نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال دوازدهم، شماره بیست و چهارم، بهار و تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۴۹-۶۱
www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2024.29317.2167

یک الگوریتم تجزیه Benders برای مسأله یکپارچه‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل با درنظر گرفتن چند شیفت و زمان آماده‌سازی

الهام ابوطالبی[۱]، سیدجواد حسینی‌نژاد[۲*]

۱. دانشجوی دکترای بهینه‌سازی سیستم‌ها، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۲. استادیار گروه سیستم‌های اقتصادی اجتماعی، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۳/۰۲/۱۸
پذیرش ۱۴۰۳/۰۵/۱۳
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل
الگوریتم تجزیه Benders
زمان آماده‌سازی

خلاصه

مسألهی یکپارچهی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل یکی از مهم‌ترین مسائل بهینه‌سازی در حوزه‌ی سلامت می‌باشد که اخیراً نیز مورد توجه مدیران بیمارستان‌ها قرار گرفته است. در این مقاله مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی باهدف افزایش درآمد و کاهش هزینه‌های جاری اتاق عمل و بافرض محدودیت منابع انسانی شامل جراحان و پرستاران و زمان دردسترس برای جراحان پیشنهاد می‌شود. در این مدل برای استفاده بهینه از ظرفیت اتاق عمل امکان برنامه‌ریزی در طی چند شیفت میسر شده و هزینه‌های جراحی و کادر درمان در هر شیفت لحاظ شده است. همچنین به‌دلیل تنوع در جراحی‌ها و نیاز به آماده‌سازی اتاق عمل زمان آماده‌سازی اتاق عمل نیز جهت برنامه‌ریزی دقیق‌تر درنظر گرفته شده است. به‌دلیل وجود متغیرهای سخت مدل با الگوریتم تجزیه Benders و با نرم‌افزار GAMS برای اندازه‌های مختلف حل شده است. درنظر گرفتن چند شیفت امکان برنامه‌ریزی برای تعداد بالای جراحی را فراهم کرده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد به‌دلیل میسر بودن امکان برنامه‌ریزی در چند شیفت میزان تابع هدف مسأله با استفاده از الگوریتم تجزیه Benders نسبت به نرم‌افزار GAMS برای مسائل با اندازه بزرگتر بهبودیافته و منجربه جواب بهینه با درآمد بیشتر و برنامه‌ریزی کارآمدتر اتاق عمل شده است. ازطرفی زمان حل نیز با الگوریتم تجزیه Benders کاهش یافته است.

۱. مقدمه و پیشینه تحقیق

امروزه باتوجه به شرایط اقتصادی یکی از مسائل اصلی در حوزه‌ی سلامت برنامه‌ریزی و زمان‌بندی واحدهای بیمارستانی می‌باشد. مسأله برنامه‌ریزی اتاق عمل برای اولین‌بار در سال ۱۹۵۳ توسط آدایر مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعه‌ی این مسأله در طی این ۷۰ سال اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است اما حجم عظیمی از پژوهش‌ها از سال ۲۰۰۰ میلادی به بعد انجام شده است و در سال‌های اخیر نیز بهینه‌سازی این نوع مسائل حائز اهمیت بوده است. در ابتدا مدل‌های ارائه شده اغلب مسائلی با ابعاد کوچک‌تر و شامل تعداد کمی از محدودیت‌ها بودند و تمرکز این مدل‌ها بیشتر بر روی مرحله‌ی جراحی بود. اما با گذشت زمان محدودیت‌های بیشتری درنظر گرفته شده و مدل‌ها توسعه داده شدند.

یکی از مهم‌ترین مراکز ارائه‌دهنده خدمات بهداشتی و درمانی، بیمارستان‌ها می‌باشند. با افزایش تعداد بیماران و مراجعه‌کنندگان، خدمت‌رسانی به‌موقع و باکیفیت نیازمند مدیریت صحیح و کارآمد می‌باشد. همان‌گونه که در مقاله‌ی دولابی و همکاران نیز (۱) اشاره شده است، ارائه خدمات باکیفیت در بیمارستان ازطریق استفاده بهینه‌ی منابع پزشکی علی‌الخصوص اتاق‌های عمل میسر می‌باشد. می‌توان گفت، اتاق عمل به‌عنوان یک فعالیت حیاتی در مدیریت

*نویسنده مسئول: سید جواد حسینی نژاد
تلفن: ۰۲۱-۸۴۰۶۳۳۴۲؛ پست الکترونیکی Hosseininezhad@kntu.ac.ir

حوزه‌های سلامت محسوب می‌شود. برای همین استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی در بیمارستان‌ها و در اتاق عمل که یکی از پرهزینه‌ترین‌های واحدهای بیمارستانی می‌باشد منجربه بهبود کارایی استفاده کارآمد از منابع و کاهش هزینه‌ها می‌شود. سازماندهی اقتصادی اتاق‌های عمل مستلزم استفاده‌ی کارا از منابع و برنامه‌ریزی دقیق‌تر بخش‌های جراحی است(۲). میزان اهمیت اتاق عمل در مقاله‌ی لاتورر (۳) نیز بدین‌صورت بیان شده است به‌طوری‌که عدم برنامه‌ریزی یا برنامه‌ریزی ضعیف می‌تواند باعث ایجاد زمان‌های بیکاری، افزایش اضافه‌کاری، و تاخیر یا لغو جراحی‌ها و درنتیجه منجربه هزینه‌های اضافی و ازدست دادن درآمد برای بیمارستان شود.

مدیریت اتاق عمل به‌طور کلی به سه مرحله‌ای که در ذیل بیان می‌شود تقسیم شده است (۴):

۱) مرحله استراتژیک: هدف اصلی مرحله‌ی استراتژیک، توزیع زمان اتاق عمل‌ها بین گروهای جراحی مختلف می‌باشد. این مرحله تحت عنوان مسأله‌ی برنامه‌ریزی ترکیبی شناخته شده و تقسیم‌بندی و مهیا بودن اتاق عمل بین بخش‌های جراحی یا جراحان مطالعه می‌شود.

۲) مرحله تاکتیکی: این مرحله توسعه‌ی برنامه‌ی اصلی جراحی است که زمان اتاق عمل برای تخصیص به هر گروه جراحی مشخص می‌شود. درواقع یک برنامه ادواری در افق برنامه‌ریزی میان‌مدت است که تعداد و نوع اتاق‌های عمل در دسترس روزانه، ساعات در دسترس بودن یا باز بودن اتاق‌های عمل، و اولویت‌های نسبی جراحان یا بخش‌های جراحی جراحان یا گروه‌های جراحی که اتاق عمل به آن‌ها اختصاص داده شده است را مشخص می‌کند.

۳) مرحله عملیاتی: درواقع برنامه‌ریزی بیماران به‌صورت روزانه، پس‌از توسعه‌ی برنامه اصلی جراحی است(۵) که این مرحله به برنامه‌ریزی روزانه نیز معروف می‌باشد. در برنامه‌ریزی عملیاتی زمان‌بندی عملیاتی ازقبیل تخصیص پرونده‌ها به اتاق‌های عمل یا جراح‌ها، ترتیب تخصیص (یعنی زمان شروع و پایان موارد برنامه‌ریزی شده) و تجهیزات تخصصی موردنیاز مشخص می‌شوند. علاوه‌بر این، گاهی رویدادهای غیرمنتظره (مانند طولانی‌تر یا کوتاه‌تر شدن مدت جراحی، لغو جراحی، بروز موارد فوری) منجربه تغییر برنامه‌ی روزانه می‌شود و گاهی مرحله سوم می‌تواند با زمان‌بندی طولانی‌مدت ادغام شود. برنامه‌ریزی و زمان‌بندی جراحی‌ها معمولاً به‌عنوان یک مسأله عملیاتی با افق برنامه‌ریزی یک یا چندروزه درنظر گرفته می‌شود. همان‌گونه که در مقاله دولابی (۱) و مقاله کاردون و همکاران (۶) اشاره شده است این مرحله معمولاً به دو مرحله‌ی زیر تقسیم می‌شود. در مرحله‌ی برنامه‌ریزی اتاق عمل که برنامه زمان‌بندی پیشرفت نیز نامیده می‌شود هر عمل جراحی به یک اتاق عمل و یک روز در افق برنامه‌ریزی اختصاص داده می‌شود (معمولاً یک هفته). در مرحله‌ی زمان‌بندی اتاق عمل یا برنامه‌ریزی تخصیص جراحی‌ها به فواصل زمانی مشخصی اختصاص می‌یابد و توالی عمل جراحی‌ها برای هر اتاق عمل مشخص می‌شود. برخی از مقالات فقط بر زمان‌بندی پیشرفت تمرکز می‌کنند و برخی بر زمان‌بندی تخصیص. اخیراً مطالعات انجام شده بر برنامه‌ریزی پیشرفت و تخصیص به‌عنوان یک مسأله یکپارچه برای غلبه بر عدم بهینه بودن تصمیمات متوالی تمرکز دارند. در این مقالات مسأله به‌طور کلی به‌عنوان مسأله‌ی یکپارچه‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل تعریف شده است.

برای مراحل تاکتیکی و عملیاتی که بیشتر مورد مطالعه قرار می‌گیرد استراتژی‌های ذیل قابل استفاده می‌باشد:

استراتژی برنامه‌ریزی بلوک: در این استراتژی مجموعه‌ای از بلوک‌های زمانی به جراحان یا گروه‌های جراحی که متشکل از جراحان همان تخصص جراحی است اختصاص داده می‌شود(۴). هر بلوک زمانی یک فاصله زمانی در یک روز خاص در یک اتاق عمل خاص می‌باشد. این برنامه‌ریزی معمولاً برای چند هفته یا چندماه انجام می‌شود به‌طوری‌که گروه‌های جراحی در بلوک‌های زمانی مرتب می‌شوند. این استراتژی مستلزم این است که در ابتدا تعداد و نوع اتاق عمل‌های موجود، ساعات باز بودن اتاق عمل‌ها، و گروه‌های جراحی یا جراحان موجود برای هر بلوک اتاق عمل مشخص شود (7) و درنهایت بلوک‌های زمانی با جراحی‌ها به‌گونه‌ای پر شود که میانگین زمان متناسب با دوره زمانی برنامه‌ریزی شده باشد.

استراتژی برنامه‌ریزی باز: در این استراتژی جراحان بخش‌های مختلف می‌توانند جراحی‌ها را در یک بلوک زمانی انجام دهند. همان‌طور که در مقاله‌ی گوریرو و همکاران (۴) اشاره شده است یک برنامه زمان‌بندی، با جراحی‌ها به‌ترتیب زمان ورود در دو سطح تکمیل می‌شود. سطح اول مربوط به ساختار زمان‌بندی موارد جراحی در میان‌مدت است، درحالی‌که سطح دوم مربوط به برنامه‌ریزی دقیق اتاق عمل در کوتاه‌مدت است. هدف اصلی مرحله زمان‌بندی، تطبیق دادن تمام تداخلات جراحی است. درواقع استراتژی زمان‌بندی باز آزادسازی استراتژی زمان‌بندی بلوک است و انتظار می‌رود برنامه زمان‌بندی کارآمدتری ارائه دهد (۱).

استراتژی زمان‌بندی بلوک اصلاح شده: این استراتژی نوعی زمان‌بندی بلوک‌ها با انعطاف‌پذیری بیشتری می‌باشد. به‌عبارتی در این حالت برخی از ساعات کاری اتاق‌های عمل رزرو می‌شوند و برخی دیگر باز می‌مانند، یا بلوک‌های زمانی استفاده نشده در زمان توافق شده‌ای (مثلاً ۷۲ ساعت) قبل از جراحی آزاد می‌شوند (۸). یونس‌پور و همکاران (۹) نیز با استفاده از این استراتژی و باهدف یافتن توالی و برنامه‌ی بهینه برای بیماران و حداقل نمودن هزینه اضافه‌کاری مسأله‌ی برنامه‌ریزی روزانه بیماران را مطالعه نمودند.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که یک برنامه اصلی جراحی فقط به جراحی‌های انتخابی مربوط می‌شود زیرا جراحی‌های ضروری و ساختگی یعنی جراحی‌های انتخابی که به‌ندرت پیش می‌آیند به‌دلیل ماهیت خاص آن‌ها قابل برنامه‌ریزی نمی‌باشد (۴). ازطرفی یک استراتژی زمان‌بندی باز انعطاف‌پذیرتر است و تمایل به تخصیص بهتر

موارد جراحی نسبت به بلوک دارد، لذا سیستم‌های زمان‌بندی باز اغلب در سیستم‌های سلامت پذیرش می‌شوند.

در ادامه مطالعات اخیر مرتبط با مسأله‌ی یکپارچه‌سازی زمان‌بندی و برنامه‌ریزی اشاره شده است. همان‌گونه که در مقالات مشاهده می‌شود این مسأله جزء مسائل مهم و پرکاربرد در حوزه سلامت می‌باشد و اخیراً نیز مورد توجه مدیران بخش سلامت قرار گرفته است. لذا براساس میزان اهمیت این موضوع در این مقاله نیز مدل یکپارچه‌سازی زمان‌بندی و برنامه‌ریزی مطالعه شده است. آنچه مسلم است این است که رویکرد یکپارچه‌سازی مسأله منجربه یک برنامه‌ریزی دقیق‌تر و دستیابی به یک برنامه زمان‌بندی پایدار می‌شود.

مسأله‌ی یکپارچه‌ی زمان‌بندی و برنامه‌ریزی عمل‌های جراحی در یک افق زمانی یک یا چندروزه، مسأله تخصیص جراحی به اتاق عمل‌های موجود و نیز مشخص نمودن توالی جراحی برای هر اتاق عمل می‌باشد. دولابی و همکاران (۱) با تمرکز بر این نوع مسأله در سطح عملیاتی و با استراتژی زمان‌بندی باز محدودیت‌های هر دو مسأله‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی را با هم درنظر گرفته‌اند که شامل محدودیت‌های حداکثر ساعات روزانه جراحان جلوگیری از هم‌پوشانی جراحی‌های انجام‌شده توسط همان جراح، لحاظ کردن زمان تمیز کردن به‌هنگام تغییر از موارد عفونی به موارد غیرعفونی و موعدهای زمانی مقرر شده‌ی هر جراحی می‌باشد. ازطرفی زمان‌بندی دقیق اتاق‌های عمل، توسط الگوریتم پیشرفته شاخه و قیمت و برش انجام می‌شود. سهم اصلی این تحقیق استفاده از روش جدید برش الگوریتم تجزیه Benders است که برای محدود کردن مسأله آزادشده‌ی مربوط به تولید ستون به‌کار می‌رود(۱).

بالتبع بهینه‌سازی چنین مدل‌هایی می‌تواند تصمیمات هفتگی مدیران و جراحان در برنامه‌ریزی اتاق عمل را پشتیبانی نماید. بنابراین برای برنامه‌ریزی هفته‌ی بعد اتاق عمل اطلاعاتی چون دردسترس بودن جراحان و متخصصین و عمل‌های جراحی موردنیاز بیماران جزء اصلی‌ترین اطلاعات می‌باشد. ازسویی برای انجام یک جراحی نیاز به کادر اتاق عمل و پرستاران آموزش‌دیده می‌باشد چراکه فقدان پرستاران ماهر برای موارد خاص جراحی در زمان‌های موردنیاز می‌تواند منجربه افزایش زمان جراحی و تأخیر در اتمام کار شود. برای همین درنظر گرفتن این فرضیات می‌تواند در برنامه‌ریزی دقیق‌تر اتاق‌های عمل مثمرثمر باشد. ازاین‌رو بارگتو و همکاران(۱۰) مسأله یکپارچه‌ی برنامه-ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل ارائه شده توسط دولابی و همکاران را توسعه داده و فرض منابع انسانی شامل جراحان و پرستاران را نیز در مدل درنظر گرفته‌اند که مدل جدید ارائه شده شامل محدودیت‌هایی است که معمولاً در برنامه‌ریزی اتاق عمل با آن‌ها مواجه می‌شوند ازجمله محدودیت‌های توالی، ظرفیت و موعد مقرر جراحی‌ها و محدودیت منابع انسانی شامل جراحان و پرستاران.

براساس مطالعات بسیاری که در این زمینه انجام شده است باتوجه به نوع مسأله‌ی تعریفی فرضیات و توابع هدف مختلفی در این‌گونه مسائل درنظر گرفته شده است. یکی از این موضوعات بحث مدیریت منابع در اتاق عمل می‌باشد. به‌عنوان مثال مدل ریاضی عدد صحیح مختلط با درنظر گرفتن منابع تجدیدپذیر (جراحان، متخصصان بیهوشی، پرستاران) و منابع غیرقابل تجدیدپذیر (داروها و مواد استریل) توسط رولند و همکاران (۱۱) ارائه شده و باهدف به حداقل رساندن هزینه‌های افتتاح اتاق‌های عمل و پرداخت اضافه‌کاری با استفاده از رویکرد الگوریتم ژنتیک حل شده است. علاوه‌بر این ملاحظات، سلامت کادر درمان جزو دغدغه‌های اصلی می‌باشد. لذا رولند و همکاران (۱۲) در ادامه با ادغام عامل انسانی و تأکید بر دسترس‌پذیری منابع انسانی در رویکرد بهینه‌سازی مسأله زمان‌بندی جدیدی را ارائه کرده‌اند به‌طوری‌که امکان ترک عملیات را قبل از عمل‌های جراحی میسر نموده است. سپس فرآیند برنامه‌ریزی را با تجزیه در دو مرحله متوالی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی انجام داده و با استفاده از یک روش هیوریستیکی مبتنی‌بر الگوریتم‌های ژنتیک مسأله را حل نموده‌اند. واضح است که هر جراحی به ترکیب خاصی از منابع انسانی و همچنین تجهیزات و مواد مختلف نیاز دارد. لذا لاتورر و همکاران (۳) مسأله زمان‌بندی اتاق عمل را با درنظر گرفتن هم‌زمان اتاق‌های عمل، ریکاوری پس‌از بیهوشی، منابع موردنیاز جراحی و رسیدن احتمالی جراحی‌های اورژانسی مورد مطالعه قرار داده‌اند به‌طوری‌که، علاوه‌بر جراحی‌های برنامه‌ریزی شده، زمان‌بندی باید به‌گونه‌ای انجام شود که جراحی‌های اورژانسی که ممکن است در طول هر روز رخ دهند، در مدت‌زمان محدودی انجام شوند. ازآنجایی‌که معمولاً این نوع مدل‌ها به‌صورت مرحله‌ای حل می‌شوند در این مقاله برای بررسی گلوگاه‌های واقعی تمام مراحل به‌طور همزمان بررسی شده است. برای همین مدل با استفاده از برنامه‌ریزی مقید به شانس و روش فراابتکاری مبتنی‌بر الگوریتم ژنتیک و یک هیوریستیک سازنده حل شده است.

اهمیت زمان در مسائل زمان‌بندی و یکپارچه برنامه‌ریزی-زمان‌بندی نیز بسیار واضح می‌باشد. فی و همکاران(۸) مسأله‌ی زمان‌بندی باز مربوط به جراحی هفتگی در اتاق عمل را با درنظر گرفتن بلوک‌های زمانی برای جراحان و متخصصان و باهدف به حداکثر رساندن استفاده از اتاق‌های عمل، به حداقل رساندن هزینه‌ی اضافه کاری در سالن عمل و به حداقل رساندن زمان بیکاری غیرمنتظره بین موارد جراحی انجام دادند و درنهایت مدل ارائه شده در دو فاز حل شده است به‌طوری‌که در فاز اول مسأله برنامه‌ریزی جهت مشخص نمودن تاریخ جراحی برای هر بیمار و دردسترس بودن اتاق‌های عمل و جراحان با یک روش اکتشافی مبتنی‌بر تولید ستون حل می‌شود. سپس نتایج یک مسأله زمان‌بندی روزانه برای تعیین توالی عملیات در هر اتاق عمل در هر روز به‌عنوان یک مسأله دو مرحله‌ای هیبریدی فلوشاپ بررسی و توسط یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی حل می‌شود. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد استراتژی باز منجربه بهبود کارایی سالن عمل می‌شود. در ادامه مارکویز و همکاران(۱۳) مسأله عمومی دیگری از مسأله‌ی یکپارچه‌ی زمان‌بندی و برنامه‌ریزی را با درنظر گرفتن لیست‌های انتظار توسعه داده‌اند. این مسأله شامل محدودیت‌های توالی و محدودیت‌های ظرفیت برای اتاق عمل‌ها و

جراحان، محدودیت‌های موعد مقرر برای جراحی‌ها، و برخی محدودیت‌های عملی برای زمان شروع جراحی‌ها و انتساب تخصص‌های جراحی به اتاق عمل‌ها باهدف حداکثر نمودن استفاده از مجموعه‌ی جراحی می‌باشد. مارکویز و همکاران(۱۴) نیز مسأله ترکیبی از زمان‌بندی تخصیص را با معیارهای متناقضی از بهینه‌سازی شامل حداکثر اشتغال مجموعه‌ی جراحی‌ها و حداکثر کردن تعداد جراحی‌های برنامه‌ریزی شده را مورد مطالعه قرار داده‌اند. باتوجه به پیچیدگی بالای ناشی از ابعاد بزرگ مسائل واقعی و ماهیت جراحی‌ها این مدل به دو مرحله‌ی سلسله مراتبی تجزیه شده و به‌صورت دو ورژن از یک روش الگوریتم ژنتیک ساختاریافته حل شده است.

علاوه‌بر این موارد در برخی مطالعات صورت گرفته باهدف برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد مجموعه‌ی اتاق عمل توابع هدف متفاوتی حتی از نوع چندهدفه تعریف می‌شود تا بتواند چالش‌های ناشی از تصمیم‌های مختلف مدیریتی و کادر درمان را حداقل نماید. لذا برای حل این مسأله مدل بهینه‌سازی چندهدفه می‌تواند مجموعه‌ای از تصمیمات بهینه را ارائه نماید تا اهداف متناقض مربوط به مدیران بیمارستان، جراحان و بیماران را همسو کند. به‌عنوان مثال گایدو و همکاران(۱۵) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چندهدفه با تعریف مفهوم توازن در استفاده از اتاق‌های عمل توسط گروه‌های جراحی و حداقل‌سازی زمان انتظار جراحی‌ها و زمان اضافه‌کاری را توسعه داده‌اند. ازسویی باتوجه به این‌که گاهی در حل مسائل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی برآورده نمودن تقاضا مطابق سلیقه‌ی مشتریان می تواند منجربه استفاده‌ی ناکارامد از منابع گردد اکبرزاده و همکاران (۱۶) مدلی ارائه نموده‌اند تا بتوانند با ترکیب تصمیمات مربوط به کارکنان و زمان‌بندی سود حاصل از جراحی‌ها را حداکثر نمایند. تمرکز برویر و همکاران (۱۷) نیز مسأله‌ی زمان‌بندی ترکیبی در شرایط عدم قطعیت باهدف کاهش زمان انتظار بیمار، به حداقل رساندن اضافه‌کاری، افزایش استفاده از اتاق عمل‌ها، و بهبود تطبیق شیفت‌های تعیین شده برای همه پرسنل می‌باشد که برای حل آن از رویکردهای بهینه‌سازی استوار استفاده نموده‌اند.

در مقاله مانسیلا و استورر(۱۸) مدلی را با اهداف حداقل کردن زمان انتظار بیماران، زمان بیکاری اتاق‌های عمل و زمان اضافه‌کاری ارائه کرده‌اند به‌طوری‌که مدت‌زمان عمل‌های جراحی به‌صورت احتمالی درنظر گرفته شده و با استفاده از الگوریتم تجزیه Benders حل شده است. روشنایی و همکاران (۱۹) نیز مدل ریاضی عدد صحیح مختلط برای مسأله برنامه‌ریزی و زمان‌بندی را توسعه داده و برای حل آن از الگوریتم تجزیه Benders مبتنی‌بر منطق جدید Benders استفاده نموده‌اند. در ادامه مسأله‌ی زمان‌بندی جدیدی با اهداف به حداقل رساندن زمان انتظار بیماران، زمان تأخیر، لغو، اضافه‌کاری بلوک وتعداد روزهای جراحی هر جراح در افق برنامه‌ریزی توسط کامران و همکاران (۲۰) ارائه شده است که برای حل مدل پیشنهادی از روش تقریب میانگین نمونه و الگوریتم تجزیه Benders استفاده شده است و نتایج نشان می‌دهد که هر دو روش مذکور می‌توانند در یک زمان محاسباتی نسبتاً معقول برای حل مسائل در ابعاد متوسط به‌کار روند. مجدداً کامران و همکاران (۲۱) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را با اهداف به حداقل رساندن کنسلی بیماران، تأخیر بیماران، اضافه‌کاری بلوک، بیکاری جراحان و به حداقل رساندن زمان شروع جراحی بیمار اورژانسی پیشنهاد داده‌اند و باتوجه به پیچیدگی مسأله یک رویکرد حل ترکیبی از الگوریتم مبتنی‌برتولید ستون و الگوریتم تجزیه Benders برای حل مدل توسعه داده‌اند.

قندهاری و کیانفر (۲۲) نیز باهدف به حداقل رساندن هزینه‌های بازکردن اتاق‌های عمل و اضافه‌کاری آن‌ها، هزینه‌های انتظار بیماران و هزینه‌های بیکاری جراحان مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارائه و برای حل نیز از دو روش برنامه‌ریزی مقید به شانس و تولید ستون مبتنی‌بر برنامه‌ریزی مقید به شانس استفاده کرده‌اند. شیدا و همکاران (۲۳) نیز بحث عدم قطعیت در زمان عمل و جراحان را برای مدل زمان‌بندی اتاق عمل باهدف بیشینه‌نمودن نرخ بهره‌وری درنظر گرفته و از روش برنامه‌ریزی مقید به شانس برای حل آن بهره برده‌اند. طیب و همکاران(۲۴) بر این اصل که تخصیص بیماران به اتاق عمل و تعیین توالی آن در عملکرد اتاق‌های عمل مؤثر می‌باشد مسأله زمان‌بندی را باهدف کاهش هزینه‌های اضافه‌کاری و هزینه‌های آماده‌سازی با روش تقریبی outer برمبنای صفحه برش حل نموده‌اند که نتایج ارائه شده عملکرد بهتر این روش را نشان داده است. درنهایت خلاصه‌ای از فرضیات و رویکرد حل پژوهش‌های انجام شده در جدول (۱) گزارش شده است که نشان می‌دهد در این مقاله امکان برنامه‌ریزی برای چند شیفت میسر می‌باشد و زمان آماده‌سازی اتاق عمل نیز به مدل ریاضی مسأله اضافه شده است و سپس الگوریتم تجزیه Benders برای حل به‌کار رفته است.

امروزه باتوجه به تقاضای بالای مشتریان برای برخی جراحی‌ها علی‌الخصوص جراحی‌های زیبایی یک از اهداف مدیریت مراکز درمانی و بیمارستان‌ها استفاده از حداکثر ظرفیت اتاق‌های عمل برای پوشش‌دهی تمام جراحی‌ها می‌باشد چراکه بخش جراحی جزء بخش‌های درآمدزا برای بیمارستان محسوب می‌شود. درنتیجه برای مدل ارائه شده در این مقاله امکان انجام جراحی در سه شیفت کاری برای هر اتاق عمل مهیا می‌باشد. ازطرفی باتوجه به این‌که هزینه‌های جراحی و هزینه‌های کادر درمان در هر شیفت متفاوت می‌باشد هزینه‌های جراحی در هرشیفت کاری نیز در تابع هدف درنظر گرفته شده است. براین اساس تمرکز برنامه‌ریزی برای زمان‌بندی جراحی‌ها به‌گونه‌ای می‌باشد که اولویت اول انجام برنامه‌ریزی برای شیفت یک می‌باشد و درصورت نبود ظرفیت کافی در شیفت یک برای شیفت دوم و سپس شیفت سوم برنامه‌ریزی می‌شود. ازطرفی برنامه‌ریزی جراحی‌ها قبل از موعد مشخص شده باهدف درآمدزایی و کنترل هزینه‌ها جزء اهداف این مقاله می‌باشد. علاوه‌بر این باتوجه به تنوع در نوع جراحی‌ها نیاز به آماده‌سازی اتاق عمل و حتی بیمار قبل از حضور جراح می‌باشد که در برخی مقالات فرض آماده‌سازی اتاق عمل در زمان انجام عمل جراحی درنظر گرفته شده است ولی در این مقاله به‌صورت مجزا از

زمان جراحی فرض می‌شود. لازم به توضیح می‌باشد که درنظر گرفتن زمان آماده‌سازی اتاق عمل می‌تواند منجربه برنامه‌ریزی دقیق‌تر و واقعی‌تر اتاق‌های عمل گردد. درنهایت نیز برای حل این مسأله از روش حل دقیق الگوریتم تجزیه Benders که یکی از روش‌های کارآمد برای مسائل زمان‌بندی می‌باشد استفاده شده که نتایج به‌دست آمده در ادامه به تفصیل شرح داده شده است. بقیه ساختار مقاله بدین شرح است که بیان مسأله مدل ریاضی و روش حل در بخش بعدی تشریح داده شده است و نتایج محاسباتی حاصل از روش حل به‌ازای مسائل با اندازه‌های مختلف ذکر شده است. بخش پایانی مقاله نیز شامل نتیجه‌گیری می‌شود.

۲. بیان مسأله

در این مقاله، مسأله زمان‌بندی جراحی برای یک سالن متشکل از چندین اتاق عمل در یک افق برنامه‌ریزی چندروزه با سه شیفت کاری مطالعه شده است. زمان‌بندی اتاق عمل‌ها به‌دلیل در دسترس بودن دو نوع نیروی انسانی ماهر که برای اجرای جراحی‌ها لازم است، یعنی جراحان و پرستاران، محدود شده است. دردسترس بودن جراح با حداکثر زمان روزانه در شیفت کاری برای جراحی مشخص شده، درحالی‌که پرستاران طبق برنامه زمانی هر گروه جراحی در دسترس هستند. هر جراح و هر پرستار به یک گروه جراحی تعلق دارد، و گروه جراحی مجموعه‌ای از تخصص‌های جراحی است که با شباهت‌های جراحی مشخص می‌شود (مانند جراحی سر، جراحی قفسه سینه و غیره). عمل‌های جراحی برای برنامه‌ریزی از یک لیست انتظار انتخاب می‌شوند. هر جراحی با تخصص جراحی، مدت‌زمان، نوع عفونت، تعداد پرستاران موردنیاز، درآمد، تاریخ ترخیص و تاریخ سررسید مشخص می‌شود.

عمل جراحی با موعد مقرر در افق برنامه‌ریزی، تعریف می‌شود بدین معنی که زمان مجاز شروع و حداکثر زمان مجاز برای انجام عمل جراحی مشخص می‌شود. مفروضات درنظر گرفته شده در این مقاله به‌شرح ذیل می‌باشد:

- مدت‌زمان هر جراحی قطعی است.
- یک دوره زمانی در طی سه شیفت‌کاری برنامه‌ریزی می‌شود.
- هر جراحی از قبل به یک جراح اختصاص داده شده است.

جدول (۱). مروری بر مطالعات انجام شده

Integrated Planning and Scheduling Problems																
Strategy Type					Assumptions											Solution Procedure
Researcher	Open	Block	Modified Block	Different rooms and EQIP	Medical Staff (s:surgon, n:nurses, a:anesthesiologists, p:patient)	Surgery deadlines	Wwaiting time	Over time	Setting time	Cleaning time	Maximum time of surgeon	Duration of surgery	Working shift	Ssolution method
Roland 2006			√		s,n,a			√			√	√		Heuristic CP-GA
Mancilla 2009		√			s	√	√	√				√		Heuristic based on Benders
Roland 2010			√	√	s,n,a	√		√		√	√	√		Exact (MP)
Doulabi 2016	√				s	√				√	√	√		Exact (B&P&C)
Fei 2010	√				s			√			√	√		Exact (CG+GA)
Marques 2012	√				s					√	√	√		Heuristic
Marques 2014	√				s		√				√	√		SGA
Latorre-Núñez, 2016	√				s,n,a		√			√		√		heuristic-Meta CP+
Roshanaei 2017	√				s,p			√	√	√	√			LBBD algorithm
Kamran 2020			√		s,p			√		√		√		CGBH+Benders
Breuer 2020		√			p,s,a		√	√				√	√	Robust procedure
Akbarzadeh 2020		√			n,s							√	√	Diving Heuristic+ Column generation
Ghandehari 20222		√			s		√	√		√	√	√		CP+CPCG
Bargetto 2023	√				s,n	√				√	√	√		(B&P&C) Exact
This Research	√				s,n	√			√		√	√	√	Exact (Benders)

- حداکثر زمان باز شدن اتاق‌های عمل هشت ساعت در هرشیفت می‌باشد و هیچ پرستاری برای اضافه‌کاری نیست.
- هیچ هزینه ثابتی برای بازگشایی اتاق عمل وجود ندارد.
- اتاق‌های عمل که سالن عمل را تشکیل می‌دهند ازنظر اجرای جراحی یکسان هستند.
- پرستاران آموزش دیده فقط می‌توانند در اجرای جراحی‌های خود کمک کنند.
- براساس نوع جراحی مدت‌زمانی برای آماده‌سازی اتاق عمل درنظر گرفته می‌شود. زمان آماده‌سازی معمولاً مدت‌زمانی‌ست که صرف آماده‌سازی ابزارهای کار جراحان و نیز مهیا نمودن شرایط بیمار برای عمل جراحی می‌شود.

در جدول (۲) اندیس‌ها و پارامترهای مسأله بیان شده‌اند.

جدول (۲). نشانه‌گذاری‌های مدل

اندیس‌ها زیراندیس‌ها و پارامترها	
جراح	A
پرستار	B
جراحی	I
روزهای افق برنامه‌ریزی	J
اتاق‌های عمل	K
گروه‌های جراحی	SG
بازه‌های زمانی در یک روز	T
تعداد شیفت کاری	s
تعداد پرستاران در دسترس گروه جراحی m در روز j و شیفت s	B_{mjs}
زمان در دسترس در هر شیفت از هر روز	$\mathrm{dur}(j,s)$
جراحی‌های جراح a	I_a
جراحی‌های گروه SG	I_m
اتاق‌های عمل باز در روز $\boldsymbol{j}$ و شیفت s	$K_{j,s}$
زمان جراحی $\boldsymbol{i}$	p_i
زمان آماده‌سازی هر جراحی	$\mathrm{set_i}$
حداکثر زمان جراحی در دسترس جراح $\boldsymbol{a}$ در روز $\boldsymbol{j}$ و شیفت s	$T_{aj\,s}$
درآمد جراحی $\boldsymbol{i}$	c_i
تاریخ اتمام جراحی $\boldsymbol{i}$	rd_i
تاریخ مقرر جراحی $\boldsymbol{i}$	dd_i
تعداد پرستار مورد نیاز برای کمک به انجام جراحی $\boldsymbol{i}$	n_i
هزینه جراحی $\boldsymbol{i}$ در شیفت s	$\mathrm{cost}(i,s)$
هزینه هر پرستار برای جراحی $\boldsymbol{i}$ در شیفت s	$\mathrm{ncost}(i,s)$

متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم نیز به این صورت تعریف می‌شوند:

x_{ijtks} یک متغیر باینری که اگر عمل جراحی برای روز j شیفت s و زمان t در اتاق عمل k برنامه‌ریزی شده باشد، مقدار ۱ را می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌گیرد

y_{kmjs} یک متغیر باینری که اگر اتاق عمل k برای روز j در شیفت s به گروه جراحی SG_m اختصاص داده شود، مقدار ۱ را می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌گیرد

مدل ریاضی

مدل ریاضی با درنظر گرفتن محدودیت‌های منابع انسانی به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Max} \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \sum_k (c_i - cost_{i,s}) * x_{ijtks} - \sum_k \sum_m \sum_j \sum_s ncost_{i,s} * y_{kmjs} * n_i \quad (۱)$$

$$\sum_s \sum_j \sum_t \sum_k x_{ijtks} \le 1 \qquad \forall\, i \in I \quad (۲)$$

$$\sum_i \sum_{t'=t-p_i+1}^{t} x_{ijt'ks} \le 1 \qquad \forall\, t,j,k,s \quad (۳)$$

$$\sum_{ia} \sum_{t'=t-p_i+1}^{t} \sum_k x_{ijt'ks} \le 1 \qquad \forall\, t,j,s \quad (۴)$$

$$\sum_i \sum_t (p_i + set_i) x_{ijtks} \le dur(j,s) \qquad \forall j,k,s \quad (۵)$$

$$\sum_{ia} \sum_t \sum_k p_i x_{ijtks} \le T_{aj\,s} \qquad \forall\, j,s,a \quad (۶)$$

$$\sum_t x_{ijtks} \le y_{kmjs} \qquad \forall\, im,j,k,s \quad (۷)$$

$$\sum_k \sum_{m \in SG} y_{kmjs} \le |K_{js}| \qquad \forall\, j,s \quad (۸)$$

$$\sum_{im} \sum_{t'=t-p_i+1}^{t} n_i x_{ijt'ks} \le |B_{mjs}| \qquad \forall\, t,j,k,s \quad (۹)$$

$$x_{ijtks} = 0 : j > dd_i \quad \vee \quad j < rd_i \qquad i,j,t,k,s \quad (۱۰)$$

$$x_{ijtks} \in \{0,1\} \qquad y_{kmjs} \in \{0,1\} \quad (۱۱)$$

تابع هدف کل که در رابطه (۱) مشخص شده است سود حاصل از جراحی‌های برنامه‌ریزی شده در افق برنامه‌ریزی را به حداکثر می‌رساند. بدین‌معنی که اختلاف میزان درآمد حاصل از انجام جراحی از میزان هزینه‌های جراحی‌ها و هزینه‌های کادر پرستاری حداکثر گردد. رابطه یا محدودیت (۲) تضمین می‌کند که جراحی‌ها برای حداکثر یک‌بار در افق برنامه‌ریزی اعمال شود. محدودیت (۳) باعث می‌شود که جراحی‌ها در یک اتاق عمل هم‌پوشانی نداشته باشند. محدودیت (۴) باعث می‌شود که برنامه‌ی جراحی‌های یک جراح هم‌پوشانی نداشته باشند. محدودیت (۵) محدودیت زمان‌بندی برای زمان آماده‌سازی و جراحی‌های برنامه‌ریزی شده‌ی هر اتاق عمل در هر روز و هر شیفت می‌باشد به‌طوری‌که از حداکثر زمان دردسترس هر اتاق عمل فراتر نرود. محدودیت (۶) تعیین می‌کند که حداکثر زمان جراحی روزانه هر

جراح از مدت‌زمان در دسترس جراح بالاتر نرود. محدودیت (۷) تضمین می‌کند برای هر اتاق عمل در هر شیفت از هر روز جراحی‌های متعلق به یک گروه جراحی انجام شود. محدودیت (۸) بدین‌معنی می‌باشد که تعداد گروه‌های جراحی تخصیص‌یافته به اتاق عمل‌ها از تعداد اتاق عمل موجود در هر شیفت از روز فراتر نرود. محدودیت (۹) نشان می‌دهد که تعداد پرستاران موردنیاز برای جراحی‌های برنامه‌ریزی‌شده‌ی هر گروه جراحی از تعداد پرستارانی که در هر شیفت از روزکاری و برای هر گروه دردسترس هستند بیشتر نمی‌باشد. محدودیت (۱۰) تعیین می‌کند که هر عمل جراحی بعد از زمان مجاز شروع و قبل از زمان اتمام آن برنامه‌ریزی شده است. محدودیت (۱۱) مربوط به متغیرهای تصمیم می‌باشد.

۲-۱. معرفی روش حل

باتوجه به مطالعاتی که در حوزه‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل انجام شده و در بخش مرور ادبیات نیز اشاره شده است یکی از روش‌های کاربردی برای حل مسائل زمان‌بندی اتاق عمل و علی‌الخصوص مدل‌های عدد صحیح مختلط الگوریتم تجزیه Benders می‌باشد. در این بخش در ابتدا روش حل الگوریتم تجزیه Benders به‌تفصیل شرح داده می‌شود. الگوریتم تجزیه Benders کلاسیک در مسائل مختلفی مانند شبکه، حمل‌ونقل، زنجیره‌تأمین، زمان‌بندی و غیره استفاده شده است. بطور کلی زمانی‌که متغیرهای سخت مانع از تجزیه مسأله به زیرمسائل کوچکتر می‌شوند و یا زمانی‌که مسأله شامل متغیرهای سختی است که باعث پیچیده شدن حل و افزایش مشکلات محاسباتی می‌گردد این تکنیک می‌تواند حل مدل را ساده‌تر و مسأله را به جواب بهینه همگرا نماید. درواقع الگوریتم تجزیه Benders برای مسائلی مناسب می‌باشد که می‌توان آن را به مسائل کوچکتر افراز نمود. به‌عبارتی در این رویکرد، فرمول کلی مسأله باید به مسائل کوچک‌تر تجزیه شود: مسأله اصلی و مسأله یا مسأله‌های فرعی. مکانیزم این الگوریتم براین اساس می‌باشد که در این روش مسأله اصلی شامل متغیرهای پیچیده می‌باشد یا محدودیت‌هایی که فقط متغیرهای پیچیده را دارد و مسائل فرعی شامل سایر متغیرها می‌باشد. با حل مسأله اولیه مقدار متغیرهای پیچیده مسأله به‌دست می‌آید که مقادیر متغیر مربوطه در مدل مسائل فرعی به‌عنوان مقدار ثابت وارد شده و مسائل فرعی تعریف می‌شوند. با استفاده از مفاهیم مربوط به دوگان از مدل دوگان مسائل فرعی استفاده می‌شود. هر نقطه دلخواه گوشه‌ای معادل یه نقطه گوشه‌ای در سیمپلکس دوگان است و برش‌های بهینگی از نقاط رأسی فضای جواب دوگان زیرمسأله‌ها به‌دست می‌آیند. بدین‌معنی که از مقدار متغیرهای دوگان مسائل فرعی محدودیت مربوط به برش بهینگی به مسأله اصلی اضافه می‌شود. همان‌طور که در مقاله کریمی و همکاران (۲۵) نیز اشاره شده است مزیت مدل دوگان این است که فضای حل آن به متغیر پیچیده وابسته نمی‌باشد و فقط مربوط به تابع هدف است لذا مدل دوگان معمولا ساده‌تر حل می‌شود.

در مسأله ماکزیمم‌سازی، مقدار تابع هدف مسائل فرعی یا دوگان مسأله فرعی مقدار کران پایین و مقدار تابع هدف مسأله اصلی مقدار کران بالا را محاسبه می‌کند. مکانیزم الگوریتم تجزیه Benders مبتنی‌بر تکرار می‌باشد و در پایان هر تکرار، معیارهای همگرایی بررسی می‌شود. یکی از این معیارها اختلاف ازپیش تعیین شده بین کران بالا و پایین می‌باشد. لذا در هر تکرار از الگوریتم تجزیه Benders برای رسیدن به جواب بهینه کران بالا و کران پایین برای مسأله محاسبه شده و تا زمانی‌که اختلاف این دو مقدار از مقدار مشخص شده بیشتر باشد الگوریتم ادامه می‌یابد. بدین‌معنی که به محض رسیدن به مقداری کمتر مساوی مقدار مشخص شده الگوریتم پایان می‌یابد. درنتیجه این روند تکرار می‌شود تا مسأله به شرط بهینگی و به جواب بهینه قابل قبول برسد. در برخی مسائل نیز با مشخص نمودن حداکثر تعداد تکرارها الگوریتم می‌تواند پایان یابد. شبه کد الگوریتم تجزیه Benders به‌صورت ذیل بیان می‌شود:

مراحل الگوریتم تجزیه Benders:

۱) یک مقدار کوچک برای معیارهای مقایسه (ε) انتخاب کنید و کران بالا و کران پایین را تعریف کنید ($UB \longleftarrow +\infty$، $LB \longleftarrow -\infty$)

۲) مقادیر اولیه متغیر پیچیده را با حل مسأله اصلی (master) پیدا کنید و مقدار تابع هدف را جایگزین کران بالا نمایید.

۳) درحالی‌که $\varepsilon < (UB - LB)/\mathrm{LB}$ گام‌های زیر را تکرار کنید.

- مسأله فرعی را با ثابت گرفتن مقدار متغیر پیچیده حل کنید.
- مقدار دوگان مسأله فرعی را پیدا کنید.
- ازآنجایی‌که کران پایین به‌صورت جمع مقدار تابع هدف زیرمسأله و قسمتی از تابع هدف مسأله اصلی تعریف می‌شود مقدار جدید محاسبه شده را جایگزین کران پایین نمایید.
- محدودیت برش بهینگی را با استفاده از مقادیر متغیرهای دوگان زیرمسأله نوشته و به مسأله اصلی اضافه نمایید.
- مسأله اصلی جدید را مجدد حل نمایید.
- اگر مسأله اصلی شدنی باشد متغیر پیچیده مسأله و مقدار کران بالا را با مقادیر جدید جایگزین نمایید.
- اگر مسأله اصلی نشدنی باشد مسأله اولیه نیز نشدنی می‌شود.
- معیار تکرار مسأله به‌صورت اختلاف عددی بین حد بالا و پایین تعریف و محاسبه شده که در این مرحله شرط توقف حلقه بررسی و تا رسیدن به شرط توقف این مراحل تکرار شوند.

۴) و درنهایت نتایج عددی و کران بالا و پایین مسأله نمایش داده شود.

۲-۱-۲. فرمول‌بندی مجدد مدل

- مدل ریاضی مسأله اصلی

باتوجه به این‌که مدل ریاضی مسأله‌ی تعریف شده شامل متغیرهای باینری می‌باشد لذا متغیر X که متغیر تخصیص جراحی به شیفت s از روز j و اتاق عمل k و زمان t می‌باشد به‌عنوان متغیر پیچیده درنظر گرفته شده و محدودیت‌هایی که فقط متغیر x را دارند به‌عنوان

محدودیت‌های مسأله اصلی تعریف می‌شوند. لذا مدل ریاضی مربوط به مسأله اصلی شامل محدودیت‌های (۲)-(۶) و (۹) از مسأله اولیه بوده و به‌صورت ذیل بیان می‌شود. باتوجه به این‌که تابع هدف مسأله اولیه از جنس سود می‌باشد لذا تابع هدف نیز به‌فرم زیر نوشته می‌شود.

$$\text{Max} \sum_{s}\sum_{i}\sum_{j}\sum_{t}\sum_{k}(c_i - cost_{i,s}) * x_{ijtks} + \text{theta} \quad (۱۲)$$

$$\sum_{s}\sum_{j}\sum_{t}\sum_{k} x_{ijtks} \le 1 \qquad \forall i \in I \quad (۱۳)$$

$$\sum_{i}\sum_{t'=t-p_i+1}^{t} x_{ijt'ks} \le 1 \qquad \forall t,j,k,s \quad (۱۴)$$

$$\sum_{ia}\sum_{t'=t-p_i+1}^{t}\sum_{k} x_{ijt'ks} \le 1 \qquad \forall t,j,s \quad (۱۵)$$

$$\sum_{i}\sum_{t}(p_i + set_i)x_{ijtks} \le dur(j,s) \qquad \forall j,k,s \quad (۱۶)$$

$$\sum_{ia}\sum_{t}\sum_{k} p_i x_{ijtks} \le T_{aj\,s} \qquad \forall j,s,a \quad (۱۷)$$

$$\sum_{im}\sum_{t'=t-p_i+1}^{t} n_i x_{ijt'ks} \le |B_{mjs}| \qquad \forall t,j,k,s \quad (۱۸)$$

$$x_{ijtks} = 0 : j > dd_i \quad \vee \quad j < rd_i \qquad i,j,t,k,s \quad (۱۹)$$

$$x_{ijtks} \in \{0,1\} \quad (۲۰)$$

- مدل ریاضی مسأله فرعی

مدل ریاضی زیرمسأله یا مسأله فرعی نیز شامل محدودیت‌های (۷) و (۸) از مسأله اولیه می‌باشد که در این مسأله مقدار متغیر x که از حل مسأله اصلی به‌دست می‌آید ثابت فرض می‌شود. به‌عبارتی مقدار x به‌عنوان ورودی مسأله‌ی فرعی می‌باشد. براین اساس مدل ریاضی مسأله فرعی به‌صورت ذیل تعریف می‌شود. محدودیت (۲۱) تابع هدف مسأله فرعی را بیان می‌کند که هدف حداکثر نمودن درآمد با کاهش هزینه‌های مربوط به نیروی انسانی می‌باشد.

$$\text{Max} \; -\sum_{k}\sum_{m}\sum_{j}\sum_{s} ncost_{i,s} * y_{kmjs} * ni \quad (۲۱)$$

$$\sum_{t}\overline{x_{\iota jtks}} \le y_{kmjs} \qquad \forall im,j,k,s \quad (۲۲)$$

$$\sum_{k}\sum_{m\in SG} y_{kmjs} \le |K_{js}| \qquad \forall j,s \quad (۲۳)$$

همان‌طورکه اشاره شد باتوجه به مفاهیم دوگان و با استفاده از مقدار متغیرهای دوگان زیرمسأله می‌توان در هر تکرار از الگوریتم برش بهینگی را به مسأله اصلی اضافه نمود. لذا متغیرهای دوگان به‌صورت $\lambda_{im,j,k,s}$ برای محدودیت‌های (۲۲) و $\beta_{j,s}$ برای محدودیت‌های (۲۳) تعریف می‌شود که برش بهینگی آن به‌صورت ذیل بیان می‌گردد.

$$Theta \le \sum_{im}\sum_{j}\sum_{k}\sum_{s}\lambda_{im,j,k,s} * \sum_{t}\overline{x_{\iota jtks}} + \sum_{j}\sum_{s}\beta_{j,s} * K_{js}$$

۳. نتایج محاسباتی

در این بخش مسأله زمان‌بندی اتاق عمل برای مسائل در اندازه‌های مختلف اجرا می‌شود و کارایی روش حل به‌کار رفته که در بخش قبلی شرح داده شده است ارزیابی می‌شود. برای اعتبارسنجی این مسأله چندین نمونه از دیتاهای موجود در مقاله‌ی بارگتو و همکاران (۱۰) که از دیتاهای واقعی مربوط به بیمارستانی در فرانسه استخراج نموده استفاده می‌شود. مدل مربوط با الگوریتم تجزیه Benders در نرم‌افزار GAMS 23.7 کد شده و برای مسائل با اندازه‌های مختلف در سیستم کامپیوتری با مشخصات Core i7-16GB تکرار و اجرا شده است که نتایج هریک در ادامه گزارش داده شده است.

طبق اطلاعات دریافتی مسأله برای افق برنامه‌ریزی ۵ روزه برنامه‌ریزی شده است که در این مقاله امکان برنامه‌ریزی برای سه شیفت‌کاری مقدور می‌باشد. در این مسأله برای هر عمل جراحی زمان مجاز یا موعد مشخصی درنظر گرفته شده است تا در زمانی زودتر از زمان مجاز شروع عمل جراحی انجام نشود و قبل از زمان مقرر شده به پایان برسد. ازسویی این مسأله در اندازه‌های مختلفی حل و اجرا شده است. پارامترهای تأثیرگذار در این مسأله تعداد عمل جراحی‌ها تعداد اتاق عمل‌های در دسترس تعداد جراحان و زمان انجام هر عمل جراحی می‌باشد. به‌عنوان مثال برای مسأله‌ای در اندازه‌ی کوچکتر اندازه‌ی مسأله بدین شرح است که مسأله برای ۲۵ عمل جراحی بافرض ۴ اتاق عمل ۴ جراح ۴ گروه جراحی که مدت‌زمان جراحی‌ها در فاصله‌ی زمانی بین ۴۰ الی ۱۵۰ دقیقه می‌باشد تعریف می‌شود و نتایج به‌دست آمده از حل دقیق این اندازه از مسأله در جدول (۳) قابل مشاهده می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود برنامه‌ریزی و زمان‌بندی هر اتاق عمل برای هر روز مشخص است. به‌عنوان مثال در روز اول و در اتاق عمل شماره ۱ عمل جراحی‌های ۱۲ و ۶ و در اتاق عمل شماره ۴ عمل جراحی‌های ۱، ۲۴ و ۱۶ برنامه‌ریزی و زمان‌بندی شده است. ازآنجایی‌که باتوجه به داده‌های تعریفی امکان انجام جراحی‌ها در شیفت یک وجود دارد لذا برنامه‌ریزی در شیفت اول انجام می‌شود تا هدف ماکزیمم کردن سود حاصل آید.

این مسأله برای مسائل با اندازه‌های متفاوت و بزرگ‌تر نیز حل شده و نتایج محاسباتی در جدول (۴) قابل رؤیت می‌باشد. در این جدول مقادیر تابع هدف و زمان محاسباتی برای دو روش حل با نرم‌افزار GAMS و حل با الگوریتم تجزیه Benders گزارش شده است. علاوه‌بر این تأثیر درنظرگرفتن زمان آماده‌سازی برای هر جراحی با الگوریتم تجزیه Benders و با نرم‌افزار GAMS نیز نشان داده شده است.

جدول (۳). برنامه‌ی زمانی ۲۵ جراحی

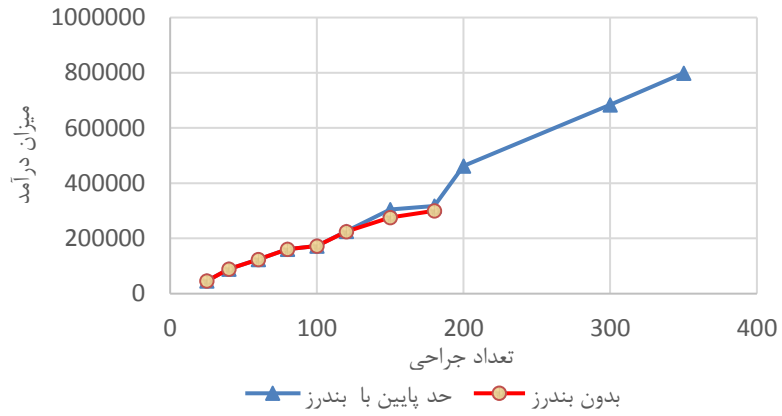
روز/اتاق	اتاق عمل ۱	اتاق عمل ۲	اتاق عمل ۳	اتاق عمل ۴
۱	۳-۲۲	۴-۵		
۲	۵-۱۰-۱۱			۲-۷
۳	۱۷-۱۸	۹-۲۳	۱۴-۲۱	
۴	۶-۱۲			۱-۲۴-۱۶
۵		۱۳-۲۰	۸-۲۵	

همان‌طور که مشخص است با افزایش تعداد این پارامترها علی‌الخصوص تعداد عمل جراحی‌ها تعداد متغیرهای باینری افزایش یافته و زمان حل نیز نسبتاً افزایش می‌یابد. نتایج حاصله از مقادیر تابع هدف برای زمانی‌که زمان آماده‌سازی درنظر گرفته شود نشان می‌دهد که حدود یک الی دو درصد از درآمد کل به‌دلیل انتقال جراحی‌ها به شیفت‌های بعدی و افزایش ناچیز هزینه‌ها کاهش می‌یابد ولیکن این فرض باهدف رسیدن به برنامه‌ریزی دقیق‌تر مقدار واقعی درآمد بیمارستان در طی افق برنامه‌ریزی را نتیجه می‌دهد. البته این نکته حائز اهمیت می‌باشد که علت تأثیرگذاری این فرض یعنی زمان آماده‌سازی بر میزان درآمد ناشی از هزینه‌ی عمل جراحی و هزینه‌های کادر درمان در طی زمان می‌باشد که در این مدل درنظر گرفته شده است. ازطرفی نتایج به‌دست آمده برای مقدار تابع هدف نشان می‌دهد برای مسائل در اندازه‌های کوچک‌تر مقدار جواب حاصله از الگوریتم تجزیه Benders و نرم‌افزار GAMS با هم برابر می‌باشد و زمان حل نیز اختلاف چندانی نمی‌کند. به‌عنوان مثال برای مسائل شماره (۱)، (۲)، (۳) و (۴) میزان درآمد حاصله از هر دو روش برابر می‌باشد و در مسأله شماره (۵) مقدار حد پایین حاصله از الگوریتم تجزیه Benders با مقدار جواب GAMS برابر می‌باشد. برای مسائل در ابعاد متوسط مسأله شماره (۶) با محدود کردن زمان حل به مدت ۵ ساعت برای روش GAMS جواب شدنی به‌دست می‌آید درصورتی‌که با الگوریتم تجزیه Benders در زمان کمتری و جواب بهتری به‌دست آمده است و برای مسائل در ابعاد بزرگ‌تر ازجمله مسائل شماره (۷)، (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) با الگوریتم تجزیه Benders مقدار کران پایین با مقدار کران بالا برابر بوده و یک مقدار بهینه به‌دست آمده است درصورتی‌که در روش حل با GAMS و با محدودیت ۵ ساعت نیز جوابی حاصل نشده است.

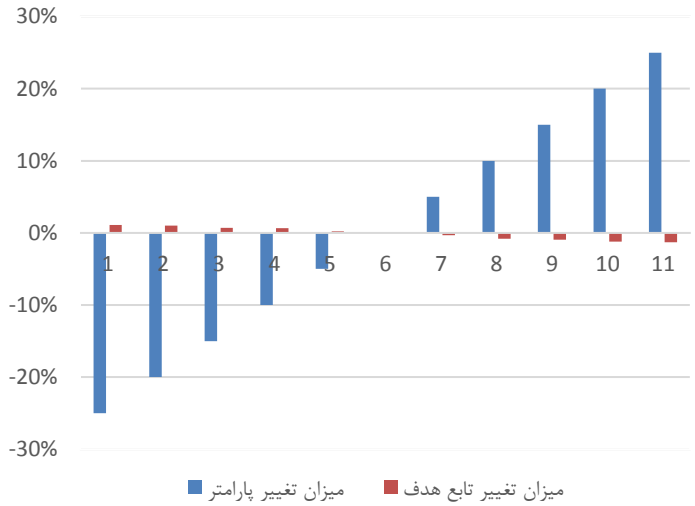
نتایج حاصله برای مسائل مختلف در شکل (۱) نیز به تصویر کشیده شده است. مطابق شکل (۱) در این مسأله برای تعداد ۲۵ الی ۱۰۰ عمل جراحی جواب الگوریتم تجزیه Benders و نرم‌افزار GAMS یکی می‌باشد ولی بعد از ۱۲۰ عمل جراحی روش GAMS مناسب نبوده و بعد از ۱۸۰ جراحی با روش GAMS جوابی یافت نشده است درحالی‌که با الگوریتم تجزیه Benders جواب بهینه حاصل می‌شود. لذا با مقایسه نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم تجزیه Benders برای این مسأله در اندازه‌های بزرگتر منجربه جواب بهینه و تابع هدف بهتر و درآمد بیشتر نیز می‌گردد.

جدول(۴). جدول نتایج محاسباتی

سایز مسأله	مسأله	اندازه‌ی مسأله					زمان حل با الگوریتم تجزیه Benders	زمان حل با GAMS	حل با الگوریتم تجزیه Benders		حل با GAMS (CPLEX)
		تعداد اتاق	گروه جراحی	تعداد جراحی	تعداد جراح	فرض زمان آماده‌سازی			کران پایین	کران بالا	
ابعاد کوچک	۱	۴	۴	۲۵	۴	√	۱۲s	۵s	۴۵۹۲۴	۴۵۹۲۴	۴۵۹۲۴
		۴	۴	۲۵	۴	-	۱۳s	۶s	۴۶۱۴۵	۴۶۱۴۵	۴۶۱۴۵
	۲	۴	۴	۴۰	۴	√	۱':۲۶	۱':۲۳	۸۹۰۳۲	۸۹۰۳۲	۸۹۰۳۲
		۴	۴	۴۰	۴	-	۱':۱۷	۳۰s	۹۰۷۳۳	۹۰۷۳۳	۹۰۷۳۳
	۳	۶	۴	۶۰	۹	√	۲':۳۸	۲':۲۱	۱۲۳۸۰۷	۱۲۳۸۰۷	۱۲۳۸۰۷
		۶	۴	۶۰	۹	-	۱':۰۹	۵۷s	۱۲۵۰۹۵	۱۲۵۰۹۵	۱۲۵۰۹۵
	۴	۶	۴	۸۰	۹	√	۹':۳۱	۷':۱۰	۱۶۱۰۷۸	۱۶۱۰۷۸	۱۶۱۰۷۸
		۶	۴	۸۰	۹	-	۵':۲۷	۵':۴۳	۱۶۱۳۷۰	۱۶۱۳۷۰	۱۶۱۳۷۰
ابعاد متوسط	۵	۸	۸	۱۰۰	۱۲	√	۲۰':۰۵	۳۷':۱۱	۱۷۲۱۵۲	۲۰۶۰۱۲	۱۷۲۱۵۲
		۸	۸	۱۰۰	۱۲	-	۱۳':۰۲	۳۱:۴۰	۱۹۲۹۴۷	۲۰۷۳۰۵	۱۹۲۹۴۷
	۶	۸	۸	۱۲۰	۱۲	√	۲۶':۳۴	۵ h	۲۰۷۸۶۷	۲۵۲۶۳۵	۲۱۵۶۲۲
		۸	۸	۱۲۰	۱۲	-	۲۲':۲۷	۵ h	۲۱۴۸۳۵	۲۶۷۴۶۷	۲۱۹۷۵۰
ابعاد بزرگ	۷	۱۰	۱۰	۱۸۰	۱۴	√	۳۷':۲۸	۵ h	۳۱۷۰۲۲	۳۶۶۴۳۱	جوابی یافت نشد
		۱۰	۱۰	۱۸۰	۱۴	-	۳۶':۲۶	۵ h	۳۱۹۹۳۷	۳۸۰۱۹۲	جوابی یافت نشد
	۸	۱۴	۱۴	۲۰۰	۱۶	√	۴۱':۴۵	۵ h	۴۶۲۷۱۲	۴۶۲۷۱۲	جوابی یافت نشد
		۱۴	۱۴	۲۰۰	۱۶	-	۳۶':۱۲	۵ h	۴۶۵۲۳۲	۴۶۵۲۳۲	جوابی یافت نشد
	۹	۱۴	۱۴	۳۰۰	۱۶	√	۴۷':۴۰	۵ h	۶۸۴۰۰۲	۶۸۴۰۰۲	جوابی یافت نشد
		۱۴	۱۴	۳۰۰	۱۶	-	۴۳':۱۱	۵ h	۶۸۶۱۴۵	۶۸۶۱۴۵	جوابی یافت نشد
	۱۰	۱۴	۱۴	۳۵۰	۱۶	√	۶۴':۰۲	۵ h	۷۹۸۷۴۸	۷۹۸۷۴۸	جوابی یافت نشد
		۱۴	۱۴	۳۵۰	۱۶	-	۵۹':۱۲	۵ h	۸۰۷۲۸۶	۸۰۷۲۸۶	جوابی یافت نشد
	۱۱	۱۴	۱۴	۴۵۰	۱۶	√	۱۲۶':۴۳	۵ h	۱۰۴۲۱۱۰	۱۰۴۲۱۱۰	جوابی یافت نشد
		۱۴	۱۴	۴۵۰	۱۶	-	۱۰۸':۰۲	۵ h	۱۰۴۹۹۶۸	۱۰۴۹۹۶۸	جوابی یافت نشد



شکل (۱). مقایسه تابع هدف برای مسائل مختلف



شکل (۲). تحلیل حساسیت روی زمان‌های جراحی بر تابع هدف

جدول (۵). تحلیل حساسیت روی زمان‌های جراحی بر تابع هدف

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
میزان تغییر پارامتر	-۲۵%	-۲۰%	-۱۵%	-۱۰%	-۵%	۰%	۵%	۱۰%	۱۵%	۲۰%	۲۵%
میزان تغییر تابع هدف	۱/۱۰%	۱/۰۰%	۰/۷۰%	۰/۶۵%	۰/۲۰%	۰	-۰/۳۰%	-۰/۸۰%	-۰/۹۵%	-۱/۲۰%	۱/۳۰%

۳-۱. تحلیل حساسیت مدل

در این بخش تحلیل حساسیت بر روی پارامتر تاثیرگذار مدل انجام شده و تغییرات در تابع هدف مدل بررسی شده است. نتایج ارائه شده در جدول (۵) میزان تغییرات تابع هدف به‌ازای تغییر زمان جراحی را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال به‌ازای ۲۵٪ کاهش در زمان جراحی‌ها میزان بهبود در تابع هدف حدود ۱/۱ درصد و به‌ازای کاهش ۱۰ درصدی زمان‌های جراحی میزان بهبود در تابع هدف ۰/۶۵٪ می‌باشد. لذا تحلیل حساسیت انجام شده در شکل (۲) نیز نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با کنترل زمان‌های جراحی به‌عنوان پارامتر اصلی مدل می‌توان مقدار تابع هدف و درآمد بیمارستان‌ها را در حدود یک الی دو درصد بهبود داد.

۴. نتیجه‌گیری

دراین مقاله مسأله‌ی یکپارچه‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل با درنظرگرفتن نیروی انسانی شامل جراحان و پرستاران مورد مطالعه قرار گرفت و در مدل ریاضی آن زمان آماده‌سازی اتاق عمل در طی چند شیفت در هر روز از افق برنامه‌ریزی نیز درنظر گرفته شد. واضح است که بهینه‌سازی این مسأله با درنظر گرفتن فرضیات واقعی می‌تواند منجربه برنامه‌ریزی دقیق‌تر منابع موجود ازجمله اتاق عمل گردد. براساس مطالعات صورت گرفته برای حل این مسأله الگوریتم تجزیه Benders استفاده شد و نتایج محاسباتی به‌دست آمده برای الگوریتم تجزیه Benders در مقایسه با نرم‌افزار GAMS کارایی این الگوریتم برای مسأله تعریفی را نشان داده است چراکه برای مسائل اندازه بزرگتر الگوریتم تجزیه Benders در زمان کمتری منجربه جواب بهینه گردید.

شایان ذکر است مدل مسأله‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی می‌تواند با درنظر گرفتن فرضیات دیگری توسعه داده شود. ازآنجایی‌که زمان جراحی‌ها معمولاً ثابت نمی‌باشد لذا می‌توان به‌عنوان متغیر از نوع

تصادفی درنظر گرفته شود و با رویکرد برنامه‌ریزی مقید به شانس حل گردد. علاوه‌بر این می‌توان با درنظر گرفتن اهداف دیگری چون کاهش زمان انتظار جراحی‌ها و زمان بیکاری اتاق عمل مسأله را به‌گونه‌ای دیگر مدل‌سازی و حل نمود. ازطرفی باتوجه به نوع مسأله می‌توان از رویکردهای دیگری چون روش شاخه-قیمت یا شاخه-قیمت-برش نیز برای حل استفاده نمود.

آنچه واضح است حائز اهمیت بودن مسائل زمان‌بندی اتاق عمل برای مدیران بخش‌های درمانی می‌باشد چراکه برنامه‌ریزی دقیق‌تر منجربه کاهش هزینه‌ها و نیز افزایش میزان درآمد درنتیجه‌ی استفاده کارآمد از منابع و تجهیزات می‌گردد. لذا مطالعه‌ی مسائل بهینه‌سازی از این نوع بسیار کاربردی و کارآمد می‌باشد.

مراجع

[1] Doulabi, S., Rousseau, L.-M. & Pesant, G., (2016). A Constraint-Programming-Based Branch-and-Price-and-Cut Approach for Operating Room Planning and Scheduling. INFORMS Journal on Computing, 28: p. 432-448. https://doi.org/10.1287/ijoc.2015.0686

[2] Molina-Pariente, J. M., Fernandez-Viagas, V. & Framinan, J., (2015). Integrated operating room planning and scheduling problem with assistant surgeon dependent surgery durations. Computers & Industrial Engineering, 82: p. 8-20. https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.01.006

[3] Latorre-Núñez, G., et al., (2016). Scheduling operating rooms with consideration of all resources, post anesthesia beds and emergency surgeries. Computers & Industrial Engineering, 97. https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.05.016

[4] Guerriero, F. & Guido, R., (2011). Operational research in the management of the operating theatre: A survey. Health care management science, 14: p. 89-114. https://doi.org/10.1007/s10729-010-9143-6

[5] Gabel, R. A., (1999). Operating Room Management. Elsevier - Health Sciences Division.

[6] Cardoen, B., Demeulemeester, E. & Beliën, J., (2010). Operating room planning and scheduling: A literature review. European Journal of Operational Research, 201(3): p. 921-932. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.04.011

[7] Blake, J., Dexter, F. & Donald, J., (2002). Operating Room Managers??? Use of Integer Programming for Assigning Block Time to Surgical Groups: A Case Study. Anesthesia and analgesia, 94: p. 143-8, table of contents. https://doi.org/10.1097/00000539-200201000-00027

[8] 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(2): p. 221-230. https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.02.012

[9] Younespour, M., et al., (2019). Using mixed integer programming and constraint programming for operating rooms scheduling with modified block strategy. Operations Research for Health Care, 23. https://doi.org/10.1016/j.orhc.2019.100220

[10] Bargetto, R., Garaix, T. & Xie, X., (2023). A branch-and-price-and-cut algorithm for operating room scheduling under human resource constraints. Computers & Operations Research, 152: p. 106136. https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.106136

[11] Roland, B., Martinelly, C. d. & Riane, F., (2006). Operating Theatre Optimization : A Resource-Constrained Based Solving Approach. in 2006 International Conference on Service Systems and Service Management. 2006. https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2006.320503

[12] Roland, B., et al., (2010). Scheduling an operating theatre under human resource constraints. Computers & Industrial Engineering, 58: p. 212-220. https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.01.005

[13] Marques, I., Captivo, M. E. & Vaz Pato, M., (2012). An integer programming approach to elective surgery scheduling. OR Spectrum, 34(2): p. 407-427. https://doi.org/10.1007/s00291-011-0279-7

[14] Marques, I., Captivo, M. E. & Vaz Pato, M., (2014). Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic. Operations Research for Health Care, 3(2): p. 59-72. ttps://doi.org/10.1016/j.orhc.2013.12.001

[15] Guido, R. & Conforti, D., (2017). A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem. Computers & Operations Research, 87: p. 270-282. https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.11.009

[16] Akbarzadeh, B., et al., (2020). A diving heuristic for planning and scheduling surgical cases in the operating room department with nurse re-rostering. Journal of Scheduling, 23(2): p. 265-288. https://doi.org/10.1007/s10951-020-00639-6

[17] Breuer, D. J., et al., (2020). Robust combined operating room planning and personnel scheduling under uncertainty. Operations Research for Health Care, 27: p. 100276. https://doi.org/10.1016/j.orhc.2020.100276

[18] Mancilla, C. & Storer, R.H., (2009). Stochastic sequencing and scheduling of an operating room. Theses and Dissertations, Lehigh University, Department of Industrial and Systems Engineering (November 14, 2009).

[19] Roshanaei, V., et al., (2017). Collaborative operating room planning and scheduling. INFORMS Journal on Computing, 29(3): p. 558-580. https://doi.org/10.1287/ijoc.2017.0745

[20] Kamran, M.A., Karimi, B. & Dellaert, N., (2018). Uncertainty in advance scheduling problem in operating room planning. Computers & Industrial Engineering, 2018. 126: p. 252-268. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.09.030

[21] Kamran, M. A., Karimi, B. & Dellaert, N., (2020). A column-generation-heuristic-based benders' decomposition for solving adaptive allocation scheduling of patients in operating rooms. Computers & Industrial Engineering, 148: p. 106698. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106698

[22] Ghandehari, N. & Kianfar, K., (2022). Mixed-integer linear programming, constraint programming and column generation approaches for operating room planning under block strategy. Applied Mathematical Modelling, 105: p. 438-453. https://doi.org/10.1016/j.apm.2022.01.001

[23] Gür, Ş., et al., (2023). Operating room scheduling with surgical team: a new approach with constraint programming and goal programming. Central European Journal of Operations Research, 31(4): p. 1061-1085. https://doi.org/10.1007/s10100-022-00835-z

[24] Tayyab, A., S. Ullah, & Baki, M. F., (2023). An outer

approximation method for scheduling elective surgeries with sequence dependent setup times to multiple operating rooms. Mathematics, 2023. 11(11): p. 2441. https://doi.org/10.3390/math11112441

[25] Karimi, N. & Davoudpour, H., (2017). A Benders decomposition algorithm for multi-factory scheduling problem with batch delivery. Scientia Iranica, 24(2): p. 823-833 https://doi.org/10.24200/sci.2017.4064.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2024, Volume 12., No. 24., pp. 49-61
www.ier.basu.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2024.29317.2167

A Benders Decomposition Algorithm for Integrated Operating Room Planning and Scheduling Problem by Considering Multiple Shifts and Preparation Time

Elham Abutalebi[1], Seyed Javad Hosseininezhad[2*]

[1.] Phd student of Systems Optimization, Industrial Engineering Group, Department of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
[2.] Assistant Professor, Social Economic Systems Group, Department of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 7 May 2024
Accepted 3 August 2024

***Keywords*:**

The Integrated Operating Room Planning and Scheduling Problem
Benders Decomposition
Preparation Time

ABSTRACT

The integrated operating room planning and scheduling problem is one of the most important optimization problems in the field of health, which has recently attracted the attention of hospital managers. In this article, a planning and scheduling model is proposed with the aim of increasing revenue and reducing current costs of the operating room and considering human resources including surgeons and nurses and available time for surgeons. In this model, for the optimal use of the capacity of the operating room, it is possible to plan during several shifts, and the costs of surgery and staffs are included in each shift. Also, due to the variety of surgeries and the need to prepare the operating room, the preparation time of the operating room is also considered for more accurate planning. Due to the complicating variables, the model has been solved by Benders decomposition algorithm and with GAMS software for different sizes. Considering multiple shifts has made it to plan for a high number of surgeries. On the one hand, because of planning in several shifts, the results show that the amount of the objective function has been improved by using the Benders decomposition compared to the GAMS software for larger size problems and has led to an optimal solution with more income and more efficient planning of the operating room. On the other hand, the solution time is reduced by this algorithm.

[*] Corresponding author. S.J. Hosseininezhad
Tel.:021-84063342; E-mail address: hosseininezhad@kntu.ac.ir