Archive of SID

مدیریت درآمد در شرایط بهره‌برداری متغیر از ظرفیت و ضریب اهمیت کلاس بیمار در بیمارستان

علی حسین زاده کاشان[۱،*]، علی رحمانی[۲] و بختیار استادی[۳]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۲۶
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۰۵

واژگان کلیدی:
مدیریت درآمد،
کنترل ظرفیت،
برنامه ریزی پویا،
کلاس‌های عمل جراحی.

چکیده

مدیریت درآمد شاخه‌ای از تحقیق در عملیات است که هدف آن حداکثرسازی درآمد حاصل از فروش ظرفیت به مشتریان مناسب در زمان مناسب و به قیمت مناسب می‌باشد. در این مقاله مسئله تخصیص ظرفیت بهینه اتاق عمل بخش جراحی عمومی بیمارستان به کلاس‌های مختلف اعمال جراحی، که هر یک نیازمند مدت زمان (ظرفیت) متغیر هستند، با استفاده از مکانیزم مدیریت درآمد بررسی شده است. تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا رد درخواست بیمار برای عمل جراحی با در نظر گرفتن ملاحظات مربوط به فرصت حفظ و بهره برداری از ظرفیت اتاق عمل برای درخواست‌های ارزشمند آتی بر اساس درآمد تعدیل شدهٔ حاصل از فروش ظرفیت (با دخالت دادن ضریب اهمیت اعمال جراحی بدست آمده از اجماع نظر خبرگان توسط روش AHP) صورت گرفته است؛ نه صرفاً بر اساس ملاحظات مالی که نوعاً مورد توجه تحقیقات گذشته بوده است. مدل‌سازی ریاضی مسئله بر اساس داده های جمع‌آوری شده از بیمارستان صیاد شیرازی گرگان و بر اساس برنامه‌ریزی پویای قطعی و احتمالی صورت گرفته است. همچنین یک روش ابتکاری تقریبی بر اساس برنامه‌ریزی خطی قطعی نیز برای حل مسئله ارائه شده است. تعداد تقاضاهای پذیرفته شده برای کلاس‌های با اولویت مالی بالا با استفاده از مدیریت درآمد، با سیاست ورود زودتر-خدمت زودتر (FCFS) که سیاست فعلی بیمارستان است مقایسه شده و نتایج دلالت بر دستیابی به کارایی بیشتر، از طریق تکنیک‌های مدیریت درآمد به کار گرفته شده در این تحقیق دارند. بعلاوه کارایی استفادهٔ از ضریب اهمیت پزشکی در پذیرفته شدن درخواست کلاس‌های تقاضا نیز بررسی شده است که مزیت استفاده از رویکرد ارائه شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

۱- مقدمه

مدیریت درآمد (RM) شکل پیچیدهٔ مدیریت عرضه و تقاضاست که به شرکت کمک می‌کند تا با ایجاد توازن میان قیمت‌گذاری و کنترل موجودی درآمد خود را بیشینه کند. اگرچه اکثر تحقیقات مدیریت درآمد بر روی صنایع خطوط هوایی و هتل‌داری تمرکز داشته‌اند، ویژگی‌های اجرایی که مدیریت درآمد را قابل کاربرد در صنایع مذکور کرده است، آن را قابل اجرا در صنایع خدماتی دیگر مانند بیمارستان‌ها نیز می‌کند. اگرچه اکثر بیمارستان‌های عمومی با تقاضای سنگین برای تخت‌های بستری روبرو هستند، اما روشی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: a.kashan@modares.ac.ir
۱. دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع-سیستم‌های سلامت، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس

www.SID.ir

Archive of SID

علمی برای کنترل ظرفیت تخت‌ها ندارند. تمام بیمارستان-های عمومی از قانون ورود زودتر- خدمت زودتر (FCFS) برای تخصیص تخت‌ها در بخش‌های عمومی و ویژه استفاده می‌کنند [۱]. بعد از گذشت حدود سه دهه از شروع پژوهش در حوزۀ مدیریت درآمد، درحالی که RM به خوبی در خطوط هوایی، هتل‌ها و صنایع خدمات کرایه‌ای اجرا شده است، هنوز یک صنعت بسیار مهم وجود دارد که در آن روش‌های RM به کندی یا با اکراه به کار گرفته شده‌اند؛ صنعت سلامت و به ویژه بخش‌های جراحی داخل بیمارستان. ممکن است چنین استدلال شود که بیمارستان‌ها سازمان‌هایی هستند که برای هدفی غیر از ازدیاد سود فعالیت می‌کنند و بنابراین نیازی به حداکثر کردن درآمد بخش‌های مختلف در بیمارستان احساس نمی‌شود. این امر لزوماً درست نیست. بیمارستان‌ها تنها در صورت بازیابی و سودآوری و سرمایه گذاری مجدد درآمد تولید شده توسط ارائه گستره‌ای از خدمات به گستره‌ای از بیماران، می‌توانند به حیات خود در ارائۀ خدمات با کیفیت و ضروری ادامه دهند [۲].

بیشتر مقالاتی که به مدیریت درآمد در حوزۀ سلامت می-پردازند، اکثراً به بحث کنترل ظرفیت می‌پردازند و این ناشی از ماهیت سیستم‌های سلامت است. در ایران نیز از آنجا که عموم مردم از خدمات بیمارستان‌های عمومی استفاده می-کنند و قیمت‌گذاری تقریباً به وسیلۀ دولت انجام می‌گیرد، بحث کنترل ظرفیت نسبت به قیمت‌گذاری مطلوب‌تر به نظر می‌رسد. در [۳]، محققان مسأله زمان‌بندی بیماران در فرآیند استفاده از دستگاه تشخیصی MRI را تحلیل کرده و سیاست‌های حد آستانه را برای مدیریت تقاضای بیمار و تخصیص ظرفیت با یک افق محدود، با استفاده از برنامه‌ریزی پویا مشخص کردند. در [۴]، مسأله مدیریت درآمد با چند کلاس تقاضا مورد مطالعه قرار گرفته است که در آن میزان مصرف منبع برای هر کلاس تصادفی بوده و تنها در هنگام خروج بیمار مشخص می‌شود. در این مطالعه، محققان نشان داده‌اند که چگونه توزیع مصرف متغیر از ظرفیت منبع بر سود بهینۀ مورد انتظار تأثیر می‌گذارد و اولویت پذیرش سفارش برای کلاس‌ها چگونه مشخص می‌شود. در [۵]، محققان مساله زمانبندی و تخصیص اتاق عمل به اعمال جراحی را با در نظر گرفتن زمان تصادفی برای هر عمل جراحی، مورد بررسی قرار داده و یک ساختار عمومی برای برآورد هزینه‌های مازاد و کمبود را در محیط مسأله پسرک روزنامه فروش با درنظر گرفتن امکان رزرو اتاق عمل ارائه دادند. به طور خاص، تصمیم تخصیص ظرفیت اتاق عمل به یک مورد عمل جراحی (اورژانسی یا انتخابی)، از منظر عواملی که بر تقاضا تأثیر می‌گذارند مورد بررسی قرار گرفته است.

در [۶] تعدادی روش ابتکاری برای کمک به کلینیک‌ها جهت تصمیم‌گیری در مورد اینکه چگونه بازه‌های زمانی موجود میان بیمارانی تقسیم شود که یا از پیش رزرو کرده‌اند و یا بدون رزرو در یک روز خاص وارد می‌شوند، ارائه شده است. در [۷]، دشواری مسأله کنترل ظرفیت اتاق عمل، در قالب تعیین سطح محافظت برای هر کلاس از بیماران ذکر شده است به گونه‌ای که درآمد مورد انتظار واحد جراحی طی دورۀ زمان‌بندی حداکثر شود. این سطوح محافظت می‌توانند به عنوان بازه‌های زمانی در نظر گرفته شوند. در [۸] یک مدل کنترل ظرفیت پویای تک‌بخشی ارائه شده است که در آن از تعداد تقاضای پذیرش‌شده از هر یک از کلاس‌ها به عنوان متغیر حالت استفاده شده است. در [۹]، سطح محافظت با فرض تقاضای تصادفی برای خدمات جراحی و استفادۀ تصادفی از منابع بدست آمده است. در [۱۰]، بدون در نظر گرفتن هیچ پیش فرض خاصی در ارتباط با الگوی ورود مشتریان، یک مدل برنامه‌ریزی پویای زمان گسسته، به منظور تخصیص بهینه ظرفیت به کلاس‌های مختلف تقاضا پیشنهاد شده است. در این مدل مشتریان مطابق با یک توزیع پواسون در دوره‌های زمانی گسسته وارد سیستم می‌شوند. در این مدل تابع ارزش به صورت درآمد انتظاری سیستم تحت ظرفیت موجود در کل سیستم تا انتهای دوره برنامه ریزی تفسیر می‌شود.

در این مقاله مسأله کنترل ظرفیت اتاق عمل در بیمارستان با هدف حداکثرسازی درآمد تعدیل شده در شرایط بهره‌برداری متغیر از ظرفیت، موردبررسی قرار می‌گیرد. در عمل‌های جراحی انتخابی/الکتیو مانند جراحی‌های زیبایی، استفاده از مدیریت درآمد به منظور حداکثر سازی درآمد منطقی به نظر می‌رسد. اما در عمل‌های غیر انتخابی نمی-توان تنها از منظر مالی به رزرواسیون بیماران پرداخت. لذا برای استفاده از مدیریت درآمد در بیمارستانی که عمل‌های غیر انتخابی در آن صورت می‌گیرد (این نوع اعمال جراحی عمدتاً در بیمارستان‌های دولتی انجام می شوند) عوامل دیگری همچون اورژانسی بودن، دسترسی به متخصص مربوطه و ریسک جانی بالا، علاوه بر فاکتور قیمت در نظر

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته شده است تا یک سیستم رزرواسیون کارا برای عمل‌های غیر انتخابی در اتاق عمل ارائه گردد. بدین منظور مفهومی تحت عنوان درآمد تعدیل شده معرفی شده است که ضمن آن از تکنیک‌های تصمیم گیری چند معیاره برای دخالت دادن فاکتورهای غیر مالی استفاده شده است. برای ارائه روشی مبتنی بر مدیریت درآمد که مناسب اجرا برای بیمارستان‌های عمومی باشد، نخست با استفاده از روش AHP، به کلاس‌های تقاضای عمل جراحی از جنبهٔ عوامل پزشکی وزن/ضریب اهمیت داده می‌شود. سپس با استفاده از مفهوم درآمد تعدیل شده (که از حاصل‌ضرب ضریب اهمیت هر عمل جراحی در درآمد حاصل از انجام عمل جراحی بدست می‌آید)، مدل‌سازی ریاضی مسئله با استفاده از برنامه‌ریزی پویا و برنامه ریزی عدد صحیح خطی انجام می‌شود. از این طریق می توان کلاس بیماران اضطراری را نیز در مدیریت درآمد مدنظر قرارداد که در خدمت‌دهی به آنها ملاحظات مالی در کمترین درجه از اهمیت است. برای اینکه بخواهیم بیماران خواهان اعمال جراحی که میزان اورژانسی بودن آنها نسبت به دیگر کلاس‌ها بالاتر است را بپذیریم، می‌توانیم با اعمال ضریب اهمیت آنها در تابع هدف این کار را انجام دهیم.

ادامه مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش دوم، مسأله کنترل ظرفیت در بخش جراحی عمومی ارائه می‌گردد. در ادامه، فرمولاسیون برنامه‌ریزی پویای مسأله معرفی‌شده و در بخش چهارم، با استفاده از روش AHP برای وزن‌دهی به کلاس‌های مختلف از منظر پزشکی و سپس انجام آزمایش‌های شبیه‌سازی، عملکرد روش ارائه شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در بخش آخر، نتایج حاصل از این تحقیق به همراه پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

۲- بیان مسأله

یکی از مشکلاتی که بیمارستان‌ها با آن‌ها روبرو هستند عدم وجود سیاست مناسب برای تخصیص ظرفیت اتاق‌های عمل می‌باشد. تخصیص ظرفیت در بیمارستان‌ها به صورت ورود زودتر-خدمت زودتر صورت می‌گیرد که این امر باعث می‌شود کنترلی بر روی نوبت دهی‌ها برای اتاق عمل وجود نداشته باشد. با استفاده از سیستم مدیریت درآمد می‌توان یک سیستم رزرواسیون مناسب برای افزایش بهره‌وری اتاق عمل بیمارستان‌ها ایجاد نمود. البته در کنار هدف ازدیاد بهره‌وری مالی، می‌بایست فاکتورهای پزشکی نیز مد نظر قرار گیرد.

در این تحقیق مسأله کنترل ظرفیت اتاق عمل بخش جراحی عمومی در شرایط بهره‌برداری متغیر از ظرفیت و ضریب اهمیت برای کلاس‌های مختلف عمل جراحی با هدف حداکثرسازی درآمد تعدیل شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مدل‌سازی مسأله از برنامه‌ریزی پویا استفاده می‌شود. از برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی (DILP) برای ارائه کرانی برای تابع هدف مسأله استفاده می‌شود. اما DILP شرایط احتمالی دنیای واقعی را در نظر نمی‌گیرد. در این تحقیق نتایج حاصل از سیاست‌های برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی پویای قطعی و DILP با سیاست FCFS مقایسه می‌گردد. بخش جراحی عمومی بیمارستانی با ظرفیت T واحد زمانی را در نظر بگیرید. بیماران از کلاس-های مختلف عمل جراحی برای انجام عمل جراحی مورد نظر درخواست می‌دهند. دورهٔ رزرواسیون برای عمل‌های جراحی به n دورهٔ گسسته تقسیم می‌شود و در هر یک از این دوره‌ها حداکثر یک تقاضا برای عمل جراحی وارد می-شود. یعنی ممکن است در دوره‌ای تقاضایی برای عمل جراحی از هیچ کلاسی وارد نشود. دورهٔ زمانی در نظر گرفته شده به صورت عقبگرد است، یعنی دورهٔ زمانی t=T ابتدای دورهٔ رزرواسیون برای اتاق عمل می‌باشد. فرض می‌کنیم که m نوع کلاس عمل جراحی برای رزرواسیون وجود دارند و هر درخواست برای کلاس نوع i در دورهٔ رمانی t با احتمال p_{it} وارد می‌شود. همچنین احتمال عدم ورود درخواست عمل جراحی در دورهٔ زمانی t برابر $q_{0t} = 1 - \sum_i p_{it}$ می‌باشد. هدف تعیین چگونگی تخصیص ظرفیت اتاق عمل به اعمال جراحی مختلف با در نظر گرفتن ملاحظات مالی و ملاحظات پزشکی است.

۳- روش حل

۳-۱- روش برنامه‌ریزی پویا

در مدل برنامه ریزی پویا، متغیر حالت مسأله مقدار زمان باقی مانده برای استفاده از اتاق عمل تا زمان t است. رابطهٔ بازگشتی برنامه ریزی پویا به صورت زیر خواهد بود:

$$V_t(x) = \sum_i p_{it} \cdot max\{ V_{t-1}(x), r_i + V_{t-1}(x - a_i)\} + q_{0t} \cdot V_{t-1}(x) \quad (۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$V_0(x) = 0 \quad (۲)$$

$$V_t(0) = 0 \quad (۳)$$

سیاست بهینه برای پذیرش درخواست رزرواسیون در دوره t وقتی که حالت سیستم y است برابر است با

$$r_i \geq V_{t-1}(x) - V_{t-1}(x - a_i) \quad (۴)$$

در مدل فوق p_{it} احتمال ورود مشتری کلاس جراحی i ام در دورهٔ t ام می‌باشد و همچنین q_{0t} بیان می‌کند که در دورهٔ t ام هیچ مشتری وارد نشده است. عبارات (۲) و (۳) شرایط مرزی را تعریف می‌کنند. براین اساس ارزش منابع باقیمانده صفر است. که این امر به معنی از بین رفتنی بودن ظرفیت می‌باشد. سمت راست عبارت (۴) نشان‌دهنده هزینه فرصت ناشی از پذیرش یک درخواست و سمت چپ هم درآمد حاصل از پذیرش یک درخواست عمل جراحی از نوع i است. بنابراین نامساوی (۴) این‌طور بیان می‌کند که سیاست بهینه برای پذیرش یک درخواست از نوع i بزرگ‌تر یا مساوی بودن درآمد حاصل از پذیرش آن درخواست از هزینه فرصت نپذیرفتن آن می‌باشد. برخلاف ماهیت ساده عبارت (۴)، فرآیند تصمیم‌گیری مارکوفی و بالطبع آن مدل برنامه‌ریزی پویای مسأله فوق دارای پیچیدگی ناشی از افزایش بعد است. زیرا در این مسئله بایستی تمامی مقادیر ارزش یا به عبارت بهتر ارزش $V_t(x)$ برای هر حالت (t, x) ذخیره شود.

۳-۲- روش برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی قطعی

با وجود جذابیت مدل برنامه‌ریزی پویای ارائه شده در بخش قبل از نظر تئوری، کارایی این روش در عمل به علت پیچیدگی ناشی از افزایش بعد مسأله مطلوب نیست. بنابراین در این بخش از روش تقریب خطی برنامه‌ریزی پویا که برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی قطعی نام دارد و متعلق به روش‌های تقریبی برای برنامه‌ریزی پویا است استفاده می‌شود. برای پیاده‌سازی این روش، در گام اول، تمام اثرات احتمالی سیستم، یعنی تقاضا برای کلاس‌ها و میزان منبع مورد نیاز با امید ریاضی این متغیرها جایگزین می‌شود. در مسأله فوق، مجموع تقاضای مورد انتظار تا زمان حال به صورت $\overline{D}_i$ و ضریب استفاده از ظرفیت با $\bar{t}_i$ بیان می‌شود. در این مدل از متغیر تصمیم x_i به‌عنوان تعداد تقاضاهای پذیرفته‌شده برای کلاس نوع i استفاده می‌شود. مدل بهینه‌سازی را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد:

$$max \sum_{i=1}^{m} r_i x_i \quad (۵)$$

$$S.t: \sum_{j=1}^{m} \bar{t}_i \, x_i \leq T \quad (۶)$$

$$x_i \leq E[D_i] \qquad i = 1,2,\dots,m \quad (۷)$$

$$x_i \geq 0 \, , Integer \quad i = 1,2,\dots,m \quad (۸)$$

بر اساس محدودیت (۶) استفاده از منبع برای مشتریان کلاس‌هایی که درخواست آنها پذیرفته شده است نباید از کل زمان در دسترس تجاوز کند. رابطهٔ (۷) بیان می‌کند که تعداد کل درخواست‌هایی که از کلاس iام پذیرش می‌شوند نباید از کل تقاضاهای کلاس iام تجاوز کند و در نهایت عبارت (۸) عدد صحیح بودن متغیر تصمیم را نشان می‌دهد.

۴- تجزیه و تحلیل عددی

در این بخش عملکرد روش‌های پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ابتدا فرضیات و پارامترهای مدل شبیه‌سازی توصیف می‌شود و سپس توضیحات مختصری در مورد نحوه پیاده‌سازی روش‌ها بیان می‌شود. در انتهای این بخش نیز نتایج حاصل از شبیه‌سازی، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

جدول۱- ضریب اهمیت پزشکی کلاس‌های مختلف عمل جراحی

نام بیماری	ضریب اهمیت
۱-سزارین	۰,۲۷۹
۲-آپاندکتومی	۰,۰۶۲
۳-شالدون گذاری	۰,۱۳۹
۴-چست تیوپ گذاری	۰,۱۱۳
۵-لاپراسکوپی کیسهٔ صفرا	۰,۰۵۱
۶-کلسیستکتومی	۰,۰۹۷
۷-آنترولیز	۰,۰۸۲
۸-هیسترکتومی	۰,۰۴۲
۹- تیروئیدکتومی	۰,۰۳۸
۱۰-سرکلاژ	۰,۰۹۷
ضریب ناسازگاری کل : ۰,۰۹	

۴-۱- توصیف فرآیند شبیه‌سازی

در این بخش آزمایش عددی برای ارزیابی عملکرد مکانیزم-های پیشنهادی ارائه می‌شود. این تحقیق در بخش جراحی عمومی بیمارستان صیاد شیرازی گرگان و با همکاری متخصصان مدیریت بیمارستانی صورت گرفته است. ۱۰ نوع عمل جراحی مختلف در نظر گرفته شده است و قیمت‌های

www.SID.ir

Archive of SID

هر عمل جراحی بر اساس K جراحی در سال ۱۳۹۴ تعیین گردیده است. همچنین میزان استفاده از ظرفیت و متوسط تقاضاهای ورودی در طی یک دوره از بخش جراحی عمومی بیمارستان استخراج گردیده است. طی جلسه‌ای با ۴ نفر از خبرگان حوزه سلامت شامل مدیر بیمارستان، پزشک، مترون و پرستار، با استفاده از روش طوفان ذهنی معیارهایی برای اولویت بخشی به کلاس‌های عمل‌های جراحی مطرح گردید و خبرگان بر روی ۳ معیار مؤثر بر انجام عمل‌های جراحی علاوه بر معیارهای مصرف منبع (زمان عمل جراحی) و درآمد حاصله به اجماع رسیدند که به قرار زیر است:

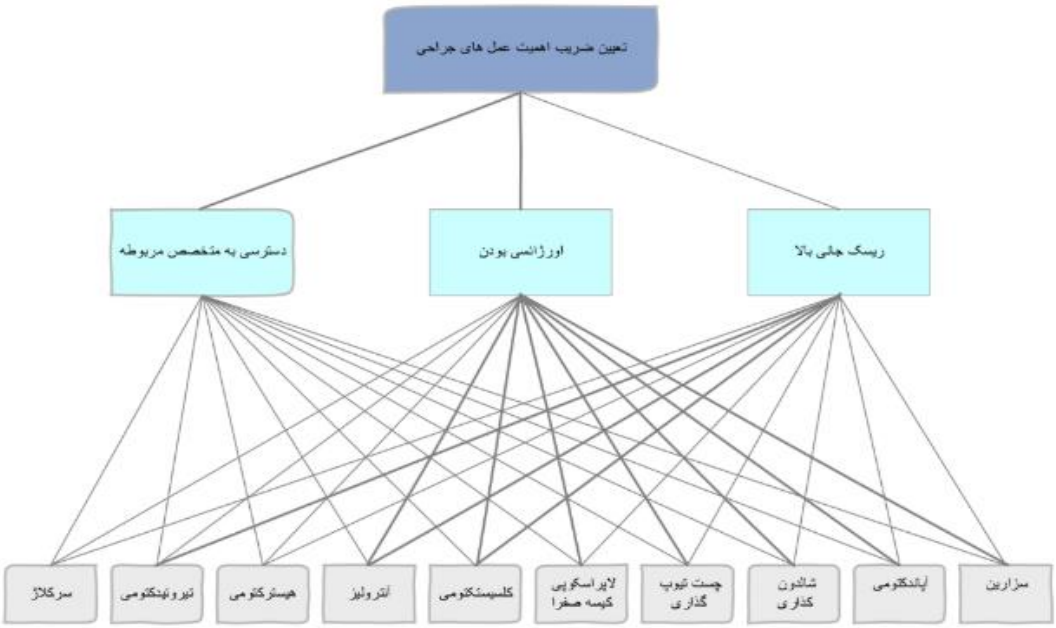
۱- اورژانسی بودن: اورژانسی بودن به دسته بیماری-هایی اطلاق می‌گردد که به تعویق افتادن آنها می‌تواند باعث آسیب جدی به بیمار و حتی مرگ گردد. عمل‌های اورژآنسی در مقابل عمل‌های انتخابی/الکتیو قرار می‌گیرند.

۲- دسترسی به متخصص جراح مربوطه: دسترسی به متخصص مربوطه به معنای میزان در دسترس بودن پزشک متخصص برای انجام عمل جراحی مربوطه در بیمارستان می‌باشد.

۳- ریسک جانی بالا: میزان ریسکی که در صورت پذیرش بیمار برای بیمارستان ایجاد می‌شود. این میزان برای بیمارستان‌های خصوصی بسیار حائز اهمیت است.

بر اساس این سه معیار، درخت سلسله مراتبی برای وزن‌دهی به کلاس‌های مختلف اعمال جراحی مطابق شکل (۱) تهیه گردید. سه عامل شناسایی شدهٔ بالا برای تعیین ضریب مؤثرغیر مالی برای هر عمل جراحی محاسبه شده‌اند. ۱۰ نوع عمل جراحی در نظر گرفته شده با توجه به ۳ معیار با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) امتیازدهی شده‌اند و ضریب اهمیت هر یک از کلاس‌ها با نرم افزار Expert Choice محاسبه گردیده است. ضریب اهمیت های عمل‌های جراحی در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. بدین منظور در جلسه‌ای دیگر با خبرگان، پرسشنامه‌ای جهت اولویت بخشی به کلاس‌های عمل‌های جراحی با توجه به سه معیار مذکور و شامل ۱۳۵ سؤال بین آنها توزیع گردید و تمامی خبرگان امتیازدهی برای اولویت بخشی به کلاس‌های جراحی را تأیید نمودند.

از آنجا که شاخص ناسازگاری کمتر از ۰,۱ می‌باشد، در مقایسات زوجی سازگاری وجود دارد. تمامی ورودی‌های مسأله در جدول ۲ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱- ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی مسئله

مکانیزم‌های پیشنهادی در قسمت‌های قبل به همراه سیاست FCFS به وسیله شبیه‌سازی مونت کارلوی فرآیند ورود تقاضا و مدت زمان انجام عمل جراحی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تعداد ۲۰۰ دوره زمانی در نظر گرفته شده به طوری که در هر دوره زمانی حداکثر یک درخواست وارد شود. در جدول ۲، λ_i نرخ تقاضا برای کلاس جراحی نوع i

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد که تقاضای هر کلاس طبق توزیع پواسون وارد سیستم می‌شوند. t_i توزیع مدت زمان عمل جراحی نوع i می‌باشد که از توزیع لوگ نرمال پیروی می‌کند. R_i نیز قیمت عمل جراحی نوع i می‌باشد که بر حسب K جراحی در سال ۱۳۹۴ بیان گردیده است. لازم به ذکر است که این قیمت‌ها در ضریب اهمیت‌های به دست آمده از جدول ۱ ضرب می‌گردند و به عنوان فاکتور تصمیم‌گیری برای رد یا پذیرش درخواست های وارد شده به سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌گونه که ذکر شد، برای شبیه‌سازی الگوی ورود از فرآیند پواسون و برای شبیه‌سازی مدت زمان عمل جراحی از توزیع لوگ نرمال استفاده شده است. اعداد تصادفی متناظر با هر یک از این توزیع ها توسط نرم افزار MATLAB تولید و شبیه‌سازی شده‌اند.

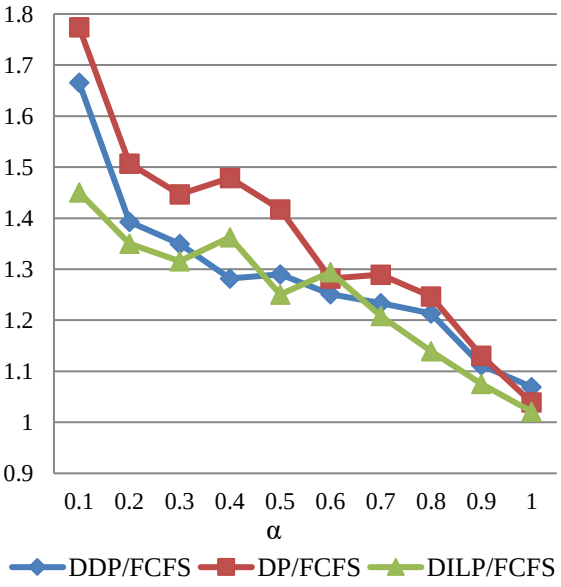
پیاده سازی مدل ها و مکانیزم های پیشنهادی در این بخش، در نرم افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۳ و همچنین نرم افزار GAMS نسخهٔ ۲۳,۵ انجام شده است. به طور خاص برای حل مسأله برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی قطعی (DILP) از نرم افزار GAMS و برای اجرای الگوریتم برنامه‌ریزی پویا (DDP) و FCFS مکانیزم نیز از محیط MATLAB استفاده شده است. نتایج حاصل از ۱۰ بار شبیه‌سازی پارامترها و حل مسأله با مکانیزم‌های برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی عددصحیح خطی قطعی و FCFS در جدول ۳ آمده است.

جدول۲- پارامترهای ورودی مسأله

تعداد کلاس‌ها				10	
تعداد دوره				200	
λ_1	20	t_1	Lognormal(60,10)	R_1	$40\times K$
λ_2	4	t_2	Lognormal(60,8)	R_2	$31\times K$
λ_3	16	t_3	Lognormal(27,2)	R_3	$9\times K$
λ_4	10	t_4	Lognormal(30,8)	R_4	$10\times K$
λ_5	9	t_5	Lognormal(100,16)	R_5	$47.8\times K$
λ_6	9	t_6	Lognormal(90,15)	R_6	$56\times K$
λ_7	4	t_7	Lognormal(89,14)	R_7	$50\times K$
λ_8	15	t_8	Lognormal(150,18)	R_8	$47\times K$
λ_9	5	t_9	Lognormal(150,20)	R_9	$85\times K$
λ_{10}	6	t_{10}	Lognormal(90,13)	R_{10}	$10\times K$

جدول۳- مقایسه نتایج حاصل از مکانیزم‌های کنترلی مختلف

DILP	DP	DDP	FCFS	α
3280800	4012000	3767200	2261600	0.1
6045600	6547200	6235200	4477440	0.2
8245600	9069280	8460320	6268000	0.3
12372800	15807360	11448800	8732320	0.4
14039840	17813120	15308480	11865280	0.5
18421920	18348000	17907680	14313280	0.6
19777120	21104800	20188960	16368000	0.7
20769120	22716160	22113600	18224000	0.8
21264320	23406240	23015520	20701120	0.9
25216542	25666400	26410560	24698400	1



شکل۲- مقایسهٔ نسبت جواب‌های ارائه شده توسط مکانیزم‌های کنترلی پیشنهادی با روش FCFS

۵- تحلیل نتایج

نتایج جدول ۳ نشان دهندهٔ عملکرد به مراتب بهتر مکانیزم-های کنترلی ارائه شده نسبت به روش FCFS می‌باشند. در واقع همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، درآمد تعدیل شدهٔ حاصل از تمامی مکانیزم‌های ارائه شده در این تحقیق بیش‌تر از روش FCFS می‌باشد.

برای مکانیزم کنترلی برنامه ریزی پویای قطعی، از آنجا که تنها پارامتر احتمالی لحاظ شده تعداد درخواست‌های ورودی از هر کلاس تقاضا است و برای مدت زمان استفاده از منبع از مقادیر مورد انتظار آنها استفاده می‌شود، در نتیجه پویایی سیستم به طور نسبی در نظر گرفته می‌شود، که انتظار می‌رود نتایج آن مقداری کمتر از مقدار حاصل از برنامه‌ریزی پویا باشد. همان‌طور که در جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود، برنامه‌ریزی پویای قطعی یک حد پایین نسبت به

www.SID.ir

Archive of SID

برنامه‌ریزی پویا ارائه می‌دهد. در مکانیزم برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی قطعی (DILP) نیز پارامتر احتمالی وجود ندارد و ماهیت احتمالی مسئله در نظر گرفته نشده است. یعنی امید ریاضی تقاضای کلاس‌ها و زمان عمل جراحی جایگزین مقادیر احتمالی شده‌اند. طبق جدول ۳ نتایج حاصل از DILP در برخی از موارد بیشتر از برنامه‌ریزی پویا و برنامه‌ریزی پویای قطعی شده‌اند. این موضوع را می‌توان این طور تفسیر کرد که در برنامه‌ریزی پویا هر بیمار در هر کلاس عمل جراحی مقداری تصادفی از زمان را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین، دلیل اختلاف درآمد تعدیل شدهٔ حاصله بین برنامه‌ریزی پویا و DILP و بیشتر و کمتر شدن این مقادیر نسبت به یکدیگر در جدول ۳ این است که در DILP میانگین زمان مورد انتظار لحاظ می‌شود. یعنی ممکن است زمان عمل جراحی بیماران ورودی کمتر از زمان میانگین باشد، در این صورت زمان بیش‌تری ممکن است برای استفاده از ظرفیت اتاق عمل به بیماران در یک دوره برسد. از طرفی گفتیم که پیچیدگی برنامه ریزی پویا با افزایش ابعاد مسئله افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان به عنوان تقریبی برای نتیجه حاصل از برنامه ریزی پویا از DILP استفاده نمود. شکل (۲) درآمدهای تعدیل شدهٔ حاصله از مکانیزم‌های DP، DDP و DILP را نسبت به روشی که هیچ کدام از سیاست‌های ما اعمال نشده‌اند (FCFS) را به ازای نسبت‌های مختلف ظرفیت در دست به مجموع تقاضاهای همهٔ کلاس‌ها (α) نشان می‌دهد. در واقع محور عمودی بیان‌گر نسبت درآمدها و محور افقی α را نمایش می‌دهد. مطابق این نمودار، به ازای αهای کوچکتر، یعنی جایی که مجموع تقاضا خیلی بیشتر از ظرفیت در دست می‌باشد، نسبت درآمد حاصل از مکانیزم‌های ارائه شده به مقدار قابل توجهی بیشتر از روش FCFS است و این کارایی مکانیزم‌های ارائه شده را نشان می‌دهد. این نسبت‌ها در کمترین میزان α به حداکثر مقدار خود می‌رسند. هرچه روی نمودار به سمت αهای بزرگتر حرکت می‌کنیم نسبت درآمدها کوچکتر می‌شود. تا جایی که در α =1، یعنی جایی که نسبت تقاضاهای کل با ظرفیت در دست برابر است، نسبت درآمدهای حاصله به درآمد ناشی از FCFS به ۱ نزدیک می‌شود. جدول (۴) تعداد تقاضا و تعداد تقاضای پذیرفته شده را برای مهم‌ترین عمل جراحی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تعداد پذیرش‌های درخواست شده توسط سیاست FCFS برابر ۷ درخواست است. در صورتی که ۲۲ درخواست وجود داشته است. دلیل این امر این است که هر کلاس جراحی که زودتر درخواست داده است، عمل جراحی آن زودتر انجام شده و این روال تا جایی که ظرفیت تمام شود ادامه می‌یابد. بنابراین ظرفیتی برای تخصیص به دیگر درخواست‌های این کلاس که سرویس‌دهی به آن برای ما حائز اهمیت است باقی نمانده است. اما در سایر مکانیزم‌های ارائه شده می‌بینیم که درخواست‌ها برای عمل جراحی که پذیرش آن حائز اهمیت است به خوبی پذیرش شده است.

جدول ۴- عملکرد مدیریت درآمد در پذیرفته شدن درخواست‌ها

FCFS		DILP		DP	
Accept	Demand	Accept	Demand	Accept	Demand
7	22	18	18	19	19

جدول (۵)، پنج کلاس از اعمال جراحی مهم (کلاس‌های جراحی با بیشترین قیمت و کلاس جراحی با بیشترین اهمیت)، تعداد تقاضای ورودی از هر کلاس، تعداد تقاضاهای پذیرفته شده، قیمت و ضریب اهمیت هر کلاس را برای حالت صرفاً مالی و نیز حالت به کارگیری ضریب اهمیت برای هر کلاس، نشان می‌دهد.

در حالت اول که تنها معیار درآمد کلاس‌ها و میزان مصرف منابع توسط آنها مد نظر است، تقاضا برای عمل سزارین که از نظر عوامل سه گانه برای ما بسیار حائز اهمیت است به درستی پوشش داده نمی‌شود. اما در حالت دوم که معیارهای سه گانه نیز در پذیرش کلاس‌ها دخیل شده‌اند، عمل سزارین که از ضریب اهمیت بالایی برخوردار است تماماً پذیرفته شده است. تأثیر این عوامل در پذیرش کلاس‌های دیگر نیز مشهود است. می‌توان از مقایسهٔ بالا به این نتیجه رسید که به کارگیری ضریب اهمیت علاوه بر بحث مالی و استفادهٔ از ظرفیت، کاربرد مدیریت درآمد در بیمارستان را منطقی می‌نماید. زیرا در بیمارستان، تنها داشتن دید مالی برای اولویت‌بندی در پذیرش برای عمل جراحی کاری غیر انسانی می‌باشد. البته برای انجام این تحقیق، بیمارستانهای خصوصی نیز علاقهٔ زیادی برای استفاده از مکانیزم‌های ارائه شده از خود نشان داده اند. اما درخواست آنها صرفاً استفاده از معیارهای مالی بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- تأثیر فاکتورهای پزشکی در پذیرفته شدن درخواست‌ها

کلاس بیماری	سزارین	لاپراسکوپی کیسهٔ صفرا	کلسیستکتومی	آنتروئیدکتومی	تیروئیدکتومی
قیمت	۳۵۲۰۰۰	۴۲۰۶۴۰	۴۹۲۸۰۰	۴۴۰۰۰۰	۷۴۸۰۰۰
ضریب اهمیت	۰,۲۷۹	۰,۰۵۱	۰,۰۹۷	۰,۰۸۲	۰,۰۳۸
تعداد درخواست‌های پذیرفته شده برای ۵ بیماری با قیمت بالا در حالت صرفاً مالی					
تقاضا	۲۷	۱۳	۱۷	۹	۱۲
پذیرفته شده	۱۲	۱	۱۶	۱	۱۲
تعداد درخواست‌های پذیرفته شده برای ۵ بیماری با قیمت بالا در حالت تأثیر ضریب اهمیت					
تقاضا	۲۸	۱۷	۱۲	۵	۱۱
پذیرفته شده	۲۸	۷	۱۲	۵	۱

۶- جمع بندی نتیجه گیری

در این تحقیق مسأله مدیریت درآمد بخش جراحی عمومی بیمارستان در شرایط بهره‌برداری متغیر از ظرفیت زمانی مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا یک مدل برنامه‌ریزی پویا برای مساله ارائه شد. علاوه بر این، یک روش ابتکاری بر اساس برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی قطعی نیز ارائه گردید. از آزمایش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی نیز برای ارزیابی عملکرد مکانیزم های کنترلی ارائه شده استفاده شد که بر اساس آن عملکرد روش‌های ارائه شده با روش معمول ورود زودتر-خدمت زودتر (FCFS) مقایسه گردید. علاوه بر این، به ازای نسبت‌های مختلف ظرفیت در دست به تقاضای مورد انتظار (α)، عملکرد روش های فوق مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که به ازای $\alpha \leq 0.5$ اختلاف قابل توجهی بین مکانیزم‌های پیشنهادی و سیاست FCFS وجود دارد و با افزایش مقدار α این اختلاف کاهش می‌یابد به طوری که در حالت $\alpha = 1$ نسبت درآمدهای حاصل از مکانیزم‌های مدیریت درآمد به FCFS کاملاً به ۱ نزدیک می‌شود. همچنین نشان داده شد که با دخالت ضرایب اهمیت فاکتورهای پزشکی از جمله اورژانسی بودن، دسترسی به متخصص جراح مربوطه و ریسک جانی بالا، می‌توان ظرفیت را به عمل‌های جراحی مهم‌تر تخصیص داده و از میزان رد تقاضای آنها کاست.

به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی می‌توان مکانیزم‌های ارائه شده در این تحقیق را در کاربردهای دیگر که میزان بهره‌برداری از ظرفیت منابع در آنها متغیر است به کار برد. علاوه بر این می‌توان امکان رزرو مضاعف را نیز برای بیمارستان در نظر گرفت.

مراجع

[1] L. Garrow, Discrete Choice Modelling and Air Travel Demand, Georgia Institute of Technology, USA, Ashgate Publishing Company, 2010.

[2] F. de Véricourt, and M.S. Lobo, "Resource and revenue management in nonprofit operations", Operations research, Vol. 57, No. 5, 2009, pp. 1114–1128.

[3] L.V. Green, S. Savin, and B. Wang, "Managing patient service in a diagnostic medical facility", Operations Research, Vol. 54, No. 1, 2008, pp. 11–25.

[4] W. Zhuang, M. Gumus, and D. Zhang, "A single-resource revenue management problem with random resource consumptions", Journal of the Operational Research Society, Vol. 63, No. 9, 2012, pp. 1213–1227.

[5] M. Olivares, C. Terwiesch, and L. Cassorla, "Structural estimation of the newsvendor model: an application to reserving operating room time", Management Science, Vol. 54, No. 1, 2008, pp. 41–55.

[6] D. Gupta, and L. Wang, "Revenue management for a primary-care clinic in the presence of patient choice", Operations Research, Vol. 56, No. 3, 2008, pp. 576–592.

www.SID.ir

Archive of SID

[7] A. Ratcliffe, W. Gilland, and A. Marucheck, "Revenue management for outpatient appointments: joint capacity control and overbooking with class-dependent no-shows", Flexible Services and Manufacturing Journal, Vol. 24, No. 4, 2012, pp. 516–548.

[8] K. Huang, and W. Hsu, "Revenue management for air cargo space with supply uncertainty", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, 2005, pp. 570–580.

[9] A. Stanciu, L. Vargas, and J. May, "A revenue management approach for managing operating room jcapacity", Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference (WSC), 2010, pp. 2444–2454.

[10] D. Zhang, and D. Adelman, "An approximate dynamic programming approach to network revenue management with customer choice", Transportation Science, Vol. 43, No. 3, 2009, pp. 381–394.

www.SID.ir