

## ارائه مدلی برای زمانبندی پویای جراحی قلب باز با در نظر گرفتن محدودیت ضرب الاجل جراحی بیمار

ایمان دهقان<sup>۱</sup>، بختیار استادی<sup>۲\*</sup>، سعید حسینی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۹

### چکیده:

**زمینه و هدف:** اتاق‌های عمل در هر مرکز درمانی از حساس‌ترین واحدهای مرکز می‌باشند که زمانبندی و برنامه‌ریزی عملیات آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و بهینه‌سازی آنها تاثیر بسزایی در بهینه‌سازی کل مجموعه دارد. زمانبندی جراحی قلب علاوه بر محدودیت‌های نیروی انسانی، زمانی و تسهیلاتی، شامل محدودیت ضرب‌الاجل جراحی بیمار نیز می‌باشد که در این پژوهش هدف زمانبندی جراحی‌ها با در نظر گرفتن این پارامتر می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش کمی که از مطالعات نوع مقالات پژوهشی اصیل می‌باشد یک الگوریتم ۳+۱ فازی پیشنهاد شد. این الگوریتم علاوه بر پایش محدودیت‌ها و ضرب‌الاجل جراحی، به عدم قطعیت نیز توجه دارد. لازم به ذکر است بیماران نیز به دو دسته اورژانسی و غیر اورژانسی تقسیم گردیدند که این الگوریتم صرفاً به زمانبندی موارد غیر اورژانسی می‌پردازد. در این پژوهش ۳۴۳ بیمار مورد ارزیابی قرار گرفتند.

**نتایج:** با بررسی اطلاعات مربوط به یک دوره ۶ ماهه از مرکز قلب و عروق شهید رجایی تهران، بهبود ۱۱ درصدی نسبت به فرایند نوبت‌دهی موجود در پایش ضرب‌الاجل بیماران ایجاد شده است. میزان بهینه‌سازی اغلب مربوط به تفاوت در انتخاب بیماران براساس ضرب‌الاجل آنها جهت جراحی می‌باشد که در الگوریتم حاضر سهم عمده‌ای از بیماران انصرافی مورد خدمت‌دهی قرار داده شده‌اند. همچنین دیگر مزیت الگوریتم پیشنهادی نسبت به فرایند موجود پویای الگوریتم و اعمال عکس‌العمل مناسب در برابر تغییرات بوجود آمده می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** در صورت پایش قطعی ضرب‌الاجل‌ها، هرچه طول صف بیشتر باشد، احتمال پذیرش بیماران غیر اورژانسی با ضرب‌الاجل کوتاه‌تر کاهش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** زمانبندی پویا، جراحی قلب باز، نوبت‌دهی، ضرب‌الاجل

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، بهینه‌سازی سیستم‌ها، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (\* نویسنده مسئول)، آدرس: تهران، بزرگراه جلال آل احمد، پل

نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، اتاق ۹۰۹،

آدرس الکترونیکی: bostadi@modares.ac.ir، تلفن: ۰۲۱-۸۲۸۸۴۳۸۵، نمابر: ۰۲۱-۸۲۸۸۴۳۸۵

<sup>۳</sup> استاد، مرکز تحقیقات بیماریهای دریچه قلب، مرکز آموزشی، تحقیقاتی و درمانی قلب و عروق شهید رجایی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

**مقدمه:**

هزینه های نظام بهداشت و درمان در کشورهای توسعه یافته روز به روز در حال افزایش می باشد. باتوجه به نیاز به بهبود کیفیت خدمات درمان از یک سو و کاهش هزینه ها از طرف دیگر بصورت همزمان، بیمارستان ها و مراکز درمانی همواره بدنبال یافتن راه هایی به منظور دستیابی به اهداف ذکر شده می باشند. (۱) افزایش تقاضا برای خدمات سلامت در کنار افزایش هزینه های مرتبط، موجب تلاش مراکز درمانی برای ارتقاء و سازماندهی فرایند ها شده است. (۲) اتاق های عمل و نقش آنها در درمان و سلامت بیماران و همچنین سهم بالای آنها در گردش مالی و کسب درآمد مراکز بهداشت و درمان و بیمارستان ها، توجه روزافزون پژوهشگران به زمانبندی اتاق عمل را افزایش داده است. (۳)

به منظور ایجاد پویایی بیشتر و تسریع بروزرسانی ها و کاهش اثر تغییرات ناگهانی از مدل های پویا یا فرایندهای چند قسمتی استفاده شده است تا در صورت مواجهه با تغییرات ناگهانی تمهیدات لازم صورت گیرد و اثر تغییرات حدالمقدور کاهش داده شود. (۴) در زمان بندی اتاق عمل، حداکثر مدت زمان انتظار مجاز برای هر بیمار با توجه به نوع و شدت بیماری و تشخیص پزشک تعیین می شود و تجاوز از این زمان تعیین شده می تواند خطرات جانی را برای بیمار به همراه داشته باشد. تخصیص بیماران به جراحان و اتاق های عمل به گونه ای انجام می شود که با توجه به تعداد بیماران، نیازهای آنها و نیز تقویم کاری جراحان و سایر پرسنل، زبان ناشی از دیرکرد عمل بیماران به حداقل برسد.

در کنار این هدف، اهدافی چون افزایش بهره وری اتاق های عمل، کاهش زمان انتظار جراحان، افزایش درآمد بیمارستان و موارد مانند آنها نیز مطرح شود. (۵) در این باره مفهومی تحت عنوان پنجره زمانبندی تعریف می شود. پنجره زمانبندی که پارامتری مختص بیمار میباشد بیانگر این است که تا چه زمانی امکان زمانبندی برای بیمار مربوطه وجود دارد و به عبارتی حداکثر مدت زمانی که بیمار برای دریافت خدمت زمان درد را مشخص می کند. (۶)

بیمارستان ها برای تمامی زمان هایی که اتاق عمل یا تیم جراحی آماده خدمت دهی باشند هزینه پرداخت می کنند. لذا هر مانعی که از استفاده از این زمان ها به منظور جراحی بیماران جلوگیری کند موجب هدررفت منابع گران قیمت و درآمدزای بیمارستان می شود. از آنجایی که وجود عدم قطعیت استفاده کامل از منابع را به امری غیر ممکن بدل ساخته، زمانبندی مناسب به گونه ای اطلاق می شود که میزان هدررفت ها و بیکاری های تیم جراحی را به حداقل کاهش دهد. (۷) از طرفی در زمانبندی های بلندمدت و میان مدت،

نارضایتی بیماران بیشتر مربوط به تغییرات به وجود آمده در زمانبندی از پیش تعیین شده و مدت زمان انتظار بیماران بدلیل ناهماهنگی های به وجود آمده در قرارهای هماهنگ شده می باشد و نسبت به طول مدت زمان سپری شده تا دریافت خدمت کمتر نارضایتی دارند زیرا در صورت عدم وجود ناهماهنگی، حفاصل دریافت خدمت را می توانند به برنامه ریزی و رسیدگی به سایر امور بپردازند. (۸)

تجهیزات پزشکی با بیماران ناهمگن اغلب نیاز به تعیین اولویت برای گروه های مختلف بیمار دارند. دو نوع اصلی از اولویت های بیمار وجود دارد که ممکن است بیمار مورد نظر اورژانسی و غیر اورژانسی باشد. بیماران اورژانسی باید در اسرع وقت مورد درمان و جراحی قرار گیرند و زمانبندی خاصی برای آنها ممکن نیست. نوبت دهی به این دسته از بیماران اغلب توسط راه حل های موجود سیستم های صف مورد بررسی قرار می گیرند. (۹) اما بیماران غیر اورژانسی به محض پذیرش مورد خدمت دهی قرار نمی گیرند و دریافت خدمت آنها مستلزم زمانبندی می باشد. همچنین پذیرش یا عدم پذیرش آنها به عواملی از قبیل ظرفیت زمانبندی، خدمت مورد تقاضای بیمار، تصمیمات تخصصی پزشکان و سایر عوامل بستگی دارد.

یک روش متداول برای زمانبندی بیماران غیر اورژانسی تخصیص دادن وزن های متفاوت بر اساس شرایط هر دسته از بیماران و ایجاد یک رابطه خطی یا غیر خطی بر حسب زمان برای تعیین نوبت بیماران بعدی می باشد. (۱۰). البته هر دو کلاس از موارد اورژانسی و غیر اورژانسی توسط شیبه سازی نیز قابل حل می باشند و لازم بذکرست که اولویت بندی بیماران تأثیر قابل توجهی بر زمان انتظار برای بیماران و استفاده از منابع دارد. (۱۲) در برخی از مراکز در صورتی که بیمار مراجع غیر اورژانسی باشد و شرایط به گونه ای باشد که امکانات و منابع لازم به منظور خدمت دهی به بیمار در پنجره زمانی وی یا مدت زمان مورد نظر شخص بیمار فراهم نباشد، ثبت نام بیمار به منظور نوبت دهی جهت دریافت خدمت انجام نخواهد شد و بیمار به پزشک یا مرکز دیگری مراجعه خواهد کرد. یک توافق کلی در پذیرش بیماران، تعادل بین درآمد و هزینه هایی است که از زمان انتظار بیمار و اضافه کاری ارائه دهنده ارائه شده است. سایر عوامل همچون منابع در دسترس برای خدمت دهی، ظرفیت موجود، و تقاضای گروه بیماران نیز حائز اهمیت می باشد. این تصمیمات اغلب در لحظه و با برنامه ریزی های در لحظه صورت می گیرند. (۱۳)

(۱۴)

یکی از عمده درمان های بیماری های قلب و عروق جراحی می باشد. بیماری های قلب و عروق انواع متفاوتی دارند و بسته به شرایط بیمار، نوع جراحی و سایر عوامل، پنجره زمانی

سیستم مراجعه نموده اند. این تعداد شامل ۳۴۳ نفر بیمار می باشد. لازم بذکر است کلیه بیماران ذکر شده در حدفصل ۲۸ مهر ماه ۱۳۹۴ لغایت ۲ دی ماه ۱۳۹۵ مورد جراحی قرار گرفته اند یا به هر دلیلی اعم از تغییر جراح یا فوت بیمار، از جراحی انصراف داده اند. تعداد انصرافی ها نیز ۱۶۵ نفر از مجموع ۳۴۳ متقاضی را تشکیل می دهد. اطلاعات با مراجعه به واحد انفورماتیک مرکز قلب شهید رجایی و استخراج از بانک اطلاعاتی موجود اخذ گردیده اند.

فرایند پیشنهادی ما باید علاوه بر در نظر گرفتن محدودیت های وجود در مسائل زمانبندی از قبیل تیم جراحی اتاق عمل و سایر مباحث، ضرب الاجل جراحی بیماران را به صورت قطعی پایش کند و در صورت پذیرش بیمار متقاضی جراحی، زمان جراحی وی قبل از به پایان رسیدن ضرب الاجل جراحی مربوطه را برنامه ریزی کند. علاوه بر این، پویایی فرایند مورد نظر و ایجاد پاسخ مناسب به تغییرات ناگهانی نیز از ملزومات مورد انتظار فرایند پیشنهادی می باشد.

بهینه سازی منابع موجود و استفاده حداکثری از منابع و تیم جراحی در وهله اول و همچنین توجه به ویژگی ها و انتظارات بیماران در مرتبه بعدی نیز مورد انتظار می باشد. به منظور ایجاد پویایی و افزایش دقت در این فرایند با الهام از کورتیک و همکاران (4) یک الگوریتم  $3+1$  فازی ارائه شده است که با تخصیص وظایف مربوطه به واحد های مربوطه و پایش پارامترها و منابع هر بخش در حوزه خود به پویایی و افزایش دقت فرایند کمک کند.

در ادامه به معرفی الگوریتم پیشنهادی و فازهای موجود می پردازیم. الگوریتم پیشنهادی دارای ۴ فاز می باشد که هر یک از این فازها در زمان های متفاوتی و به منظور ارائه فرایندهای مجزایی عمل می کنند و هدف غایی آنها زمان بندی براساس ضرب الاجل خدمت مورد نظر با در نظر گرفتن آخرین تغییرات موجود در سیستم و مجموعه می باشد. به جز فاز ۰ که تنها یک بار و در ابتدای شروع به کار کردن الگوریتم در هر سیستم اجرا می شود، سایر فازهای ۱، ۲ و ۳ در هر واحد از افق زمانی خدمت گیرنده اجرا می شوند. فاز ۰ در این الگوریتم به منظور بررسی شرایط اولیه و مشخص سازی چارچوب ها اجرا می شود. پس از مطالعه انواع خدمات ارائه شده در سیستم و ماهیت خدمات فعالیت های ذیل اجرا می گردد. گام های فاز صفر عبارتند از:

۱. مشخص نمودن نحوه محاسبه ضرب الاجل: روش های متفاوتی به منظور تعیین ضرب الاجل خدمات وجود دارد. با مطالعه و بررسی خدمت یا خدمات مورد ارائه در سیستم مربوطه، راهکار و نحوه تعیین میزان ضرب الاجل خدمت مشخص می شود.

مربوط به جراحی هر بیمار مشخص می گردد. نقش پنجره زمانی جراحی در کیفیت جراحی و درمان صورت گرفته تعیین کننده می باشد. یکی از خلاهای پژوهش های انجام شده در زمینه زمانبندی جراحی با در نظر گرفتن پنجره زمانی (ضرب الاجل) جراحی ها، عدم پایش قطعی این پنجره های زمانی و آرایه نوبت دهی مبتنی بر سایر محدودیت ها بدون پنجره زمانی جراحی بیماران می باشد. به عبارتی معمولاً در اغلب پژوهش ها به پنجره های زمانی به عنوان محدودیت های نرم توجه شده است و پایش آنها به صورت قطعی مورد توجه قرار نگرفته است. لذا هدف از این پژوهش ارائه یک فرایند زمانبندی جراحی براساس پنجره زمانبندی موجود برای بیماران می باشد.

باتوجه به اهمیت پنجره زمانی در جراحی های قلب و عروق در کیفیت جراحی و سایر حالات خطای متوجه بیماران قلبی و عروقی نیازمند جراحی، مطالعه موردی صورت گرفته بر بیماران قلب و عروقی بزرگسال می باشد و باتوجه به عبارت بالینی موجود برای پنجره زمانی بیماران متقاضی جراحی قلب و عروق<sup>۱</sup> در این پژوهش از عبارت "حداکثر ضرب الاجل جراحی" بجای پنجره زمانی استفاده می شود. لذا هدف این پژوهش ارائه یک فرایند پویای نوبت دهی جراحی قلب باز بر اساس حداکثر ضرب الاجل موجود برای بیماران می باشد.

## مواد و روش ها:

مسئله مورد بررسی در این پژوهش ارائه فرایندی پویا جهت نوبت دهی به بیماران متقاضی انواع جراحی های قلبی و عروقی با در نظر گرفتن ضرب الاجل های موجود برای جراحی مورد نیاز آنها می باشد که در پاییز و زمستان ۱۳۹۶ مورد نگارش قرار گرفته است. با توجه به مدت زمان و ضرب الاجل های موجود برای بیماران با شرایط و جراحی های متفاوت، می توان از این فرایند به عنوان یک فرایند زمان بندی بلندمدت یا غیر سریایی نام برد. هدف پژوهش حاضر، بهینه سازی در امکانات و تسهیلات موجود در حوزه یکی از عارضه های پرتکرار و حیاتی در کلیه جوامع می باشد که اولین آمار مرگ و میر جهانی را دارا می باشد (۱۵). لذا اهمیت بهینه سازی در این حوزه همواره مورد توجه می باشد.

این مطالعه موردی در مرکز قلب شهید رجایی تهران و بر روی صف متقاضیان یکی از جراحان مرکز مربوطه صورت گرفته است. بررسی های صورت گرفته مربوط به کل بیماران متقاضی جراحی توسط جراح مدنظر طرح می باشد که در حدفصل ابتدای مهر سال ۱۳۹۴ تا پایان اسفند ۱۳۹۴ به

<sup>1</sup> Maximum delay

۳. در صورتی که امکان پذیرش متقاضی جدید وجود داشته باشد اطلاعات وی را به متقاضیان پذیرش شده اضافه نموده و در غیر اینصورت از پذیرش وی خودداری می‌شود. لازم بذکر است که پذیرش هر متقاضی توسط فاز ۱ به معنی امکان خدمت‌دهی به وی در ضرب‌الاجل موردنظر متقاضی می‌باشد ولی زمان دقیق خدمت‌دهی به وی در ادامه و چند روز قبل از خدمت‌دهی به وی مشخص می‌شود و با پذیرش وی زمان خدمت‌دهی به وی اعلام نخواهد شد. در ادامه روابط ۱ تا ۳ مدل ریاضی فاز ۱ را معرفی می‌کند.

$$td + dl_j - 1 \quad \dot{X}_{j,i} = 1, j = 0, \dots, n \quad (1)$$

$$i = td + em + 1 \quad \dot{X}_{j,i} = 0, j = 0, \dots, n \quad (2)$$

$$i = td + dl_j \quad \dot{f}_j X_{j,i} \leq S_i, i = td + EM + 1, \dots, td + P \quad (3)$$

جدول ۱- تعریف متغیرها و پارامترهای موجود در روابط ۲ و ۳

| پارامتر با متغیر | تعریف  |
|------------------|--|
| P                | پارامتر دوره زمانبندی  |
| EM               | پارامتر دوره اضطرار  |
| n                | پارامتر تعداد افراد پذیرش شده تا زمان حال                    |
| td               | پارامتر زمان حال (امروز)                                     |
| f(j)             | پارامتر میزان منبع مورد نیاز به منظور خدمت‌دهی برای خدمت‌زام |
| dl(j)            | پارامتر ضرب‌الاجل موجود برای خدمت‌زام                        |
| s(i)             | پارامتر منبع در دسترس در روز آام                             |
| X(j,i)           | متغیر صفر و یک پذیرش یا عدم پذیرش فرد زام در روز آام         |

روابط ۱ تا ۳ سه دسته از معادلات خطی صفر و یک می‌باشند که به صورت محدودیت و همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرند. در صورتی که حالتی امکان پذیر برای آنها وجود داشته باشد به معنی پذیرش متقاضی خدمت‌مورد نظر در ضرب‌الاجل مربوطه می‌باشد و در غیر اینصورت به معنی عدم امکان پذیرش وی می‌باشد. لازم بذکر است روابط از نوع ۱ و ۲ به تعداد کل افراد پذیرش شده در صف تکرار می‌شوند و رابطه ۳ به تعداد روزهای زمانبندی از دوره‌ی اضطرار تا دوره

۲. تعیین دوره زمانبندی P: براساس لیست خدمات قابل ارائه سیستم، ضرب‌الاجل هر خدمت مشخص و مقدار حداکثر ضرب‌الاجل‌ها تعیین می‌شود. سپس دوره زمانبندی برابر با ۱/۱ برابر این مقدار تعیین می‌شود. حتی اگر دوره زمانبندی برابر با حداکثر ضرب‌الاجل قرار گیرد مشکلی ندارد ولی با توجه به عدم قطعیت و امکان ارائه خدماتی با ضرب‌العجل بیشتر در آینده این مقدار ۱۰٪ بیشتر از حداکثر ضرب‌الاجل‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۳. تعیین دور اضطرار EM: ژولای و همکاران بیماراران را به دو دسته کلی اورژانسی و غیر اورژانسی تقسیم می‌کنند. (۹) بیماراران اورژانسی با توجه به شرایط حاد باید در اسرع وقت مورد بررسی قرار گیرند و زمانبندی صرفاً برای بیماراران غیر اورژانسی انجام می‌گیرد. الگوریتم پیشنهادی نیز کلیه خدمات را به دو دسته اضطراری و غیر اضطراری تقسیم می‌کند. با مشخص کردن پارامتری تحت عنوان دوره اضطرار، در صورتی که ضرب‌الاجل خدمت مورد نظر بزرگتر از این پارامتر باشد خدمت مربوطه غیر اضطراری و قابل زمانبندی می‌باشد و در غیر اینصورت خدمت مربوطه اضطراری شناخته می‌شود. لذا در گام سوم فاز ۰ پارامتر دوره اضطرار مشخص می‌شود. در ادامه خدمات متقاضی براساس این پارامتر تفکیک می‌شوند.

۴. بارگزاری اطلاعات مربوط به متقاضیان پذیرش شده: در صورتی که الگوریتم پیشنهادی در مراکزی که در حال خدمت‌دهی می‌باشند اجرا شود، باید متقاضیان پذیرش شده و خدمت‌دهی نشده در سیستم و زمانبندی‌های آتی لحاظ گردند. لذا اطلاعات مربوط به آنها باید در فرایند پیشنهادی بارگزاری شود و در پذیرش متقاضیان آتی منابع موجود و تقاضای آنها نیز در نظر گرفته شود.

فاز ۰ ماهیت بارگزاری الگوریتم پیشنهادی را دارد و فقط ۱ دفعه قبل از شروع به کار فرایند پیشنهادی اجرا می‌شود. سه فاز بعدی ۱، ۲ و ۳ که در ادامه معرفی می‌شوند هر روز تکرار می‌شوند. فاز ۱ الگوریتم پیشنهادی به منظور بررسی تقاضای متقاضی جدید با توجه به ضرب‌الاجل موردنظر وی و همچنین بررسی صف موجود و امکان پذیرش یا عدم پذیرش متقاضی جهت خدمت‌دهی طراحی شده است و در طول مدت زمانی که مرکز مورد نظر دایر می‌باشد و متقاضی می‌پذیرد، به ازای هر تقاضای جدید یک مرتبه اجرا می‌شود. گام‌های فاز ۱ عبارتند از:

۱. محاسبه ضرب‌الاجل خدمت‌مورد تقاضای متقاضی.
۲. بررسی امکان خدمت‌دهی به متقاضی در ضرب‌الاجل موردنظر وی با توجه به منابع خدمت موجود و خدمات پذیرش شده توسط حل مدل ریاضی مربوط به فاز ۱.

۲. در صورتی که متقاضی‌ای از دریافت خدمت انصراف داده است اطلاعات وی را بایگانی کرده و خدمت مربوطه را از لیست متقاضیان خدمت حذف کن.

۳. در صورتی که تغییری در میزان منابع خدمت ایجاد شده است، خدمات مربوطه را اصلاح کن.

حال اطلاعات موجود برای اولویت بندی خدمات حاضر در صف در طبق آخرین تغییرات منظم شده‌اند. آخرین فازی که در هر روز اجرا می‌شود فاز ۳ می‌باشد که وظیفه اولویت بندی خدمت گیرندگان در روز بعدی را بر عهده دارد. هدف این فاز پذیرش کردن اولویت‌های آتی از بین تمامی متقاضیان پذیرش شده توسط فاز ۱ به منظور خدمت‌دهی در واحد زمانی بعدی می‌باشد. گام‌های فاز ۳ عبارتند از:

۱. یک واحد به زمان حال (امروز) اضافه کن.<sup>۱</sup>  
 ۲. از ضرب الاجل تمامی خدمات منتظر در صف یک واحد کم کن.

۳. لیست اولویت بندی خدمت دهی در روز بعد را با حل مدل ریاضی مربوط به فاز ۳ استخراج کن.

۴. هماهنگی‌های مورد نیاز بمنظور پشتیبانی‌های لازم جهت دریافت خدمت را ارجاع بده.

لازم بذکرست لیست اولویت بندی مربوطه لیستی با چند برابر ظرفیت خدمت دهی فردا می‌باشد. باتوجه به این که در فاز یک به منظور پذیرش افراد از منابع موجود در زمان حال تا پایان دوره اضطراری (EM) چشم‌پوشی می‌شود، اولویت بندی خدمت دهی نیز به میزان منابع خدمت دهی موجود در همین بازه صورت می‌گیرد تا در صورت نا آماده بودن یکی از متقاضیان فرد دیگری جایگزین وی شود و از هدر رفت منابع جلوگیری شود و همچنین سایر افرادی که در روزهای آینده مورد خدمت دهی قرار می‌گیرند، مطلع و آماده شوند. در ادامه مدل ریاضی صفر و یک خطی که لیست اولویت بندی از جواب آن استخراج می‌گردد طی روابط ۴ الی ۸ معرفی می‌شوند. جدول ۲ پارامترهای اضافه شده و جدید در مدل خطی فاز ۳ را معرفی می‌کند.

$$\min F1 = \sum_{i=td}^{td+em-1} \left( wd_i * \left( S_i - \sum_{j=1}^m (f_j * X_{j,i}) \right) \right) \quad (4)$$

$$M \max F2 = \sum_{j=1}^m \left( wc_j * \left( \sum_{i=td}^{td+em-1} X_{j,i} * (i - a_j) \right) \right) \quad (5)$$

روابط ۴ و ۵ توابع هدف مدل مربوطه و روابط ۶، ۷ و ۸ محدودیت‌های مدل می‌باشند.

<sup>۱</sup> td=td+1

زمانبندی می‌باشد. جدول ۱ پارامترهای و متغیرهای موجود در روابط ۱ تا ۳ را تعریف می‌کند.

در پایان هر روز کاری با متوقف شدن فاز ۱، فازهای ۲ و ۳ به ترتیب اجرا می‌شوند. از پویایی الگوریتم پیشنهادی به عنوان یکی از شاخصه‌های مورد اهمیت آن یاد شد. فاز ۲ الگوریتم مربوطه وظیفه پویایی و اعمال آخرین تغییرات را انجام می‌دهد. هدف این فاز از الگوریتم بررسی عملکردهای محول شده به سیستم و همچنین اعمال آخرین تغییرات قابل یا غیر قابل پیش بینی در سیستم می‌باشد. به طور کلی وظایف فاز ۲ را می‌توان به دو دسته مجزا تقسیم نمود.

۱. بررسی عملکرد سیستم در زمان‌های سپری شده خدمت‌دهی از افق زمانی خدمت‌دهنده در واحد افق زمانی خدمت‌گیرنده جاری

۲. اعمال تغییرات پیش آمده احتمالی که گاهی به صورت غیر مترقبه در هر سیستم ایجاد می‌شود.

در هر روز، فاز ۳ پس از اجرای فازهای ۱ و ۲، شروع به کار نموده و زمان بندی خدمت‌دهی روز بعد را برنامه‌ریزی می‌کند. بدین ترتیب در پایان هر روز، به منظور بررسی انجام یا عدم انجام خدمات زمان بندی شده همان روز، فاز ۲ اجرا می‌شود. هر کدام از خدمات زمان بندی شده توسط فاز ۳ در روز قبل که طبق زمان بندی انجام شده‌اند، از لیست خدمات خارج شده و سایرین به لیست خدمات در انتظار دریافت خدمت، به منظور زمان بندی مجدد و دریافت خدمت ارجاع داده می‌شوند. وظیفه ثانویه فاز ۲ اعمال تغییرات ناگهانی پیش آمده در سیستم می‌باشد. فرض کنید در یک سیستم خدماتی که روزانه ۲ شیفت کاری به خدمت‌دهی می‌پردازد، به دلیل یک اتفاق غیر قابل پیش بینی در ماه آینده یکی از شیفت‌های خود را تعطیل کرده باشد یا شیفت جدیدی اضافه کرده باشد. به محض رخداد چنین اتفاقاتی در هریک از روزها و میزان تغییرات به وجود آمده در منابع، فاز ۲ که در پایان همان واحد زمانی خدمت‌گیرنده اجرا می‌شود چنین تغییراتی را اعمال نموده و منابع را بروز رسانی می‌کند. همچنین ممکن است برخی از خدمت‌گیرنده‌گانی که در سیستم پذیرش شده‌اند به دلایلی از دریافت خدمت انصراف دهند. در چنین حالتی آنها نیز از جمع خدمت‌گیرنده‌گان حذف می‌شوند. گام‌های فاز ۲ عبارتند از:

۱. خدماتی که روز گذشته توسط فاز ۳ اولویت بندی شده اند را بررسی کن. در صورتی که هر خدمت انجام شده است خدمت وی را از صف متقاضیان خارج و اطلاعات آن را بایگانی کن و در غیر این صورت اطلاعات وی را در صف مربوطه حفظ کن.

۴. باتوجه به این که اطلاعات بررسی شده در این پژوهش مربوط به زمان گذشته می باشد و میزان منابع و تعداد جراحی ها در طول دوره مشخص می باشد، و از طرفی بدلیل نقص سیستم جمع آوری اطلاعات مرکز مربوطه، میزان هدررفت منابع مشخص نیست، لذا در این بررسی صرفا پذیرش مبتنی بر رعایت ضرب الاجل خدمت رعایت شده و امکان بهینه سازی بدلیل نقص اطلاعات وجد ندارد.

در ادامه به اجرای الگوریتم پیشنهادی برای بیماران متقاضی جراحی قلب باز یکی از جراحان این مرکز می پردازیم. اجرای فاز صفر:

گام ۱: مشخص نمودن نحوه محاسبه ضرب الاجل بیماران باتوجه به محدودیت های ذکر شده درمورد نقص اطلاعات، محاسبه ضرب الاجل بیماران گذشته بدون در دست داشتن اطلاعات موردنیاز امکان پذیر نمی باشد. لذا، محاسبه ضرب الاجل بیماران با تکیه بر اطلاعات موجود انجام می شود. در این گام فرض شده است که زمان ابلاغ شده به متقاضی جراحی در هنگام درخواست نوبت در فرایند نوبت دهی مرکز شهید رجایی، حداکثر ضرب الاجل موجود برای بیمار می باشد. بنابراین، طبق این فرض، ضرب الاجل هریک از بیماران برابر است با حفاصل زمانی که بیمار به منظور دریافت نوبت به پذیرش مراجعه کرده است تا زمانی که به وی برای عمل جراحی ابلاغ شده است.

گام ۲: تعیین دوره زمانبندی دوره بررسی برابر با ۹۰ روز درنظر گرفته شد.

گام ۳: تعیین دوره اضطرار دوره اضطرار نیز برابر با ۵ روز درنظر گرفته شد. به این معنی که بیمارانی که ضرب الاجلی بیشتر از ۵ روز دارند مورد بررسی امکان نوبت دهی در صف جراح مورد نظرشان قرار می گیرند.

گام ۴: بارگزاری اطلاعات مربوط به متقاضیان پذیرش شده اطلاعات مربوطه ورد بارگزاری قرار گرفت. در پایان فاز صفر، الگوریتم مربوطه آماده کار برای دریافت و ساماندهی اطلاعات می باشد و در هر روز کاری بترتیب فاز ۱ به امکان نوبت دهی متقاضیان می پردازد، پس از پایان روز کاری فاز ۲ به بروز رسانی اطلاعات می پردازد و اطلاعات با آخرین تغییرات را به فاز ۳ می دهد تا برای خدمت دهی روز بعد برنامه ریزی کند و به این ترتیب این سه فاز مانند سه چرخ دنده با تاثیر بر روی اطلاعات موجود، زمانبندی جراحی ها را انجام می دهند.

$$\sum_{i=td}^{td+dl_j} X_{j,i} = 1 \quad j = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{i=td+dl_j}^{td+p-1} X_{j,i} = 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^m f_j X_{j,i} \leq S_i \quad i = td, \dots, td+P-1 \quad (8)$$

#### جدول ۲ - تعریف پارامترهای جدید در رابطه های ۴ و ۵

| پارامتر | تعریف  |
|---------|--|
| F1      | تابع هدف اولویت اول. حداقل سازی هدررفت منابع     |
| F2      | تابع هدف اولویت دوم. حداکثر سازی سایر مطلوبیت ها |
| wd(i)   | اهمیت نسبی روز نام                               |
| wc(j)   | اهمیت نسبی خدمت زام                              |
| a(j)    | زمان خدمت زام به سیستم                           |

لازم بذکرست مدل ریاضی موجود در فاز ۳، ابتدا با درنظر گرفتن محدودیت ها به بهینه سازی رابطه ۴ پرداخته و سپس با مساوی قراردادن رابطه ۴ با مقدار بهینه آن بعنوان محدودیتی جدید در کنار محدودیت های قبلی، به بهینه سازی رابطه ۵ به عنوان تابع هدف بهینه می پردازد. در ادامه به اجرای الگوریتم مورد نظر در مرکز قلب شهید رجایی می پردازیم. نیش از اجرای الگوریتم وجود تذکر چند نکته ضروری ست.

۱. نرم افزار های مورد استفاده به منظور اجرای الگوریتم مربوطه متلب و گمز می باشد. به منظور پالایش اطلاعات، بارگزاری اطلاعات ورود و ساماندهی اطلاعات به منظور ایجاد بردارهای لازم برای برنامه ریزی خطی از متلب استفاده شده و با استفاده از گمز، مدل های خطی صفر و یک به منظور یافتن جواب بهینه حل شده اند.

۲. s(i) معرف میزان منبع موجود در روز نام برای خدمت دهی می باشد. باتوجه به این که در این پژوهش عمل جراحی قلب بعنوان خدمت درنظر گرفته شده است، واحد s(i) برابر با تعداد جراحی های انجام شده در روز نام می باشد.

۳. با توجه به فرض ۱، و با توجه به این که هر متقاضی دریافت جراحی قلب فقط ۱ دفعه جراحی می شود، f(j) برای تمام متقاضیان برابر ۱ درنظر گرفته شده است.

**یافته‌ها:**

اطلاعات موجود با استفاده از الگوریتم پیشنهادی نیز زمانبندی شدند. بهبود ایجاد شده در الگوریتم پیشنهادی مربوط به رعایت ضرب‌الاجل بیماران انتخابی جهت جراحی می‌باشد که همانطور که مشاهده می‌شود، در الگوریتم پیشنهادی بر خلاف فرایند موجد بیماری خارج از ضرب‌الاجل جراحی خود مورد خدمت‌دهی قرار نگرفته است در حالی که در فرایند موجود ۱۱ از کل بیماران خارج از ضرب‌الاجل مربوطه مورد جراحی قرار گرفته‌اند. جدول‌های ۳ و ۴ به ترتیب عملکردهای فرایند موجود و الگوریتم پیشنهادی را ارائه داده‌اند.

**جدول ۳ - عملکرد فرایند نوبت‌دهی موجود**

| درصد | عنوان  |
|------|--|
| 20%  | بیمارانی که در روز مشخص شده جراحی شده‌اند        |
| 15%  | بیمارانی که زودتر از روز مشخص شده جراحی شده‌اند  |
| 11%  | بیمارانی که دیرتر از زمان مشخص شده جراحی شده‌اند |
| 54%  | بیمارانی که به هر دلیل جراحی نشده‌اند            |

**جدول ۴ - عملکرد الگوریتم پیشنهادی**

| درصد | عنوان  |
|------|--|
| 46%  | بیمارانی که پذیرش شدند و در ضرب‌الاجل خود جراحی شدند |
| 54%  | بیمارانی که پذیرش نشدند                              |

متقاضی در صف از نقاط بارز و قابل توجه الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. در مقایسه با پژوهش مشابهی که فریفتا و همکاران ارائه داده‌اند کارایی بالا تری دارد. (۱۶) ثبت مناسب اطلاعات مربوط به زمانبندی جهت بررسی مسائل زمانبندی و بهبودها و بهینه‌سازی‌های آتی نیز از دیگر نقاط قوت این پژوهش می‌باشد که بایرامی و همکاران به وجود ضعف‌های مدیریتی و چالش‌های ساختاری اشاره کرده‌اند. (۱۷) .

**نتیجه‌گیری:**

اتخاذ فرایندها و الگوریتم‌های کارا تر، امکان بهبود فرایندهای موجود را فراهم می‌کند و با توجه به رشد میزان تقاضا در حوزه‌های حساس پرداختن به این بهینه‌سازی‌ها قابل توجه می‌باشد. از نقاط ضعف الگوریتم پیشنهادی نیز می‌توان به عدم تعیین زمان خدمت‌دهی به متقاضی در هنگام پذیرش وی اشاره کرد. همچنین به مرور زمان الگوریتم پیشنهادی بدلیل افزایش طول صف و اصرار به خدمت‌دهی قطعی در ضرب‌الاجل مربوطه، به انتخاب متقاضیان دارای ضرب‌الاجل طولانی‌تر متمایل شده و به گونه‌ای شانس پذیرش بیماران غیر اورژانسی داری ضرب‌الاجل کوتاه را کاهش می‌دهد و سایر جراحان با طول صف کوتاه‌تر را به بیمار پیشنهاد می‌کنند. در صورتی که ظرفیت صف کامل باشد و در فاز ۲ بدلیلی برخی از منابع نیز لغو شوند، طبیعی ست که خدمت‌دهی به بیماران با کمبود مواجه شود. به منظور پوشش این ضعف پیشنهاد می‌شود در فاز ۲ محاسباتی به منظور یافتن حالات غیرممکن و جبران این حالات با ارائه راه حل صورت پذیرد.

افزودن راهکاری به منظور پایش مناسب‌تر و جزئی‌تر محدودیت‌ها و برآورد دقیق‌تر آنها نیز به منظور بهبود دقت الگوریتم ارائه شده پیشنهاد می‌شود.

**تشکر و قدردانی:**

بدین وسیله از پزشکان، پرسنل و کارکنان مرکز آموزشی، تحقیقاتی و درمانی قلب و عروق شهید رجایی وابسته به دانشگاه علوم پزشکی ایران که به نحوی در انجام این پژوهش ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی بعمل می‌آید.

**بحث:**

در پژوهش حاضر به طراحی یک الگوریتم زمانبندی جراحی قلب مبتنی بر ضرب‌الاجل بیماران پرداخته شد. خدمت‌دهی قطعی در ضرب‌الاجل متقاضی به وی در صورت پذیرش

## References:

1. Qu X, Rardin RL, Williams JAS. A mean-variance model to optimize the fixed versus open appointment percentages in open access scheduling systems. *Decision Support Systems*. 2012;53(3):554-64.
2. Sarvandi S, Shahroodi K. Assessing the Patients' Hospitalization and Discharge Processes Based on Kaizen approach and Multiple-Criteria Decision Making (MCDM) in a Hospital. *Journal of Hospital*. 2016;15(3):83-93.
3. Eskandari, H. and Bahrami, M. Multi-Objective Operating Room Scheduling Using Simulation-based Optimization. 2017; 51(1): 1-13. (in Persian)
4. Kortbeek N, Zonderland ME, Braaksma A, Vliegen IM, Boucherie RJ, Litvak N, et al. Designing cyclic appointment schedules for outpatient clinics with scheduled and unscheduled patient arrivals. *Performance evaluation*. 2014; 80: 5-26.
5. Imani Imanlu, M. and Atighehchian, A. Daily Operating Rooms Scheduling under Uncertainty using Simulation based Optimization Approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 2018; 7(26): 53-82.
6. Liu N. Optimal choice for appointment scheduling window under patient no-show behavior. *Production and Operations Management*. 2016;25(1):128-42.
7. Meskens N, Duvivier D, Hanset A. Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team. *Decision Support Systems*. 2013;55(2):650-9.
8. Medway AM, de Riese WT, de Riese CS, Cordero J, editors. Why patients should arrive late: The impact of arrival time on patient satisfaction in an academic clinic. *Healthcare*; 2016: Elsevier.
9. Ahmadi-Javid A, Jalali Z, Klassen KJ. Outpatient appointment systems in healthcare: A review of optimization studies. *European Journal of Operational Research*. 2017;258(1):3-34.
10. Patrick J, Puterman ML, Queyranne M. Dynamic multipriority patient scheduling for a diagnostic resource. *Operations research*. 2008;56(6):1507-25.
11. Conforti D, Guerriero F, Guido R. Non-block scheduling with priority for radiotherapy treatments. *European Journal of Operational Research*. 2010;201(1):289-96.
12. Hulshof PJ, Kortbeek N, Boucherie RJ, Hans EW, Bakker PJ. Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS. *Health systems*. 2012;1(2):129-75.
13. Schuetz H-J, Kolisch R. Capacity allocation for demand of different customer-product-combinations with cancellations, no-shows, and overbooking when there is a sequential delivery of service. *Annals of operations research*. 2013;206(1):401-23.
14. Chakraborty S, Muthuraman K, Lawley M. Sequential clinical scheduling with patient no-show: The impact of pre-defined slot structures. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2013;47(3):205-19.
15. Akbari motlagh Ali, Najafi Shahram, Identification of human costs caused by futile occupational accidents in South Khorasan province, 1st international conference of HSE in civil, mine petroleum and gas projects, 2014
16. Frifita S, Masmoudi M, Euch J. General variable neighborhood search for home healthcare routing and scheduling problem with time windows and synchronized visits. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*. 2017;58:63-70.
17. bayrami r, ebrahimipour h, HASANZADEH A. Challenges in Pre hospital emergency medical service in Mashhad: A qualitative study. 2017.



## Developing a Model for Dynamic Schedule of Heart Surgery based on Patient's Maximum Delay

Iman Dehghan I<sup>1</sup>, Ostadi B<sup>2\*</sup>, Hosseini S<sup>3</sup>

Submitted: 2018/5/30

Accepted: 2019/1/12

### Abstract:

**Background:** The operating rooms in each health center are one of the most sensitive units in the center, whereas scheduling and scheduling operations are in particular importance and their optimization has a significant effect on the optimization of the whole complex. The scheduling of heart surgery in addition to the limitations of manpower, time, and facilities includes the limitation of the patient's surgical deadline, which is the purpose of the surgical scheduling given this parameter.

**Materials and Methods:** In this quantitative study, an algorithm containing 3 + 1 function was proposed. This algorithm also addresses uncertainty while monitoring the limitations of available resources and the maximum delay for surgery. In this study, patients categorize to emergency and non-emergency patients which only the scheduling of non-emergency patients is considered. In this study 343 patient was studied.

**Results:** Based on a six-month period information reviewing from Shahid Rajaie Cardiovascular Center in Tehran, a 11% improvement has been made in respecting the maximum delay for the patient's referral process. The optimization rate is often related to the difference in patient selection based on their deadline for surgery, which in the present algorithm has been a major contributor to the denial of service patients. Another advantage of the proposed algorithm is the dynamic process of the algorithm and appropriate response to the changes.

**Conclusion:** The longer the length of the queue, the lower the chance of accepting non-emergency patients with the shorter maximum delays.

**Keywords:** Dynamic scheduling, Cardiovascular surgery, Appointment scheduling, Maximum delay

<sup>1</sup> M.Sc. Student, Industrial Engineering, School of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, School of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (\*Corresponding author), Address: Room 909, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Nasr Bridge, Jalal AleAhmad Highway, Tehran, Iran, Email: bostadi@modares.ac.ir, Tel: 021-82884385, Fax: 021-82884385

<sup>3</sup> Professor, Heart Valve Disease Research Center, Rajaie Cardiovascular Medical and Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran