



## طراحی چندهدفه نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی تعدیل ریسک شده برای نظارت زمان بقای بیماران با بکارگیری تکنیک های تصمیم گیری

**امیر نصیری پور**

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

**امیر عزیزی (نویسنده مسئول)**

استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

E-mail: azizi@srbiau.ac.ir

**ایوب رحیم زاده**

استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

**محمدجواد ارشادی**

دانشیار پژوهشکده فناوری اطلاعات، پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک)، تهران، ایران

**معصومه زینال نژاد**

استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸ \* تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۲/۰۶

### چکیده

در سال های اخیر توجه زیادی به توسعه نمودارهای کنترل برای نظارت بر سیستم های بهداشت و درمان شده است. بر این اساس، هدف این مقاله طراحی چندهدفه یک نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی تعدیل ریسک شده به منظور تشخیص تغییرات کاهشی در زمان بقای بیماران می باشد. بیماران پیش از اینکه تحت عمل جراحی قرار بگیرند عوامل ریسک گوناگونی دارند که بر فرایند جراحی تأثیر می گذارند. از اینرو تعدیل ریسک در طراحی نمودار کنترل پیشنهادی، با هدف در نظر گرفتن تأثیر عوامل ریسک قبل از عمل هر بیمار بر روی زمان بقای او و با استفاده از مدل زمان شکست تسریع یافته انجام می شود. به منظور استفاده از نمودار کنترل پیشنهادی ضروری است پارامترهای طراحی به شکلی تعیین شوند که خواص مطلوب اقتصادی و آماری به طور همزمان برآورده شوند. در نتیجه، یک مدل چندهدفه پیشنهاد شده که حل آن توسط یک رویکرد دو مرحله ای مبتنی بر بهینه سازی پارتو و تکنیک تاپسیس انجام می پذیرد. عملکرد رویکرد پیشنهادی در یکی از مراکز درمانی شهرستان کرمانشاه مورد بررسی واقع شده است و مقایسه برای مدل طراحی چندهدفه با مدل تک هدفه طراحی خالص اقتصادی در حضور انحرافات با دلیل چندگانه نیز در نظر گرفته شده که در این قسمت، یافته ها مشخص می نماید که مدل چندهدفه با افزایش مقدار کمی در هزینه، عملکرد آماری مطلوب تر و بهتری را نشان می دهد. به طور کلی، در این مقاله رویکرد جدیدی از مسئله چندهدفه برای طراحی اقتصادی نمودار کنترل تعدیل ریسک شده با توجه به کاربرد آن در سیستم های بهداشت و درمان، مدل سازی شده است.

**کلمات کلیدی:** بهینه سازی پارتو، تاپسیس، تعدیل ریسک، میانگین متحرک موزون نمایی، نمودار کنترل.

## ۱- مقدمه

نظارت بر سیستم‌های سلامت به یک بخش ضروری بهداشت و درمان نوین تبدیل شده که باعث بهبود کیفیت خدمات جراحی و دیگر خدمات درمانی می‌شود و منجر به یک تصمیم‌گیری مناسب در سیستم‌های سلامت می‌گردد. نمودارهای کنترل مهم‌ترین ابزارهای نظارت مؤثر در زمینه بهداشت و درمان هستند که به منظور شناسایی تغییرات در پارامترهای فرایند بکار گرفته می‌شوند. با این حال، یکی از مطلوب‌ترین نوع این نمودارها، نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی (EWMA)<sup>1</sup> است که در زمینه بهداشت و درمان برای نظارت آماری و شناسایی تغییرات کوچک عملکرد برتری دارد (Yeganeh et al., 2023). زمانیکه این نمودار برای نظارت فرایند استفاده می‌شود، چهار پارامتر باید تعیین شوند: اندازه نمونه، فاصله نمونه‌گیری، حد کنترل و پارامتر طراحی شده به منظور شناسایی بهینه تغییراتی خاص در نمودار. انتخاب یک مجموعه از این پارامترها در اصطلاح طراحی نمودار کنترل نامیده می‌شود (Mustafa et al., 2023). طراحی نمودار کنترل جنبه‌های اقتصادی و آماری بسیاری دارد. دانکن (۱۹۵۶) برای نظارت بر میانگین یک فرایند شامل یک انحراف با دلیل، اولین طراحی اقتصادی را ایجاد کرد که در آن پارامترهای طراحی به گونه‌ای انتخاب شدند که هزینه تخمینی هر محصول حداقل گردد. مدل هزینه او هزینه‌های نمونه‌گیری، هزینه‌های هشدارهای خارج از کنترل، هزینه‌های شناسایی و اصلاح انحراف با دلیل و هزینه‌های دریافت محصول معیوب توسط مشتری را شامل می‌شد (Duncan, 1956). پس از آن، دیگر پژوهشگران مطالعات تأثیرگذاری را انجام داده و تا به امروز مقالات متعددی در ارتباط با طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل منتشر شده است. دیگر مدل معروف برای طراحی اقتصادی بوسیله لورنزن و ونس (۱۹۸۶) پیشنهاد شد که در مقایسه با مدل دانکن انعطاف‌پذیری بیشتری دارد و در این مدل، فرایند اجازه دارد که در حین جستجو برای شناسایی و اصلاح انحراف با دلیل، به کار خود ادامه دهد و یا متوقف شود (Lorenzen & Vance, 1986). در ادامه، سرل (۲۰۰۹) بر روی طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل EWMA مبتنی بر تابع زیان تاگوچی کار کرد (Serel, 2009). لو و هوانگ (۲۰۱۷) طراحی اقتصادی با محدودیت آماری نمودارهای EWMA دوگانه را بر اساس توابع زیان بررسی کردند (Lu & Huang, 2017). ژیه و همکاران (۲۰۲۳) یک طراحی اقتصادی را برای نمودار کنترل EWMA باقیمانده‌ها پیشنهاد کردند که اندازه‌های نمونه‌گیری متغیر و فاصله‌های نمونه‌گیری متغیر را شامل می‌شد (Xue et al., 2023). با این حال، طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل ممکن است باعث ویژگی‌های آماری ضعیفی شود که این مسئله تصمیم‌گیری مدیران برای استفاده از نمودارهای کنترل را با شک و تردید روبه‌رو می‌کند. ویژگی‌های آماری شامل احتمال خطاهای نوع اول و دوم، متوسط طول دنباله (ARL)<sup>2</sup> در شرایط تحت کنترل و خارج از کنترل و متوسط زمان تا هشدار (ATS)<sup>3</sup> در شرایط تحت کنترل و خارج از کنترل می‌باشد (Rafiei et al., 2021). با هدف بهبود ویژگی‌های آماری یک نمودار کنترل که با مدل‌های اقتصادی طراحی شده است، سانیکا (۱۹۸۹) با افزودن احتمال خطاهای نوع اول و دوم به عنوان محدودیت‌هایی به مدل اقتصادی دانکن، نخستین بار طراحی اقتصادی آماری را ایجاد نمود (Saniga, 1989). طراحی اقتصادی آماری دستیابی همزمان به ویژگی‌های اقتصادی و آماری مطلوب را فراهم می‌سازد. پس از آن، مطالعات متعددی در این زمینه به اجرا رسید. نیاک و همکاران (۲۰۱۱) به مقایسه طراحی اقتصادی آماری و طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل EWMA پرداختند و به منظور حل یک روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات را معرفی کردند (Niaki et al., 2011). امیری و همکاران (۲۰۱۵) برای در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی، آماری و عدم قطعیت، یک طراحی اقتصادی آماری نمودار کنترل EWMA را با یک رویکرد استوار مبتنی بر سناریو ایجاد کردند (Amiri et al., 2015). کتابی و پورطاهری (۲۰۱۹) طراحی اقتصادی آماری نمودارهای کنترل EWMA پواسون را برای نظارت بر عدم انطباق‌ها بررسی کردند (Ketabi & Pourtaheri, 2019). لی و همکاران (۲۰۲۳) به طراحی اقتصادی آماری نمودار کنترل EWMA پواسون با فاصله نمونه‌گیری متغیر پرداختند (Lee et al., 2023).

<sup>1</sup>. Exponentially Weighted Moving Average

<sup>2</sup>. Average Run Length

<sup>3</sup>. Average Time to Signal

نظارت بر فرایندهای بالینی و بیمارستانی برای سیستم‌های سلامت به یک مسئله بسیار ضروری تبدیل شده است. بیمارانی که در این سیستم‌ها تحت درمان قرار می‌گیرند به علت داشتن ویژگی‌های پیش از عمل متفاوت در جنسیت، سن، فشار خون، قند خون و غیره جامعه ناهمگونی را تشکیل می‌دهند. بنابراین، احتمال مرگ هر بیمار پس از جراحی نه تنها به مهارت جراح، بلکه به ویژگی‌های پیش از عمل هر بیمار وابسته است. از اینرو، نظارت و ارزیابی عملکرد جراحی نیاز است که بر اساس این ویژگی‌ها تنظیم شود که این فرایند تعدیل ریسک نامیده می‌شود (Rafiei & Asadzadeh, 2022). این نکته اهمیت بسیار دارد که بدون در نظر گرفتن تعدیل ریسک، تشخیص مطلوب بودن یا نامطلوب بودن کیفیت جراحی امکان‌پذیر نیست و در شرایط عدم تعدیل ریسک، نمودارهای کنترل در جایگاه یک ابزار بهبود کیفیت کارایی خود را از دست می‌دهند. سگو و همکاران (۲۰۰۹) با بکارگیری یک نمودار کنترل تعدیل ریسک جدید یک رویکرد را برای کنترل داده‌های سانسور شده جراحی قلب ارائه دادند (Sego et al., 2009). محمدیان و همکاران (۲۰۱۶) فاز یک نمودارهای کنترل هندسی تعدیل ریسک شده را برای نظارت سیستم‌های سلامت پیشنهاد کردند (Mohammadian et al., 2016). به منظور شناسایی تغییرات در نرخ اصلاح در تعویض مفصل لگن یک رویکرد نظارتی مبتنی بر تعدیل ریسک توسط بیگان و همکاران (۲۰۱۹) مورد بررسی قرار گرفت (Begun et al., 2019). کیم و همکاران (۲۰۲۲) برای نظارت بر خروجی‌های جراحی و تعیین برنامه آموزشی برای جراحی لاپاراسکوپی لوزالمعده از یک نمودار کنترل تعدیل ریسک شده استفاده کردند (Kim et al., 2022).

تا آنجا که آشکار است بررسی ادبیات نشان می‌دهد تا به امروز طراحی اقتصادی آماری نمودارهای کنترل EWMA تعدیل ریسک شده برای نظارت بر روند درمان و بهبودی بیماران به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه حاضر تلاش می‌کند که یک مدل چندهدفه اقتصادی آماری برای نمودارهای کنترل EWMA تعدیل ریسک شده مبتنی بر توزیع لگ‌لجستیک را توسعه دهد. روش‌های مختلفی برای حل مدل پیشنهادی وجود دارد که در بین آنها اصل پارتو<sup>۴</sup> و تکنیک تاپسیس<sup>۵</sup> دو روش بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری قدرتمند هستند. اصل پارتو یکی از مطلوب‌ترین ساخت‌وکارها در بهینه‌سازی است که توانایی ارتقا دادن راه‌حل‌ها را دارد (Rafiei et al., 2021). از اینرو، برای شناسایی راه‌حل‌های نامغلوب مدل پیشنهادی از بهینه‌سازی پارتو استفاده می‌گردد. سپس، تکنیک تاپسیس برای دسته‌بندی اولویت‌های راه‌حل‌های نامغلوب بکار گرفته می‌شود (Ghafour, 2024). تاپسیس به طور گسترده برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه‌های مدیریت، صنعت و مالی شامل انتخاب ربات جوشکاری صنعتی (Ghodha et al., 2022) و انتخاب سبد پروژه‌های ساخت‌وساز (Forozandeh & Roozbahani, 2023) استفاده شده است. بنابراین، با تعریف گزینه‌های مناسب می‌توان از تکنیک تاپسیس در طراحی چندهدفه اقتصادی آماری استفاده کرد. در نتیجه، این مقاله با هدف ارزیابی و دستیابی به پارامترهای بهینه طراحی چندهدفه نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده در فرایند درمان و بهبودی بیماران با ملاحظات اقتصادی و آماری و با بکارگیری یک رویکرد دو مرحله‌ای مبتنی بر بهینه‌سازی پارتو و تکنیک تاپسیس ارائه می‌گردد.

## ۲ - روش شناسی پژوهش

الف) نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده مبتنی بر توزیع لگ‌لجستیک  
به منظور نظارت بر نرخ مرگ‌ومیر، فرایند جراحی و بهبودی بیماران قلبی در نظر گرفته می‌شود. در سیستم‌های بهداشت و درمان بیماران دارای پیشینه سلامت متمایز و منحصر به فردی هستند که به طور متداول این پیشینه با امتیاز عامل ریسک ارزیابی می‌شود. امتیاز عامل ریسک یک روش شناخته شده برای تعیین احتمال مرگ‌ومیر بیمار در یک فرایند درمانی خاص است (Rafiei et al., 2021). بر اساس تعریف این امتیاز، مشخص است عملکرد فرایند جراحی بیماران به این ریسک‌های پیش از عمل بستگی دارد. بنابراین، نمودارهای کنترل باید تعدیل ریسک شوند تا یک رویکرد نظارتی صحیح و کارآمد بکار گرفته شود. طرح نظارتی تعدیل ریسک شده یک بحث بسیار مهم در سیستم‌های بهداشت و درمان است که توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. از اینرو، در این مطالعه برای شناسایی سریع تغییرات در نرخ مرگ‌ومیر، یک رویکرد نظارتی براساس زمان بقای بیماران در نظر گرفته می‌شود که این رویکرد برای در نظر گرفتن اثر عوامل ریسک تعدیل شده است.

<sup>4</sup>. Pareto Principle

<sup>5</sup>. TOPSIS Technique

زمان بقا متغیری است که ماهیت داده‌های قابلیت اطمینان را دارد و دو ویژگی مهم قابلیت اطمینان، نظارت بر چنین داده‌هایی را دشوار می‌سازد. سانسورشدگی یکی از ویژگی‌های خاص این داده‌ها است و زمانی مطرح می‌شود که نظارت بر زمان بقا تا یک مقدار معین مورد توجه باشد. بنابراین، برای کاهش هزینه و زمان می‌توان در فرایند جراحی ساخت‌وکار سانسورشدگی از راست را بکار گرفت. ویژگی دوم این است که مدل‌سازی داده‌های قابلیت اطمینان توسط عضوی از توزیع‌های مکان‌مقیاس و لگاریتم مکان‌مقیاس انجام می‌پذیرد (Rafiei & Asadzadeh, 2022). در این بین، لگ‌جستیک یکی از پرکاربردترین‌ها می‌باشد که در شرایط متنوع مفید واقع شده است (Sego et al., 2009). اگر متغیر تصادفی زمان بقا (y) از توزیع لگ‌جستیک پیروی کند، تابع چگالی (f) و تابع بقای (S) آن به صورت زیر بیان می‌شود و در اینجا  $0 < \gamma < 1$  پارامتر مقیاس و  $0 < \theta < 1$  پارامتر شکل می‌باشد.

$$f(y) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{y}{\theta}\right)^{\gamma-1} \left[1 + \left(\frac{y}{\theta}\right)^{\gamma}\right]^{-2}, \text{ and } S(y) = \left[1 + \left(\frac{y}{\theta}\right)^{\gamma}\right]^{-1} \quad \text{رابطه (۱)}$$

از طرف دیگر، ناهمگونی موجود در جامعه بیماران و ماهیت قابلیت اطمینان زمان بقا نیاز به استفاده از مدل‌های رگرسیون تحلیل بقا را ضروری می‌سازد. مدل زمان شکست تسریع‌یافته (AFT) یکی از مهم‌ترین مدل‌های رگرسیون تحلیل بقا است که یک یا چند پارامتر توزیع را توسط تابعی از متغیرهای تأثیرگذار شناسایی شده، تعریف می‌نماید (Parsa & Van Keilegom, 2023). در این مطالعه به منظور تعدیل ریسک از مدل AFT استفاده شده و براساس آن، پارامترهای توزیع پایه را می‌توان به صورت  $\Psi_i = \xi(\beta, x_i)$  نشان داد که برداری از پارامترهای توزیع،  $\xi$  تابع مدل رگرسیون،  $\beta$  بردار پارامترهای رگرسیونی و  $x_i$  بردار متغیرهای تأثیرگذار است که عوامل ریسک را برای بیمار  $i$  انعکاس می‌دهد. با توجه به آنچه که برای مدل AFT مورد بحث قرار گرفت، پارامتر مقیاس توزیع لگ‌جستیک را به تنها متغیر تأثیرگذار در این مطالعه یعنی امتیاز عامل ریسک، وابسته می‌کنیم. با انجام این کار، تابع بقا به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$S(y|x) = \left[1 + \left(\frac{y}{\exp(\beta_0 + \beta_1 x)}\right)^{\gamma}\right]^{-1} = \left[1 + \left(\frac{y}{\theta \exp(\beta_1 x_i)}\right)^{\gamma}\right]^{-1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در اینجا  $\beta_0$  و  $\beta_1$  پارامترهای مدل رگرسیونی هستند. در رابطه (۲)، نقش قسمت ثابت  $\exp(\beta_0)$  با پارامتر مقیاس یکی است. از اینرو، می‌توان بیان کرد که مدل AFT برای توزیع لگ‌جستیک دارای پارامتر شکل  $\gamma$  و پارامتر مقیاس  $\theta \exp(\beta_1 x_i)$  می‌باشد و بردار پارامترهای تحت کنترل برای این توزیع به صورت  $(\gamma, \theta \exp(\beta_1 x_i))$  نشان داده می‌شود. فرض می‌شود که شرایط خارج از کنترل به صورت  $(\gamma, v \theta \exp(\beta_1 x_i))$  نمایش داده می‌شود که  $v$  یک تغییر از پیش تعیین شده در پارامتر مقیاس است که نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده با هدف شناسایی بهینه آن طراحی شده است. به علت ارتباط مستقیم بین پارامتر مقیاس و میانگین توزیع لگ‌جستیک، هر تغییری در پارامتر مقیاس تغییری برابر در زمان بقا را بیان می‌کند.

در مطالعه حاضر یک امتیاز جدید برای بیمار با نام امتیاز ناحیه<sup>۶</sup> پیشنهاد شده است که با در نظر گرفتن هر دوی خروجی‌های مشاهده شده و انتظاری، ناحیه زیر توزیع مرگ‌ومیر انتظاری بیماران را بین صفر و زمان بقای واقعی آنها محاسبه می‌کند. امتیاز جدید، بدون آنکه برای بکارگیری و درک آن، پیچیدگی و مشکلاتی را ایجاد کند یک توصیف دقیق‌تر و با جزئیات بیشتری از کیفیت خروجی جراحی فراهم می‌نماید. در نتیجه، امتیاز ناحیه می‌تواند به عنوان یک آماره کنترلی در نمودارهای کنترل تعدیل ریسک شده برای نظارت بر کیفیت خروجی جراحی استفاده شود. امتیاز ناحیه برای هر بیمار  $i$  که تحت عمل جراحی قرار می‌گیرد به صورت  $S_i$  اندازه‌گیری می‌شود و  $y_i$  ارزش مربوط به زمان بقای ثبت شده برای هر بیمار  $i$  است. خروجی انتظاری، مرگ‌ومیر انتظاری است که با کم کردن احتمال بقا از عدد یک محاسبه می‌شود (Ding et al., 2021). ما احتمال بقای هر بیمار را با استفاده از تابع بقای لگ‌جستیک و با بکارگیری مدل AFT مطابق با رابطه (۲) تعریف کردیم. امتیاز ناحیه  $S_i$  توسط ناحیه زیر

<sup>۶</sup>. Accelerated Failure Time

<sup>۷</sup>. Area Score

توزیع مرگومیر انتظاری بین صفر و  $y_i$  توصیف می شود به شرطی که بیمار پس از جراحی، قبل از زمان سانسورشدگی بمیرد. در غیر اینصورت، امتیاز ناحیه برابر است با صفر منهای مرگومیر انتظاری. از اینرو، امتیاز ناحیه به صورت زیر اندازه گیری می گردد:

$$s_i = \begin{cases} \int_0^{t_i} (1 - S_i(t)) dt & \text{if } 0 < y_i \leq c \\ 0 - (1 - S_i(t)) & \text{otherwise} \end{cases}, \text{ and } t_i = \min(y_i, c) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در اینجا  $c$  زمان سانسورشدگی از راست پس از جراحی است. در سیستم های سلامت هر نوع خطایی منجر به بر هم خوردن ایمنی بیمار گشته و هزینه های جبران ناپذیری را برای کادر درمان، پزشک، بیمار و اطرافیان وی به وجود می آورد. بنابراین، با توجه به حساسیت در این سیستم ها، مطالعه حاضر فقط بر روی شناسایی بدتر شدن زمان بقای بیماران تمرکز می کند. برای این منظور، امتیازهای ناحیه به صورت رابطه (۴) تبدیل می شود:

$$s_i = \left[ \int_0^{t_i} (1 - S_i(t)) dt \right] = \left[ \int_0^{t_i} \left( 1 - \left[ 1 + \left( \frac{t_i}{\mathcal{G} \exp(\beta_1 x_i)} \right)^r \right]^{-1} \right) dt \right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

به منظور ارائه یک طرح نظارتی مؤثر و تفسیرپذیر، امتیاز ناحیه با نمودار کنترل EWMA ترکیب می شود. نمودار کنترل EWMA مشاهدات را یک به یک نظارت کرده که این عمل می تواند از تجمع داده ها جلوگیری کند. با در نظر اطلاعات گذشته و فعلی، برای تغییرات کوچک بر روی فرآیند اخیر حساس است. آماره EWMA ترکیبی شهودی و طبیعی را از امتیازات ناحیه ارائه می دهد که درک آن برای متخصصان بهداشت و درمان ساده است. بنابراین، ما در این مطالعه یک نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده با امتیاز ناحیه را طراحی می کنیم که فرم آن به صورت رابطه (۵) نمایش داده می شود:

$$\square_i = \Lambda s_i + (1 - \Lambda) \square_{i-1}, \quad 0 < \Lambda \leq 1, \quad \text{رابطه (۵)}$$

پارامتر هموارسازی  $\Lambda$  یک عدد بین صفر و یک است. لیو و همکاران نشان دادند یک پارامتر هموارسازی کوچک ( $\Lambda = 0.05$ ) می تواند در کشف تغییرات کوچک مؤثر باشد (Liu et al., 2018). ارزش ابتدایی  $\square_0$  برابر با میانگین امتیازات بیماران از یک فرایند تحت کنترل می باشد. از آنجا که یک نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده برای شناسایی تغییرات کاهشی ارائه شده است، تنها نیاز است که یک حد پایینی کنترل (LCL) در نظر گرفته شود. از اینرو، زمانیکه  $\square_i < \text{LCL}$  باشد به این معنی است که فرایند فعلی در شرایط خارج از کنترل می باشد. بنابراین، تحقیقات بیشتری برای شناسایی علل زمینه ای مورد نیاز است و اقدامات اصلاحی باید برای اطمینان از بهبودی انجام شود.

ب) جنبه های اقتصادی نظارت بر بهداشت و درمان

در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی طرح نظارتی، به صورت تعیین پارامترهای نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده براساس حداقل سازی یک تابع هزینه مناسب تعریف می شود که این موضوع طراحی اقتصادی نمودار کنترل نام دارد. در بخش مقدمه اشاره شد که این پارامترها شامل اندازه نمونه ( $n$ )، فاصله نمونه گیری ( $h$ )، حد پایینی کنترل (LCL) و پارامتر طراحی شده به منظور شناسایی بهینه تغییری خاص در نمودار ( $U$ ) می باشند. در این زیربخش، به منظور تعیین پارامترهای بهینه نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده از تابع هزینه لورنزن و ونس استفاده می گردد (Lorenzen & Vance, 1986). فرض بر این است که در یک دوره، فرایند فعالیت خود را از یک حالت تحت کنترل شروع می شود و تا زمان رخداد انحراف با دلیل  $Z$  به کار خود ادامه می دهد. سپس این انحراف شناسایی و اصلاح می گردد. هزینه انتظاری در واحد زمانی به صورت نسبت هزینه کل انتظاری در طول یک دوره بر طول انتظاری یک دوره اندازه گیری می شود. هزینه کل انتظاری در یک دوره شامل هزینه های نمونه گیری، هزینه های تحمیل شده بر بیمارستان در شرایط خارج از کنترل برای هر بیمار و هزینه های شناسایی و بکارگیری اقدام

اصلاحی برای هر انحراف با دلیل می‌باشد. علاوه بر این، طول انتظاری یک دوره شامل چهار قسمت می‌باشد: (۱) مدت زمانیکه فرایند در حالت تحت کنترل باقی می‌ماند که دارای توزیعی با حداقل  $s$  متغیر تصادفی نمایی مستقل است و دارای میانگین  $1 / \sum_{j=1}^s \lambda_j$  می‌باشد؛ (۲) مدت زمانیکه فرایند خارج از کنترل است؛ (۳) مدت زمان برای شناسایی و تشخیص انحرافات با دلیل؛ و (۴) زمان بکارگیری اقدامات اصلاحی در مورد انحرافات با دلیل (Rafiei et al., 2021). بنابراین، انتظاری یک دوره برابر است با:

$$Exp_T = \left\{ 1 + \left[ \sum_{j=1}^s \lambda_j \cdot (h \cdot (ARL_1)_j) - \tau_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^s \lambda_j \cdot (TI_j + TC_j) \right] \right\} / \sum_{j=1}^s \lambda_j \quad \text{رابطه (۶)}$$

همچنین، هزینه کل انتظاری در طول یک دوره برابر است با:

$$Exp_C = \frac{CE}{h} \cdot \left[ \frac{1 + \left[ \sum_{j=1}^s \lambda_j \cdot (h \cdot (ARL_1)_j) - \tau_j \right] + \left[ \sum_{j=1}^s \lambda_j \cdot (\gamma_{1j} TI_j + \gamma_{2j} TC_j) \right]}{\sum_{j=1}^s \lambda_j} \right] + \frac{\left[ \sum_{j=1}^s \lambda_j \cdot CO_j \cdot (ARL_1)_j \right]}{\sum_{j=1}^s \lambda_j} + \frac{\left[ \sum_{j=1}^s \lambda_j \cdot (CI_j + CC_j) \right]}{\sum_{j=1}^s \lambda_j} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در روابط،  $ARL_0$  و  $ARL_1$  متوسط طول دنباله به ترتیب در حالت تحت کنترل و در شرایط خارج از کنترل هستند.  $\tau_1$  زمان انتظاری رخداد انحراف با دلیل  $j$  بین دو نمونه متوالی می‌باشد که با رابطه (۸) تعیین می‌شود:

$$\left[ 1 - (1 + \lambda_j \cdot h) \cdot e^{-\lambda_j \cdot h} \right] / \left[ \lambda_j \cdot (1 - e^{-\lambda_j \cdot h}) \right] \quad \text{رابطه (۸)}$$

$TI_j$  متوسط زمان برای شناسایی و  $TC_j$  متوسط زمان برای اجرای اقدامات اصلاحی برای انحراف با دلیل  $j$  هستند.  $CE$  هزینه‌های نمونه‌گیری برای هر بیمار و  $CO_j$  هزینه‌های تحمیل شده بر بیمارستان به علت شرایط خارج از کنترل هر بیمار به علت رخداد انحراف با دلیل  $j$  می‌باشند. همچنین،  $CI_j$  هزینه برای شناسایی و  $CC_j$  هزینه اجرای اقدامات اصلاحی برای رفع انحراف با دلیل  $j$  هستند. علاوه بر این، اگر فرایند در طول شناسایی انحراف با دلیل  $j$  متوقف نشود  $\gamma_{1j}$  برابر با یک است، در غیر اینصورت مقدار صفر می‌گیرد و اگر فرایند در طول رفع انحراف با دلیل  $j$  متوقف نشود  $\gamma_{2j}$  برابر یک است، در غیر اینصورت مقدار صفر برای آن ثبت می‌شود. به‌طور کلی، هزینه انتظار در واحد زمانی تحمیل شده بر فرایند به‌شکل  $Exp_{C/T} = Exp_C / Exp_T$  خواهد بود. بنابراین، طراحی اقتصادی نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده شامل تعیین پارامترهای بهینه‌ای است که  $Exp_{C/T}$  را به حداقل می‌رساند. در زیربخش بعدی، به‌منظور غلبه بر مشکلات مربوط به ویژگی‌های آماری ضعیف طراحی اقتصادی یک مدل چندهدفه پیشنهاد شده است.

(ج) مدل چندهدفه طراحی اقتصادی آماری طرح نظارتی

در مسائل طراحی بهینه، هدف از مدل‌های چندهدفه پیدا کردن راه‌حلی است که به‌طور هم‌زمان چندین هدف را برآورده کند. این مدل‌ها دسته‌ای از مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده که از مجموعه‌ای از اهداف متناقض و محدودیت‌های تعریف شده تشکیل شده‌اند و به‌طور طبیعی با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای حل مسائل بهینه در ارتباط می‌باشند (Doosti & Rezaie Moghadam, 2022). اشاره شد که مشکل اصلی طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل این موضوع است که ویژگی‌های آماری را مورد توجه قرار نمی‌دهند. ویژگی‌های آماری عبارتند از احتمال خطاهای نوع اول و دوم،  $ARL_0$  و  $ARL_1$ ، متوسط زمان تا هشدار در شرایط تحت کنترل ( $ATS_0 = h \cdot ARL_0$ ) و متوسط زمان تا هشدار در شرایط خارج از کنترل ( $ATS_1 = h \cdot ARL_1$ ). در نتیجه برای دستیابی به ویژگی‌های آماری مطلوب، محدودیت‌های آماری متعددی به مدل اقتصادی اضافه شده و طراحی اقتصادی آماری ایجاد می‌گردد. ایده اصلی در این نوع طراحی، بهبود ویژگی‌های آماری است که با افزایش اندکی هزینه در مقایسه با طراحی اقتصادی امکان‌پذیر می‌شود. به عبارت دیگر، به‌کارگیری طراحی اقتصادی آماری می‌تواند بهبود عملکرد نمودارهای کنترل در شناسایی تغییرات را به همراه داشته باشد.

در این مقاله برای در نظر گرفتن همزمان هر دو ویژگی اقتصادی و آماری به صورت مطلوب، مدل چندهدفه نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده توسعه داده شده است. در مدل پیشنهادی، مقادیر بهینه پارامترهای طراحی نمودار کنترل به گونه ای مشخص می شوند که تابع هزینه حداقل، و ویژگی های آماری  $ATS_0$  و  $1/ATS_1$  حداکثر گردند. مدل چندهدفه اقتصادی آماری نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده به شکل زیر فرموله می شود:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad Exp_{CT}(D) \\ & \text{Max} \quad ATS_0(D) \\ & \text{Max} \quad 1/ATS_1(D) = \lambda / \sum_{j=1}^s \lambda_j ATS_{1j}(D) \end{aligned} \quad \text{رابطه (۹)}$$

s.t.

$$ATS_0(D) \geq ATS_0^L$$

$$ATS_{1j}(D) \leq ATS_{1j}^U$$

که در آن  $D = (n, h, LCL, v)$  یک ترکیب ممکن از پارامترهای طراحی است. علاوه بر این،  $ATS_0^L$  و  $ATS_{1j}^U$  به ترتیب به کران بالایی متوسط زمان تا هشدار در شرایط خارج از کنترل و کران پایینی متوسط زمان تا هشدار در شرایط تحت کنترل اشاره دارند. بنابراین، انتخاب ترکیبی از پارامترها با ارزش های بهینه می تواند به عنوان یک مسئله چندهدفه مطابق با رابطه (۹) در نظر گرفته شود. در بخش بعدی یک رویکرد حل دو مرحله ای مبتنی بر بهینه سازی پارتو و تکنیک تاپسیس برای بهینه سازی مدل چندهدفه رابطه (۹) با جزئیات بیشتر توضیح داده می شود.

(د) رویکرد حل دو مرحله ای

به منظور حل مدل چندهدفه می توان رویکردهای مختلفی را بکار گرفت. با این وجود، بهینه سازی همزمان چند هدف، منجر به ایجاد راه حل های نامغلوب می گردد. الگوریتم های متنوعی برای شناسایی راه حل های نامغلوب در طراحی اقتصادی آماری نمودارهای کنترل استفاده شده است که از محبوب ترین آنها می توان به بهینه سازی پارتو (Rafiei et al., 2021)، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب II<sup>۹</sup> (Rafiei & Asadzadeh, 2022) و الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه<sup>۱۰</sup> (Nasiri Pour et al., 2024) اشاره داشت. با توجه به ماهیت این مطالعه و به دلیل گسسته بودن فضای مسئله، برای حل بهینه مدل چندهدفه معرفی شده از بهینه سازی پارتو استفاده شده است. با این حال، هنگام استفاده از این نوع بهینه سازی و الگوریتم های مشابه یک چالش وجود دارد که اغلب راه حل های نامغلوب زیادی را ارائه داده و انتخاب مؤثرترین، از مجموعه راه حل های نامغلوب بسیار دشوار است. با هدف غلبه بر این مشکل، تکنیک تاپسیس برای اولویت بندی راه حل های نامغلوب و انتخاب مطلوب ترین راه حل ها معرفی می شود. بنابراین، مطالعه حاضر یک رویکرد حل دو مرحله ای مبتنی بر بهینه سازی پارتو و تکنیک تاپسیس را برای دستیابی به راه حل های بهینه مدل چندهدفه اقتصادی آماری نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده پیشنهاد می کند.

بهینه سازی پارتو: در بهینه سازی پارتو با استفاده از مفهوم غلبه، راه حل ها براساس نامغلوب ها مرتب سازی می شوند. به طور کلی به منظور نظم و ترتیب دادن به راه حل ها براساس سطوح نامغلوب ها، هر راه حل با دیگر راه حل های موجود در جمعیت مقایسه شده، تا مغلوب بودن یا نبودن آن شناسایی گردد. در پایان، مجموعه ای از راه حل ها باقی می ماند که هیچ یک غالب و مغلوب هم نمی شوند. در نتیجه این راه حل ها سطحی را تشکیل می دهند که سطح پارتو نامیده می شود. در یک مسئله حداقل سازی با O تابع هدف، راه حل m در شرایطی بر راه حل n غلبه می کند که:

$$m < n \mid \forall_o : f_o(m) \leq f_o(n), \text{ and } \exists_o : f_o(m) < f_o(n). \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

<sup>9</sup>. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)

<sup>10</sup>. Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)

که  $f(m)$  و  $f(n)$  ارزش‌های اهداف  $O$  براساس راه‌حل‌های  $m$  و  $n$  می‌باشند. رابطه (۱۰) به این معنی است که تمامی اهداف مرتبط با راه‌حل  $m$  کوچکتر یا مساوی توابع هدف مرتبط با راه‌حل  $n$  باشند. به عبارت دیگر،  $n$  از هیچ نظر از  $m$  بهتر نباشد و  $m$  حداقل از یک نظر به‌طور اکید از  $n$  بهتر باشد (Brunelli & Fedrizzi, 2024).

تکنیک تاپسیس: تکنیک تاپسیس به‌منظور دستیابی به بهترین گزینه و بر اساس مفاهیم راه‌حل توافقی توسعه داده شده است. راه‌حل توافقی را می‌توان به‌عنوان انتخاب راه‌حل با کوتاه‌ترین فاصله مستقیم از راه‌حل ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله مستقیم از راه‌حل ایده‌آل منفی در نظر گرفت (Forozandeh & Roozbahani, 2023). رویکرد تاپسیس را می‌توان به‌صورت زیر توصیف کرد (Ghodha et al., 2022). مجموعه‌ای از گزینه‌ها به‌صورت  $A = \{A_k | k = 1, \dots, K\}$  و مجموعه‌ای از معیارها به‌صورت  $I = \{I_r | r = 1, \dots, R\}$  در نظر گرفته می‌شود. امتیازهای عملکرد نیز با  $p_{kr}$  نشان داده می‌شود و اوزان  $w_r$  می‌باشد. بر این اساس، می‌توان ماتریس تصمیم در تکنیک تاپسیس را در قالب جدول شماره (۱) نمایش داد.

جدول شماره (۱): ماتریس تصمیم تکنیک تاپسیس

معیارها			گزینه‌ها
$I_r$	...	$I_1$	
$p_{1r}$	...	$p_{11}$	$A_1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$p_{kr}$	...	$p_{k1}$	$A_k$
$w_r$	...	$w_1$	اوزان

اولین گام تکنیک تاپسیس محاسبه امتیازهای بی‌مقیاس شده با استفاده از رابطه زیر است:

$$b_{kr} = \frac{p_{kr}}{\sqrt{\sum_{k=1}^K p_{kr}^2}}, \quad k = 1, \dots, K; \quad r = 1, \dots, R. \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

و سپس، امتیازهای بی‌مقیاس شده وزین به‌صورت زیر بدست می‌آید:

$$v_{kr} = w_r b_{kr}, \quad k = 1, \dots, K; \quad r = 1, \dots, R. \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

در ادامه، نقطه ایده‌آل مثبت ( $A^+$ ) و نقطه ایده‌آل منفی ( $A^-$ ) بر طبق روابط (۱۳) و (۱۴) حاصل شده‌اند:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_r^+, \dots, v_R^+\} = \left\{ (\max_k v_{kr} | r \in R_1), (\min_k v_{kr} | r \in R_2) | k = 1, \dots, K \right\}, \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_r^-, \dots, v_R^-\} = \left\{ (\min_k v_{kr} | r \in R_1), (\max_k v_{kr} | r \in R_2) | k = 1, \dots, K \right\}. \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

که در اینجا  $R_1$  و  $R_2$  به ترتیب، بیانگر شاخصه‌های سود و هزینه هستند.

گام بعدی محاسبه فاصله جدایی هر گزینه از نقطه ایده‌آل مثبت و نقطه ایده‌آل منفی است. مقادیر جدایی برای هر گزینه با استفاده از فاصله خط مستقیم و به‌گونه‌ای که در ادامه به آن اشاره شده، حاصل می‌شود:

$$Dis_k^* = \sqrt{\sum_{r=1}^R [v_{kr} - v_r^+]^2}, \quad k = 1, \dots, K, \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$Dis_k^- = \sqrt{\sum_{r=1}^R [v_{kr} - v_r^-]^2}, \quad k = 1, \dots, K. \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

و در گام نهایی تکنیک تاپسیس شباهت نسبی به نقطه ایده‌آل مثبت به‌صورت رابطه (۱۷) اندازه‌گیری می‌شود:

$$\Omega_k^* = Dis_k^- / (Dis_k^* + Dis_k^-), \quad k = 1, \dots, K. \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

که به ازای هر  $k = 1, \dots, K$ ،  $\Omega_k^*$  عضوی بین صفر و یک است. سرانجام، بر اساس ترتیب نزولی شباهت نسبی به نقطه ایده‌آل مثبت به‌منظور انتخاب بهترین گزینه، می‌توان اولویت‌بندی را بدست آورد.



## ۳ - نتایج و بحث

الف) بررسی بیماران قلبی در یک بیمارستان دولتی

در این زیربخش، کاربرد طرح نظارتی EWMA تعدیل ریسک شده در یک بیمارستان دولتی جراحی قلب واقع در شهرستان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفته است. در این بیمارستان نوع خاصی از عمل به نام جراحی بای پس عروق کرونر (CABG<sup>۱۱</sup>) انتخاب شد و اطلاعات مربوط به ۱۰۰ بیمار در طول زمان جمع آوری گشت. اطلاعات شامل تاریخ جراحی، نام جراح، روش جراحی، زمان بقا و امتیاز عامل ریسک بودند. قبلاً شرح داده شد که امتیاز عمل ریسک، یک ترکیب وزنی از ریسک های قبل از عمل برای هر بیمار است و در مطالعه حاضر در فرایند جراحی به عنوان تنها متغیر تأثیرگذار بر زمان بقا در نظر گرفته می شود. ریسک های قبل از عمل احتمالی برای هر بیمار در فرایند جراحی قلب (Rafiei & Asadzadeh, 2022) در جدول شماره (۲) فهرست شده است.

جدول شماره (۲): ریسک های قبل از عمل بیماران استفاده شده برای محاسبه امتیاز عامل ریسک

وزن تخصیص - یافته	عوامل ریسک	وزن تخصیص - یافته	عوامل ریسک
۱۲	نقص دیواره بطنی	۶	جنسیت مؤنث
۱	حمله بطنی یا لرزش بطنی	۱۱ - ۷ - ۲/۵	سن: ۷۰ تا ۷۵ - ۷۶ تا ۷۹ - ۸۰ تا ...
۱	آسم	۳	قند خون
۴	وجود اینتوبه در عمل	۳	فشار خون
۱۲	پورپورای ناشناس کاهش پلاکت	۱	چاقی مفرط: بیش از یک و نیم برابر وزن ایده آل
۱۱	فشار ریوی: میانگین فشار بالای ۳۰	۶	نارسایی قلبی
۱۲/۵	التهاب شدید کبدی	۲/۵	بیماری مزمن انسداد ریوی
۱۳/۵	وابستگی به دیالیز	۸ - ۶/۵	کسر جهشی: پایین ۳۰٪ - بین ۳۰٪ تا ۴۹٪
۳/۵	نارسایی مزمن کلیه	۲/۵	انسداد شریان کرونر
۲	بیماری شریان کلیه	۴	بالون پمپ داخل آئورت
۳/۵	بیماری های عروق محیطی	۱۰	جراحی مجدد
۱۱	عدم پذیرش فرآورده های خونی	۱۲	ناتوانی قلب در پمپاژ خون یا سکتة قلبی
۵	اختلالات نورولوژی	۶/۵	عفونت فعال در لایه داخلی قلب
۵/۵	وجود استند یا فنر	۵	نارسایی دریچه سه لته یا تری کوسپید
۴/۵	مصرف دخانیات	۴	آنفارکتوس قلبی

با اندازه گیری امتیاز عامل ریسک برای هر بیمار، تأثیر آن با بهره گیری از مدل AFT مبتنی بر توزیع لگ لجستیک، بر روی زمان بقای بیمار تعدیل می گردد. بر اساس قوانین و استانداردهای بیمارستان زمان بقای بیمارانی که در طول مطالعه زنده ماندند در ۱۴ روز سانسور شد. در ابتدا، داده های مربوط به ۱۰۰ بیمار جمع آوری گشت و با بکارگیری نرم افزار Minitab 19.2 مشخص شد که این داده های امتیاز عامل ریسک، دارای توزیع گاما با پارامترهای مقیاس و شکل به ترتیب برابر ۴/۵۹ و ۴/۵۴۵ می باشند. در ادامه، روش برآورد درستنمایی بیشینه (MLE<sup>۱۲</sup>) استفاده شد تا مقادیر پارامترهای تحت کنترل مدل AFT مبتنی بر توزیع لگ-لجستیک برآورد شوند و مشخص گردید که  $\theta$  برابر ۸/۰۰۲۱،  $\gamma$  برابر ۰/۲۴ و  $\beta_1$  برابر ۰/۰۱۹۴ می باشد. بنابراین، می توان با استفاده از رابطه (۲) تابع بقای مدل AFT مبتنی بر توزیع لگ لجستیک و سپس با استفاده از رابطه (۴) امتیاز ناحیه نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده را محاسبه کرد.

مهم ترین قسمت این مطالعه، استقرار نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده در فرایند CABG است که برای این هدف ضروری است تا چهار پارامتر طراحی این نمودار کنترل مشخص گردند. به علت حساسیت بسیار بالا در حوزه بهداشت و درمان برای نظارت بر هر بیمار، تمامی بیماران به صورت جداگانه و پشت سرهم نظارت می شوند. از اینرو، مقدار  $n$  ثابت و برابر با عدد یک می باشد. همچنین، مقدار  $h$  ثابت و برابر با عدد ۱۲ است زیرا در بیمارستان دولتی جراحی قلب واقع در شهرستان کرمانشاه

<sup>11</sup>. Coronary Artery Bypass Graft

<sup>12</sup>. Maximum Likelihood Estimation

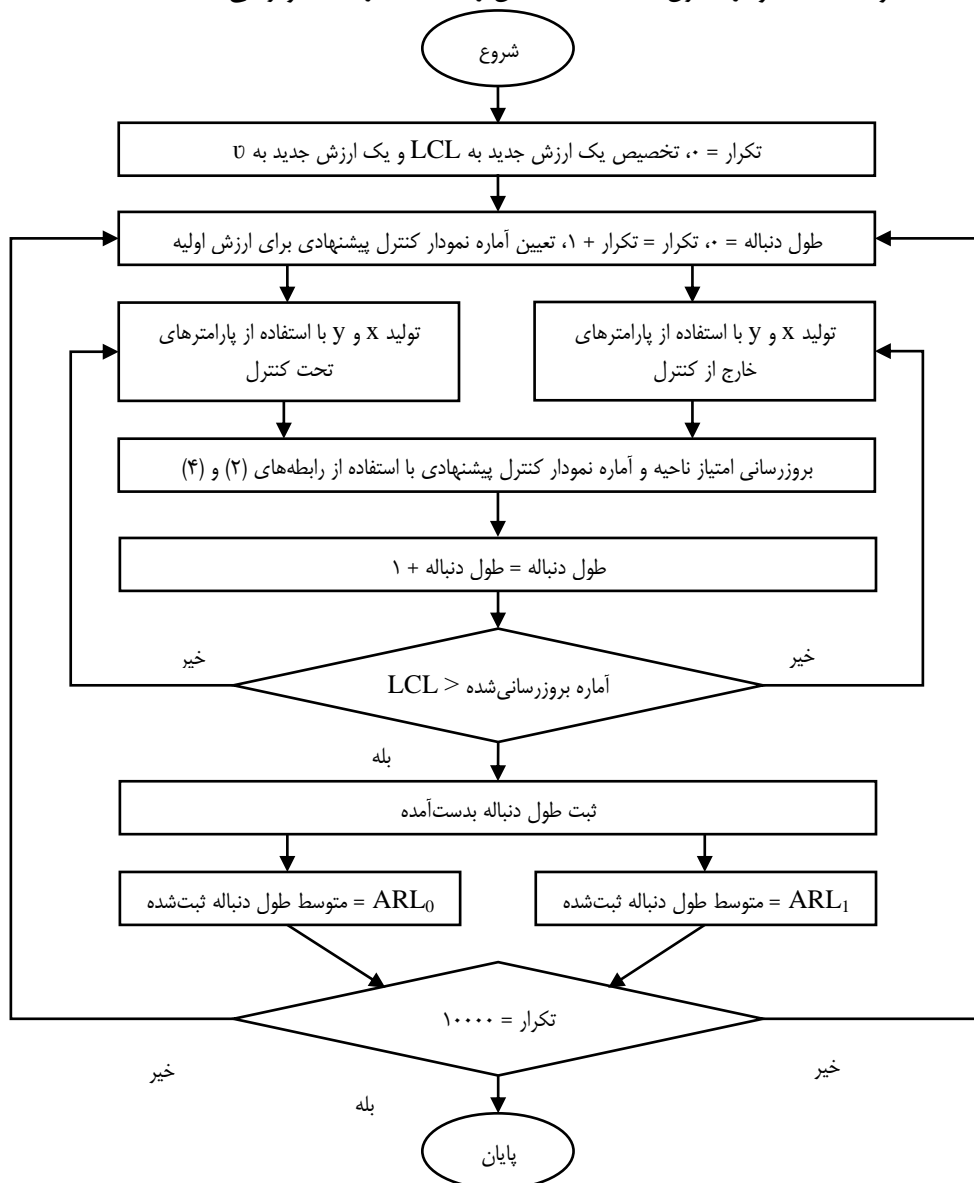
بیماران هر ۱۲ ساعت جراحی می‌شوند. بنابراین، بهینه‌سازی در مورد این دو پارامتر در نظر گرفته نشده است. از طرف دیگر، مقدار پارامتر  $\sigma$  در بازه  $0/01$  تا  $0/2$  قرار دارد که با مقدار  $0/01$  جایجا می‌گردد و محدوده پارامتر LCL از  $0/75$  تا  $0/01$  بوده که این پارامتر نیز با مقدار  $0/01$  تغییر می‌کند. بنابراین، ضروری است مقدار این دو پارامتر به گونه‌ای مشخص شوند که ویژگی‌های آماری و اقتصادی به‌طور همزمان برآورده گردند. پیشتر دلیل تمرکز بر تعیین  $\sigma$  و LCL شرح داده شد و پیشنهاد گردید که برای مقابله با پایین آمدن ایمنی بیمار و جلوگیری از هزینه‌های جبران‌ناپذیر برای پزشک، کادر درمان، بیمار و اطرافیان یک نمودار کنترل یک‌طرفه با هدف شناسایی سریع تغییرات کاهشی مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه، مدل چندهدفه اقتصادی آماری پیشنهادی، در تلاش بود تا ترکیبی از پارامترهای نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده یعنی (LCL,  $\sigma$ ) را به صورتی انتخاب کند تا اهداف مطلوب حداقل هزینه انتظاری و حداکثر ویژگی‌های آماری حاصل شوند.

در فرایند جراحی، درمان و بهبودی بیماران CABG دو انحراف با دلیل به نام‌های خطاهای دارویی و خرابی دستگاه ونتیلاتور (دستگاه تنفس مصنوعی) مشاهده شد. مشخص گردید که نرخ رخداد انحراف با دلیل مربوط به خطاهای دارویی  $\lambda_1$  برابر  $0/025$  ساعت و نرخ رخداد انحراف با دلیل مربوط به خرابی دستگاه ونتیلاتور  $\lambda_2$  برابر  $0/005$  ساعت است که هر یک با ایجاد تغییرات کاهشی به ترتیب،  $90\%$  و  $95\%$  زمان بقای بیمار را کاهش می‌دهند. برای بکارگیری یک نمودار کنترل اقتصادی آماری EWMA تعدیل ریسک شده در فرایند CABG، نیاز است تا با توجه به رخداد هر یک از انحرافات با دلیل خطاهای دارویی و خرابی دستگاه ونتیلاتور، هزینه‌ها و زمان‌های مربوط به اجرای این فرایند مشخص شوند. نمونه‌گیری از بیماران به صورت انجام تعدادی از اقدامات و آزمایشات انجام گرفت و نتیجه آن در قالب امتیاز عامل ریسک بیان شد که هزینه مربوط به آن برای هر بیمار  $2000000$  ریال ثبت شد. با رخداد یک انحراف با دلیل فرایند CABG به شرایط خارج از کنترل رفته و بیمارانی که در این حالت تحت جراحی قرار گرفتند، هزینه‌هایی را به بیمارستان تحمیل می‌کنند. هزینه تحمیل شده به بیمارستان در شرایط خارج از کنترل، به دلیل رخداد انحراف با دلیل مربوط به خطاهای دارویی شامل هزینه‌های آزمایش، اکوکاردیوگرافی، آنژیوگرافی، مشاوره، جراحی، اتاق عمل، بیهوشی، لوازم مصرفی، داروی مصرفی، تخت ICU برای دو شب، خدمات پرستاری و تخت بخش برای هشت شب است که مقدار آن  $53373000$  ریال می‌باشد. همچنین، هزینه تحمیل شده به بیمارستان در شرایط خارج از کنترل، به دلیل رخداد انحراف با دلیل مربوط به خرابی دستگاه ونتیلاتور شامل هزینه‌های آزمایش، اکوکاردیوگرافی، آنژیوگرافی، مشاوره و داروی مصرفی با مقدار  $2393000$  ریال است.

علاوه بر این، در فرایند CABG پس از رخداد هر یک از انحرافات با دلیل مذکور، فرایند به شرایط خارج از کنترل رفته و لازم است که برای شناسایی و اصلاح انحراف با دلیل مربوطه، جستجوها و اقداماتی صورت گیرد. در نتیجه، مدت زمانی باید صرف شناسایی انحراف با دلیل و اقدامات اصلاحی برای برطرف نمودن آن شود. با این حال، متوسط زمان مورد نیاز برای شناسایی انحراف با دلیل ناشی از خطاهای دارویی چهار ساعت بوده که شامل مدت زمان برای برگزاری کمیته تخصصی و بررسی سامانه سیستم ثبت خطا شده است و اصلاح آن نیز به‌طور متوسط دو ساعت زمان نیاز دارد. همچنین، برای شناسایی انحراف با دلیل ناشی از خطاهای دارویی به‌طور متوسط هزینه‌ای با مقدار  $20000000$  ریال در نظر گرفته شده است و اصلاح خطاهای دارویی به‌طور متوسط  $16000000$  ریال هزینه به همراه دارد. از طرف دیگر، هنگامیکه تشخیص داده می‌شود که فرایند به دلیل رخداد انحراف با دلیل دیگری با عنوان خرابی دستگاه ونتیلاتور به شرایط خارج از کنترل انتقال پیدا کرده است، اولین اقدام صورت گرفته اینست که مهندس تجهیزات پزشکی بیمارستان به محل مشکل ایجاد شده فراخوانده می‌شود. متوسط زمانی که مهندس تجهیزات پزشکی نیاز داشته تا خطای مربوط به دستگاه را پیدا کند، چهار ساعت بوده و شناسایی مشکل ناشی از این خطا به‌طور متوسط مقدار هزینه  $14500000$  ریال را به بیمارستان تحمیل می‌کند. اما متوسط زمانی که دستگاه برای تعمیر و رفع عیب از دسترس خارج می‌شود  $80$  ساعت است و برای تعمیر و یا تعویض به‌طور متوسط  $15000000$  ریال هزینه در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که فرایند در طول شناسایی انحرافات با دلیل مربوط به خطاهای انسانی و مربوط به خرابی دستگاه

ونتیلاتور و اصلاح خطاهای انسانی متوقف نمی شود، اما در طول رفع انحراف با دلیل ناشی از خرابی دستگاه ونتیلاتور متوقف می گردد.

در ادامه، با توجه به مقادیر برآوردشده از پارامترهای توزیع گاما و مدل AFT لگ لجستیک، مطالعات شبیه سازی به جهت مقایسه عملکرد شاخص های آماری به اجرا درآمد. باید توجه شود که به منظور کمینه کردن خطاهای برآورد، اجرای شبیه سازی ۱۰۰۰۰ بار تکرار شد. مقادیر شاخص آماری  $ARL_0$  بدون در نظر گرفتن تغییری در داده ها محاسبه گشت، درحالی که، مقادیر شاخص آماری  $ARL_1$  در مواردی بدست آمد که در فرایند به دلیل رخداد انحرافات با دلیل ناشی از خطاهای دارویی و خرابی دستگاه ونتیلاتور به ترتیب به میزان ۹۵٪ و ۹۰٪ کاهش در میانگین زمان بقا وجود دارد. شکل شماره (۱) رویه کار الگوریتم شبیه سازی برای محاسبه  $ARL_0$  و  $ARL_1$  نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده را به تصویر می کشد.



شکل شماره (۱): الگوریتم محاسبه  $ARL_0$  و  $ARL_1$ .

همچنین، با هدف پیشگیری از رخداد بالای هشدار اشتباهی و رسیدن به قدرت قابل قبول شناسایی تغییرات، محدودیت های آماری  $ATS_{1j} \leq 60$  و  $ATS_0 \geq 240$  بر روی شاخص های آماری مدل چندهدفه در رابطه (۹) تعیین شدند. سپس، با توجه به اطلاعات فوق، هزینه انتظاری هر واحد زمانی مربوط به استفاده از نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده در فرایند جراحی، درمان و بهبودی بیماران CABG حاصل خواهد شد. در نهایت، به منظور بهینه سازی مدل چندهدفه طراحی اقتصادی آماری

رابطه (۹) و دستیابی به بهترین ترکیب ممکن از پارامترهای طراحی نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده، رویکرد حل دو مرحله‌ای حل به اجرا درآمد. پس از اینکه ۱۵۰۰ راه‌حل بالقوه به صورت ترکیب (LCL, U) در نظر گرفته شد، با استفاده از محدودیت‌های شاخص‌های آماری راه‌حل‌های غیرممکن کنار گذاشته شدند. سپس، از میان راه‌حل‌های باقیمانده، با استفاده از قوانین بهینه‌سازی پارتو، ۱۹ راه‌حل مطابق با جدول شماره (۳) به عنوان راه‌حل‌های نامغلوب انتخاب شدند. لازم به ذکر است تمامی محاسبات مربوط به بهینه‌سازی پارتو، تحت برنامه‌های گذشته در محیط نرم‌افزار بهینه‌سازی متلب نسخه ۲۰۱۶ تسهیل شد.

جدول شماره (۳): راه‌حل‌های نامغلوب مدل طراحی چندهدفه اقتصادی آماری پیشنهادی

ادامه جدول شماره (۳)				توابع هدف			پارامترها
ATS <sub>1</sub>	ATS <sub>0</sub>	Exp <sub>CT</sub>	(U, LCL)	ATS <sub>1</sub>	ATS <sub>0</sub>	Exp <sub>CT</sub>	(U, LCL)
۳۹/۹۳	۷۰۱/۱۵	۳۱۳۵۷۴۷/۴۵	(۰/۰۴, -۰/۳۰)	۵۵/۳۳	۱۶۱۰/۳۳	۳۶۸۳۷۸۹/۵۰	(۰/۰۱, -۰/۴۱)
۴۰/۱۲	۷۱۴/۸۰	۳۱۴۲۹۸۱/۲۲	(۰/۰۴, -۰/۶۶)	۵۶/۲۷	۱۶۱۸/۶۶	۳۷۱۴۹۲۷/۳۲	(۰/۰۱, -۰/۴۲)
۴۰/۴۶	۷۵۸/۲۴	۳۱۵۵۸۶۰/۰۶	(۰/۰۴, -۰/۶۸)	۵۶/۳۹	۱۶۲۱/۳۲	۳۷۱۸۹۹۳/۸۷	(۰/۰۱, -۰/۴۷)
۴۰/۷۸	۷۵۹/۶۳	۳۱۶۷۷۸۸/۸۰	(۰/۰۴, -۰/۷۴)	۵۷/۰۰	۱۶۹۰/۹۷	۳۷۳۸۷۱۱/۲۷	(۰/۰۱, -۰/۶۰)
۳۹/۳۸	۶۱۷/۹۲	۳۱۱۴۴۷۵/۰۵	(۰/۰۵, ۰/۳۶)	۵۶/۹۸	۱۶۴۹/۱۲	۳۷۳۸۲۴۰/۲۰	(۰/۰۱, -۰/۶۲)
۳۹/۳۹	۶۶۴/۵۹	۳۱۱۴۸۸۹/۶۲	(۰/۰۵, ۰/۵۵)	۴۴/۴۹	۱۰۱۹/۶۸	۳۳۰۵۹۴۹/۸۸	(۰/۰۲, -۰/۲۶)
۵۰/۹۱	۵۷۶/۸۸	۳۰۹۶۶۰۸/۴۸	(۰/۰۶, -۰/۴۰)	۴۵/۲۰	۱۰۶۱/۶۲	۳۳۳۱۹۰۷/۸۶	(۰/۰۲, ۰/۴۳)
۳۹/۱۲	۶۱۰/۵۶	۳۱۰۴۶۵۱/۲۳	(۰/۰۶, -۰/۶۶)	۴۴/۵۹	۱۰۵۶/۷۶	۳۳۰۹۸۱۲/۷۶	(۰/۰۲, ۰/۶۶)
۳۹/۰۹	۵۷۸/۸۴	۳۱۰۳۳۱۹/۵۰	(۰/۰۷, -۰/۶۴)	۴۵/۵۶	۱۰۹۷/۵۲	۳۳۴۴۸۴۴/۹۴	(۰/۰۲, ۰/۷۰)
				۴۱/۷۹	۸۵۴/۴۴	۳۲۰۶۰۲۲/۳۲	(۰/۰۳, -۰/۴۶)

در ادامه برای بهینه‌سازی نهایی راه‌حل‌های نامغلوب و اولویت‌بندی آنها، تکنیک تصمیم‌گیری تاپسیس مورد استفاده قرار گرفت. در تکنیک تاپسیس، هر راه‌حل یا ترکیب پارامترهای طراحی در قالب یک گزینه ماتریس تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد. از اینرو، جدول شماره (۳) به صورت ماتریس تصمیم‌گیری اولیه شناخته شد که در آن پارامترهای طراحی معرف گزینه‌ها بودند و سه تابع هدف در جایگاه معیارهای ارزیابی قرار گرفتند که دو معیار Exp<sub>CT</sub> و ATS<sub>1</sub> دارای ماهیت منفی هستند. براساس اولین گام تکنیک تاپسیس امتیازهای بی‌مقیاس شده ماتریس تصمیم‌گیری با بکارگیری رابطه (۱۱) محاسبه شد و در ادامه، امتیازهای بی‌مقیاس شده وزین با بهره‌گیری از رابطه (۱۲) و به صورت جدول شماره (۴) حاصل شد. در این مطالعه، اهمیت و وزن تابع هزینه و ویژگی‌های آماری از دیدگاه کارشناسان حرفه‌ای بهداشت و درمان یکسان در نظر گرفته شد و مقدار ۰/۳۳۳ برای هر یک تعریف گردید.

جدول شماره (۴): امتیازات بی‌مقیاس شده وزین ماتریس تصمیم‌گیری

ادامه جدول شماره (۴)				توابع هدف			پارامترها
ATS <sub>1</sub>	ATS <sub>0</sub>	Exp <sub>CT</sub>	(U, LCL)	ATS <sub>1</sub>	ATS <sub>0</sub>	Exp <sub>CT</sub>	(U, LCL)
۰/۰۶۶	۰/۰۴۹	۰/۰۷۲	(۰/۰۴, -۰/۳۰)	۰/۰۹۱	۰/۱۱۳	۰/۰۸۴	(۰/۰۱, -۰/۴۱)
۰/۰۶۶	۰/۰۵۰	۰/۰۷۲	(۰/۰۴, -۰/۶۶)	۰/۰۹۳	۰/۱۱۳	۰/۰۸۵	(۰/۰۱, -۰/۴۲)
۰/۰۶۷	۰/۰۵۳	۰/۰۷۲	(۰/۰۴, -۰/۶۸)	۰/۰۹۳	۰/۱۱۳	۰/۰۸۵	(۰/۰۱, -۰/۴۷)
۰/۰۶۷	۰/۰۵۳	۰/۰۷۳	(۰/۰۴, -۰/۷۴)	۰/۰۹۴	۰/۱۱۸	۰/۰۸۶	(۰/۰۱, -۰/۶۰)
۰/۰۶۵	۰/۰۴۳	۰/۰۷۱	(۰/۰۵, ۰/۳۶)	۰/۰۹۴	۰/۱۱۵	۰/۰۸۶	(۰/۰۱, -۰/۶۲)
۰/۰۶۵	۰/۰۴۶	۰/۰۷۱	(۰/۰۵, ۰/۵۵)	۰/۰۷۳	۰/۰۷۱	۰/۰۷۶	(۰/۰۲, -۰/۲۶)
۰/۰۸۱	۰/۰۴۰	۰/۰۷۱	(۰/۰۶, -۰/۴۰)	۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۷۶	(۰/۰۲, ۰/۴۳)
۰/۰۶۴	۰/۰۴۳	۰/۰۷۱	(۰/۰۶, -۰/۶۶)	۰/۰۷۴	۰/۰۷۴	۰/۰۷۶	(۰/۰۲, ۰/۶۶)
۰/۰۶۴	۰/۰۴۰	۰/۰۷۱	(۰/۰۷, -۰/۶۴)	۰/۰۷۵	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	(۰/۰۲, ۰/۷۰)

۰/۰۶۹      ۰/۰۶۰      ۰/۰۷۳      (۰/۰۳, -۰/۴۶)

با توجه به نتایج حاصل از جدول شماره (۴) و بر طبق روابط (۱۳) و (۱۴)، نقطه ایده آل مثبت و نقطه ایده آل منفی برای هر معیار مشخص شد. بنابراین، نقطه ایده آل مثبت برای معیارهای  $ATS_0$ ،  $ATS_1$  و  $Exp_{CT}$  به ترتیب برابر با ۰/۰۷۱، ۰/۱۱۸ و ۰/۰۶۴ مثبت شد و نقطه ایده آل منفی برای این معیارها به ترتیب با مقادیر ۰/۰۸۶، ۰/۰۴۰ و ۰/۰۹۴ برابر گشت. در گام بعدی، مقادیر جدایی برای هر گزینه یا ترکیب پارامترهای طراحی از نقطه ایده آل مثبت و نقطه ایده آل منفی با استفاده از فاصله خط مستقیم اندازه گیری شد که به نتایج آن در جدول شماره (۵) اشاره شده است. علاوه بر این، در گام نهایی تکنیک تاپسیس شباهت نسبی به نقطه ایده آل مثبت به صورت رابطه (۱۷) محاسبه می شود که نتایج این گام نیز در جدول شماره (۵) موجود است.

جدول شماره (۵): مقادیر جدایی از نقاط ایده آل مثبت و منفی و مقدار شباهت نسبی به ایده آل مثبت

$\Omega_k^*$	$Dis_k$	$Dis_k^*$	پارامترهای طراحی	$\Omega_k^*$	$Dis_k$	$Dis_k^*$	پارامترهای طراحی
۰/۳۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۶۹	(۰/۰۴, -۰/۳۰)	۰/۷۰۴	۰/۰۷۲	۰/۰۳۰	(۰/۰۱, -۰/۴۱)
۰/۳۲۲	۰/۰۳۲	۰/۰۶۸	(۰/۰۴, -۰/۶۶)	۰/۶۹۴	۰/۰۷۳	۰/۰۳۲	(۰/۰۱, -۰/۴۲)
۰/۳۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۶۵	(۰/۰۴, -۰/۶۸)	۰/۶۹۴	۰/۰۷۳	۰/۰۳۲	(۰/۰۱, -۰/۴۷)
۰/۳۳۲	۰/۰۳۲	۰/۰۶۵	(۰/۰۴, -۰/۷۴)	۰/۷۰۳	۰/۰۷۸	۰/۰۳۳	(۰/۰۱, -۰/۶۰)
۰/۳۰۲	۰/۰۳۳	۰/۰۷۵	(۰/۰۵, ۰/۳۶)	۰/۶۹۴	۰/۰۷۵	۰/۰۳۳	(۰/۰۱, -۰/۶۲)
۰/۳۱۴	۰/۰۳۳	۰/۰۷۲	(۰/۰۵, ۰/۵۵)	۰/۴۴۵	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	(۰/۰۲, -۰/۲۶)
۰/۲۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۸۰	(۰/۰۶, -۰/۴۰)	۰/۴۶۹	۰/۰۴۰	۰/۰۴۵	(۰/۰۲, ۰/۴۳)
۰/۳۰۴	۰/۰۳۳	۰/۰۷۶	(۰/۰۶, -۰/۶۶)	۰/۴۷۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۶	(۰/۰۲, ۰/۶۶)
۰/۲۹۷	۰/۰۳۳	۰/۰۷۸	(۰/۰۷, -۰/۶۴)	۰/۴۹۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	(۰/۰۲, ۰/۷۰)
				۰/۳۶۶	۰/۰۳۴	۰/۰۵۹	(۰/۰۳, -۰/۴۶)

سرانجام، بر اساس ترتیب نزولی شباهت نسبی به نقطه ایده آل مثبت به منظور انتخاب بهترین گزینه، اولویت بندی ترکیب پارامترهای طراحی شکل گرفت که از خروجی های جدول شماره (۵) مشاهده می شود سه راه حل  $(۰/۰۱, -۰/۴۱)$ ،  $(۰/۰۱, -۰/۶۰)$  و  $(۰/۰۱, -۰/۴۲)$  با امتیازان به ترتیب ۰/۷۰۴، ۰/۷۰۳ و ۰/۶۹۴، به عنوان سه ترکیب با اولویت بالاتر در پارامترهای طراحی بهینه نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده در نظر گرفته می شوند که در میان آنها راه حل  $v = ۰/۰۱$  و  $LCL = -۰/۴۱$  با هزینه انتظاری در واحد زمانی برابر با  $۳۶۸۳۷۸۹/۵۰$  ریال، متوسط زمان تا هشدار در شرایط تحت کنترل  $۱۶۱۰/۱۱$  و متوسط زمان تا هشدار در شرایط خارج از کنترل  $۵۵/۳۳$  به عنوان ترکیب برتر انتخاب شده است. در نتیجه، طراحی نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده با استفاده از پارامترهای  $v = ۰/۰۱$  و  $LCL = -۰/۴۱$ ، مطلوب ترین ملاحظات اقتصادی و آماری در فرایند جراحی و بهبودی بیماران CABG را ترکیب می کند.

(ب) مقایسه مدل چندهدفه پیشنهادی با مدل تک هدفه

در ادامه، به منظور تأیید اثربخشی مدل چندهدفه طراحی اقتصادی آماری نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده در حضور انحرافات با دلیل چندگانه، یک مقایسه بین این مدل و مدل تک هدفه طراحی خالص اقتصادی آن صورت پذیرفت که خروجی های این مقایسه در جدول شماره (۶) ارائه شده است:

جدول شماره (۶): مقایسه مدل چندهدفه و مدل تک هدفه طراحی نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده

مدل	نوع طراحی	پارامترهای طراحی	$Exp_{CT}$	$ATS_0$	$ATS_1$
چندهدفه	اقتصادی آماری	(۰/۰۱, -۰/۴۱)	۳۶۸۳۷۸۹/۵۰	۱۶۱۰/۱۱	۵۵/۳۳
تک هدفه	خالص اقتصادی	(۰/۰۶, -۰/۴۰)	۳۰۹۶۶۰۸/۴۸	۵۷۶/۸۸	۵۰/۹۱

از داده های جدول فوق مشخص است که هزینه انتظاری هر واحد زمانی در مدل چندهدفه طراحی اقتصادی آماری نسبت به مدل تک هدفه طراحی خالص اقتصادی آن، ۱۸٪ افزایش داشته است. اما با وجود این افزایش در هزینه، به میزان بیش از ۱۰۰٪ افزایش در شاخص آماری متوسط زمان تا هشدار در شرایط تحت کنترل را مشاهده می کنیم. همچنین، برای متوسط زمان تا

هشدار در حالت خارج از کنترل برای هر دو نوع مدل طراحی تفاوت چشم‌گیری وجود ندارد. بنابراین، با استفاده از طراحی چندهدفه اقتصادی آماری می‌توان با افزایش مقدار کمی در هزینه انتظاری هر واحد زمانی، عملکرد آماری نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشید، به‌گونه‌ای که هر دو ملاحظات اقتصادی و آماری به‌طور همزمان در سطح مطلوبی در نظر گرفته شوند.

ج) نتیجه‌گیری و پیشنهادات به‌منظور انجام پژوهش‌های آتی

به‌طور کلی، بر اساس تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته در این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که:

- بهینه‌سازی پارتنو به‌درستی ۱۹ راه‌حل نامغلوب را از مجموعه بزرگی از راه‌حل‌ها شناسایی کرد که هر راه‌حل معرف یک ترکیب از پارامترهای طراحی نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده یعنی  $(U, LCL)$  بود.
- تکنیک تصمیم‌گیری تاپسیس توانست راه‌حل‌های نامغلوب را بر اساس معیارهای  $ExpCT$ ،  $ATS_0$  و  $ATS_1$  به‌طور دقیق اولویت‌بندی کند.
- به‌منظور بکارگیری نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده در بیمارستان دولتی جراحی قلب واقع در شهرستان کرمانشاه، پارامترهای  $U$  و  $LCL$  باید به‌ترتیب بر روی مقادیر  $0/01$  و  $-0/41$  تنظیم شوند.
- استفاده از نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده با پارامترهای انتخابی، با  $ExpCT$  برابر با  $3683789/50$ ،  $ATS_0$  برابر با  $1610/11$  و  $ATS_1$  برابر با  $55/33$ ، بهترین طراحی اقتصادی آماری این نمودار کنترل می‌باشد.
- نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که طراحی چندهدفه اقتصادی آماری نسبت به طراحی تک‌هدفه خالص اقتصادی، عملکرد بهتری دارد، زیرا با افزایش جزئی در هزینه انتظاری بر واحد زمانی، ویژگی‌های آماری را به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد.

در نتیجه، روش پیشنهادی برای ایجاد نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده می‌تواند به‌طور مؤثری برای شناسایی تغییرات کاهشی در زمان بقای بیماران قلبی در سیستم‌های بهداشت و درمان مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به بررسی‌های انجام شده در این مطالعه و به‌منظور بالا بردن کارایی و کاربرد رویکرد پیشنهادی می‌توان موارد زیر را به عنوان زمینه‌ای برای پژوهش‌های آتی مد نظر قرار داد:

- مقایسه نتایج بدست آمده از این مطالعه با دیگر روش‌های مورد استفاده برای ایجاد نمودارهای کنترل مانند رویکردهای ناپارامتریک.
- چگونگی ترکیب همبستگی در حین استفاده از مدل رگرسیون AFT می‌تواند یک حوزه بالقوه مفید برای تحقیقات آینده باشد. همچنین، دیگر مدل رگرسیون تحلیل بقا علاوه بر مدل AFT، مدل مخاطره متناسب کاکس ( $^{13}PH$ ) می‌باشد. بنابراین، رویکرد ممکن پیشنهادی بکارگیری مدل PH است که می‌تواند در زمینه ایجاد نمودار کنترل EWMA تعدیل ریسک شده از آن استفاده کرد و بحث را در این زمینه پیش برد.

#### ۴- منابع

- Amiri, A., Moslemi, A., & Doroudyan, M. H. (2015). Robust economic and economic-statistical design of EWMA control chart. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78, 511-523.
- Begun, A., Kulinskaya, E., & MacGregor, A. J. (2019). Risk-adjusted CUSUM control charts for shared frailty survival models with application to hip replacement outcomes: a study using the NJR dataset. *BMC medical research methodology*, 19(1), 1-15.
- Brunelli, M., & Fedrizzi, M. (2024). Inconsistency indices for pairwise comparisons and the Pareto dominance principle. *European Journal of Operational Research*, 312(1), 273-282.

- Ding, N., He, Z., Shi, L., & Qu, L. (2021). A new risk-adjusted EWMA control chart based on survival time for monitoring surgical outcome quality. *Quality and Reliability Engineering International*, 37(4), 1650-1663.
- Doosti, A., & Rezaie Moghadam, S. (2022). Presenting a multi-objective mathematical model of multi-product and multi-stage fuzzy production planning for several periods in Gamz software. *Journal of Strategic Management in Industrial Systems*, 59(59), 99-112. (In Persian).
- Ghodha, V., Dubey, R., Kumar, R., Singh, S., & Kaur, S. (2022). Selection of industrial arc welding robot with TOPSIS and Entropy MCDM techniques. *Materials Today: Proceedings*, 50, 709-715.
- Duncan, A. J. (1956). The economic design of X charts used to maintain current control of a process. *Journal of the American statistical association*, 51(274), 228-242.
- Forozandeh, M., & Roozbahani, M. (2023). Selecting the portfolio of construction projects with a life cycle approach using DEMATEL and TOPSIS Fuzzy techniques (Sarchesmeh Mehrkariman Company). *Journal of Strategic Management in Industrial Systems*, 17(62), 37-54. (In Persian).
- Katebi, M., & Pourtaheri, R. (2019). An economic statistical design of the Poisson EWMA control charts for monitoring nonconformities. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 89(15), 2813-2830.
- Kim, J. S., Choi, M., Kim, S. H., Choi, S. H., & Kang, C. M. (2022). Safety and feasibility of laparoscopic pancreaticoduodenectomy in octogenarians. *Asian Journal of Surgery*, 45(3), 837-843.
- Lee, M. H., Khoo, M. B., Haq, A., & Chew, X. (2023). Economic-statistical design of the variable sampling interval Poisson EWMA chart. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 52(5), 2139-2150.
- Liu, L., Lai, X., Zhang, J., & Tsung, F. (2018). Online profile monitoring for surgical outcomes using a weighted score test. *Journal of Quality Technology*, 50(1), 88-97.
- Lorenzen, T. J., & Vance, L. C. (1986). The economic design of control charts: a unified approach. *Technometrics*, 28(1), 3-10.
- Lu, S. L., & Huang, C. J. (2017). Statistically constrained economic design of maximum double EWMA control charts based on loss functions. *Quality Technology & Quantitative Management*, 14(3), 280-295.
- Mohammadian, F., Niaki, S. T. A., & Amiri, A. (2016). Phase-I risk-adjusted geometric control charts to monitor health-care systems. *Quality and Reliability Engineering International*, 32(1), 19-28.
- Mustafa, F., Sherwani, R. A. K., & Raza, M. A. (2023). A new exponentially weighted moving average control chart to monitor count data with applications in healthcare and manufacturing. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 93(18), 3308-3328.
- Nasiri Pour, A., Azizi, A., Rahimzadeh, A., Ershadi, M. J., & Zeinalnezhad, M. (2024). Designing a Log-Logistic-Based EWMA Control Chart Using MOPSO and VIKOR Approaches for Monitoring Cardiac Surgery Performance. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 7(1), 342-363.
- Ghafour, K. (2024). Multi-objective continuous review inventory policy using MOPSO and TOPSIS methods. *Computers & Operations Research*, 163, 106512.
- Niaki, S. T. A., Malaki, M., & Ershadi, M. J. (2011). A particle swarm optimization approach on economic and economic-statistical designs of MEWMA control charts. *Scientia Iranica*, 18(6), 1529-1536.
- Parsa, M., & Van Keilegom, I. (2023). Accelerated failure time vs Cox proportional hazards mixture cure models: David vs Goliath?. *Statistical Papers*, 64(3), 835-855.

- Rafiei, N., Asadzadeh, S., & Niaki, S. T. A. (2021). Multi-objective design of risk-adjusted control chart in healthcare systems with economic and statistical considerations. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 52(7), 2667-2984.
- Rafiei, N., & Asadzadeh, S. (2022). Designing a risk-adjusted CUSUM control chart based on DEA and NSGA-II approaches A case study in healthcare: Cardiovascular patients. *Scientia Iranica*, 29(5), 2696-2709.
- Saniga, E. M. (1989). Economic statistical control-chart designs with an application to and R charts. *Technometrics*, 31(3), 313-320.
- Sego, L. H., Reynolds Jr, M. R., & Woodall, W. H. (2009). Risk-adjusted monitoring of survival times. *Statistics in medicine*, 28(9), 1386-1401.
- Serel, D. A. (2009). Economic design of EWMA control charts based on loss function. *Mathematical and Computer Modelling*, 49(3-4), 745-759.
- Xue, L., Wang, Q., Li, C., & An, L. (2023). Economic design of residuals MEWMA control chart with variable sampling intervals and sample size. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 1-22.
- Yeganeh, A., Chukhrova, N., Johannssen, A., & Fotuhi, H. (2023). A network surveillance approach using machine learning based control charts. *Expert Systems with Applications*, 219, 119660.



## **Multi-Objective Design of Risk-Adjusted Exponentially Weighted Moving Average Control Chart to Monitor Patients' Survival Time Using Decision-Making Techniques**

**Amir Nasiri Pour**

Ph.D. Candidate, Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Amir Azizi** (Corresponding Author)

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

E-mail: [azizi@srbiau.ac.ir](mailto:azizi@srbiau.ac.ir)

**Ayub Rahimzadeh**

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

**Mohammad Javad Ershadi**

Associate Professor, Department of Information Technology, Iranian Research Institute for Information Science and Technology (IranDoc), Tehran, Iran

**Masoomeh Zeinalnezhad**

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### **Abstract**

In recent years, much attention has been paid to the development of control charts for monitoring healthcare systems. Based on this, the aim of this paper is to design a multi-objective risk-adjusted exponentially weighted moving average control chart in order to detect decreasing changes in patients' survival time. Before undergoing surgery, patients have various risk factors that affect the surgical process. Therefore, risk adjustment in the design of the proposed control chart is done with the aim of considering the effect of the preoperative risk factors of each patient on his survival time and using the accelerated failure time model. In order to use the proposed control chart, it is necessary to determine the design parameters in such a way that the desired economic and statistical properties are satisfied simultaneously. As a result, a multi-objective model is proposed, which is solved by a two-stage approach based on the Pareto optimization and the TOPSIS technique. The performance of the proposed approach has been investigated in one of the medical centers of Kermanshah city, and a comparison with the pure economic design model for the multi-objective design model in the presence of multiple assignable causes has also been considered. By increasing the cost by a small amount, it shows more favorable and better statistical performance. In this paper, a new approach of the multi-objective problem for the statistical economic design of the risk-adjusted control chart has been modeled according to its application in healthcare systems.

**Keywords:** Control Chart, Exponentially Weighted Moving Average, Pareto Optimization, Risk Adjustment, TOPSIS.