت‌های ۵ و ۶)، تخصیص بلوک‌ها به جراحان (۱۰) و یا تأمین تقاضای جراحان و تعیین مقدار تقاضای پوشش‌داده‌نشده (محدودیت‌های ۷، ۸ و ۹) در مبانی نظری موضوع وجود دارند، ولی به علت نوآوری این پژوهش در ترکیب MSSS با CMP و وجود متغیر تصمیم $\mathrm{Y}_{\mathrm{j,k,t}}^{\mathrm{op,p}}$ در مدل ریاضی، این محدودیت‌ها نیز به‌گونه‌ای دیگر در مدل پیشنهادی ارائه شده‌اند. محدودیت‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مربوط به درنظرگرفتن نحوه تخصیص بلوک‌ها و درنظرگرفتن بلوک ۴ ساعته با استفاده از فرمولاسیون الگو مطابق با شرایط واقعی بیمارستان‌های آموزشی بوده و تاکنون در مدلی در نظر گرفته نشده‌اند؛ همچنین درنظرگرفتن محدودیت ظرفیت تخت بخش‌ها و درنظرگرفتن هم‌زمان اهداف کمینه‌کردن هزینه‌های بیکاری و اضافه‌کاری اتاق عمل، بیشینه‌کردن ترجیحات جراحان و کمینه‌کردن تقاضای پوشش‌داده‌نشده، نوآوری دیگر مدل ارائه‌شده است.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، «بیمارستان الزهرای اصفهان» به‌عنوان مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. این بیمارستان یکی از بزرگ‌ترین بیمارستان‌های ایران است. بخش جراحی این بیمارستان دارای دو مجموعه اتاق‌های عمل (مجموعه الکتیو ۱ و ۲) است که مجموعه الکتیو ۱ دارای ۲۰ اتاق عمل تخصصی و فوق‌تخصصی است. این بیمارستان مجهز به سیستم HIS است که با استفاده از این سیستم کلیه اطلاعات بیماران از بدو پذیرش تا ترخیص به‌منظور ایجاد اطلاعات

واقعی و طبقه‌بندی آن به‌منظور تحلیل و کارشناسی از نظر درمانی، پزشکی و مالی ثبت می‌شود. در حال حاضر ایجاد جدول MSS در این بیمارستان به‌صورت دستی و با نظر کارشناسان انجام می‌گیرد. ارائه یک برنامه زمان‌بندی جراحی کارا در این بیمارستان از اهمیت زیادی برخوردار است. مطابق با داده‌های جمع‌آوری‌شده از واحد اطلاعات بیمارستان، بین جدول MSS پایه برای دوره شش‌ماهه موردبررسی با آنچه در هفته‌های مختلف از آن پیروی شده است، تفاوت‌های زیادی دیده می‌شود.

داده‌های مسئله. به‌منظور بررسی نتایج مدل‌های پیشنهادی با استفاده از داده‌های واقعی بیمارستان الزهرا، از داده‌های جمع‌آوری‌شده که مربوط به اطلاعات عمل‌های جراحی انجام‌شده در یک دوره شش‌ماهه، از فروردین تا شهریور ۱۳۹۴، از طریق سیستم اطلاعاتی بیمارستان است، استفاده شده و در یک فایل اکسل دسته‌بندی شده است. نمونه‌ای از اطلاعات جمع‌آوری‌شده از بیمارستان در جدول ۱، مشاهده می‌شود.

جدول ۱. نمونه‌ای از اطلاعات جمع‌آوری‌شده از بیمارستان

شماره پرونده	تاریخ پذیرش	تاریخ ترخیص	جنسیت	سن	بستری در آی‌سی‌یو	تعداد ساعت بستری در آی‌سی‌یو	تعداد روز بستری در بیمارستان
۹۴۰۰۶۲۰	۱۳۹۴/۱/۵ ۹:۳۴	۱۳۹۴/۱/۵ ۱۸:۳۳	زن	۱۰	۰	۰	۰
۹۴۰۲۱۳۰	۱۳۹۴/۱/۱۶ ۱۲:۱۱	۱۳۹۴/۱/۲۲ ۱۲:۰۸	مرد	۳۸	۱	۴۲	۶

کُد عمل	نام عمل	تخصص	پزشک	اتاق عمل	ساعت شروع	ساعت پایان	مدت‌زمان عمل
۲۰۰۶۳۵	درمان بسته شکستگی بینی	۱	دکتر هاشمی	۶	۱۲:۰۵	۱۳:۰۷	۱:۰۱
۶۰۰۲۶۰	اکسیزیون تومور مغزی	۱	دکتر امین	۸	۸:۰۵	۱۲:۴۶	۴:۴۱

برای به‌کارگیری این داده‌ها در مدل‌های ارائه‌شده عملیات پیش‌پردازش زیر انجام شده است:

ـ حذف بیماران اورژانسی از مجموعه داده‌ها (به‌علت داشتن اتاق عمل مجزا برای بیماران اورژانسی)؛

ـ بررسی جدول MSS مربوط به دوره یادشده و همچنین داده‌های بیمارستان و درنظرگرفتن ۴۷ جراح که بلوک به آن‌ها می‌تواند اختصاص یابد؛

ـ در این بیمارستان در مجموعه اتاق‌های عمل الکتیو ۱، ۷ تخصص جراحی وجود دارد که شامل جراحی عمومی (زنان و مردان)، ارولوژی، زنان و مامایی، جراحی اعصاب، ارتوپد (زنان و مردان)،

اطفال و ENT است. تعداد کل تخت بخش برای این بیمارستان ۲۳۵ مورد است. جدول ۲، تعداد تخت بخش‌های مربوط به هر تخصص را نشان داده است.

جدول ۲. تعداد تخت بخش مربوط به هر تخصص

شماره تخصص	نام تخصص	تعداد تخت
۱	ارولوژی	۳۰
۲	ENT	۳۰
۳	جراحی عمومی مردان	۳۱
۴	اطفال	۲۰
۵	اعصاب	۳۱
۶	زنان مامایی+جراحی عمومی زنان	۳۳
۷	ارتوپد مردان و زنان	۶۰

ـ در نظر گرفتن تعداد ۲۰ اتاق عمل برای به‌کارگیری در مدل‌ها که مطابق با داده‌ها در آن‌ها عمل جراحی انجام شده است؛

ـ درنظرگرفتن وقت عادی از ۸ صبح تا ۴ عصر مطابق با برنامه بیمارستان؛

ـ استفاده از فرمولاسیون الگو توسط درنظرگرفتن سه الگوی زمانی مختلف برای هر بلوک اتاق عمل؛ یعنی الگوی ۴ ساعت اول، ۴ ساعت دوم و بلوک هشت‌ساعته؛

ـ درنظرگرفتن ۴ ساعت زمان اضافه‌کاری مجاز مطابق با داده‌های بیمارستان؛

ـ هزینه‌های اضافه‌کاری و بیکاری به‌ازای هر واحد زمان، با نظر کارشناسان به‌ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۱۰ واحد فرض شده است؛

ـ مقدار β در حالتی که کل میزان تقاضای ساعتی از مجموع ظرفیت عادی و اضافه‌کاری موجود کمتر باشد، ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است و در غیر این صورت مقدار β به میزان لازم افزایش داده می‌شود؛

ـ حداکثر تعداد اتاق عملی که در یک روز به یک جراح داده می‌شود که همان پارامتر S است، با توجه به اینکه این بیمارستان آموزشی است و امکان نظارت بیش از یک اتاق توسط استاد جراح وجود دارد، ۲ اتاق در نظر گرفته شده است؛

ـ گِردکردن مدت‌زمان انجام عمل‌ها به سمت اعداد صحیح و درنظرگرفتن این مقادیر در مدل‌ها بر حسب ساعت؛

ـ مشخص‌کردن کل تقاضای هر هفته در دوره شش‌ماهه؛

ـ انتخاب هفته‌های ۱۹ تا ۲۲ برای به‌دست‌آوردن پارامترهای مختلف مدل به‌دلیل نبود داده‌های پرت زیاد در این هفته‌ها؛
ـ درنظرگرفتن ۱۲۰ نوع عمل در هفته‌های برگزیده؛
ـ به‌دست‌آوردن میانگین تقاضای انواع عمل‌های مختلف جراحان؛
ـ مشخص‌کردن اینکه هر نوع عمل توسط چه جراحانی و در چه تخصصی انجام می‌پذیرد؛
ـ به‌دست‌آوردن میانگین مدت‌زمان هر نوع عمل خاص با توجه به داده‌ها؛
ـ به‌دست‌آوردن میانگین مدت‌زمان اقامت یا بستری‌شدن هر نوع عمل خاص با توجه به داده‌ها
ـ درنظرگرفتن ضریب اهمیت برای ۱۲۰ نوع عمل با توجه به حساسیت آن‌ها؛
ـ درنظرگرفتن ۶ هفته برای ایجاد نمونه مسئله به‌منظور اصلاح جداول MSS به‌دست‌آمده در مرحله دوم و در اعتبارسنجی مدل پیشنهادی.

آزمایش‌های عددی. در این بخش نتایج اجرای مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. مدل در محیط نرم‌افزاری GAMS-2.0.54.3 کدنویسی شده است. به‌منظور رسیدن به جواب، زمان حل تا ۳۵۰ دقیقه برای هر مسئله محدود شده است. داده‌های به‌کاررفته برای حل مدل از میانگین و بیشینه تقاضای نوع عمل‌های مختلف جراحان در هفته‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲ به‌دست آمده است. درصد تقاضای مجاز برآورده‌نشده ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است.

مقادیر کمینه و بیشینه توابع هدف سه‌گانه در حالت قطعی در جدول ۳، مشاهده می‌شود. برای به‌دست‌آوردن مقدار کمینه تابع هدف اول، بیشینه تابع هدف دوم و کمینه تابع هدف سوم، مسئله با درنظرگرفتن هر یک از اهداف به‌صورت منحصربه‌فرد حل شده است. برای به‌دست‌آوردن بیشینه تابع هدف اول، کل تقاضا در بلوک‌ها تا حد ممکن پخش شده است. کمینه تابع هدف دوم صفر در نظر گرفته می‌شود؛ بدین معنا که هیچ‌یک از ترجیحات جراحان برآورده نشود. بیشینه تابع هدف سوم نیز با هدف بیشینه‌کردن تابع هدف سوم در مسئله محاسبه می‌شود.

جدول۳. مقادیر کمینه و بیشینه توابع هدف در مدل

	Min	Max
Z_1	۱۰۳۰۰	۳۵۸۶۰
Z_2	۰	۹۵
Z_3	۰	۱۵۹

به‌منظور ترکیب توابع هدف، درصدهای مختلف در مقادیر نرمال‌شده آن‌ها ضرب شده و یک مقدار نرمال‌شده وزنی که با Z نمایش داده می‌شود به‌دست می‌آید. نتایج حل مدل به‌ازای ضرایب مختلف اهداف به‌ترتیب در جدول ۴، ارائه شده است.

جدول۴. نتایج توابع هدف سه‌گانه به‌ازای ضرایب مختلف اهداف مسئله

شماره مسئله	حالات مسئله			Z_1	Z_2	Z_3	Z	فاصله نسبی	فاصله مطلق	زمان حل (دقیقه)
	α_1	α_2	α_3							
۱	۰	۰/۵	۰/۵	۳۱۵۶۰	۹۰	۰/۸	−۰/۴۷۱	۲٪	−۰/۰۱۰	۳۵۰
۲	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۲۶۹۵۰	۸۵	۲/۱	−۰/۲۲۲	۱۰٪	−۰/۰۲۵	۳۵۰
۳	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۲۱۱۴۰	۸۵	۵۰	−۰/۰۰۴	۱۵٪	−۰/۰۰۱	۳۵۰
۴	۰/۶	۰/۲	۰/۲	۱۵۷۵۰	۸۳	۸۹/۲	۰/۰۶۵	۱۴٪	۰/۰۱۱	۳۵۰
۵	۰/۸	۰/۱	۰/۱	۱۱۵۶۰	۸۳	۱۰۸/۸	۰/۰۲۰	۲٪	۰/۰۰۰	۳۵۰
۶	۱	۰	۰	۱۰۳۰۰	۴۵	۱۳۷/۱	۰	۰٪	۰	۲۵۰
۷	۰/۵	۰	۰/۵	۲۱۱۴۰	۴۷	۳۹/۸	۰/۳۳۷	۲٪	۰/۰۰۷	۳۸
۸	۰/۴	۰/۲	۰/۴	۲۲۹۴۰	۸۴	۲۵/۲	۰/۰۸۴	۱۶٪	۰/۰۱۶	۳۵۰
۹	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۲۳۴۷۰	۸۷	۲۵/۷	−۰/۱۶۳	۱۴٪	−۰/۰۲۷	۳۵۰
۱۰	۰/۲	۰/۶	۰/۲	۲۵۰۰۰	۸۸	۳۵/۶	−۰/۳۹۶	۱۶٪	−۰/۰۷۵	۳۵۰
۱۱	۰/۱	۰/۸	۰/۱	۲۶۱۷۰	۹۰	۳۷/۵	−۰/۶۷۲	۳٪	−۰/۰۲۱	۱۴۲
۱۲	۰	۱	۰	۲۳۵۰۰	۹۵	۱۴۰/۵	−۱	۰٪	۰	۸۰
۱۳	۰/۵	۰/۵	۰	۱۰۷۲۰	۸۶	۱۴۵/۴	−۰/۴۴۴	۱۱٪	−۰/۰۵۵	۳۵۰
۱۴	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۱۲۱۹۰	۸۶	۱۱۰	−۰/۱۹۴	۱۲٪	−۰/۰۲۶	۳۵۰
۱۵	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۲۶۶۲۰	۸۵	۵/۶	−۰/۰۶۳	۱۶٪	−۰/۰۱۲	۳۵۰
۱۶	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۲۶۹۰۰	۸۶	۲/۱	−۰/۰۴۳	۱۵٪	−۰/۰۰۸	۳۵۰
۱۷	۰/۱	۰/۱	۰/۸	۲۷۱۰۰	۸۶	۱	−۰/۰۲۰	۱۵٪	−۰/۰۰۳	۳۵۰
۱۸	۰	۰	۱	۲۹۵۶۰	۵۴	۰	۰	۰٪	۰	۷۴

مطابق جدول ۴، برای به‌دست‌آوردن جداول MSSای که ضرایب تأثیر اهداف تغییر کند، ۱۸ حالت آورده شده است. مقدار تغییرات تابع هدف اول، دوم و سوم به‌ازای ضرایب مختلف اهداف به‌ترتیب ۶۷، ۵۲ و ۱۰۰ درصد است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر تابع هدف سوم با تغییر ضرایب تابع هدف از پراکندگی بیشتری نسبت به توابع هدف اول و دوم برخوردار است. فاصله نسبی از مقدار بهینه بین صفر تا ۱۶ درصد است. زمان حل در مسائل ۶، ۱۲ و ۱۸ که به‌ترتیب با هدف بهینه‌کردن تابع هدف اول، دوم و سوم ارائه شده‌اند، ۲۵۰، ۸۰ و ۷۴ دقیقه است که می‌توان نتیجه گرفت در این مسئله حل تابع هدف اول نسبت به دو تابع دیگر با سختی بیشتری همراه است.

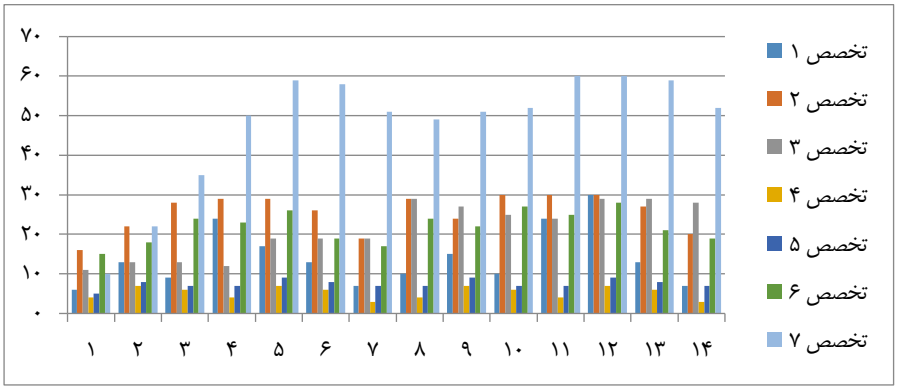
تعداد متغیرهای تصمیم صفر و یک و عدد صحیح در مدل ارائه‌شده دارای $O(J \times K \times T \times P \times OP)$ است و در آن J تعداد جراحان، K تعداد اتاق‌های عمل، T تعداد روزهای برنامه‌ریزی، P تعداد الگوهای بلوکی و OP تعداد انواع عمل‌های جراحی است؛ همچنین تعداد محدودیت‌ها

دارای $O(J \times K \times T \times P)$ است. با توجه به اینکه مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر پیچیدگی مسئله تعداد جراحان و تعداد اتاق‌های عمل هستند، تأثیر تغییر این دو پارامتر بر تعداد متغیرهای تصمیم، تعداد محدودیت‌ها، زمان حل مسئله و فاصله نسبی از جواب بهینه در جدول ۵، آورده شده است.

جدول۵ . تحلیل تأثیر تغییر ابعاد مسئله

دسته مسائل	تعداد اتاق عمل	تعداد جراحان	تعداد محدودیت‌ها	تعداد متغیرها	زمان حل (دقیقه)	فاصله نسبی
۱	۵	۱۵	۱۹۷۴۲	۱۵۶۱۰۹	۲	۲٪
۲	۸	۲۰	۴۳۷۵۸	۳۳۳۵۶۹	۷	۳٪
۳	۱۰	۲۵	۶۴۲۰۲	۵۱۶۵۰۴	۳۰	۲٪
۴	۱۲	۳۰	۹۱۱۷۲	۷۴۱۹۵۵	۵۰	۰٪
۵	۱۵	۳۵	۱۳۲۲۰۲	۱۰۸۰۴۴۹	۹۵	۰٪
۶	۱۸	۴۰	۱۹۲۱۰۸	۱۴۹۱۷۸۹	۱۲۰	۴٪
۷	۲۰	۴۷	۲۵۰۶۸۴	۱۹۴۷۰۴۱	۱۴۲	۳٪

با توجه به جدول ۵، هفت دسته مسئله بر اساس تغییر تعداد اتاق عمل و جراحان، تعریف شده است. هر چه تعداد اتاق عمل و جراحان افزایش می‌یابد، مسئله سخت‌تر می‌شود و زمان حل افزایش می‌یابد. در شکل ۳، نمودار تعداد تخت اشغال‌شده در ۷ تخصص در نمونه مسئله ۱۶ در روزهای مختلف به‌عنوان مثال نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار تعداد تخت اشغال‌شده در ۷ تخصص در نمونه مسئله ۱۶ در روزهای مختلف

با توجه به اعداد تعداد تخت دردسترس برای هر تخصص در جدول ۳، تخصص‌های ۱، ۲، ۳، ۶ و ۷ در بعضی روزها به حد بالای خود رسیده‌اند؛ درحالی‌که تخصص‌های ۴ و ۵ تعداد

کمتری تخت نسبت به تعداد تخت دردسترس مربوط به خود نیاز داشته‌اند؛ بنابراین با درنظرگرفتن محدودیت تخت می‌توان روند اشغال تخت‌ها در تخصص‌های مختلف را مشاهده کرد و مدیریت توزیع تخت‌ها بین تخصص‌ها را بهتر انجام داد. به‌منظور تحلیل حساسیت پارامتر ظرفیت بخش هر تخصص (bed_g)، آزمایش‌هایی با تغییر این پارامتر به‌صورت $\alpha \times bed_g$ که در آن $\alpha \in [0.25,1.5]$ ، انجام شده است. جدول ۶، همچنین نتایج تحلیل حساسیت پارامتر مقدار تقاضای جراحان به‌صورت $\alpha \times d_j^{op}$ را نیز نشان می‌دهد.

جدول۶. تحلیل حساسیت تعداد تخت هر تخصص و مقدار تقاضای جراحان

α	$\alpha \times bed_g$			$\alpha \times d_j^{op}$		
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_1	Z_2	Z_3
۰/۲۵	امکان ناپذیر	امکان ناپذیر	امکان ناپذیر	امکان ناپذیر	امکان ناپذیر	امکان ناپذیر
۰/۵	۱۲۱۹۰	۸۶	۳۵/۲	۳۹۶۰	۹۴	۰
۰/۷۵	۱۰۷۲۰	۹۰	۲۲/۲	۱۰۷۰	۹۵	۰
۱ (مسئله پایه)	۱۰۳۰۰	۹۵	۰	۱۰۳۰۰	۹۵	۰
۱/۲۵	۱۰۳۰۰	۹۵	۰	۲۸۷۰۰	۹۵	۷۰
۱/۵	۱۰۳۰۰	۹۵	۰	امکان ناپذیر	امکان ناپذیر	امکان ناپذیر

با توجه به جدول ۶، موارد زیر قابل‌برداشت است:

ـ چنانچه تعداد تخت‌های موجود در بخش هر تخصص از حدی کمتر باشد، مدل امکان‌ناپذیر می‌شود؛ زیرا تخت کافی برای پوشش‌دادن تقاضای بیماران وجود ندارد؛

ـ با کم‌شدن تعداد تخت‌ها هر سه تابع هدف به‌صورت هم‌زمان بدتر می‌شوند؛

ـ در شرایط فعلی (مسئله پایه) تمام تقاضا پوشش داده می‌شود ($Z_3 = 0$) ولی با کم‌شدن تعداد تخت‌ها مشاهده می‌شود که بخشی از تقاضای عمل‌های جراحی قادر به برآورده‌شدن نیست و بنابراین اهمیت وجود ظرفیت مناسب برای تخت‌ها را نشان می‌دهد؛

ـ در شرایط فعلی اضافه‌کردن تعداد تخت‌ها تأثیری بر توابع هدف ندارد و بنابراین افزایش ظرفیت تخت در شرایط فعلی بیمارستان لازم نیست؛

ـ اگر تقاضا خیلی کم و یا خیلی زیاد در نظر گرفته شود، مدل نمی‌تواند تمام بلوک‌های MSS را پوشش دهد و بنابراین جواب مسئله امکان‌ناپذیر می‌شود؛

ـ با اضافه‌شدن تقاضای اعمال جراحی نسبت به شرایط فعلی بیمارستان مشاهده می‌شود که هزینه‌های اضافه‌کاری اتاق‌ها افزایش می‌یابد و به‌صورت هم‌زمان بخشی از تقاضای بخشی از عمل‌های جراحی (طبق تابع هدف سوم) برآورده نخواهد شد؛

ـ در مسئله موردبررسی، تغییرات تقاضای اعمال جراحی تأثیر خاصی بر برآورده‌شدن ترجیحات جراحان ندارد.

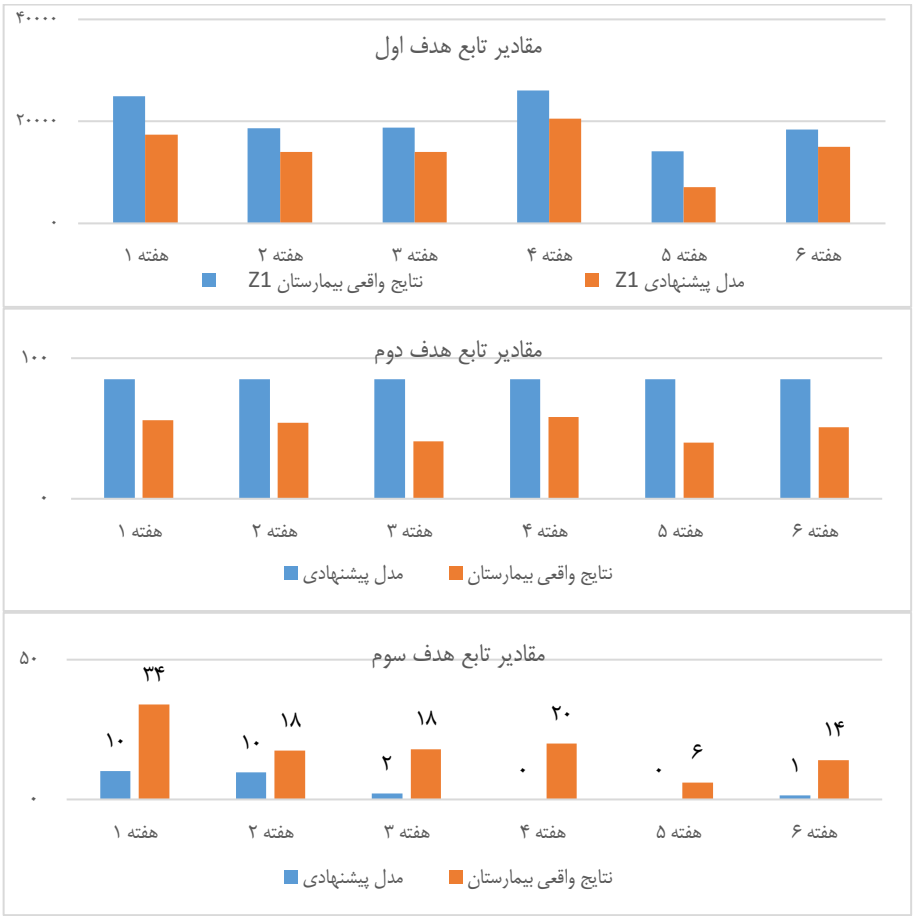
داده‌های مربوط به هفته‌های ۸، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲ در دوره زمانی شش‌ماهه اول سال ۱۳۹۴ در «بیمارستان الزهرای اصفهان» برای اعتبارسنجی مدل‌ها انتخاب شده است. بدین صورت که جدول‌های MSS به‌دست‌آمده از حل مرحله اول مدل، در ۱۸ حالت مختلف به‌ازای ضرایب مختلف تابع هدف بعد از اصلاح‌شدن در مرحله دوم با استفاده از داده‌های واقعی هر هفته، با نتایج واقعی بیمارستان در آن هفته مقایسه شده است. مقایسه نتایج مدل پیشنهادی و نتایج واقعی بیمارستان در توابع هدف مختلف برای هفته ۸ به‌صورت نمونه در جدول ۷، ارائه شده است. نمودار مقادیر توابع هدف برای تمامی هفته‌های انتخاب‌شده به‌منظور اعتبارسنجی در شکل ۴، مشاهده می‌شود.

جدول ۷. نتایج مقایسه مدل پیشنهادی و برنامه واقعی بیمارستان در هفته ۸

شماره مسئله	Z1			Z2			Z3			Z		
	مدل پیشنهادی	واقعی	درصد بهبود	مدل پیشنهادی	واقعی	درصد بهبود	مدل پیشنهادی	واقعی	درصد بهبود	مدل پیشنهادی	واقعی	
۱	۱۶۹۶۰	۲۴۹۲۰	۳۱/۹۴	۹۰	۵۶	۶۰/۷۱	۱۵/۵	۳۴	۵۴/۴۱	-۰/۲۴	۰/۵۰	
۲	۱۸۰۴۰	۲۴۹۲۰	۲۷/۶۱	۸۵	۵۶	۵۱/۷۹	۰/۷	۳۴	۹۷/۹۴	-۰/۳۴	۰/۶۰	
۳	۱۸۴۳۰	۲۴۹۲۰	۲۶/۰۴	۸۵	۵۶	۵۱/۷۹	۵/۴	۳۴	۸۴/۱۲	-۰/۰۹	۰/۷۰	
۴	۱۸۹۷۰	۲۴۹۲۰	۲۳/۸۸	۸۳	۵۶	۴۸/۲۱	۳	۳۴	۹۱/۱۸	-۰/۰۲	۰/۸۰	
۵	۱۵۹۳۰	۲۴۹۲۰	۳۶/۰۸	۸۳	۵۶	۴۸/۲۱	۵/۷	۳۴	۸۳/۲۴	۰/۰۲	۰/۹۰	
۶	۱۵۹۶۰	۲۴۹۲۰	۳۵/۹۶	۴۵	۵۶	-۱۹/۶۴	۱۲/۶	۳۴	۶۲/۹۴	۰/۰۵	۱/۰۰	
۷	۱۷۱۷۰	۲۴۹۲۰	۳۱/۱۰	۴۷	۵۶	-۱۶/۰۷	۱۶/۲	۳۴	۵۲/۳۵	۰/۲۲	۱/۰۰	
۸	۱۶۶۶۰	۲۴۹۲۰	۳۳/۱۵	۸۴	۵۶	۵۰/۰۰	۰	۳۴	۱۰۰/۰۰	-۰/۱۵	۰/۸۰	
۹	۲۰۴۴۰	۲۴۹۲۰	۱۷/۹۸	۸۷	۵۶	۵۵/۳۶	۰/۷	۳۴	۹۷/۹۴	-۰/۲۳	۰/۶۰	
۱۰	۱۸۸۵۰	۲۴۹۲۰	۲۴/۳۶	۸۸	۵۶	۵۷/۱۴	۱۱	۳۴	۶۷/۶۵	-۰/۴۶	۰/۴۰	
۱۱	۲۰۱۱۰	۲۴۹۲۰	۱۹/۳۰	۹۰	۵۶	۶۰/۷۱	۰	۳۴	۱۰۰/۰۰	-۰/۶۹	۰/۲۰	
۱۲	۱۸۶۴۰	۲۴۹۲۰	۲۵/۲۰	۹۵	۵۶	۶۹/۶۴	۰	۳۴	۱۰۰/۰۰	-۰/۹۸	۰/۰۰	
۱۳	۱۴۴۳۰	۲۴۹۲۰	۴۲/۰۹	۸۶	۵۶	۵۳/۵۷	۰	۳۴	۱۰۰/۰۰	-۰/۴۷	۰/۵۰	
۱۴	۱۷۳۸۰	۲۴۹۲۰	۳۰/۲۶	۸۶	۵۶	۵۳/۵۷	۲۶/۱	۳۴	۲۳/۲۴	-۰/۱۵	۰/۶۰	
۱۵	۱۷۳۸۰	۲۴۹۲۰	۳۰/۲۶	۸۵	۵۶	۵۱/۷۹	۱۰/۱	۳۴	۷۰/۲۹	-۰/۱۲	۰/۷۰	
۱۶	۱۷۳۸۰	۲۴۹۲۰	۳۰/۲۶	۸۶	۵۶	۵۳/۵۷	۰/۷	۳۴	۹۷/۹۴	-۰/۱۵	۰/۸۰	
۱۷	۱۷۸۰۰	۲۴۹۲۰	۲۸/۵۷	۸۶	۵۶	۵۳/۵۷	۸/۵	۳۴	۷۵/۰۰	۰/۱۱	۰/۹۰	
۱۸	۱۴۶۹۰	۲۴۹۲۰	۴۱/۰۵	۵۴	۵۶	-۳/۵۷	۱۴	۳۴	۵۸/۸۲	۰/۴۱	۱/۰۰	
میانگین			۲۹/۷۳			۳۵/۴۳			۷۳/۷۸			

با توجه به نتایج جدول ۷، در تمامی نمونه مسائل حل‌شده، مقدار تابع هدف اول و سوم مدل پیشنهادی با تفاوت بارزی نسبت به برنامه واقعی بیمارستان بهتر است و تنها در سه نمونه مسئله در تابع هدف دوم اندکی از برنامه واقعی بیمارستان بدتر عمل کرده است. میانگین درصد بهبود در توابع هدف اول، دوم و سوم نسبت به برنامه واقعی بیمارستان به‌ترتیب ۲۹/۷۳، ۴۳/۳۵ و ۷۸/۷۳ است. شکل ۴، نمودارهای مقادیر توابع هدف اول، دوم و سوم در مدل پیشنهادی و برنامه واقعی بیمارستان در هفته‌های مختلف را نشان می‌دهند. این نمودارها مقایسه تابع هدف مدل

پیشنهادی و نتایج برنامه واقعی بیمارستان به‌ازای $\alpha_1 = 0.3$ ، $\alpha_{2=0.3}$ و $\alpha_3 = 0.4$ را در ۶ هفته مختلف نشان می‌دهند. طبق شکل ۴، با اعمال برنامه پیشنهادی روی ۶ نمونه هفته مختلف و مقایسه نتایج با برنامه واقعی بیمارستان مشاهده می‌شود که در تمام هفته‌ها مقدار مجموع هزینه بیکاری و اضافه‌کاری اتاق عمل برنامه پیشنهادی (تابع هدف اول) به‌طور محسوسی نسبت به برنامه واقعی بیمارستان کمتر است. ترجیحات جراحان (تابع هدف دوم) در مدل پیشنهادی تا بالاترین حد ممکن خود برآورده شده است؛ همچنین مقدار تقاضای برآورده‌نشده (تابع هدف سوم) در مدل پیشنهادی به‌ازای هفته‌های مختلف برنامه‌ریزی، بسیار کم بوده و در دو هفته به صفر رسیده است.



شکل ۴. مقایسه نتایج مدل پیشنهادی و نتایج برنامه واقعی بیمارستان به‌ازای اهداف اول، دوم و سوم در ۶ هفته مختلف

با توجه به نمودارهای شکل ۴، تفاوت زیادی بین نتایج مدل پیشنهادی و نتایج برنامه واقعی بیمارستان در تمامی هفته‌های موردارزیابی وجود دارد که نشان‌دهنده کارایی مدل پیشنهادی در عمل است.

یافته‌های مدیریتی. با توجه به جدول ۵، با تغییر ضرایب تابع هدف جواب‌های مختلفی به‌دست می‌آید که با استفاده از آن مرز پارتو قابل‌دستیابی است. مجموعه جواب‌های پارتو می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران مورداستفاده قرار گیرد. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد با افزایش ضریب هزینه اضافه‌کاری و بیکاری اتاق‌های عمل، مقدار این هزینه کاهش می‌یابد؛ ولی مقدار تقاضای برآورده‌نشده افزایش و به‌دنبال آن رضایت بیماران کاهش می‌یابد؛ همچنین میزان ترجیحات برآورده‌شده جراحان نیز کم می‌شود که کاهش رضایت جراحان را به‌دنبال دارد. مدیریت با درنظرگرفتن این موارد می‌تواند جدول MSS مناسب با بیمارستان را انتخاب کند.

تحلیل حساسیت روی مقدار پارامتر تخت موجود برای هر تخصص نشان می‌دهد که در شرایط فعلی (مسئله پایه) تمام تقاضا پوشش داده می‌شود ($Z_3 = 0$)؛ ولی با کم‌شدن تعداد تخت‌ها بخشی از تقاضای عمل‌های جراحی قادر به برآورده‌شدن نیست و بنابراین اهمیت وجود ظرفیت مناسب برای تخت‌ها را نشان می‌دهد. در شرایط فعلی اضافه‌کردن تعداد تخت‌ها تأثیری بر توابع هدف ندارد و بنابراین لزومی به افزایش ظرفیت تخت در شرایط فعلی بیمارستان نیست. با تحلیل نمودار تعداد تخت اشغال‌شده در ۷ تخصص در روزهای مختلف (شکل ۳) می‌توان روند اشغال تخت‌ها در تخصص‌های مختلف را مشاهده کرد و مدیریت توزیع تخت‌ها بین تخصص‌ها را بهتر انجام داد. بدین صورت که بدون افزایش در کل تعداد تخت‌های موجود بیمارستان با توجه به نیاز تخصص‌های مختلف به تخت، به تخصص‌هایی که تا حد بالای ظرفیت تخت خود را اشغال کرده‌اند، تعداد تخت بیشتر تخصیص داد و از تعداد تخت بخش‌هایی که تخت بلااستفاده در روزهای مختلف دارند، کم کرد.

مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با برنامه واقعی بیمارستان نشان می‌دهد که در تمامی نمونه مسائل حل‌شده، مقدار تابع هدف اول و سوم مدل پیشنهادی با تفاوت بارزی نسبت به برنامه واقعی بیمارستان بهتر است و تنها در سه نمونه مسئله در تابع هدف دوم اندکی از برنامه واقعی بیمارستان بدتر عمل کرده است. میانگین درصد بهبود در توابع هدف اول، دوم و سوم نسبت به برنامه واقعی بیمارستان به‌ترتیب ۲۹/۷۳، ۴۳/۳۵ و ۷۸/۷۳ است. نتایج جدول ۵، همچنین نشان می‌دهد که مقادیر تابع هدف سوم با تغییر ضرایب تابع هدف از پراکندگی بیشتری نسبت به توابع هدف اول و دوم برخوردار است؛ بنابراین مسئله به هدف سوم (کمینه‌کردن تقاضای برآورده‌نشده) حساس‌تر است و این هدف اهمیت بیشتری دارد. مدیریت می‌تواند با راهکارهایی از قبیل تحلیل

تعداد تخت‌های موردنیاز و تخصیص بهتر تعداد تخت‌های دردسترس بین تخصص‌ها، افزایش ظرفیت نرمال اتاق‌های عمل و اعمال سیاست‌هایی برای کاهش هزینه ساعات اضافه‌کاری و به‌کارگیری مدل ارائه‌شده برای طراحی مجدد جدول MSS، ضمن کمینه‌کردن مقدار تقاضای پوشش‌داده‌نشده، هزینه‌های اضافه‌کاری و بیکاری اتاق‌های عمل را به حداقل رسانده و ترجیحات جراحان را نیز برآورده کند. از جمله قابلیت های مدل توسعه‌داده‌شده توانایی تغییر و اصلاح آن با تغییرات تقاضای عمل‌های جراحی مختلف در بازه‌های هفتگی برای مقابله با نوسانات تقاضا و استفاده حداکثر از ظرفیت اتاق‌های عمل است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، مسئله تعیین جدول زمان‌بندی چرخه‌ای MSS به‌صورت یکپارچه با برنامه‌ریزی آمیخته بیماران در بلوک‌های اتاق عمل بررسی شده و یک روش دومرحله‌ای برای ایجاد و بهنگام‌سازی آن به‌منظور مقابله با نوسانات تقاضا در هفته‌های مختلف ارائه شده است. در مرحله اول، مدل پیشنهادی با درنظرگرفتن ضرایب مختلف تابع هزینه به جدول‌های MSS مختلفی برای یک دوره میان‌مدت منجر می‌شود. تصمیم‌گیرنده بیمارستان می‌تواند جدول MSSموردنظر خود را بر اساس اهداف مختلف و سهمی که هر یک از اهداف برای بیمارستان موردنظر دارد، انتخاب کند. در مرحله دوم جدول MSS انتخاب‌شده به‌عنوان ورودی به‌کار می‌رود؛ سپس در این مرحله که به‌صورت هفتگی انجام می‌شود، به‌منظور جلوگیری از عدم‌استفاده از ظرفیت اتاق عمل‌ها به‌دلیل نوسانات تقاضای جراحان، جدول یادشده در صورت نیاز برای هفته موردنظر اصلاح می‌شود. ارائه یک روش دومرحله‌ای برای ایجاد MSS و اصلاح‌کردن آن به‌صورت هفتگی با اعمال استراتژی اصلاحی، حل یکپارچه مسئله تعیین جدول MSS و تعیین آمیخته عمل‌های جراحی هر جراح در هر بلوک، درنظرگرفتن هم‌زمان اهداف کاهش هزینه‌های اضافه‌کاری و بیکاری، افزایش ترجیحات جراحان و کاهش تقاضای برآورده‌نشده و ارائه یک رویکرد حل سه‌هدفه، درنظرگرفتن محدودیت‌های واقعی در مدل و استفاده از داده‌های واقعی «بیمارستان الزهرای اصفهان» برای تحلیل نتایج و مقایسه با نتایج واقعی بیمارستان از نوآوری‌های این پژوهش است. مدل ارائه‌شده در هفته‌های متعددی با داده‌های واقعی «بیمارستان الزهرای اصفهان» اعتبارسنجی شده است. نتایج روش پیشنهادی با تفاوتی معنادار نسبت به جدول زمان‌بندی واقعی بیمارستان بهتر برنامه‌ریزی کرده است که نشان از کارایی مدل‌های ارائه شده دارد. ایجاد مدل استوار برای درنظرگرفتن عدم‌قطعیت در تقاضا، حل مدل با استفاده از روش‌های فراابتکاری برای کاهش زمان حل و درنظرگرفتن عدم‌قطعیت‌های دیگر در مدل، مانند مدت‌زمان جراحی یا اقامت بیمار، می‌توانند پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی باشند.

منابع

1. Aringhieri, R., Landa, P., Soriano, P., Tànfani, E. & Testi, A. (2015). A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem. *Computers & Operations Research, 54,* 21–34.
2. Astaraky, D. & Patrick, J. (2015). A simulation based approximate dynamic programming approach to multi-class,multi-resource surgical scheduling. *European Journal of Operational Research, 245,* 309–319.
3. Banditori, C., Cappanera, P. & Visintin, F. (2013). A combined optimization–simulation approach to the master surgical scheduling problem. *IMA Journal of Management Mathematics, 24,* 155–187.
4. Belien, J. & Demeulemeester, E. (2007). Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy. *European Journal of Operational Research, 176,* 1185–1204.
5. Blake, J. T., Dexter, F. & DonaLD, J. (2002). Operating Room Managers' Use of Integer Programming for Assigning Block Time to Surgical Groups: A Case Study. *Anesthesia & Analgesia, 94,* 143-148.
6. Cappanera, P., Visintin, F. & Banditori, C. (2016). A Goal-Programming Approach to the Master Surgical Scheduling Problem. Health Care Systems Engineering for Scientists and Practitioners, 155-166.
7. Choi, S. & Wilhelm, W. E. (2014). An approach to optimize block surgical schedules. *European Journal of Operational Research, 235,* 138–148.
8. Dellaert, N. & JeuneT, J. (2017). A variable neighborhood search algorithm for the surgery tactical planning problem. *Computers & Operations Research, 85,* 216-225.
9. Fatahi, P., Mohammadi, E. & Daneshamooz, F. (2019). Providing a Harmony Search Algorithm for Solving Multi Objective Job Shop Scheduling Problem with Considering an Assembly Stage and Lot Streaming. *Journal of Industrial Management Perspective, 33,* 61-86 (In Persian).
10. Feugener, A. (2015). An Integrated Strategic and Tactical Master Surgery Scheduling Approach With Stochastic Resource Demand. *Journal of Business Logistics, 36,* 374–387.
11. Fügener, A., Hans, E. W., Kolisch, R., Kortbeek, N. & Vanberkel, P. T. (2014). Master surgery scheduling with consideration of multiple downstream units. *European journal of operational research, 239,* 227-236.
12. Geranmayeh, S. (2015). Optimizing Surgical Scheduling through integer programming and robust optimization. telfer school of management ,university of Ottawa.
13. Gunawan, A. & Lau, H. C. (2013). Master physician scheduling problem. *Journal of the Operational Research Society, 64,* 410-425.
14. Imani Imanlou, M., Atighehchian, A. (2017). Daily operating rooms scheduling under uncertainty using Simulation based optimization approach. *Journal of Industrial Management Perspective, 26,* 53-82 (In Persian).
15. LOUISE ROWSE, E. (2015). Robust Optimisation of Operating Theatre Schedules. School of Mathematics Cardiff University.
16. Mannino, C., Nilssen, E. J. & Nordlander, T. E. (2012). A pattern based, robust approach to cyclic master surgery scheduling. Journal of Scheduling, 15, 553–563.
17. Oostrum, J. M. V., Houdenhoven, M. V., Hurink, J. L., Hans, E. W., Wullink, G. & Kazemier, G. (2008). A master surgical scheduling approach for cyclic

scheduling in operating room departments. *OR Spectrum, 30,* 355–374.
18. Sajadi, S.M., Ayoogh, A. & Seyed Esfahani, M.M. (2016). Proposing an integrated model for analyzing and improving scheduling problems and sending automated guided vehicles in a flexible manufacturing system. *Journal of Industrial Management Perspective, 21,* 97-127 (In Persian).
19. Tanfani, E. & Testi, A. (2010). A pre-assignment heuristic algorithm for the Master Surgical Schedule Problem (MSSP). *Annals of Operations Research, 178,* 105–119.
20. Testi, A., Tanfani, E. & Torre, G. (2007). A three-phase approach for operating theatre schedules. *Health Care Manage Sci, 10,* 163–172.
21. Vijayakumar B, Parikh PJ. & Scott R et al (2013). A dual bin-packing approach to scheduling surgical cases at a publicly-funded hospital. *Eur J Oper Res, 224,* 583–591