

پایش نرخ مرگ و میر جراحی قلب با استفاده از نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی دوگانه‌ی تعدیل ریسک شده

کریم آتشگر* (دانشیار)

عطیه النجری (کارشناس ارشد)

دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۹
دوری ۱، شماره ۱/۲، ص. ۶۱-۷۵

بر اساس تحقیقات انجام شده استفاده از روش‌های کنترل فرایند آماری، می‌تواند در ارتقای کیفیت فرایندهای جراحی نقش مهمی را ایفا کند. از آنجایی که شرایط بیماران، قبل از عمل جراحی، با یکدیگر متفاوت است، استفاده از نمودارهای کنترل تعدیل ریسک شده با در نظر گرفتن شرایط و ریسک قبل از عمل جراحی بیماران، از سوی محققان مورد تأکید قرار گرفته است. در استفاده از نمودارهای کنترل در فرایندهای جراحی، میزان حساسیت نمودارها در کشف تغییرات نسبت شانس مرگ بیماران، از اهمیت بالایی برخوردار است. این تحقیق برای نخستین بار نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی دوگانه تعدیل ریسک شده (RADEWMA) را برای پایش نرخ مرگ و میر بیماران پیشنهاد می‌کند. تجزیه و تحلیل کتی این تحقیق بر اساس شاخص طول متوسط دنباله (ARL) برای جراحی قلب نشان می‌دهد که نمودار تعدیل ریسک شده‌ی پیشنهادی، در مقایسه با دیگر نمودارهای تعدیل ریسک شده‌ی موجود در پژوهش‌ها، از حساسیت بالاتری برخوردار است.

واژگان کلیدی: کنترل فرایند آماری، نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی دوگانه‌ی تعدیل ریسک شده، متوسط طول دنباله، جراحی قلب.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر روش‌های کنترل فرایند آماری (SPC)^[۱] به طور وسیع در حوزه‌ی بهداشت و درمان مورد توجه قرار گرفته است. کنترل فرایند آماری، به گروه‌های پزشکی و پرستاری واحدهای بهداشت و درمان کمک می‌کند که با استفاده از روش‌های آماری، فرایندهای درمانی یا عواملی را که در فرایندهای درمانی تأثیر گذارند، کنترل کنند. برای نمونه، SPC توانسته است به منظور ارزیابی اثرات تغییرات در فرایند^[۱]، شناسایی بخش‌هایی از مراقبت‌های بهداشت و درمان که نیاز به بهبود دارند،^[۲] پیش‌بینی عملکردهای مراقبتی و درمانی،^[۳] کمک به گروه پزشکی در تصمیم‌گیری بهتر^[۴] استفاده شود. مورتن و همکاران،^[۵] با نظارت بر میزان عفونت‌های بیمارستانی دیدگاه‌هایی را که منجر به بهبود روش‌های استاندارد پاک‌سازی و تشخیص سریع شیوع بیماری می‌شود، ارائه کردند. همچنین بنتی و همکاران،^[۶] متغیر مدت زمان ورود بیمار به بیمارستان تا تزریق ترامپوتیک برای درمان بیماران مواجه با حمله‌ی قلبی را ارزیابی و تجزیه و تحلیل کردند و با کاهش محدوده‌ی زمانی به الگوی پایدار و با ثباتی رسیدند. آتشگر و النجری،^[۷] در یک بررسی جامع، مرایای متعدد استفاده از SPC را در فرایندهای جراحی و درمان معرفی کرده‌اند. در یک جمع‌بندی، در بخش

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۳/۱۳، اصلاحیه ۱۳۹۸/۷/۲۵، پذیرش ۱۳۹۸/۹/۲۳.

DOI:10.24200/J65.2019.53181.1980

بهداشت و درمان، مشخصه‌های کیفی متفاوتی وجود دارند که می‌توانند متناسب با راهبردهای یک مرکز درمانی پایش شوند. زمان انتظار بیماران در بخش‌های مختلف کلینیکی، میزان رضایت بیماران، مدت زمان ورود بیماران تا ارائه‌ی خدمات اورژانسی، میزان عفونت بخش‌های مراقبت‌های ویژه، خطاهای تجویز دارو، نرخ مرگ و میر، میزان عوارض و پیامدهای نامطلوب پس از خدمات بهداشتی و درمانی، از جمله مهم‌ترین متغیرهایی هستند که نظارت و مطالعه‌ی دقیق آنها منجر به پیشرفت قابل توجهی در کیفیت می‌شود.^[۸]

به کارگیری نمودارهای کنترل آماری برای تحت کنترل درآوردن مشخصه‌های یک عمل جراحی، باید با توجه به شرایط ویژه‌ی حاکم بر داده‌ها انجام شود. در حقیقت نتایج حاصل از پایش عوامل (مانند نرخ مرگ و میر بیماران پس از عمل جراحی) علاوه بر عملکرد جراح و کیفیت مراقبت‌های بهداشتی و درمانی بیمارستان، به شرایط عمومی بیمار نظیر سن، جنسیت، فشار خون و دیگر عوامل نیز بستگی دارد. برای آن‌که با توجه به این عوامل، شرایط واقعی‌تری توسط یک آماره در پایش فرایندهای جراحی استفاده شود، استفاده از تعدیل ریسک، در پیشینه‌ی موضوع معرفی شده است. روش‌های تعدیل ریسک، در واقع موجب می‌شود که تفاوت بیماران در پایش عملکردهای فرایند درمانی مورد توجه قرار گیرد. بدین ترتیب، تغییرات یا خطاها پس از اعمال تعدیل ریسک، با فرض تصادفی بودن خطاها در کیفیت مراقبت‌های

پزشکی مورد توجه قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر می‌توان گفت اگر عوامل ریسک بیمار، کنترل شود، اندازه‌گیری پیامدها، معیار مناسبی برای ارزیابی کیفیت درمان و مراقبت‌های بهداشتی در مراکز درمانی است.^[۹]

با توجه به آن‌که نرخ مرگ و میر بیماران از قوانین درمانی و کیفیت مراقبت‌های پس از جراحی، تأثیر می‌پذیرد، نرخ مرگ و میر یکی از شاخص‌های مورد تأکید در تحقیقات بهداشت و درمان، برای پایش کیفیت فرایندهای درمانی محسوب می‌شود. به طوری که برای پایش نرخ مرگ و میر و ارزیابی عملکرد مراکز پیوند کبد و کلیه،^[۱۰] جراحی بای‌پس عروق کرونری،^[۱۱] جراحی‌های شریانی آنوریسم آئورت،^[۱۲] جراحی مری و معده،^[۱۳] جراحی ترمیم پارگی آنوریسم آئورت شکمی،^[۱۴] جراحی هیستریکتومی لاپاروسکوپیک،^[۱۵] درمان نوین اندووسکولار،^[۱۶] سیستم فوریت‌های پزشکی،^[۱۷] از انواع نمودارهای کلاسیک تعدیل ریسک شده استفاده کردند.

تاکنون بررسی جامعی مبنی بر مشخص کردن بهترین نمودار کنترل کیفیت برای پایش شاخص نرخ مرگ و میر بیماران طی ۳۰ روز پس از جراحی انجام نشده است. این مقاله درصدد است که با دو بار استفاده از آماره‌ی میانگین متحرک موزون نمایی و در نظر گرفتن ریسک قبل از عمل جراحی، آماره‌ی جدیدی را به نام میانگین متحرک موزون نمایی دوگانه‌ی تعدیل ریسک شده برای نخستین بار در پایش فرایند جراحی قلب معرفی کند. تجزیه و تحلیل‌های آماری این مقاله نشان می‌دهد که این رویکرد از حساسیت بالاتری نسبت به نمودارهای موجود در پژوهش‌های پیشین برخوردار است. این مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است، در بخش دوم، پس از بیان مفهوم تعدیل ریسک و مدل‌های معتبر آن در برآورد احتمال مرگ و میر، به معرفی نمودارهای کنترل کلاسیک تعدیل ریسک شده پرداخته می‌شود، در بخش سوم، نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی دوگانه‌ی تعدیل ریسک شده پیشنهادی معرفی می‌شود. بخش چهارم این مقاله به ارزیابی عملکرد نمودار پیشنهادی در پایش مرگ و میر جراحی قلب اختصاص دارد. در نهایت، قسمت پایانی این مقاله به نتیجه‌گیری از تحقیق انجام شده می‌پردازد.

۲. مروری بر پیشینه‌ی موضوع

۲.۱. تعدیل ریسک در بخش بهداشت و درمان

در ارزیابی کیفیت فرایندهای درمانی در یک مرکز پزشکی عواملی مانند: (۱) پیامدهای فرایند (۲) ویژگی‌های بیماران تحت درمان (۳) کیفیت مراقبت‌های بهداشتی و درمانی و (۴) پیامدهای تصادفی مؤثر هستند. ایززونی،^[۲۰] اظهار کرد که ارزیابی معنی‌دار پیامدهای مراقبت‌های درمانی و بهداشتی بیماران، مستلزم اندازه‌گیری صحیح و دقیق آنها و ایجاد راهی برای تعدیل ریسک بیماران است. زیرا بیمارانی که در مراکز پزشکی تحت درمان قرار می‌گیرند به دلیل داشتن ویژگی‌های متفاوت مانند سن، جنس، سابقه‌ی بیماری دایب و غیره جامعه‌ی ناهمگونی را تشکیل می‌دهند. از این رو احتمال بروز پیامدهای متفاوت پس از هرگونه مراقبت‌های بهداشتی و درمانی نه تنها به میزان کیفیت عملکرد گروه پزشکی، بلکه به ویژگی‌ها یا ریسک‌های پیش از عمل فرد بیمار نیز بستگی دارد؛^[۹] به این ترتیب، روش‌های تعدیل ریسک، تفاوت بیماران را در وقوع پیامدهای مختلف حذف می‌کنند. به عبارت دیگر، تغییرات خطاها پس از اعمال تعدیل ریسک، فقط مربوط به کیفیت مراقبت‌ها و عملکرد گروه درمان است. بنابراین، می‌توان گفت که اگر عوامل ریسک بیماران، کنترل شود، اندازه‌گیری پیامدها، معیار مناسبی برای ارزیابی کیفیت درمان و مراقبت‌های بهداشتی در مراکز درمانی است.^[۹]

به منظور تعدیل ریسک داده‌ها و به دست آوردن جامعه‌ی همگن، روش‌های تعدیل ریسک متفاوتی از سوی محققان بر اساس موضوع مورد بررسی، معرفی شده است. برآورد احتمال سقوط بیماران،^[۲۱] پیش‌بینی سطح هموگلوبین گلیکوزیله در بیماران دیابتی^[۲۲] و برآورد احتمال مرگ بیماران از موضوعات مورد توجه محققان بوده است. با توجه به اهمیت نظارت بر مرگ و میر بیماران، روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی خطر مرگ بیماران بر اساس عوامل خطر ساز مرتبط با بیماری که از لحاظ پزشکی معنی‌دار هستند در بخش‌های مختلف بهداشتی و درمانی ارائه شده است. برای برآورد احتمال مرگ و میر پس از جراحی قلب باز مدل نمره‌گذاری پارسونز،^[۲۳] یورواسکور^[۲۴] و برای برآورد احتمال مرگ و میر در بخش مراقبت‌های ویژه روش نمره‌دهی سوفیا،^[۲۵] روش‌های نمره‌دهی آپاچی^[۲۶] و روش نمره‌دهی برای نوزادان نارس CRIB^[۲۷] و برای بیماران مبتلا به تروما روش نمره‌دهی MGAP^[۲۸] و GAP^[۲۹] از مهم‌ترین روش‌های تعدیل ریسک در برآورد احتمال مرگ هستند. وودال و همکاران^[۲۹] بیان می‌کنند که اغلب مدل‌های لجستیک (که دارای متغیر پاسخ دودویی‌اند)، می‌توانند برای تعدیل ریسک سطوح بیماران استفاده شوند. اگر π_{ij} احتمال وقوع یک رخداد نامطلوب خاص، مانند مرگ بیمار i ام در بیمارستان j ام باشد، مدل رگرسیون لجستیک برای احتمال وقوع مرگ، طی یک مدت مشخص پس از جراحی، به صورت معادله‌ی ۱ تعریف می‌شود.^[۳۰] در این معادله، X_{vij} عامل ریسک v ام، برای بیمار i ام، در بیمارستان j ام است به طوری که $i = 1, 2, 3, \dots$ و $j = 1, 2, 3, \dots, k$ و $v = 1, 2, 3, \dots, m$ است. واضح است که m نشان‌دهنده تعداد ریسک عامل‌های مؤثر و قابل اندازه‌گیری برای درمان بیماران و k بیان‌گر تعداد بیمارستان‌های ارائه‌کننده‌ی خدمات درمانی تحت بررسی است؛ همچنین در معادله‌ی ۱، $H_h = (h = 1, \dots, k - 1)$ یک متغیر نشان‌گر است. اگر بیمار i ام در بیمارستان j ام تحت درمان باشد، این مقدار برابر ۱ می‌شود و در غیر این صورت مقدار صفر را به خود اختصاص می‌دهد. در این جا k امین بیمارستان به عنوان مرجع است و $\alpha, \delta_h, \beta_v$ پارامترهای معادله‌ی رگرسیون هستند و ε_{ij} خطای تصادفی مدل است.

$$\text{logit}(\pi_{ij}) = \alpha + \sum_{h=1}^{k-1} \delta_h H_h + \sum_{v=1}^m \beta_v X_{vij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

$$\text{logit}(\pi_{ij}) = \ln \left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}} \right) \quad (2)$$

اگر هر کدام از پارامترهای مدل مانند β_v به صورت قابل توجهی از مقدار صفر بیشتر باشند، عامل ریسک v ام به صورت قابل ملاحظه‌ی بر $\text{logit}(\pi_{ij})$ و به موجب آن بر π_{ij} تأثیرگذار است.^[۳۰]

۲.۲. نمودارهای کنترل تعدیل ریسک شده

امروزه روش‌های تعدیل ریسک و نمودارهای کنترل کیفیت آماری به منظور ارتقا و بهبود روش‌های کنترل کیفیت خدمات بهداشتی و درمانی بخش‌های مختلف بیمارستانی ترکیب شده‌اند و نمودارهای کنترل تعدیل ریسک شده را به وجود آورده‌اند. جدول ۱ (صفحه ۵) مطالعات انجام شده با انواع نمودارهای کنترل تعدیل ریسک شده در بخش‌های مختلف بهداشت و درمان را نشان می‌دهد. نمودار مناسب برای به دست آوردن نتایج معنادار به هنگام استفاده از روش‌های آماری یک اقدام مهم و ضروری محسوب می‌شود. داده‌هایی که تجزیه و تحلیل می‌شوند، مهم‌ترین عامل برای انتخاب نمودارها هستند.^[۸]

جدول ۱. مطالعات انجام شده با نمودارهای تعدیل ریسک شده در بخش‌های مختلف بهداشت و درمان.

ردیف	منابع	نوع نمودار	مورد کاوی
۱	عالمی و اولیور ^[۲۱]	نمودار P تعدیل ریسک شده	کنترل میزان سقوط بیماران در خانه‌ی سالمندان
۲	ساسکومار و دوی ^[۲۲]	نمودار \bar{X} تعدیل ریسک شده	پایش و کنترل سطح هموگلوبین گلیکوزیله در بیماران دیابتی نوع دوم
۳	اکسلراد و همکاران ^[۱۱و۱۰]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی	ارزیابی عملکرد مراکز پیوند کلیه و کبد، با در نظر گرفتن شاخص نرخ مرگ و میر
۴	بیلز و مورتون ^[۱۲]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی	ارزیابی و عملکرد جراحی‌های شریانی (آنوریسم آئورت) بر اساس نرخ مرگ و میر بیماران
۵	کالینز و همکارانش ^[۱۵]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی	ارزیابی عملکرد جراحی مری و معده
۶	مورتون همکارانش ^[۵]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده به صورت جمع تجمعی مشاهدات - انتظارات	نظارت بر عفونت‌های بخش بهداشت و درمان و ارزیابی میزان عفونت‌ها
۷	نویک و همکارانش ^[۳۱]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی	پایش پیامدهای نامطلوب جراحی بای پس عروق کرونر
۸	هریس و همکارانش ^[۱۶]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی	نرخ مرگ و میر زود هنگام بیماران بعد از عمل جراحی ترمیم پارگی آنوریسم آئورت شکمی
۹	مور و همکاران ^[۱۸]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی	ارزیابی نرخ مرگ و میر از طریق درمان نوین اندووسکولار برای بیماران مبتلا به پارگی آنوریسم آئورت شکمی
۱۰	استینر و همکاران ^[۳۲و۱۳]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی	پایش نرخ مرگ و میر پس از جراحی قلب باز
۱۱	لی و همکاران ^[۳۳]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی با استفاده از تعدیل ریسک ناپارامتریک	پایش نرخ مرگ و میر پس از جراحی قلب باز
۱۲	گریگ و اسپیکل هالتر ^[۳۴]	نمودار EWMA تعدیل ریسک شده بر اساس درست‌نمایی خانواده‌نمایی	پایش نرخ مرگ و میر پس از جراحی قلب باز
۱۳	تنگ و گن ^[۱۲]	نمودار EWMA تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی با در نظر گرفتن چندین پیامد پس از جراحی	پایش پیامدهای پس از جراحی قلب باز
۱۴	چن و همکاران ^[۱۹]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت بزرگ‌نمایی نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده به صورت جمع تجمعی مشاهدات - انتظارات	نظارت بر عملکرد فوریت‌های پزشکی با ارزیابی نرخ مرگ و میر و بیماران مواجه با ایست قلبی خارج از بیمارستان
۱۵	تویجسترا و همکاران ^[۳۵]	نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم نسبت درست‌نمایی	نظارت بر عملکرد هیستروکتومی لاپاروسکوپیک
۱۶	کوک ^[۳۶]	نمودار P تعدیل ریسک شده نمودار CUSUM تعدیل ریسک شده بر اساس لگاریتم درست‌نمایی	پایش نرخ مرگ و میر در بخش مراقبت‌های ویژه
۱۷	استینر و جونز ^[۳۷]	نمودار EWMA تعدیل ریسک شده نمودار EWMA تعدیل ریسک شده به روز شونده	پایش زمان زنده ماندن بیماران تحت جراحی قلب باز

که $0 < \lambda < 1$ پارامترهای هموارسازی نمودار تعریف می‌شود. امید ریاضی و واریانس آماری نمودار RAEWMA، به صورت زیر محاسبه می‌شود. (اثبات این بخش را در پیوست ۱ مشاهده کنید).

$$E(RAEWMA_j^R) = EWMA_j^{\hat{E}(R)} \quad (10)$$

$$Var(RAEWMA_j^R) = \lambda^j \sum_{k=1}^j [(\lambda - \lambda)^{(j-k)} \hat{Var}(R_k)] \quad (11)$$

$\hat{E}(R)$ و $\hat{Var}(R)$ مشابه نمودار RAP تعریف می‌شود.

اگر k پارامتر حدود کنترل باشد، بنابراین حدود کنترل برابر است با:

$$\begin{aligned} UCL_j &= \\ EWMA_j^{\hat{E}(R)} &+ k\lambda \sqrt{\sum_{k=1}^j [(\lambda - \lambda)^{(j-k)} \hat{Var}(R_k)]} \\ LCL_j &= \\ EWMA_j^{\hat{E}(R)} &- k\lambda \sqrt{\sum_{k=1}^j [(\lambda - \lambda)^{(j-k)} \hat{Var}(R_k)]} \end{aligned} \quad (12)$$

اگر $\lambda = 1$ ، نمودار RAEWMA به صورت نمودار RAP عمل می‌کند. همچنین زمانی که $\hat{\pi}_j$ برای تمام بیماران یکسان باشد، یعنی تمام بیماران دارای احتمال مرگ یکسان باشند، واضح است که نمودار RAEWMA با نمودار EWMA یکی می‌شود. [۲۶]

ج) نمودار کنترل جمع تجمعی تعدیل ریسک شده (RACUSUM)^۷ همان‌طور که نمودار CUSUM، مقدار تجمعی تفاضل با میانگین را در هر آماره پایش می‌کند، نمودار RACUSUM نیز به پایش مقدار تجمعی تفاضل نرخ مرگ و میر هر نمونه با برآورد مدل تعدیل ریسک می‌پردازد. در تحقیقات انجام شده، نمودار CUSUM کلاسیک در دو شکل یک‌طرفه و دوطرفه معرفی شده است. [۲۹] نمودار CUSUM دوطرفه برای بررسی افزایش در نرخ مرگ و میر از یک آزمون فرض و برای تشخیص کاهش در نرخ مرگ و میر از آزمون فرض دیگری استفاده می‌کند. این دو آماره اغلب هم‌زمان اجرا می‌شود، ولی اگر افزایش یا کاهش در نرخ مرگ و میر، به تنهایی مورد نظر باشد، می‌توان تنها از یک طرف آماره‌ی CUSUM استفاده کرد. آتشگر و النجری^[۷] به تفصیل به بررسی انواع نمودارهای جمع تجمعی تعدیل ریسک شده و تعدیل ریسک نشده برای داده‌هایی از توزیع‌های مختلف پرداخته‌اند. آماره‌ی RACUSUM برای کنترل افزایش و کاهش در نرخ مرگ و میر را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\begin{aligned} C_i^+ &= 0 \\ C_i^+ &= \max[0, (R_i - \hat{E}(R_i)) - K + C_{i-1}^+] \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} C_i^- &= 0 \\ C_i^- &= \min[0, (R_i - \hat{E}(R_i)) - K + C_{i-1}^-] \end{aligned} \quad (14)$$

در این‌جا R_i و $\hat{E}(R_i)$ مشابه نمودار RAP تعریف می‌شود و K مقدار مرجعی است که بر اساس مونتگومری^[۲۸]، نصف میزان تغییر با دلایل در پارامتر تعریف می‌شود.

در نمودار RACUSUM حدود کنترل برابر $H_i = h^* \sigma_i$ است که h پارامتر حدود کنترل، $\sigma_i = \sqrt{Var(R_i)}$ است.

آماره‌ی CUSUM بالا و پایین به ترتیب در زمانی $H_i > C_i^+$ و $C_i^- < -H_i$ مبنی بر افزایش و کاهش نرخ مرگ و میر نسبت به نرخ مرگ و میر پیش‌بینی شده علامت می‌دهند.

در قسمت بعدی، با فرض آن‌که نرخ مرگ و میر از توزیع نرمال پیروی می‌کند، نمودارهای کنترل تعدیل ریسک مناسب برای پایش نرخ مرگ و میر به تفصیل شرح داده شده است.

۱.۲.۲. نمودارهای تعدیل ریسک شده پایش نرخ مرگ و میر الف) نمودار کنترل P تعدیل ریسک شده (RAP)^۵

در مسایل پایش نرخ مرگ و میر بیماران، نمودار کنترل RAP به مقایسه‌ی نرخ مرگ و میر مشاهده شده با نرخ مرگ و میر برآورد شده از مدل‌های تعدیل ریسک می‌پردازد. در نمودار RAP، مشابه نمودار P نرخ مرگ و میر مشاهده شده برای هر نمونه رسم می‌شود، اگر Y_{ij} متغیر پیامد مرگ و زنده ماندن بعد از عمل جراحی قلب برای بیمار j ام در گروه i ام باشد. زنده ماندن بیمار پس از طی ۳۰ روز از جراحی به صورت $Y_{ij} = 0$ و مرگ آن به صورت $Y_{ij} = 1$ تعریف می‌شود، آنگاه برای نمونه‌ی i ام، نرخ مرگ و میر مشاهده شده برابر است با:

$$R_i = \frac{\sum Y_{ij}}{n_i} \quad (3)$$

اگر خطر (احتمال) مرگ بیمار j ام در گروه i ام با استفاده از مدل تعدیل ریسک به صورت $\hat{\pi}_{ij}$ برآورد شود، داریم:

$$\hat{E}(Y_{ij}) = \hat{\pi}_{ij} \quad (4)$$

$$\hat{Var}(Y_{ij}) = \hat{\pi}_{ij}(\lambda - \hat{\pi}_{ij}) \quad (5)$$

پس برای نرخ مرگ و میر پیش‌بینی شده، $\hat{E}(R_i)$ در معادله‌ی ۶ و واریانس آن با فرض استقلال بین احتمال مرگ بیماران به صورت معادله‌ی ۷ به دست می‌آید.

$$\hat{E}(R_i) = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \hat{\pi}_{ij}}{n_i} \quad (6)$$

$$\hat{Var}(R_i) = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \hat{\pi}_{ij}(\lambda - \hat{\pi}_{ij})}{n_i^2} \quad (7)$$

از آن‌جایی که در این نمودار R_i و $\hat{E}(R_i)$ با هم مقایسه می‌شوند، اگر نرخ مرگ و میر به صورت نرمال باشد، حدود کنترل بر اساس نرخ مرگ و میر پیش‌بینی شده، بر اساس معادلات تعریف می‌شود که در آن k پارامتر حدود کنترل است. [۲۶]

$$UCL_i = \hat{E}(R_i) + k\hat{Var}(R_i)$$

$$UCL_i = \frac{\sum \hat{\pi}_{ij}}{n_i} + k\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} \hat{\pi}_{ij}(\lambda - \hat{\pi}_{ij})}{n_i^2}}$$

$$LCL_i = \hat{E}(R_i) - k\hat{Var}(R_i)$$

$$LCL_i = \frac{\sum \hat{\pi}_{ij}}{n_i} - k\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} \hat{\pi}_{ij}(\lambda - \hat{\pi}_{ij})}{n_i^2}} \quad (8)$$

ب) نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمای تعدیل ریسک شده (RAEWMA)^۶

اگر R_j نرخ مرگ و میر برای نمونه‌ی j ام باشد، آنگاه آماره‌ی $EWMA_j^R$ به صورت معادله‌ی ۱۳ تعریف می‌شود.

$$RAEWMA_j^R = \lambda R_j + (\lambda - \lambda)RAEWMA_{j-1}^R \quad (9)$$

۳. روش‌های پیشنهادی: نمودار کنترل میانگین متحرک

موزون نمایی دوگانه‌ی تعدیل ریسک شده

(RADEWMA)^۸

به منظور افزایش حساسیت نمودار EWMA در تغییرات بسیار کوچک میانگین فرایند، نمودار DEWMA برای اولین بار توسط شاما و شاما^[۳۹] معرفی شد.

به کارگیری نمودار DEWMA برای پایش نرخ مرگ و میر سبب می‌شود تا تفاوت شرایط بیماران مورد توجه قرار نگیرد و همان طور که در مقدمه‌ی مقاله بیان شد، به دلیل آن که اعضای جامعه‌ی بیماران از شرایط یکسانی برخوردار نیستند، این نمودار نمی‌تواند به خوبی کیفیت فرایند را پایش کند. این تحقیق با اعمال روش‌های تعدیل ریسک در نمودار DEWMA و معرفی نمودار جدید با عنوان نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی دوگانه‌ی تعدیل ریسک شده (RADEWMA)، شرایط واقعی‌تری را برای پایش کیفیت درمان بیماران براساس شاخص نرخ مرگ و میر فراهم می‌کند.

به علاوه آلفاهنتی^[۴۰] در مورد استواری آماری DEWMA اظهار می‌کند که آماری DEWMA نسبت به فرض نرمال بودن داده‌ها حساس نیست؛ بنابراین، نمودار RDEWMA را می‌توان برای پایش نرخ مرگ و میر به صورت مشاهدات فردی نیز به کار برد.

اگر R_j نرخ مرگ و میر برای گروه زام باشد، آماری $RADEWMA_j^R$ ، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} EWMA_j^R &= \lambda_1 R_j + (1 - \lambda_1) EWMA_{j-1}^R \\ RADEWMA_j^R &= \lambda_2 EWMA_j^R + (1 - \lambda_2) RADEWMA_{j-1}^R \end{aligned} \quad (۱۵)$$

که $0 < \lambda_1 < 1$ و $0 < \lambda_2 < 1$ پارامترهای هموارسازی نمودار تعریف می‌شوند. محمود و وودال^[۴۱] اظهار کردند، عملکرد نمودار DEWMA در زمانی که $\lambda_2 = \lambda_1$ ، بهتر از عملکرد نمودار در زمانی که $\lambda_2 \neq \lambda_1$ نیست.^[۴۰] پس به منظور ساده‌تر شدن مسئله فرض می‌شود که $\lambda_2 = \lambda_1 = \lambda$ است. با این فرض، امید ریاضی و واریانس نمودار RADEWMA به صورت زیر است. (اثبات این بخش را در پیوست ۲ مشاهده کنید.)

$$E(RADEWMA_j^R) = RADEWMA_j^{E(R)} \quad (۱۶)$$

$$\begin{aligned} Var(RADEWMA_j^R) = & \\ \lambda^2 \sum_{k=1}^j (j-k+1)^2 (1-\lambda)^{2(j-k)} Var(R_k) & \end{aligned} \quad (۱۷)$$

نمودار کنترل پیشنهادی میانگین متحرک موزون نمایی دوگانه‌ی تعدیل ریسک شده، زمانی علامت خارج از کنترل صادر می‌کند که مقدار آماری RADEWMA خارج از حدود کنترل زیر باشد. حدود کنترل به صورت زیر محاسبه می‌شود که در آن k پارامتر حدود کنترل است.

$$\begin{aligned} UCL_j &= RADEWMA_j^{E(R_j)} \\ &+ k \lambda^2 \sqrt{\sum_{k=1}^j (j-k+1)^2 (1-\lambda)^{2(j-k)} Var(R_k)} \\ LCL_j &= RADEWMA_j^{E(R_j)} \end{aligned}$$

$$- k \lambda^2 \sqrt{\sum_{k=1}^j (j-k+1)^2 (1-\lambda)^{2(j-k)} Var(R_k)} \quad (۱۸)$$

برای آشنایی بیشتر با نحوه‌ی محاسبه‌ی آماری RADEWMA پیوست ۳ را مشاهده نمایید.

۴. شبیه‌سازی مرگ و میر جراحی قلب

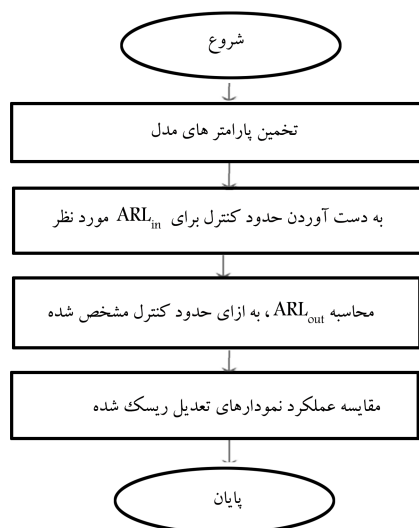
در این تحقیق، برای بررسی عملکرد نمودارهای کنترل تعدیل ریسک شده در پایش نرخ مرگ و میر جراحی قلب، روش شبیه‌سازی از فلوچارت الگوریتم شکل ۱ (صفحه ۸) پیروی می‌کند. در این بخش شبیه‌سازی بر اساس داده‌های استینر و همکاران^[۱۳] صورت گرفته است. داده‌ها شامل ویژگی‌های بیماران مراجعه‌کننده به مرکز جراحی قلب انگلستان و وضعیت مرگ و میر آنها ۳۰ روز پس از عمل جراحی در بین سال‌های ۱۹۹۲ - ۱۹۹۸ است.

گام‌های الگوریتم شبیه‌سازی به شرح زیر است:

- تخمین پارامترهای مدل

از ۲۲۱۸ عمل جراحی، داده‌های استینر و همکاران^[۱۳] که در بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ قرار دارد برای تخمین پارامترهای مدل استفاده می‌شود. این فاصله‌ی زمانی توسط استینر و همکاران^[۱۳] و رسی و همکاران^[۴۲] لی و همکاران^[۴۳] استفاده شده است. از بین بیماران فوق ۱۴۲ نفر در دوره‌ی زمانی ۳۰ روز پس از عمل جراحی، از دنیا رفته‌اند. به عبارت دیگر، نرخ مرگ و میر کلی در سال‌های مورد مطالعه برابر با ۰٫۰۶۴ تحت فرضیه‌ی صفر است.

نرخ مرگ و میر بیماران می‌تواند بر اساس نمونه‌هایی با اندازه‌ی ثابت همچون ۱۰۰ تایی، ۲۰۰ تایی یا می‌توان نمونه‌ها را با فاصله‌ی زمانی مشخص (ماهانه) جمع‌آوری و تقسیم بندی کرد. با نمونه‌هایی به اندازه‌ی ثابت ممکن است جمع‌آوری اطلاعات تا ماه‌ها به طول انجامد. در مقابل استفاده از نمونه‌هایی با طول زمانی ثابت، از لحاظ مدیریتی ساده‌تر انجام می‌گیرد، اما تعداد بیماران در هر ماه متفاوت است و این باعث پیچیدگی



شکل ۱. الگوریتم شبیه‌سازی عملکرد مدل پیشنهادی.

مسئله می‌شود. در این مطالعه تقریباً هر ۱۰۰ بیمار در حدود ۴ هفته تحت جراحی قلب قرار گرفته‌اند. به همین سبب از نمونه‌هایی با اندازه‌ی ۱۰۰ برای تجزیه و تحلیل استفاده شده است. با توجه به نرخ مرگ و میر کلی ۰/۰۶۴، برای گروه‌های بیماران با اندازه‌های $n = ۱۰۰$ و با توجه به این‌که $np > ۵$ و $nq > ۵$ است، می‌توان از تقریب نرمال توزیع دوجمله‌ای استفاده کرد. همچنین در آزمون کولموگراف - اسمیرنوف حاصل معناداری آزمون برای دسته‌بندی‌های ۱۰۰ تایی، ۰/۱۹۱ است که نرمال بودن این توزیع را مشخص می‌کند. (گزارش نرم‌افزار را در پیوست ۴ مشاهده کنید).

در این مقاله به منظور مقایسه‌ی عملکرد نمودارها و به دلیل آن‌که نمودارهای RAP و RACUSUM نسبت به فرض نرمال بودن داده‌ها حساس هستند، نمونه‌هایی با اندازه‌ی ۱۰۰ انتخاب شده است.

برای شبیه‌سازی داده‌ها، برآورد پارامترهای رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی احتمال مرگ هر بیمار با تک‌متغیر توضیحی نمره پارسونیت با استفاده از نرم‌افزار SPSS رابطه‌ی (۲۲) به دست می‌آید: (گزارش نرم‌افزار را به طور کامل در پیوست ۴ مشاهده نمایید).

$$\log it(\pi_t) = 0.79 * X_t - 3.73 \quad (19)$$

به طوری که X_t نمره پارسونیت برای بیمار t ام و π_t احتمال مرگ بیمار t ام بر اساس نمره‌گذاری پارسونیت در زمانی است که فرایند تحت کنترل باشد.

- به دست آوردن حدود کنترل برای ARL_{in} مورد نظر
در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار MATLAB به منظور به دست آوردن مقادیر متداول ۲۰۰، ۳۷۰، ۵۰۰ برای ARL_{in} نمودارهای تعدیل ریسک شده، ۱۰۰۰۰ بار تکرار شبیه‌سازی داده‌ها انجام گرفته است.

با در نظر گرفتن مقادیر متفاوت برای پارامتر k در حدود کنترل نمودارهای RAP، RAEWMA، RADEWMA و پارامتر h در حدود کنترل نمودار RACUSUM، در زمانی‌که داده‌ها تحت کنترل هستند، ARL_{in} و در زمانی‌که داده‌ها خارج از کنترل قرار دارند ARL_{out} به دست می‌آید.

برای تولید عدد تصادفی تحت کنترل، با به کارگیری روش نمونه‌گیری با جای‌گذاری، نمرات پارسونیت تصادفی از میان نمرات پارسونیت بیماران سال‌های ۱۹۹۲ - ۱۹۹۸ تولید شده است. پس از آن، برآورد احتمال مرگ هر یک از نمرات بیماران با استفاده از رگرسیون لجستیک در رابطه‌ی ۱۹ به دست می‌آید و سپس عدد تصادفی برنولی با احتمال مرگ برآورد شده تولید می‌شود. برای به دست آوردن آماره‌ی نمودارهای کنترل تعدیل ریسک شده، با توجه به اندازه‌ی مورد نظر برای هر گروه بیماران، تولید اعداد تصادفی تکرار می‌شود و پس از آن نرخ مرگ و میر، امید ریاضی نرخ مرگ و میر و واریانس آن در صورت نیاز برای محاسبه‌ی آماره و حد کنترل مورد نظر به دست می‌آید.

در این تحقیق نرخ مرگ و میر داده‌ها در گروه‌های بیماران با اندازه‌ی ۱۰۰، متشکل از مجموع موفقیت (مرگ بیمار) آزمایش‌ها در ۱۰۰ بار توزیع برنولی با احتمال مرگ برابر با احتمال مرگ برآورد شده از رگرسیون لجستیک است.

پس از محاسبه‌ی هر آماره، مقدار آن با حدود کنترل متناظر، مقایسه می‌شود. اگر آماره‌ی n ام از حدود کنترل تجاوز کند، مقدار n به عنوان طول دنباله برای هر تکرار

از شبیه‌سازی ذخیره می‌شود. محاسبه‌ی طول دنباله به تعداد تکرار شبیه‌سازی‌های مورد نظر انجام می‌شود و سپس متوسط طول دنباله ARL_{in} ، به ازای پارامتر حد کنترل به دست می‌آید.

- محاسبه‌ی ARL_{out} به ازای حدود کنترل مشخص شده
در این گام به ازای حد کنترل به دست آمده از گام قبل، ARL_{out} محاسبه می‌شود و تعداد تکرارهای شبیه‌سازی مشابه گام قبل است.

همچنین مشابه گام دوم، نمرات پارسونیت به صورت تصادفی تولید می‌شود و احتمال مرگ هر بیمار در زمانی که فرایند تحت کنترل است، با رابطه‌ی ۱۹ برآورد می‌شود.

استیمر و همکاران^[۱۳]، برای نشان دادن تغییر در احتمال مرگ و میر از نسبت شانس استفاده کرده‌اند. نسبت شانس به صورت شانس مرگ در زمانی که فرایند خارج از کنترل قرار دارد به شانس مرگ با توجه به نتایج به دست آمده از مدل تعدیل ریسک تعریف می‌شود. در زمانی‌که فرایند خارج از کنترل قرار گیرد احتمال مرگ به π_{ij}^A تغییر می‌یابد. معادله‌ی ۲۰ نسبت شانس را نشان می‌دهد.

$$OR = \frac{\pi_{ij}^A / 1 - \pi_{ij}^A}{\hat{\pi}_{ij} / 1 - \hat{\pi}_{ij}} \quad (20)$$

$$\pi_{ij}^A = \frac{OR * \hat{\pi}_{ij}}{1 - \hat{\pi}_{ij} + OR * \hat{\pi}_{ij}} \quad (21)$$

با استفاده از رابطه‌ی ۲۱، احتمال مرگ تغییر یافته یا به عبارت دیگر احتمال مرگ خارج از کنترل برای بیمار به ازای مقادیر مختلف نسبت شانس به دست می‌آید و پس از آن، پیامد دودویی توزیع برنولی به صورت تصادفی با احتمال پیروزی بر اساس احتمال مرگ خارج از کنترل تولید می‌شود.

با توجه به اندازه‌ی مورد نظر برای هر گروه بیماران، نرخ مرگ و میر محاسبه و در آماره‌ی نمودار کنترل مورد نظر اعمال می‌شود.

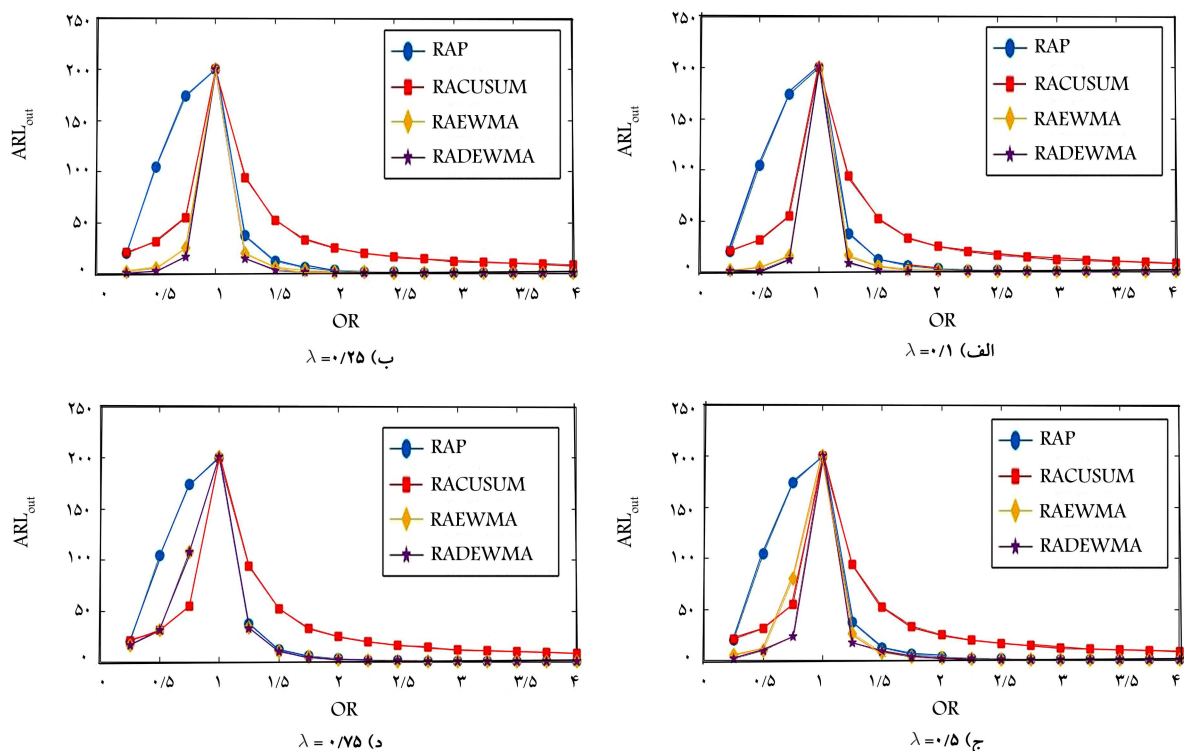
امید ریاضی نرخ مرگ و میر و واریانس آن در صورت نیاز برای محاسبه‌ی حد کنترل آماره‌ی مورد نظر، با استفاده از احتمال مرگ تحت کنترل به دست می‌آید.

پس از این مرحله، طول دنباله مشابه گام دوم و سپس متوسط طول دنباله خارج از کنترل ARL_{out} به ازای پارامتر حد کنترل و ARL_{in} در نظر گرفته شده به دست می‌آید.

- مقایسه‌ی عملکرد نمودارهای تعدیل ریسک شده
در این مرحله با در نظر گرفتن ARL_{in} ثابت برای هر نمودار تعدیل ریسک شده، ARL_{out} برای هر نمودار در مقادیر مختلف نسبت شانس با دیگر نمودارهای تعدیل ریسک شده مقایسه می‌شود.

۵. ارزیابی عملکرد نمودارهای کنترل تعدیل ریسک شده

در این بخش عملکرد نمودار پیشنهادی RADEWMA با نمودارهای کنترل RAP، RAEWMA، RACUSUM برای پیش نرخ مرگ و میر در فرایندهای جراحی قلب مقایسه شده است. در نمودار p تعدیل ریسک شده، علاوه بر روش توضیح داده شده در گام دوم در بخش چهارم، برای به دست آوردن حد کنترل به منظور



شکل ۲. مقایسه‌ی عملکرد نمودارهای تعدیل ریسک شده در تشخیص تغییرات نسبت شانس، بر اساس شاخص متوسط طول دنباله خارج از کنترل و با در نظر گرفتن متوسط طول دنباله‌ی تحت کنترل ۲۰۰، برای مقادیر مختلف.

با در نظر گرفتن خطای تحت کنترل $\alpha = 0.005, 0.0027, 0.002$ و $ARL_{in} = 200, 370, 500$ رابطه‌های ۲۳ و ۲۵، برای نمودار RAP به ترتیب به صورت $k = 2/80703, 2/99773, 3/0923$ است.

برای دیگر نمودارها با استفاده از الگوریتم بخش چهارم، جداول ۲، ۳ و ۴ با در نظر گرفتن به ترتیب $ARL_{in} = 200, 370, 500$ برای مقادیر مختلف نسبت شانس از ۲۵ تا ۴ با گام ۰٫۲۵ نشان داده شده است.

برای وضوح بیشتر نتایج شبیه‌سازی شکل ۲ عملکرد نمودارهای RAP □ RAEWMA □ RADEWMA را در تغییرات نسبت شانس برای مقادیر مختلف $\lambda = 0.1, 0.25, 0.5, 0.75$ برای $ARL_{in} = 200$ نشان می‌دهد.

در شکل ۲ قسمت الف، ب، برای دو نمودار RADEWMA □ RAEWMA، نمودار پیشنهادی $\lambda = 0.1, 0.25$ قرار داده شده است، برای این مقادیر λ ، نمودار پیشنهادی RADEWMA برای تغییرات نسبت شانس $2 \leq OR \leq 0.25$ ، بهتر از سایر نمودارها عمل می‌کند و در شرایط یکسان $ARL_{in} = 200$ ، عملکرد نمودار کمتری دارد. در این حالت از مقادیر λ در مقادیر $OR > 2$ ، عملکرد نمودار RADEWMA و RAEWMA تقریباً یکسان است و برای مقادیر $OR > 2.5$ سه نمودار RAP، RAEWMA، RADEWMA عملکرد تقریباً مشابه دارند.

در قسمت ج شکل ۲، $\lambda = 0.5$ ، برای $OR \leq 1/25$ نمودار RADEWMA عملکرد بهتری نسبت به سایر نمودارها دارد و برای $OR \geq 1/5$ سه نمودار RAP، RAEWMA، RADEWMA عملکرد تقریباً یکسانی دارند.

در قسمت د شکل ۲، برای $\lambda = 0.75$ ، در همه‌ی مقادیر نسبت شانس عملکرد نمودار RADEWMA و RAEWMA تقریباً یکسان است و این دو نمودار

دست‌یابی به ARL_{in} مد نظر روش دیگری با به کارگیری فرمول فلورا^[۲۳] وجود دارد. در این روش احتمال آن‌که نرخ مرگ و میر گروهی از بیماران، خارج از حد کنترل قرار گیرد، توان مشاهده‌ی تام تعریف می‌شود و به صورت زیر است:

$$Power_i = \Phi \left\{ \frac{-k \sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} \hat{\pi}_{ij}(1 - \hat{\pi}_{ij}) + \sum_{j=1}^{n_i} (\hat{\pi}_{ij} - \pi_{ij}^A)}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} \pi_{ij}^A(1 - \pi_{ij}^A)}} \right\} + \left[1 - \Phi \left\{ \frac{k \sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} \hat{\pi}_{ij}(1 - \hat{\pi}_{ij}) + \sum_{j=1}^{n_i} (\hat{\pi}_{ij} - \pi_{ij}^A)}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} \pi_{ij}^A(1 - \pi_{ij}^A)}} \right\} \right] \quad (22)$$

در رابطه‌ی ۲۲، $\Phi()$ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است.

برای به دست آوردن ARL_{in} در نمودار RAP، فرمول ۲۲ برای زمانی‌که $OR=1$ ، محاسبه می‌شود؛ به عبارت ARL_{in} به زمانی اختصاص دارد که احتمال مرگ هر بیمار پس از عمل جراحی مطابق احتمال برآورد شده با توجه به مدل تعدیل ریسک و $\pi_{ij}^A = \pi_{ij}$ است. در این حالت رابطه‌ی ۲۲ برابر می‌شود با:

$$power = \Phi(-k) + 1 - \Phi(k) \quad (23)$$

همچنین کوک^[۲۶] بیان می‌کند که:

$$power = 1 - OC \quad (24)$$

با توجه به مفهوم مشخصه‌ی عملکرد نمودار و متوسط طول دنباله داریم:

$$ARL_{in} = \frac{1}{1 - OC} = \frac{1}{1 - 1 + power} \quad (25)$$

جدول ۲. مقایسه‌ی متوسط طول دنباله خارج از کنترل نمودارهای تعدیل ریسک شده برای مقادیر مختلف نسبت شانس با $ARL_{in} = 200$.

$ARL_{in} = 200$										
OR	RAP	RACUSUM	RAEWMA				RADEWMA			
			$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.25$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.75$	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.25$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.75$
	k=2,807	h=1,02	k=2,47	k=2,78	k=2,8	k=2,80	k=6	k=4,4	k=4,120	k=3,77
0.25	20,297	21,234	1,876	2,265	5,934	16,887	1,019	1,145	2,239	17,286
0.5	104,523	31,683	4,7870	5,727	10,095	33,521	1,393	2,688	10,245	32,567
0.75	173,877	55,312	16,309	25,213	80,422	107,877	12,99	16,88	23,789	108,354
1	199,94	199,98	200,073	200,358	200,073	200,95	200,724	199,688	199,21	200,906
1.25	37,567	93,883	16,63	20,45	26,765	34,154	8,875	15,365	17,758	33,781
1.5	12,873	52,765	6,1460	6,89	8,722	10,611	1,932	3,655	9,211	10,987
1.75	6,373	33,742	3,22	3,73	4,005	5,247	1,254	1,957	3,916	4,777
2	3,61	25,322	2,333	2,48	2,839	3,087	1,133	1,471	2,36	2,764
2.25	2,446	20,312	1,723	1,927	2,018	2,228	1,072	1,234	1,869	2,431
2.5	1,911	17,037	1,502	1,586	1,706	1,721	1,047	1,099	1,406	1,895
2.75	1,547	14,861	1,34	1,387	1,492	1,501	1,013	1,073	1,252	1,579
3	1,367	12,177	1,212	1,266	1,314	1,321	1,011	1,042	1,146	1,329
3.25	1,213	11,482	1,149	1,162	1,229	1,207	1,008	1,018	1,09	1,225
3.5	1,161	10,83	1,081	1,109	1,131	1,147	1,005	1,01	1,046	1,145
3.75	1,098	10,053	1,055	1,082	1,08	1,087	1,002	1,005	1,033	1,091
4	1,045	9,007	1,011	1,034	1,056	1,053	1,00	1,002	1,017	1,068

جدول ۳. مقایسه‌ی متوسط طول دنباله خارج از کنترل نمودارهای تعدیل ریسک شده برای مقادیر مختلف نسبت شانس با $ARL_{in} = 370$.

$ARL_{in} = 370$										
OR	RAP	RACUSUM	RAEWMA				RADEWMA			
			$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.25$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.75$	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.25$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.75$
	k=2,998	h=1,895	k=2,74	k=2,94	k=3,06	k=3,2	k=6,98	k=4,71	k=4,51	k=4,17
0.25	40,257	33,05	2,655	2,905	5,934	16,887	1,044	1,175	3,239	15,086
0.5	124,523	47,052	5,594	7,737	22,095	44,231	1,793	3,688	16,74	41,877
0.75	203,877	68,312	20,695	43,213	102,422	137,877	15,99	21,88	40,789	137,654
1	271,032	370,006	369,7	370,73	369,987	369,862	370,324	370,09	370,154	370,02
1.25	55,567	188,65	20,713	27,45	36,765	54,154	12,875	19,365	32,758	53,781
1.5	20,873	97,93	6,793	7,988	10,022	15,247	3,054	5,065	9,811	15,987
1.75	8,373	52,27	3,789	4,233	5,005	6,087	1,454	2,357	4,916	5,777
2	4,994	43,98	2,644	2,98	3,839	2,777	1,233	1,451	2,664	2,764
2.25	3,112	37,003	1,967	2,167	2,018	2,479	1,172	1,234	1,969	2,431
2.5	2,009	30,187	1,621	1,786	1,806	2,121	1,047	1,13	1,506	1,895
2.75	1,747	25,876	1,409	1,587	1,592	1,601	1,033	1,075	1,282	1,579
3	1,5367	23,098	1,292	1,345	1,394	1,421	1,026	1,035	1,176	1,329
3.25	1,323	20,566	1,19	1,296	1,329	1,397	1,018	1,023	1,114	1,225
3.5	1,181	19,589	1,117	1,167	1,171	1,197	1,009	1,012	1,076	1,195
3.75	1,138	18,234	1,078	1,087	1,138	1,142	1,004	1,004	1,036	1,131
4	1,095	16,987	1,054	1,074	1,086	1,093	1,002	1,003	1,027	1,088

جدول ۴. مقایسه‌ی متوسط طول دنباله خارج از کنترل نمودارهای تعدیل ریسک شده برای مقادیر مختلف نسبت شانس با $ARL_{in} = 500$.

OR	$ARL_{in} = 500$									
	RAP	RACUSUM	RAEWMA				RADEWMA			
			$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.25$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.75$	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.25$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.75$
	k=۳,۰۹	h=۲,۴۹۸	k=۲,۹۰۵	k=۳,۰۹۵	k=۳,۲۳	k=۳,۳	k=۸,۴	k=۵,۱	k=۴,۷	k=۴,۲۹
۰.۲۵	۵۱,۳۴۲	۴۴,۹۸۶	۳,۲۲۴	۴,۱۲۶	۴,۵۱۲	۱۸,۹۷۶	۱,۰۷	۱,۲۳۵	۳,۷۴	۱۷,۰۰۲
۰.۵	۱۷۰,۹۸	۷۶,۰۵۲	۶,۸۷۳	۸,۹۳۷	۲۴,۰۹۵	۴۸,۸۳۱	۳,۴۵۶	۴,۶۸۸	۲۲,۷۴	۴۶,۵۶۷
۰.۷۵	۲۸۷,۸۷۷	۱۳۶,۳۱۲	۲۵,۱۹۵	۵۴,۲۱۳	۱۲۴,۴۲۲	۱۵۲,۸۷۷	۲۰,۵۴	۲۸,۸۸	۵۸,۷۸۹	۱۵۱,۶۵۴
۱	۴۹۹,۷۶۱	۵۰۰,۳۹۲	۴۹۹,۶۴۴	۵۰۱,۰۰۷	۵۰۰,۹۸	۴۹۹,۸۶۴	۴۹۹,۶۶	۵۰۰,۲۲۱	۴۹۹,۴۵۶	۵۰۰,۶۴۲
۱.۲۵	۶۷,۵۶۷	۳۰۶,۰۰۵	۲۳,۸۱۳	۳۴,۴۵	۵۶,۷۶۵	۶۴,۱۵۴	۱۶,۸۷۵	۲۲,۳۶۵	۳۹,۷۵۸	۶۲,۷۸۱
۱.۵	۲۴,۸۷۳	۱۲۸,۹۱۳	۶,۷۹۳	۹,۱۸۸	۱۳,۰۲۲	۲۳,۹۴۷	۴,۹۳۲	۵,۶۵۵	۱۳,۲۱۱	۲۲,۱۸۷
۱.۷۵	۸,۹۴۳	۸۲,۲۰۷	۴,۸۲۵	۵,۲۳۳	۴,۰۰۵	۷,۰۸۷	۱,۸۵۴	۲,۹۵۷	۳,۷۱۶	۵,۷۷۷
۲	۵,۴۳۴	۶۰,۹۲۸	۴,۱۴	۴,۷۳۸	۳,۸۳۹	۵,۳۵۶	۱,۳۳۳	۱,۵۷۱	۲,۳۶	۴,۷۶۴
۲.۲۵	۳,۴۹۲	۴۷,۰۰۳	۲,۲۳۴	۲,۲۶۷	۲,۴۷	۳,۴۷۹	۱,۱۷۲	۱,۲۳۴	۱,۷۶۹	۲,۷۳۱
۲.۵	۲,۲۰۹	۴۰,۱۸۷	۱,۶۹	۱,۹۸۶	۲,۰۱۲	۲,۱۲۱	۱,۱۰۷	۱,۱۴۹	۱,۴۰۶	۱,۸۹۵
۲.۷۵	۱,۸۴۷	۳۵,۸۷۶	۱,۴۷۹	۱,۶۸۷	۱,۷۹۲	۱,۹۰۱	۱,۰۵۳	۱,۰۷۹	۱,۲۵۲	۱,۵۷۹
۳	۱,۶۳۶۷	۳۱,۰۹۸	۱,۳۱۲	۱,۴۴۵	۱,۵۹۴	۱,۵۲۱	۱,۰۲۱	۱,۰۴۸	۱,۱۴۶	۱,۳۲۹
۳.۲۵	۱,۳۶۳	۲۹,۵۶۶	۱,۲۲۹	۱,۲۹۶	۱,۳۲۹	۱,۳۹۷	۱,۰۱۹	۱,۰۲۸	۱,۰۹	۱,۲۲۵
۳.۵	۱,۲۲۱	۲۶,۵۸۹	۱,۱۴۷	۱,۱۸۷	۱,۲۳۱	۱,۲۹۷	۱,۰۱	۱,۰۱۹	۱,۰۴۶	۱,۱۴۵
۳.۷۵	۱,۱۶۸	۲۴,۱۳۴	۱,۱۰۸	۱,۱۴۷	۱,۱۷۸	۱,۱۹۲	۱,۰۰۳	۱,۰۱۵	۱,۰۳۳	۱,۰۹۱
۴	۱,۱۱۵	۲۰,۷۶	۱,۰۵۸	۱,۰۹۴	۱,۱۱۶	۱,۱۲۳	۱,۰۰۵	۱,۰۰۸	۱,۰۳۷	۱,۱۰۶

۶. نتیجه گیری

استفاده از روش‌های کنترل فرایند آماری تعدیل ریسک شده در پایش پیامدهای جراحی قلب، می‌تواند موجب ارتقای کیفیت این فرایند مهم در بخش سلامت جامعه شود. رویکرد تعدیل ریسک، موجب می‌شود که شرایط قبل از عمل جراحی بیماران، در پایش پیامدهای جراحی مورد توجه قرار گیرد. به علاوه، در نمودارهایی که برای فرایند جراحی استفاده می‌شود، حساسیت بالا نسبت به تغییرات، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. این تحقیق به منظور پایش نرخ مرگ و میر بیماران جراحی قلب، نمودار کنترل متحرک موزون نمایی دوگانه‌ی تعدیل ریسک شده را با حساسیت بالا نسبت به تغییرات پیشنهاد داد. تجزیه و تحلیل عملکرد نمودار کنترل تعدیل ریسک شده‌ی پیشنهادی، که برای نخستین بار در بخش سلامت استفاده شده است، نشان داد که این نمودار نسبت به دیگر نمودارها از عملکرد بهتری برخوردار است و بیمارستان‌ها می‌توانند از این نمودار برای پایش عملکرد جراحی استفاده کنند.

نسبت به سایر نمودارها حساس‌تر است، در حالتی که $OR > 2$ سه نمودار RAP، RAEWMA، RADEWMA تقریباً از حساسیت یکسانی برخوردارند.

براساس نتایج حاصل شده از جدول ۲ و شکل ۲، در حالتی که $ARL_{in} = 200$ و $OR = 0.25, 0.5$ و 0.75 نسبت به سایر نمودارها برخوردار است و تقریباً در اولین نمونه، علامت مبنی بر خارج از کنترل قرار گرفتن فرایند می‌دهد. اگر $2 \leq OR \leq 0.75$ نمودار RADWMA برای مقادیر $0.25 \leq \lambda \leq 0.75$ از بهترین عملکرد برخوردار است و در زمانی که $OR > 2$ نمودار RADEWMA در کلیه مقادیر λ ، در اولین نمونه، علامت خارج از کنترل بودن فرایند را صادر می‌کند و از دیگر نمودارها حساس‌تر است.

با این توضیحات، می‌توان گفت به طور کلی در میان نمودارهای تعدیل ریسک شده، نمودار پیشنهادی RADEWMA در تشخیص تغییرات نسبت شانس مرگ از عملکرد بهتری نسبت به سایر نمودارها برخوردار است.

پانویس‌ها

1. statistical process control
2. clinical risk index for babies
3. mechanism, glasgow coma scale, age and arterial pressure
4. glasgow coma scale, age and arterial pressure
5. risk adjusted P
6. risk adjusted exponentially weighted moving average
7. risk adjusted cumulative sum
8. risk adjusted double exponentially weighted moving average

منابع (References)

1. Rollo, J. L. and Fauser, B. A. "Computers in total quality management. Statistical process control to expedite stats", *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, **117**(9), pp. 900-905 (1993).
2. Levett, J. M. and Carey, R. G. "Measuring for improvement: from Toyota to thoracic surgery", *The Annals of Thoracic Surgery*, **68**(2), pp. 353-358 (1999).
3. Shaha, S. H. "Acuity systems and control charting", *Quality Management in Health Care*, **3**(3), pp. 22-30 (1995).
4. Stewart, L. J., Greisler, D. and Feldman, K. J. "Measuring primary care practice performance within an integrated delivery system: a case study", *Journal of Healthcare Management*, **47**(4), pp. 250-262 (2002).
5. Morton, A. P., Clements, A. C., Doidge, S. R. and et al. "Surveillance of healthcare-acquired infections in Queensland, Australia: data and lessons from the first 5 years", *Infection Control & Hospital Epidemiology*, **29**(8), pp. 695-701 (2008).
6. Bonetti, P. O., Waeckerlin, A., Schuepfer, G. and et al. "Improving time-sensitive processes in the intensive care unit: the example of 'doortoneedle time' in acute myocardial infarction", *International Journal of Quality in Health Care*, **12**(4), pp. 311-317 (2000).
7. Atashgar, K. and Alanchari, A. "Improving the quality of surgical and treatment processes using cumulative sum control charts: a comprehensive and applied review", *Iranian journal of surgery*, **25**(1), pp. 100-126 (2017). (In Persian)
8. Woodall, W. H., Adams, B. M. and Benneyan, J. C. "The use of control charts in healthcare Statistical methods in healthcare" In *Statistical Methods in Healthcare*, F.W. Faltin, R.S. Kenett, F. Ruggeri, Ed., 1st Edn., pp. 251-267, Wiley (2012).
9. Matheny, J. G. "Reducing the risk of human extinction", *Risk Analysis: An International Journal*, **7**(5), pp. 1335-1344 (2007).
10. Axelrod, D. A., Guidinger, M. K., Metzger, R. A. and et al. "Transplant center quality assessment using a continuously updatable, risk-adjusted technique (CUSUM)", *American Journal of Transplantation*, **6**(2), pp. 313-323 (2006).
11. Axelrod, D. A., Kalbfleisch, J. D., Sun, R. J. and et al. "Innovations in the assessment of transplant center performance: implications for quality improvement", *American Journal of Transplantation*, **9**(4pt2), pp. 959-969 (2009).
12. Tang, X. and Gan, F. F. "Risk-adjusted exponentially weighted moving average charting procedure based on multi-responses", In *Frontiers in Statistical Quality Control*, **12**, pp. 113-131, Springer (2018).
13. Steiner, S. H., Cook, R. J., Farewell, V. T. and et al. "Monitoring surgical performance using risk-adjusted cumulative sum charts", *Biostatistics*, **1**(4), pp. 441-452 (2000).
14. Beiles, C. B. and Morton, A. P. "Cumulative sum control charts for assessing performance in arterial surgery", *ANZ journal of surgery*, **74**(3), pp. 146-151 (2004).
15. Collins, G. S., Jibawi, A. and McCulloch, P. "Control chart methods for monitoring surgical performance: a case study from gastro-oesophageal surgery", *European Journal of Surgical Oncology (EJSO)*, **37**(6), pp. 473-480 (2011).
16. Harris, K. A. "Risk-adjusted analysis of early mortality after ruptured abdominal aortic aneurysm repair", *Journal of vascular surgery*, **42**(3), pp. 387-e1 (2005).
17. Twijnstra, A. R. H., Kolkman, W., Trimbos-Kemper, G. C. M. and et al. "Implementation of advanced laparoscopic surgery in gynecology: national overview of trends", *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, **17**(4), pp. 487-492 (2010).
18. Moore, R., Nutley, M., Cina, C. S. abd et al. "Improved survival after introduction of an emergency endovascular therapy protocol for ruptured abdominal aortic aneurysms", *Journal of vascular surgery*, **45**(3), pp. 443-450 (2007).
19. Chen, T. T., Chung, K. P., Hu, F. C., and et al. "The use of statistical process control (risk-adjusted CUSUM, risk-adjusted RSPRT and CRAM with prediction limits) for monitoring the outcomes of out-of-hospital cardiac arrest patients rescued by the EMS system", *Journal of evaluation in clinical practice*, **17**(1), pp. 71-77 (2011).
20. Iezzoni, L. I. (Ed.). "Risk Adjustment for Measuring Healthcare Outcomes", Health Administration Press, pp.1-28, Ann Arbor, Michigan (1994).
21. Alemi, F. and Oliver, D. W. "Tutorial on risk-adjusted P-charts", *Quality Management in Healthcare*, **10**(1), pp.1-9 (2001).
22. Sasikumar, R. and Devi, S. B. "Risk adjusted control chart for monitoring hemoglobinA1C level", *International Journal of Statistics and Systems*, **10**(2), pp. 203-208 (2015).
23. Parsonnet, V., Dean, D. and Bernstein, A. D. "A method of uniform stratification of risk for evaluating the results of surgery in acquired adult heart disease" *Circulation*, **79**(6 Pt 2), pp. I3-12 (1989).
24. Nashef, S. A., Roques, F., Michel, P. and et al. "European system for cardiac operative risk evaluation (Euro SCORE)", *European journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **16**(1), pp. 9-13 (1999).
25. Vincent, J. L., Moreno, R., Takala, J. and et al. "The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure", *Intensive Care Medicine*, **22**(7), pp. 707-710 (1996).
26. Knaus, W. A., Wagner, D. P., Draper, E. A. and et al. "The APACHE III prognostic system: risk prediction of hospital mortality for critically III hospitalized adults", *Chest*, **100**(6), pp. 1619-1636 (1991).
27. Lago, P., Freato, F., Bettiol, T. and et al. "Is the CRIB score (Clinical Risk Index for Babies) a valid tool in predicting neurodevelopmental outcome in extremely low birth weight infants?", *Neonatology*, **76**(4), pp. 220-227 (1999).
28. Rahmani, F., Bakhtavar, H. E., Vahdati, S. S. and et al. "Evaluation of MGAP and GAP trauma scores to predict Prognosis of multiple-trauma patients", *Trauma Monthly*, **22**(3), e33249(2017).

29. Woodall, W. H., Fogel, S. L. and Steiner, S. H. "The monitoring and improvement of surgical-outcome quality", *Journal of Quality Technology*, **47**(4), pp. 383-399 (2015).
30. Winkel, P., Zhang, N.F. "Statistical process control in clinical medicine", In statistical methods in healthcare, F.W. Faltin, R.S. Kenett, F. Ruggeri, Ed., 1st Edn., pp. 309-331, New York, NY: Wiley (2012).
31. Novick, R. J., Fox, S. A., Stitt, L. W. and et al. "Direct comparison of risk-adjusted and non-risk-adjusted CUSUM analyses of coronary artery bypass surgery outcomes", *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, **132**(2), pp. 386-391 (2006).
32. k-adjusted-Steiner, S. H., Cook, R. J. and Farewell, V. T. "Risk monitoring of binary surgical outcomes", *Medical Decision Making*, **21**(3), pp. 163-169 (2001).
33. Li, J., Jiang, J., Jiang, X. and et al. "Risk-adjusted monitoring of surgical performance", *PloS one*, **13**(8), e0200915 (2018).
34. Grigg, O. and Spiegelhalter, D. "A simple risk-adjusted exponentially weighted moving average", *Journal of the American Statistical Association*, **102**(477), pp. 140-152 (2007).
35. Twijnstra, A. R., Blikkendaal, M. D., Driessen, S.R. and et al. "Tailor-made proficiency curves in laparoscopic hysterectomy: enhancing patient safety using CUSUM analysis", *Gynecological Surgery*, **11**(4), pp. 235-240 (2014).
36. Cook, D. A. "The development of risk adjusted control charts and machine learning models to monitor the mortality rate of intensive care unit patients", PhD Dissertation, *University of Queensland*, pp. 75-113 (2003).
37. Steiner, S. H. and Jones, M. "Risk-adjusted survival time monitoring with an updating exponentially weighted moving average (EWMA) control chart", *Statistics in medicine*, **29**(4), pp. 444-454 (2010).
38. Montgomery, D. C. "Design and analysis of experiments", *John Wiley & Sons* (2017).
39. Shamma, S. E. and Shamma, A. K. "Development and evaluation of control charts using double exponentially weighted moving averages", *International Journal of Quality & Reliability Management*, **9**(6), pp. 18-25 (1992).
40. Alkahtani, S. S. "Robustness of DEWMA versus EWMA control charts to non-normal processes" *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, **12**(1), pp. 18 (2013).
41. Mahmoud, M. A. and Woodall, W. H. "An evaluation of the double exponentially weighted moving average control chart", *Communications in Statistics—Simulation and Computation*, **39**(5), pp. 933-949 (2010).
42. Rossi, G., Del Sarto, S. and Marchi, M. "A Simple Risk-Adjusted CUSUM chart for monitoring binary health data", In *Proceedings of the 46th Scientific Meeting of the Italian Statistical Society, Rome* (2012).
43. Flora, R. R. "Focus on moral education: A technique for health educators", *Journal of School Health*, **48**(8), pp. 510-511 (1978).

نخست امید ریاضی DEWMA به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned}
 E(DEWMA_j^R) &= E(\lambda EWMA_j^R + (1-\lambda)DEWMA_{j-1}^R) \\
 &= E\left(\lambda \sum_{k=1}^j \left[(1-\lambda)^{j-k} EWMA_k^R\right] + \right. \\
 &\quad \left. (1-\lambda)^j DEWMA_0^R\right) \\
 &= \lambda \sum_{k=1}^j \left[(1-\lambda)^{j-k} E(EWMA_k^R)\right] + \\
 &\quad (1-\lambda)^j DEWMA_0^R \\
 &= \lambda \sum_{k=1}^j \left[(1-\lambda)^{j-k} EWMA_k^{E(R)}\right] + \\
 &\quad (1-\lambda)^j DEWMA_0^R \\
 &= DEWMA_j^{E(R)}
 \end{aligned}$$

همچنین برای واریانس آماره DEWMA، با گسترش بسط آماره DEWMA داریم:

$$\begin{aligned}
 DEWMA_j^R &= [\lambda^t \sum_{k=1}^j (j-k+1)(1-\lambda)^{j-k} R_k] + \\
 &\quad j\lambda(1-\lambda)^j EWMA_0^R + (1-\lambda)^j DEWMA_0^R \\
 \text{و چون } Var(DEWMA_0^R) &= 0 \text{ و } Var(EWMA_0^R) = 0 \text{ پس:} \\
 Var(DEWMA_j^R) &= \lambda^t \sum_{k=1}^j (j-k+1)^t (1-\lambda)^{t(j-k)} Var(R_k)
 \end{aligned}$$

پیوست‌ها

پیوست ۱: اثبات امید ریاضی و واریانس نمودار RAEWMA
با گسترش بسط آماره $EWMA_j^R$ ، امید ریاضی آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned}
 E(EWMA_j^R) &= E(\lambda R_j + (1-\lambda)EWMA_{j-1}^R) \\
 &= E\left(\lambda \sum_{k=1}^j \left[(1-\lambda)^{j-k} R_k\right] + (1-\lambda)^j EWMA_0^R\right) \\
 &= \lambda \sum_{k=1}^j \left[(1-\lambda)^{j-k} E(R_k)\right] + (1-\lambda)^j EWMA_0^R \\
 &= EWMA_j^{E(R)}
 \end{aligned}$$

همچنین برای واریانس داریم:

$$\begin{aligned}
 var(EWMA_j^R) &= var(\lambda R_j + (1-\lambda)EWMA_{j-1}^R) \\
 &= var\left(\lambda \sum_{k=1}^j \left[(1-\lambda)^{j-k} R_k\right] + (1-\lambda)^j EWMA_0^R\right) \\
 &= \lambda^t \sum_{k=1}^j \left[(1-\lambda)^{t(j-k)} var(R_k)\right]
 \end{aligned}$$

پیوست ۲: اثبات امید ریاضی و واریانس نمودار RAEWMA

جدول ۱. پیوست ۳: نمرات پارسونت، وضعیت مرگ و میر و احتمال مرگ بیماران تحت عمل جراحی قلب باز در ژانویه ۱۹۹۲ در مرکز جراحی انگلستان.

ردیف i	نمره پارسونت X_i	وضعیت مرگ و میر Y_i	احتمال مرگ π_i	ردیف i	نمره پارسونت X_i	وضعیت مرگ و میر Y_i	احتمال مرگ π_i
۱	۱۹	۰	۰,۰۹۷۱۷۶۳	۵۱	۷	۰	۰,۰۴۰۰۴۰۵
۲	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷	۵۲	۳	۰	۰,۰۲۹۵۱۲۱
۳	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷	۵۳	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷
۴	۳	۰	۰,۰۲۹۵۱۲۱	۵۴	۷	۰	۰,۰۴۰۰۴۰۵
۵	۱۷	۰	۰,۰۸۶۱۶۹۴	۵۵	۲	۰	۰,۰۲۷۳۳۱۶
۶	۴۰	۰	۰,۳۶۱۲۳۶۸	۵۶	۱۱	۰	۰,۰۵۴۱۱۵۵
۷	۳	۰	۰,۰۲۹۵۱۲۱	۵۷	۲	۰	۰,۰۲۷۳۳۱۶
۸	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷	۵۸	۵	۰	۰,۰۳۴۳۸۹۸
۹	۲	۰	۰,۰۲۷۳۳۱۶	۵۹	۳	۰	۰,۰۲۹۵۱۲۱
۱۰	۵	۰	۰,۰۳۴۳۸۹۸	۶۰	۹	۰	۰,۰۴۶۵۷۴۹
۱۱	۹	۰	۰,۰۴۶۵۷۴۹	۶۱	۱	۰	۰,۰۲۵۳۰۸
۱۲	۳۵	۱	۰,۲۷۵۸۷۸۲	۶۲	۱۵	۰	۰,۰۷۲۷۶۳۱
۱۳	۳۰	۰	۰,۲۰۴۲۴۰۳	۶۳	۱	۰	۰,۰۲۵۳۰۸
۱۴	۲۰	۰	۰,۱۰۴۳۳۱۲	۶۴	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷
۱۵	۱۲	۰	۰,۰۵۸۳۰۴۶	۶۵	۱۳	۱	۰,۰۶۲۷۹۶۶
۱۶	۵	۰	۰,۰۳۴۳۸۹۸	۶۶	۲۶	۰	۰,۱۵۷۶۲۵۹
۱۷	۲۵	۰	۰,۱۴۷۴۱۷۷	۶۷	۵	۰	۰,۰۳۴۳۸۹۸
۱۸	۳	۰	۰,۰۲۹۵۱۲۱	۶۸	۱۱	۰	۰,۰۵۴۱۱۵۵
۱۹	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷	۶۹	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷
۲۰	۲	۰	۰,۰۲۷۳۳۱۶	۷۰	۲	۰	۰,۰۲۷۳۳۱۶
۲۱	۳	۰	۰,۰۲۹۵۱۲۱	۷۱	۸	۰	۰,۰۴۳۱۸۹۸
۲۲	۵	۰	۰,۰۳۴۳۸۹۸	۷۲	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷
۲۳	۷	۰	۰,۰۴۰۰۴۰۵	۷۳	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷
۲۴	۴	۰	۰,۰۳۱۸۶۰۸	۷۴	۲	۰	۰,۰۲۷۳۳۱۶
۲۵	۰	۰	۰,۰۲۳۴۳۰۷	۷۵	۱۶	۰	۰,۰۷۸۲۷۶۳
۲۶	۲	۰	۰,۰۲۷۳۳۱۶	۷۶	۸	۰	۰,۰۴۳۱۸۹۸
۲۷	۳۳	۰	۰,۲۴۵۴۵۵۲	۷۷	۷	۰	۰,۰۴۰۰۴۰۵
۲۸	۲	۰	۰,۰۲۷۳۳۱۶	۷۸	۳	۰	۰,۰۲۹۵۱۲۱
۲۹	۹	۰	۰,۰۴۶۵۷۴۹	۷۹	۲۴	۰	۰,۱۳۷۷۶۲۴

ادامه جدول ۱. پیوست ۳:

۰,۳۱۸۶۰۸	۰	۴	۸۰	۰,۱۵۷۶۲۵۹	۰	۲۶	۳۰
۰,۲۷۳۳۱۶	۰	۲	۸۱	۰,۷۲۷۶۳۱	۰	۱۵	۳۱
۰,۳۴۳۸۹۸	۰	۵	۸۲	۰,۲۳۴۳۰۷	۰	۰	۳۲
۰,۳۱۸۶۰۸	۰	۴	۸۳	۰,۲۷۳۳۱۶	۰	۲	۳۳
۰,۲۷۳۳۱۶	۰	۲	۸۴	۰,۳۱۸۶۰۸	۰	۴	۳۴
۰,۸۴۱۶۹۴	۰	۱۷	۸۵	۰,۳۷۱۱۱۹	۰	۶	۳۵
۰,۳۴۳۸۹۸	۰	۵	۸۶	۰,۹۷۱۷۶۳	۰	۱۹	۳۶
۰,۵۸۳۰۴۶	۱	۱۲	۸۷	۰,۳۱۸۶۰۸	۰	۴	۳۷
۰,۲۵۳۰۸	۰	۱	۸۸	۰,۷۲۷۶۳۱	۰	۱۵	۳۸
۰,۲۳۴۳۰۷	۰	۰	۸۹	۰,۹۰۴۶۲۶	۰	۱۸	۳۹
۰,۲۳۴۳۰۷	۰	۰	۹۰	۰,۲۷۳۳۱۶	۰	۲	۴۰
۰,۲۳۴۳۰۷	۰	۰	۹۱	۰,۲۹۵۱۲۱	۰	۳	۴۱
۰,۲۹۵۱۲۱	۰	۳	۹۲	۰,۴۳۱۸۹۸	۰	۸	۴۲
۰,۲۹۵۱۲۱	۰	۳	۹۳	۰,۲۵۳۰۸	۰	۱	۴۳
۰,۱۲۰۰۴۵۴	۰	۲۲	۹۴	۰,۲۹۵۱۲۱	۰	۳	۴۴
۰,۲۳۴۳۰۷	۰	۰	۹۵	۰,۴۶۵۷۴۹	۰	۹	۴۵
۰,۲۳۴۳۰۷	۰	۰	۹۶	۰,۱۱۱۹۴۷۶	۱	۲۱	۴۶
۰,۴۰۰۴۰۵	۰	۷	۹۷	۰,۶۷۶۰۹۷	۰	۱۴	۴۷
۰,۲۷۳۳۱۶	۰	۲	۹۸	۰,۲۹۵۱۲۱	۰	۳	۴۸
۰,۲۹۵۱۲۱	۰	۳	۹۹	۰,۲۹۵۱۲۱	۰	۳	۴۹
۰,۲۹۵۱۲۱	۱	۳	۱۰۰	۰,۳۴۳۸۹۸	۰	۵	۵۰

جدول ۱. پیوست ۴: آزمون کولوموگراف - اسمیرنوف برای سه نوع دسته‌بندی ماهانه، ۵۰ تایی و ۱۰۰ تایی بیماران.

One – Sample Kolmogorov – Smirnov Test		Monthly	Fifty	Hundred
		۲۴	۴۴	۲۲
Normal Parameters ^{a, b}	Mean	۰,۶۶۹۵۸۳۳	۰,۶۳۶۳۶	۰,۶۳۶۳۶
	Std. Deviation	۰,۳۲۴۳۳۸۵۱	۰,۳۷۶۷۰۰	۰,۲۸۲۰۷۶
Most Extreme Differences	Absolute	۰,۱۶۶	۰,۲۲۰	۰,۲۳۱
	Positive	۰,۱۶۶	۰,۲۲۰	۰,۲۳۱
	Negative	-۰,۱۱۱	-۰,۱۲۹	-۰,۱۱۷
kolmogorov-Smirnov Z		۰,۸۱۴	۰,۴۶۱	۰,۰۸۴
Asymp. Sig. (۲-tailed)		۰,۵۲۲	۰,۰۲۸	۰,۱۹۱

جدول ۱. پیوست ۵: آزمون اوم‌نیوس مدل رگرسیون لجستیک.

		Chi – square	Df	Sig.
Step\	Step	۱۵۸,۷۸۶	۱	,۰۰۰
	Block	۱۵۸,۷۸۶	۱	,۰۰۰
	Model	۱۵۸,۷۸۶	۱	,۰۰۰

جدول ۲. پیوست ۵: جدول ضرایب مدل رگرسیون لجستیک.

	B	S.E.	Wald	Df	Sig.	Exp(B)
parsonnet	۰,۰۷۹	۰,۴۶	۹,۶۸۰	۱	,۰۰۲	۱,۱۵۲
Step ۱ ^a						
Constant	-۳,۷۳	,۷۳۷	۳۱,۴۶۶	۱	,۰۰۰	,۰۶

^aVariable(s) entered on step ۱ : parsonnet.

$$\begin{aligned}
 E(DEWMA_j^R) &= DEWMA_j^{E(R)} \\
 EWMA_1^{E(R)} &= ۰,۱ * ۰,۰۵۳۹۰۲۵۲۹۰۷ + ۰,۹ * ۰,۰۶۴ \\
 EWMA_1^{E(R)} &= ۰,۰۶۲۹۹۰۲۵۲۹۰۷ \\
 DEWMA_1^{E(R)} &= ۰,۱ * ۰,۰۶۲۹۹۰۲۵۲۹۰۷ + ۰,۹ * ۰,۰۶۴ \\
 DEWMA_1^{E(R)} &= ۰,۰۶۳۸۹۹۰۲۵۲۹۰۷
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Var(DEWMA_j^R) &= \lambda^j \sum_{k=1}^j (j-k+1)^2 (1-\lambda)^2 (j-k) Var(R_k) \\
 &= ۴,۷۹۶۷۱۵ * ۱۰^{-۶}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 UCL_j &= DEWMA_j^{E(R_j)} + kVar(DEWMA) \\
 &= ۰,۰۶۳۹۲۷۸۰۵۵۸۰۷ \\
 LCL_j &= DEWMA_j^{E(R_j)} - kVar(DEWMA) \\
 &= ۰,۰۶۳۸۷۰۲۴۵۰۰۰۷
 \end{aligned}$$

چون $LCL_1 < DEWMA_1^R < UCL_1$ ، برای این گروه از بیماران فرایند تحت کنترل است.

پیوست ۴: گزارش نرم افزار SPSS مبنی بر نرمال بودن داده‌ها

در این گزارش برای سه نوع دسته‌بندی داده‌ها به صورت ماهانه، ۵۰ تایی و ۱۰۰ تایی، آزمون کولموگراف - اسمیرنوف انجام شده است. این آزمون در سطح خطای بیش از ۰,۰۵ معنادار است. در جدول ۱، پیوست ۴، مشاهده می‌شود که در میان این سه نوع دسته‌بندی، دسته‌بندی ماهانه و ۱۰۰ تایی، سطح معناداری آزمون به ترتیب ۰,۰۵۲۲ و ۰,۱۹۱ است که نشان می‌دهد دسته‌بندی ماهانه و ۱۰۰ تایی داده‌ها به صورت معناداری از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. اما به دلیل آنکه تعداد بیماران در هر ماه متفاوت است، دسته‌بندی ماهانه باعث پیچیدگی در حل مسئله می‌شود و دسته‌بندی ۱۰۰ تایی برای تجزیه و تحلیل نمودارها استفاده می‌شود.

پیوست ۵: گزارش برآورد پارامتر رگرسیون لجستیک داده‌ها با نرم‌افزار SPSS در رگرسیون لجستیک، نمره‌ی پارسونت هر بیمار به صورت متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. متغیر وابسته احتمال مرگ هر بیمار با توجه به نمره‌ی پارسونت آن است. ارزیابی کل مدل با آزمون اوم‌نیوس، در جدول ۱، پیوست ۵ نشان داده می‌شود. این آزمون به بررسی این موضوع می‌پردازد که مدل (نقش نمره‌ی پارسونت در

پیوست ۳: نحوه محاسبه‌ی نمودار RADEWMA برای یک گروه از بیماران جدول ۱، پیوست ۳ نمرات پارسونت گروه ۱۰۰ تایی از بیماران تحت عمل جراحی قلب باز و وضعیت مرگ و میر آنها ۳۰ روز پس از عمل جراحی را به صورت، ۱: مرگ و ۰: زنده ماندن در ژانویه‌ی ۱۹۹۲ در مرکز جراحی انگلستان نشان می‌دهد. احتمال مرگ با استفاده از فرمول ۲۱ در بخش چهارم، محاسبه شده است.

برای این گروه از بیماران نرخ مرگ و میر و امید ریاضی نرخ مرگ و میر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \sum_{i=1}^{100} \frac{Y_i}{n} = \frac{5}{100} = ۰,۰۵ \\
 E(R_1) &= \sum_{i=1}^{100} \frac{\pi_i}{n} = \frac{۵,۳۹۰۲۵۲۹۰۷}{100} = ۰,۰۵۳۹۰۲۵۲۹۰۷
 \end{aligned}$$

این گروه از بیماران، اولین نمونه درپایش نرخ مرگ و میر است، بنابراین آماره‌ی نمودار DEWMA بر اساس رابطه‌ی ۱۷ و با فرض $DEWMA_0^R = \bar{P} = ۰,۰۶۴$ و $\lambda = ۰,۱$ و $j = ۱$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned}
 EWMA_1^R &= \lambda R_1 + (1-\lambda)EWMA_0^R \\
 DEWMA_1^R &= \lambda EWMA_1^R + (1-\lambda)DEWMA_0^R \\
 EWMA_1^R &= ۰,۱ * ۰,۰۵ + ۰,۹ * ۰,۰۶۴ \Rightarrow \\
 EWMA_1^R &= ۰,۰۶۲۶ \\
 DEWMA_1^R &= ۰,۱ * ۰,۰۶۲۶ + ۰,۹ * ۰,۰۶۴ \Rightarrow \\
 DEWMA_1^R &= ۰,۰۶۳۸۶
 \end{aligned}$$

بنابراین برای گروه بیماران، $DEWMA_1^R = ۰,۰۶۳۸۶$ است.

با فرض $\lambda = ۰,۱$ و $ARL_{in} = ۲۰۰$ بر اساس نتایج شبیه‌سازی به دست آمده در بخش پنجم، پارامتر نمودار کنترل $k=۶$ است. در این صورت با به کارگیری فرمول ۲۰، برای محاسبه‌ی حدود کنترل داریم:

$$Var(R_1) = \sum_{i=1}^{100} \frac{\pi_i(1-\pi_i)}{n^2} = ۰,۰۴۷۹۶۷۱۴۵۶۷$$

در تفسیر نتایج مربوط به معنی داری و میزان تأثیر هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته است. در این جدول B ضرایب رگرسیونی مدل است. با توجه به مقدار B برای متغیر مستقل نمره ی پارسونیت و مقدار ثابت، مدل به صورت $\log it(\pi_t) = 0.079 * X_t - 3.73$ به دست آمده است که X_t نمره ی پارسونیت بیمار tام و π_t احتمال مرگ بیمار است.

طبقه بندی وضعیت مرگ و زندگی بیماران) تا چه اندازه قدرت تبیین و کارایی دارد. با توجه به سطح معنی داری مدل، برازش مدل قابل قبول است و در سطح خطای کمتر از ۰/۰۵ معنی دار است. جدول ۲. پیوست ۵، ضرایب مدل رگرسیون لجستیک است که مهم ترین جدول