کنترل کیفیت جعبه‌های الکتریکی فلزی با استفاده از نمودارهای کنترل مبتنی بر مدل

نوع مطالعه: پژوهشی

شروین اسدزاده[1]، استادیار، نوید رفیعی[2]، دکتری

۱- گروه مهندسی صنایع- دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال – تهران - ایران

Sh_asadzadeh@iau-tnb.ac.ir

۲- دانشکده مدیریت مهندسی - دانشگاه صنعتی کرمانشاه - کرمانشاه - ایران

Navid.rafiei.ie@gmail.com

چکیده: امروزه در صنعت برق از جعبه‌های الکتریکی به منظور نگهداری سیم‌ها و اتصالات به گستردگی استفاده می‌شود. دسته‌ای از انواع این جعبه‌های الکتریکی، جعبه‌های فلزی هستند که در طول زمان ممکن است در معرض زنگ‌زدگی قرار بگیرند. بنابراین، کنترل کیفیت و پایش قابلیت اطمینان در تولید این جعبه‌ها به یک چالش مهم تبدیل شده است که باید مورد توجه قرار گیرد. رویکردهای بسیاری توسط پژوهشگران به منظور کنترل مشخصه‌های کیفی و پایش قابلیت اطمینان محصولات ارائه شده است. در این مقاله، با هدف پایش زمان زنگ‌زدگی جعبه‌های الکتریکی فلزی که تحت سانسورشدگی بازه‌ای قرار دارند، رویکردهای پایشی بر اساس نمودارهای کنترل مبتنی بر مدل‌های رگرسیون پیشنهاد می‌شود. در ادامه، عملکرد رویکردهای پایشی با توجه به شاخص‌های متوسط طول دنباله، زیان درجه دوم اضافی، مقایسه عملکرد و متوسط طول دنباله نسبی مورد مقایسه قرار می‌گیرند که نتایج نشان می‌دهد که نمودار کنترل جمع تجمعی پیشنهادی نسبت به نمودار کنترل رقیب عملکرد بهتری دارد. در پایان، به منظور تایید اثربخشی عملکرد رویکردهای پیشنهادی یک مطالعه موردی در تولید جعبه‌های الکتریکی فلزی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: جعبه‌های فلزی، صنعت برق، زنگ‌زدگی، کنترل کیفیت، قابلیت اطمینان، سانسورشدگی بازه‌ای، نمودارهای کنترل مبتنی بر مدل.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

نام نویسنده مسئول: شروین اسدزاده

نشانی نویسنده مسئول: تهران، حکیمیه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی صنایع.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.8.3]

[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.71]

۱- مقدمه

جعبه تقسیم یکی از تجهیزات صنعت برق است که در صنایع مختلف نیز مورد استفاده قرار گرفته و جایگاهی است که از اتصال یک یا چند سیم که جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهند، محافظت می‌کند. استفاده از جعبه تقسیم به منظور مراقبت از ارتباطات الکتریکی و نیز محافظت در برابر خطرات گوناگون نظیر دمای بالا و آتش‌سوزی امری ضروری است. سیم‌ها از طریق کابل یا لوله برق به انواع این جعبه‌ها وارد شده و با ترمینال‌هایی که در آنها وجود دارد به انشعاب‌های مختلف تقسیم می‌شوند. این جعبه‌ها در گوشه دیوارها و با فاصله‌های مناسب از سقف نصب می‌شوند و بهتر است که درب آنها در دسترس باشد. در ضمن، هیچ یک از سیم‌های برق داخل جعبه به دلیل خطر برق گرفتگی نباید لخت باشند. در کل، جعبه‌های تقسیم در دو نوع روکار و توکار با جنس‌های فلزی و پلاستیکی تولید می‌شوند. اما چالشی که در تولید جعبه‌های فلزی وجود دارد این است که محصولات آنها از قبیل گالوانیزه و آلومینیومی در طول زمان در معرض زنگ‌زدگی قرار می‌گیرند. بنابراین، تمرکز بر زمان زنگ‌زدگی یکی از روش‌های مرسوم برای توصیف قابلیت اطمینان جعبه‌های فلزی است.

قابلیت اطمینان یک سیستم را توان آن سیستم برای انجام عملکرد مورد انتظار تحت شرایط بیان شده و برای مدت زمان خاص تعریف می‌کنند [۱]. در حوزه قابلیت اطمینان، جنبه‌های مختلفی از فرایندهای تولیدی مورد توجه قرار می‌گیرد، اما تمرکز اصلی از دیدگاه کیفیت، آن است که عملکرد فرایند در طول زمان حفظ گردد و بهبود داده شود. حتی تغییرات کوچک در فرایند می‌تواند نشانگر اختلال در کیفیت بدست آمده باشد و باید هر چه سریع‌تر شناسایی و برطرف گردد. بنابراین، کنترل کیفیت جعبه‌های فلزی تحت عنوان پایش داده‌های قابلیت اطمینان به یک چالش مهم تبدیل شده است. نمودارهای کنترل به عنوان مهم‌ترین ابزار کنترل کیفیت، اطمینان می‌دهند تا محصول ارائه شده طی یک فرایند با ثبات و مطابق با مشخصات و استانداردهای کیفیت لازم تولید گردد [۲]. با این حال، ویژگی‌های منحصربه‌فرد داده‌های قابلیت اطمینان، ارائه رویکرد پایش و بنا نهادن نمودارهای کنترل را با مشکل روبه‌رو می‌سازد. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به دو نوع موضوع سانسورشدگی و پیروی از توزیع‌های غیرنرمال شامل خانواده‌های مکان‌مقیاس و لگاریتم مکان‌مقیاس اشاره کرد که جهت مدل‌سازی این داده‌ها، توزیع‌های ویبول، مقدار حدی و لگ‌نرمال به گستردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳].

شرکت‌های بسیاری هستند که آزمایش‌هایی در جهت ارزیابی قابلیت اطمینان محصولات خود انجام می‌دهند. اغلب آزمایش تا زمان خرابی محصول ادامه می‌یابد که در این صورت سانسورشدگی رخ نمی‌دهد. اما به منظور کاهش هزینه‌های آزمایش محصولات و صرفه‌جویی در زمان از موضوع سانسورشدگی[۱] استفاده می‌شود. در واقعیت، گاهی شرایطی وجود دارد که امکان ثبت و اندازه‌گیری دقیق داده‌ها وجود ندارد. در این حالت با موضوع سانسورشدگی مواجه هستیم که دارای انواع مختلف است. سانسورشدگی از راست زمانی اتفاق می‌افتد که خرابی در طول انجام آزمایش رخ ندهد و نتوان عدد دقیقی برای آن ثبت نمود. سانسورشدگی از چپ زمانی اتفاق می‌افتد که خرابی پیش از شروع و بررسی آزمایش رخ بدهد. اما در بسیاری آزمایش‌ها زمان خرابی‌های مورد نظر فقط در نقاط بازرسی‌های دوره‌ای مشخص می‌گردد و در این صورت داده‌ها تحت سانسورشدگی بازه‌ای قرار می‌گیرند. مشاهدات سانسورشدگی بازه‌ای شامل دو حد بالا و پایین سانسور هستند که خرابی مورد نظر در فاصله زمانی این دو حد قرار می‌گیرد، در حالی که از زمان دقیق خرابی مورد نظر اطلاعی در دسترس نیست.

از طرف دیگر، بیشتر فرایندهای تولید محصولات، شامل چندین مرحله است که مشخصه کیفی در هر مرحله به مشخصه‌های کیفی مراحل قبل خود وابسته است و اگر در یک مرحله از فرآیند، محصول از کیفیت مناسبی برخوردار نبود، نمی‌توان نتیجه‌گیری کرد که این کیفیت نامطلوب فقط ناشی از کیفیت نامطلوب فرآیند در آن مرحله است بلکه ممکن است ناشی از کیفیت ضعیف مراحل قبلی باشد. به اینگونه ارتباط که بین مشخصه کیفی هر مرحله با مشخصه‌های کیفی مراحل قبل وجود دارد، ویژگی آبشاری[۲] می‌گویند [۴]. رویکرد مؤثر در چنین فرآیندهایی، مدل کردن ارتباط میان مشخصه‌های کیفی و سپس پایش متغیر کیفی خروجی با در نظر گرفتن اثر متغیرهای ورودی است. بنابراین، برای حل این مسئله نیاز است تا رویکردهای جدید پایش در این زمینه ارائه شود. مدل‌های رگرسیون تحلیل بقا شامل مدل زمان شکست تسریع‌یافته (AFT[۳]) و مدل مخاطره متناسب کاکس (PH[۴]) در زمینه داده‌های قابلیت اطمینان بکار گرفته شده‌اند تا اثر متغیرهای کیفی تأثیرگذار در نظر گرفته شوند [۵].

پژوهشگران بسیاری به مطالعه روش‌های پایش داده‌های قابلیت اطمینان در فرایندهای چندمرحله‌ای در حضور سانسورشدگی و با در نظر گرفتن اثر متغیرهای تأثیرگذار پرداخته‌اند. آتشگر و همکاران [۶] سه رویکرد پایشی تحت سانسورشدگی را به منظور ارزیابی توان شناسایی تغییر در فرآیندهای چندمرحله‌ای برای فاز I پایش پروفایل خطی ساده[۵] با یکدیگر مقایسه کردند که نتایج این مقایسات نشان داد که رویکرد پایشی مبتنی بر T^2 هتلینگ عملکرد بهتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد. بیسواز و کالبفلیچ [۷] یک نمودار کنترل جمع تجمعی (CUSUM[۶]) را بر اساس مدل PH برای پایش متغیرهای خروجی با ماهیت قابلیت اطمینان از نوع پیوسته، ارائه کردند. همچنین آنها روشی برای بدست آوردن متوسط طول دنباله (ARL[۷]) این نمودار پیشنهادی و برخی از نمودارهای زمان گسسته را مورد بررسی قرار دادند. سگو و همکاران [۸] با در نظر گرفتن مدل رگرسیونی AFT نمودار کنترل CUSUM را به منظور پایش مدت زمان بقای بیماران ارائه دادند که این مطالعه تحت سانسورشدگی از راست قرار داشت. اسدزاده و آقایی [۳] نمودار کنترل CUSUM مبتنی بر مدل AFT و دو نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی (EWMA[۸]) بر اساس مقدار ارزش انتظاری را به منظور پایش مشخصه‌های کیفی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.8.3]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.71]

قابلیت اطمینان در فرآیندهای چندمرحله‌ای پیشنهاد دادند که مطالعه آنها در حضور دو نوع سانسورشدگی ثابت و متغیر انجام گرفت. گودرزی و همکاران [۹] برای ایجاد ارتباط بین مشخصه کیفی مربوط به قابلیت اطمینان دارای توزیع لگ‌نرمال با متغیرهای ورودی از مدل AFT استفاده کردند. سپس، دو نمودار کنترل انتخاب عامل انحراف (CSC[۹]) در حضور سانسورشدگی از راست را برای پایش مشخصه کیفی گسترش دادند. اسدزاده و کیادلیری [۱۰] به منظور پایش بر داده‌های قابلیت اطمینان سانسورشده نوع ۲ در فرایندهای دومرحله‌ای یک نمودار CUSUM و دو نمودار EWMA را ارائه کردند. ژو و جسک [۱۱] به منظور تشخیص تغییرات در طول عمرهای میانگین محصولات تحت مکانیزم‌های شکست معین، یک نمودار کنترل EWMA وزنی یک‌طرفه را برای داده‌های ویبول در حضور سانسورشدگی نوع ۱ توسعه دادند. کشاورز و اسدزاده [۵] به منظور در نظر گرفتن همزمان اثرات متغیرهای تأثیرگذار مشاهده شده و مشاهده نشده بر زمان بقای بیماران، مدل‌های AFT و شکنندگی گسسته را ترکیب کردند و در فاز II نمودار کنترل طرح‌های تعدیل ریسک را به کار بردند. در این مطالعه سه روش پایشی CUSUM، EWMA و مبتنی بر حدود احتمال در حضور و عدم حضور سانسورشدگی در نظر گرفته شد. رفیعی و اسدزاده [۱۲] به منظور پایش زمان بقای بیماران تحت جراحی قلب نمودار کنترل CUSUM را گسترش دادند که در این نمودار اثر متغیرهای تأثیرگذار با مدل AFT بر روی زمان بقا تعدیل می‌شود. همچنین، در این مطالعه مکانیزم سانسورشدگی از راست در نظر گرفته شد.

بررسی مرور ادبیات نشان می‌دهد که پژوهش‌های بسیاری در زمینه پایش داده‌های قابلیت اطمینان صورت پذیرفته است. نقطه مشترک در مورد تمام پژوهش‌های انجام گرفته این است که تا کنون پایش داده‌های قابلیت اطمینان تحت سانسورشدگی بازه‌ای و در حضور متغیرهای تأثیرگذار مد نظر قرار گرفته نشده است. در مقاله حاضر به بررسی این نوع داده‌های قابلیت اطمینان و ارائه رویکردی مناسب جهت پایش و کنترل آنها در راستای شناسایی هر چه سریع‌تر تغییرات خواهیم پرداخت. مشخصه کیفی مورد بحث در پژوهش پیشرو، زمان شروع زنگ‌زدگی جعبه‌های الکتریکی فلزی تولیدی است و متغیر تأثیرگذار بر این مشخصه کیفی ضخامت رنگ مورد نظر بر روی جعبه می‌باشد. برای این منظور به عنوان مثال، هر پنج روز از نمونه‌های مورد نظر یک بازرسی انجام شده و اگر در هر یک از نقاط بازرسی پنج روزه زنگ‌زدگی مشاهده شود، آنگاه سانسورشدگی بازه‌ای رخداده است، زیرا از زمان دقیق شروع زنگ‌زدگی اطلاعاتی در دست نیست و تنها می‌دانیم که فرایند زنگ‌زدگی مثلاً در بازه زمانی روز دهم و پانزدهم آغاز شده است. در نتیجه می‌توان به پایش فرایند زنگ‌زدگی جعبه‌های الکتریکی فلزی با استفاده از تحلیل داده‌های سانسورشده پرداخت.

ساختار مقاله بدین صورت سازماندهی شده است: در بخش ۲، فرایند تولید جعبه‌های فلزی، توزیع متغیرها و تابع درستنمایی[۱۰] سانسورشدگی بازه‌ای معرفی شده است. در بخش ۳، رویکردهای پایش پیشنهادی مطرح گردیده است. در بخش ۴، مطالعات شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد نمودارهای کنترل تشریح می‌گردد. همچنین، کاربرد نمودارهای کنترل پیشنهادی توسط مطالعه موردی در بخش ۵ نشان داده شده است و در پایان، نتیجه‌گیری در بخش ۶ آمده است.

۲- بیان مسأله و مدل‌سازی

فرایند تولید جعبه‌های فلزی را در نظر بگیرید که در آن مشخصه کیفی ضخامت رنگ (x) بر مدت زمان زنگ‌زدگی (t) اثر می‌گذارد. به منظور پایش چنین فرآیندهایی، اثر ضخامت رنگ باید بر زمان زنگ‌زدگی در نظر گرفته شود و ارتباط میان این دو مشخصه مدلسازی شود. همچنین، مقادیر مربوط به مشخصه کیفی زمان زنگ‌زدگی دارای سانسورشدگی بازه‌ای است. از آنجا که داده‌ها از جنس قابلیت اطمینان هستند به منظور مدل‌سازی ارتباط مشخصه‌ها، مدل‌های رگرسیون تحلیل بقا نیاز است. در این راستا، دسته‌ای از مدل‌ها با عنوان مدل‌های AFT محبوبیت بالایی دارند که در آنها یک و یا چند عنصر از پارامترهای مدل به کمک تابعی از متغیرهای تأثیرگذار بیان می‌گردد. در حالت کلی، تابعی با شکل مشخص، و اما یک یا چند پارامتر غیرمشخص مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیاز است تا پارامترهای این تابع برآورد شوند [۱۳]. اگر از مدل‌های AFT برای بنا نهادن توابع چگالی احتمال و توزیع تجمعی متغیر زمان زنگ‌زدگی استفاده کنیم، پارامترهای مدل به شکل $\omega_i = q(\beta, x_i)$ نشان داده خواهند شد. q تابع مدل رگرسیون، ω_i برداری از پارامترهای توزیع، β بردار پارامترهای رگرسیونی و x_i بردار متغیرهای تاثیرگذار (ضخامت رنگ) است که بر i اُمین جعبه فلزی و زمان زنگ‌زدگی آن اثر می‌گذارد.

فرض کنید مشخصه کیفی ضخامت رنگ (x) از توزیع نرمال با میانگین μ_x و انحراف استاندارد σ_x پیروی می‌کند و مشخصه کیفی زمان زنگ‌زدگی (t) از توزیع ویبول با پارامتر مقیاس η و پارامتر شکل κ پیروی می‌کند. رابطه (۱) تابع احتمال توزیع ویبول را نمایش می‌دهد:

$$f(t) = \frac{\kappa}{\eta}(\frac{t}{\eta})^{\kappa-1}\exp(-(\frac{t}{\eta})^{\kappa}) \qquad (۱)$$

پارامتر مقیاس توزیع ویبول در این مطالعه به مقادیر کیفی ضخامت رنگ وابسته است. از اینرو، با توجه به مدل AFT این پارامتر به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود که در آن β_0 و β_1 پارامترهای مدل رگرسیونی هستند.

$$\eta = \exp(\beta_0 + \beta_1 x) \qquad (۲)$$

تعداد i نمونه تصادفی ساده با اندازه n از زمان‌های زنگ‌زدگی با توزیع ویبول داریم و $t_{i1}<\ldots<t_{in}$ را نمونه تصادفی مرتب شده از این توزیع در نظر بگیرید. با گرفتن لگاریتم از این داده‌ها توزیع کوچک‌ترین مقدار حدی[۱۱] بدست می‌آید که $\log(t_{i1})<\ldots<\log(t_{in})$ یک

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.8.3]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.71]

نمونه تصادفی مرتب شده از کوچک‌ترین مقدار حدی با پارامترهای مکان و مقیاس است که به ترتیب به صورت $u=\log(\eta)$ و $b=1/\kappa$ تعریف شده‌اند. بنابراین، $z_{i1}<\ldots<z_{in}$ نمونه تصادفی مرتب شده از توزیع کوچک‌ترین مقدار حدی استاندارد (SSEV[۱۲]) است که z_{ij} با $[\log(t_{ij})-u]/b$ برابر است ($j=1,\ldots,n$). تابع چگالی احتمال $f_{ssev}(z)$ و تابع توزیع تجمعی $F_{ssev}(z)$ توزیع کوچک‌ترین مقدار حدی استاندارد به صورت رابطه (۳) است:

$$\begin{aligned} f_{SSEV}(z)&=\exp[z-\exp(z)]\\ F_{SSEV}(z)&=1-\exp[-\exp(z)] \end{aligned} \qquad (۳)$$

تبدیل توزیع ویبول به کوچک‌ترین مقدار حدی استاندارد با هدف منظور کردن ویژگی آبشاری در فرایند تولید در نظر گرفته شد.

همانطور که گفته شد داده‌های این پژوهش دارای سانسورشدگی بازه‌ای هستند. این سانسورشدگی وضعیتی است که متغیر زمان زنگ‌زدگی (t) جعبه‌های الکتریکی فلزی در بازه زمانی معین $[c_l,c_{l+1}]$ که $l=1,\ldots,m$ اتفاق می‌افتد، درحالی که زمان دقیق رویداد مورد نظر مشخص نیست. در شرایط واقعی، c_l و c_{l+1} نقاط از پیش تعیین شده خاص بر روی محور زمان یا همان حدود پایین و بالای سانسورشدگی بازه‌ای در زمان‌های مورد نظر هستند. در این صورت، تابع درستنمایی برای یک نمونه n تایی مستقل به صورت رابطه (۴) بیان می‌گردد:

$$L=\prod_{i=1}^{n} f_{SSEV}(z_i)^{\delta_i}\left(F_{SSEV}(z_i^{(2)})-F_{SSEV}(z_i^{(1)})\right)^{1-\delta_i}$$

and

$$\begin{cases} t_i\le c_1 & z_i=\dfrac{Log(t_i)-u}{b} \quad,\quad \delta_i=1\\ c_l<t_i\le c_{l+1} & \begin{cases} z_i^{(1)}=\dfrac{Log(c_l)-u}{b}\\ z_i^{(2)}=\dfrac{Log(c_{l+1})-u}{b}\end{cases} \quad,\quad \delta_i=0\\ t_i>c_m & z_i=\dfrac{Log(t_i)-u}{b} \quad,\quad \delta_i=1 \end{cases} \qquad (۴)$$

تابع درستنمایی (L) به منظور ساخت نمودار کنترل CUSUM پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- رویکردهای پایش فرایند

در این بخش رویکردهای پایش که شامل نمودارهای یک‌طرفه با حد پایین CUSUM و EWMA می‌باشند به منظور کشف تغییرات کاهشی در میانگین داده‌های قابلیت اطمینان یا همان زمان زنگ‌زدگی در حضور سانسورشدگی بازه‌ای پیشنهاد می‌شوند.

۳-۱- نمودار کنترل CUSUM

همانطور که اشاره شد، در این مقاله به دنبال تشخیص تغییرات کاهشی در زمان شروع زنگ‌زدگی جعبه‌های الکتریکی فلزی خواهیم بود. برای این منظور، یک نمودار کنترل CUSUM یک‌طرفه پیشنهاد داده می‌شود [۳]. آماره این نمودار به صورت رابطه (۵) است:

$$\begin{aligned} &V_i=Min(0,V_{i-1}-W_i), \qquad i=1,2,\ldots\\ &V_0=0 \end{aligned} \qquad (۵)$$

در این رابطه W_i امتیاز CUSUM است که با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$W_i=\log\left(\frac{L(z_i\mid\omega_{i1})}{L(z_i\mid\omega_{i0})}\right) \qquad (۶)$$

در این رابطه $\omega_{i0}=(\eta,\kappa)$ بردار پارامترهای تحت کنترل و $\omega_{i1}=(\alpha\eta,\kappa)$ بردار پارامترهای خارج از کنترل را نشان می‌دهند. پر واضح است که نمودار برای تشخیص سریع تغییرات از ω_{i0} به ω_{i1} طراحی شده است. α ضریب استفاده شده برای تغییر مقدار تحت کنترل پارامتر مقیاس است. در واقع نمودار کنترل CUSUM برای کشف تغییری با مقدار α طراحی شده است. با جایگذاری رابطه (۴) در رابطه (۶) برای لگاریتم درستنمایی و دستیابی به امتیاز CUSUM رابطه (۷) حاصل خواهد شد:

$$W_i=\log\left(\frac{\left[\exp[\frac{Log(t_i)-Log(\alpha\eta)}{b}-\exp(\frac{Log(t_i)-Log(\alpha\eta)}{b})]\right]^{\delta_i}}{\left[\exp[\frac{Log(t_i)-Log(\eta)}{b}-\exp(\frac{Log(t_i)-Log(\eta)}{b})]\right]^{\delta_i}}\right.$$
$$\left.\times\frac{\left(\exp[-\exp(\frac{Log(c_i)-Log(\alpha\eta)}{b})]-\exp[-\exp(\frac{Log(c_{i+1})-Log(\alpha\eta)}{b})]\right)^{1-\delta_i}}{\left(\exp[-\exp(\frac{Log(c_i)-Log(\eta)}{b})]-\exp[-\exp(\frac{Log(c_{i+1})-Log(\eta)}{b})]\right)^{1-\delta_i}}\right) \qquad (۷)$$

پس از دستیابی به امتیاز CUSUM، آماره این نمودار برای هر نمونه به سادگی قابل محاسبه است. به محض اینکه آماره این نمودار از یک مقدار هدف خاص یا یک حد کنترلی تجاوز کند، هشدار خارج از کنترل صادر می‌شود. به دلیل اینکه در این مقاله از یک نمودار CUSUM یک‌طرفه استفاده می‌شود و هدف آن کشف تغییرات کاهشی در میانگین زمان زنگ‌زدگی می‌باشد، باید یک حد پایین کنترل را در نظر بگیریم. در همین راستا، LCL_1 حد پایینی کنترل است و به طریقی انتخاب می‌شود که به یک متوسط طول دنباله تحت کنترل مطلوب برسیم. بنابراین، زمانیکه $LCL_1 > V_i$ باشد نمودار CUSUM پیشنهادی یک هشدار خارج از کنترل را صادر می‌کند.

۳-۲- نمودار کنترل EWMA

پس از ایجاد نمودار CUSUM پیشنهادی، تمرکز اساسی بر توسعه و بنا نهادن نمودارهای کنترل EWMA معطوف می‌گردد. آماره EWMA مرسوم که بر روی مقادیر مشاهده شده تعریف می‌گردد به صورت رابطه (۸) است [۱۴]:

$$Q_i=\lambda z_i+(1-\lambda)Q_{i-1} \qquad (۸)$$

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.8.3]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.71]

در این رابطه λ پارامتر هموارسازی و دارای مقدار ثابتی بین $0 < \lambda \leq 1$ است. مقدار اولیه (Q_0) که در زمان نمونه اول از آن استفاده می‌شود، برابر است با میانگین آماره‌ای که مورد پایش قرار می‌گیرد. با این حال، استفاده از متغیر z که از مقدار t حاصل می‌شود در آماره EWMA منطقی به نظر نمی‌رسد. دلیل آنست که مقدار واقعی متغیر زمان زنگ‌زدگی ممکن است به طور دقیق ثبت نگردد. ایده کلیدی در این حالت این است که به جای تمام مشاهدات سانسور شده، مقادیر ارزش انتظاری شرطی (CEV[۱۳]) آنها جایگزین شوند. وزن‌های CEV متناسب با توزیع پایه متغیر زمان زنگ‌زدگی بدست می‌آیند. در این فرایند، مقادیر CEV توسط رابطه (۹) حاصل می‌شود:

$$\text{for} \quad c_l < t_i \leq c_{l+1}$$

$$CEV_i = E(t \mid c_l < t_i \leq c_{l+1}) = \frac{E(c_l < t_i \leq c_{l+1})}{p(c_l < t_i \leq c_{l+1})} = \frac{\int_{c_l}^{c_{l+1}} tf(t)dt}{\int_{c_l}^{c_{l+1}} f(t)dt} \qquad (۹)$$

بنابراین، برای داده‌های سانسورشده بازه‌ای خواهیم داشت:

$$z_i = \begin{cases} z_i & t_i \leq c_1 \ , \ t_i > c_m \\ \dfrac{Log(CEV_i) - u}{b} & c_l < t_i \leq c_{l+1} \end{cases} \qquad (۱۰)$$

این نمودار نیز زمانی هشدار خارج از کنترل می‌دهد که آماره آن (Q_i) پایین‌تر از حد کنترل تعیین شده (LCL_2) برای آن قرار گیرد.

۴- مطالعات شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد

در این بخش به شبیه‌سازی نمودارهای کنترل پیشنهادی CUSUM و EWMA با در نظر گرفتن پارامترهای هموارسازی ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ پرداخته می‌شود. همچنین، برای فراهم آوری بستری جهت ارزیابی جامع و دقیق در مورد نمودارهای کنترل پیشنهادی، مقایسه آن‌ها به وسیله شاخص متوسط طول دنباله، شاخص زیان درجه دوم اضافی، شاخص مقایسه عملکرد و شاخص متوسط طول دنباله نسبی انجام شده است. لازم به ذکر است، تمامی محاسبات تحت برنامه‌های کد شده در محیط MATLAB نسخه ۲۰۱۶ تسهیل شدند.

۴-۱- شاخص متوسط طول دنباله

طول دنباله را می‌توان به صورت تعداد نمونه‌های لازم تا پی بردن به تغییر در نظر گرفت. معیار مهمی که میانگین این متغیر را نشان می‌دهد، متوسط تعداد نمونه لازم تا پی بردن به تغییر را حساب می‌کند که به آن متوسط طول دنباله (ARL) می‌گویند. در طول شبیه‌سازی انجام شده، حد پایین کنترل نمودارهای کنترل پیشنهادی به گونه‌ای تعیین شده است که به متوسط طول دنباله تحت کنترل تقریباً ۲۰۰ برسیم. به منظور کمینه‌سازی مقدار خطا، شبیه‌سازی ۱۰۰۰۰ بار تکرار شده و مقادیر خطای استاندارد در کنار مقادیر ARL ثبت شده است. همچنین، تغییرات کاهشی در میانگین با اندازه‌های ۲/۵٪، ۵٪، ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ در نظر گرفته شده‌اند. جدول‌های (۱)، (۲) و (۳) عملکرد نمودارهای کنترل را به ازای سانسورشدگی‌های کم (۲۰٪)، متوسط (۵۰٪) و زیاد (۸۰٪) نشان می‌دهند.

۴-۲- شاخص زیان درجه دوم اضافی

شاخص ARL عملکرد نمودار کنترل را به ازای یک تغییر خاص محاسبه می‌کند. به منظور ارزیابی کلی نمودارهای کنترل به ازای همه تغییرات مورد نظر، شاخص زیان درجه دوم اضافی (EQL[۱۴]) مورد استفاده قرار می‌گیرد که رابطه آن به صورت زیر است [۱۵]:

$$EQL = \frac{1}{\delta_{\max} - \delta_{\min}} \int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} \delta^2 ARL(\delta) d\delta \qquad (۱۱)$$

این شاخص برای دو نمودار کنترل پیشنهادی با تعداد شکست‌های متفاوت محاسبه می‌شود. از آنجا که بهترین نمودار کنترل به منظور تشخیص تغییر در میانگین نموداری است که دارای کمترین مقدار EQL است، بنابراین نمودار کنترل CUSUM کاراترین نمودار پیشنهادی است.

۴-۳- شاخص مقایسه عملکرد

شاخص مقایسه عملکرد (PCI[۱۵]) نمودارها را نسبت به بهترین آنها مقایسه می‌کند و به صورت نسبت EQL هر نمودار بر EQL نمودار معیار تعریف می‌شود. نمودار معیار نموداری است که کمترین EQL را دارد. بنابراین، نمودار کنترل معیار دارای PCI برابر با ۱ است و نمودار-های کنترل رقیب مقدار PCI بیشتر از ۱ را دارند [۱۵].

۴-۴- شاخص متوسط طول دنباله نسبی

شاخص متوسط طول دنباله نسبی (RARL[۱۶]) مشابه شاخص PCI است و میانگین نسبت‌های بین ARL یک نمودار کنترل خاص و ARL نمودار کنترل معیار را به ازای همه تغییرات مورد نظر محاسبه می‌کند. مقدار RARL نمودار کنترل معیار برابر ۱ و برای دیگر نمودارهای کنترل بیشتر از ۱ است. این شاخص به صورت رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$RARL = \frac{1}{\delta_{\max} - \delta_{\min}} \int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} \frac{ARL(\delta)}{ARL_{Bench\ Mark}(\delta)} d\delta \qquad (۱۲)$$

مقادیر محاسبه شده شاخص‌های EQL، PCI و RARL نیز برای دو نمودار کنترل CUSUM و EWMA پیشنهادی در جدول‌های (۱)، (۲) و (۳) آمده است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.8.3]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.71]

جدول (۱): مقادیر ARL و خطای استاندارد برای نمودارهای کنترل پیشنهادی در حضور سانسورشدگی ۲۰٪

ضرایب تغییر کاهشی	نمودار کنترل CUSUM			نمودار کنترل EWMA					
				$\lambda = ۰/۰۵$		$\lambda = ۰/۱$		$\lambda = ۰/۲$	
				$LCL_2 = -۰/۹۵۶۰$		$LCL_2 = -۱/۲۵۷۰$		$LCL_2 = -۱/۷۵۱۵$	
	LCL_1	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد
۱		۲۰۰/۴۰۵۰	۱/۷۴۶۶	۲۰۰/۸۹۱۱	۱/۹۸۹۰	۱۹۹/۷۷۰۴	۱/۹۴۴۸	۱۹۹/۵۶۲۵	۱/۹۸۳۲
۰/۹۷۵	-۰/۴۴۶۵	۱۴۸/۱۲۰۵	۱/۱۰۰۳	۱۵۵/۰۷۲۰	۱/۵۱۴۲	۱۶۴/۴۷۹۸	۱/۵۸۸۳	۱۷۴/۴۰۱۲	۱/۷۲۵۸
۰/۹۵	-۰/۸۲۹۵	۱۱۱/۴۴۸۰	۰/۸۰۵۹	۱۲۲/۷۷۹۲	۱/۱۷۶۸	۱۳۷/۴۷۶۶	۱/۳۴۸۰	۱۵۲/۶۰۳۹	۱/۵۰۸۸
۰/۹	-۱/۴۵۶۶	۷۲/۱۳۷۱	۰/۴۷۱۳	۸۰/۳۶۳۱	۰/۷۱۴۰	۹۴/۱۲۵۷	۰/۸۸۷۳	۱۱۶/۵۳۱۷	۱/۱۲۳۲
۰/۸	-۲/۳۵۶۵	۳۶/۴۰۵۴	۰/۲۱۲۵	۳۹/۸۷۸۰	۰/۳۱۱۹	۴۹/۱۱۶۷	۰/۴۳۴۳	۶۸/۱۱۷۵	۰/۶۳۸۸
۰/۷	-۲/۹۶۰۵	۲۱/۵۷۹۸	۰/۱۱۲۰	۲۳/۰۸۳۰	۰/۱۵۲۴	۲۷/۲۸۳۰	۰/۲۱۳۴	۳۹/۵۰۲۳	۰/۳۵۲۸
EQL		۶۴/۵		۷۰/۲		۷۹/۲		۹۲/۱	
PCI		۱		۱/۰۸۸		۱/۲۲۷		۱/۴۲۷	
RARL		۱		۱/۰۸۵		۱/۲۵۲		۱/۵۷۲	

جدول (۲): مقادیر ARL و خطای استاندارد برای نمودارهای کنترل پیشنهادی در حضور سانسورشدگی ۵۰٪

ضرایب تغییر کاهشی	نمودار کنترل CUSUM			نمودار کنترل EWMA					
				$\lambda = ۰/۰۵$		$\lambda = ۰/۱$		$\lambda = ۰/۲$	
				$LCL_2 = -۰/۹۲۸۵$		$LCL_2 = -۱/۲۲۴۵$		$LCL_2 = -۱/۷۲۰۳$	
	LCL_1	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد
۱		۲۰۰/۱۴۱۸	۱/۷۷۵۹	۲۰۰/۷۷۲۱	۱/۹۷۳۰	۱۹۹/۷۳۸۸	۱/۹۵۰۳	۱۹۹/۵۲۲۵	۱/۹۶۰۴
۰/۹۷۵	-۰/۴۳۲۵	۱۵۰/۰۲۴۹	۱/۱۱۴۴	۱۵۶/۶۲۴۷	۱/۵۴۰۲	۱۶۵/۷۳۱۵	۱/۶۱۶۱	۱۷۴/۶۳۳۰	۱/۷۶۶۱
۰/۹۵	-۰/۸۰۸۵	۱۱۵/۶۱۰۳	۰/۸۲۰۹	۱۲۷/۱۷۲۳	۱/۲۱۷۱	۱۴۱/۵۹۹۶	۱/۳۷۲۳	۱۵۷/۰۲۷۲	۱/۵۵۶۹
۰/۹	-۱/۴۲۷۲	۷۴/۳۷۸۳	۰/۴۸۹۸	۸۲/۹۴۰۸	۰/۷۶۰۳	۹۹/۷۸۳۷	۰/۹۵۱۸	۱۲۱/۰۰۲۳	۱/۱۸۶۲
۰/۸	-۲/۲۸۷۰	۳۸/۶۸۵۲	۰/۲۲۴۴	۴۲/۲۴۶۸	۰/۳۴۵۸	۵۲/۶۵۱۳	۰/۴۶۴۹	۷۰/۳۹۴۶	۰/۶۶۹۳
۰/۷	-۲/۸۵۴۵	۲۳/۴۹۱۸	۰/۱۲۱۷	۲۴/۱۲۱۷	۰/۱۷۳۸	۳۰/۲۹۰۲	۰/۲۴۰۸	۴۱/۳۶۹۰	۰/۳۷۴۲
EQL		۶۶/۶		۷۲/۴		۸۲/۱		۹۴/۵	
PCI		۱		۱/۰۸۶		۱/۲۳۳		۱/۴۱۸	
RARL		۱		۱/۰۸۲		۱/۲۶۴		۱/۵۴۵	

جدول (۳): مقادیر ARL و خطای استاندارد برای نمودارهای کنترل پیشنهادی در حضور سانسورشدگی ۸۰٪

ضرایب تغییر کاهشی	نمودار کنترل CUSUM			نمودار کنترل EWMA					
				$\lambda = ۰/۰۵$		$\lambda = ۰/۱$		$\lambda = ۰/۲$	
				$LCL_2 = -۰/۷۷۳۲$		$LCL_2 = -۱/۰۶۴۵$		$LCL_2 = -۱/۵۷۵۷$	
	LCL_1	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد	ARL	خطای استاندارد
۱		۲۰۰/۳۳۶۵	۱/۷۹۵۱	۱۹۹/۵۱۲۴	۱/۹۵۱۳	۱۹۹/۷۶۱۱	۱/۹۷۷۰	۲۰۰/۹۷۲۶	۱/۹۹۳۸
۰/۹۷۵	-۰/۳۷۳۸	۱۵۳/۲۸۴۶	۱/۱۲۱۵	۱۶۸/۸۱۱۰	۱/۶۴۹۷	۱۷۲/۷۷۷۵	۱/۶۸۷۴	۱۷۹/۱۷۲۹	۱/۷۴۱۲
۰/۹۵	-۰/۷۰۲۸	۱۲۴/۸۴۸۳	۰/۸۷۲۶	۱۳۹/۶۷۳۰	۱/۳۶۰۸	۱۵۰/۰۶۶۰	۱/۴۷۶۹	۱۶۱/۷۰۹۷	۱/۶۲۷۲
۰/۹	-۱/۲۳۸۵	۸۶/۴۹۳۲	۰/۵۵۲۳	۱۰۲/۸۲۱۸	۰/۹۶۲۶	۱۱۵/۷۴۳۰	۱/۱۱۱۶	۱۳۰/۷۴۶۱	۱/۲۸۴۸
۰/۸	-۱/۹۶۸۸	۴۸/۶۳۷۹	۰/۲۶۶۱	۵۸/۵۸۱۴	۰/۵۱۵۶	۶۹/۳۱۱۴	۰/۶۵۳۴	۸۶/۸۸۹۸	۰/۸۵۳۳
۰/۷	-۲/۳۹۷۲	۳۲/۰۳۸۹	۰/۱۶۱۹	۳۶/۷۴۶۹	۰/۳۰۱۱	۴۳/۷۷۰۱	۰/۳۸۶۴	۵۶/۶۴۱۸	۰/۵۳۴۳
EQL		۷۳/۶		۸۰/۰		۹۱/۶		۱۰۱/۶	
PCI		۱		۱/۱۴۰		۱/۲۴۳		۱/۳۷۹	
RARL		۱		۱/۱۵۲		۱/۲۹۱		۱/۵۰۶	

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.8.3]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.71]

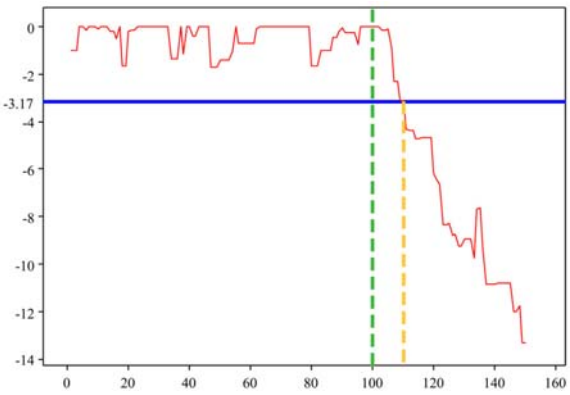
با توجه به نتایج بدست آمده از جدول‌های (۱)، (۲) و (۳) می‌توان بیان نمود که با افزایش درصد سانسورشدگی توان تشخیص نمودارهای کنترل پیشنهادی برای حالت خارج از کنترل به شدت کاهش پیدا می‌کند. همچنین، به ازای درصد سانسورشدگی خاص عملکرد نمودار کنترل CUSUM پیشنهادی به مراتب از نمودار کنترل EWMA با ضرایب هموارسازی متفاوت بهتر است. در مقایسه نمودارهای کنترل EWMA با ضرایب هموارسازی متفاوت می‌توان بیان کرد که هر چه ضریب هموارسازی بیشتر می‌شود، عملکرد نمودار کنترل بدتر خواهد شد و نمودار کنترل با ضریب هموارسازی ۰/۰۵ بهترین عملکرد را در میان نمودارهای کنترل EWMA دارد. علاوه بر این، با استفاده از شاخص‌های EQL، PCI و RARL می‌توان بیان کرد که نمودار کنترل CUSUM پیشنهادی عملکرد بهتری را نسبت به نمودار کنترل EWMA پیشنهادی با ضرایب هموارسازی متفاوت نشان می‌دهد.

۵- مطالعه موردی

جعبه‌ها در صنایع مختلف و در زندگی روزمره عموم مردم کاربردهای فراوانی دارند. از جمله آنها می‌توان به جعبه‌های الکتریکی فلزی اشاره کرد که در صنعت برق همواره بسیار پر کاربرد و پر طرفدار بوده است و انواع مختلفی از آنها به وسیله برش لیزر و خم جعبه فلزی تولید می‌شوند. در این بخش، به منظور ارائه کاربرد رویکرد پیشنهادی در شرایط واقعی و تشریح بیشتر سانسورشدگی بازه‌ای، به مطالعه موردی در یک کارخانه در زمینه تولید جعبه‌های الکتریکی فلزی اشاره می‌کنیم. شرایط از آنجا حائز اهمیت است که در این جعبه‌ها زنگ‌زدگی اتفاق می‌افتد و برای جلوگیری از این اتفاق، جعبه‌ها تحت فرایند رنگ‌کاری قرار می‌گیرند. بنابراین، برای افزایش مقاومت جعبه‌ها فرایند زنگ‌زدگی تحت پایش کیفی قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که این اتفاق در شرایط ضعیف محیطی ممکن است که سال‌ها به طول بیانجامد، ولی برای سرعت بخشیدن به این روند در جهت بررسی‌های کیفی، از ماده‌ای نمکی استفاده می‌کنند و صفحاتی از این نوع جعبه فلزی الکتریکی رنگ شده را در یک اتاقک تزریق نمک با دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار می‌دهند و منتظر می‌مانند تا زنگ‌زدگی این صفحات ظاهر شود. در نتیجه می‌توان به پایش فرایند پرداخت.

برای این منظور هر ۲۴ ساعت یک بازرسی از نمونه‌های مورد نظر انجام شده و اگر در هر یک از این نقاط بازرسی، زنگ‌زدگی نمونه‌ای رخ داده باشد، آنگاه سانسورشدگی بازه‌ای رخ داده است. علت آن است که از زمان دقیق شروع زنگ‌زدگی اطلاعی در دست نیست و تنها می‌دانیم که فرایند زنگ‌زدگی مثلاً در بازه زمانی روز هفتم و هشتم آغاز شده است. در نهایت، این آزمایش تا بیست روز انجام شده و اطلاعاتی از نمونه‌هایی که تا این زمان در آنها زنگ‌زدگی مشاهده شده باشد، بدست می‌آید. داده‌های مورد مطالعه، از جنس زمان زنگ‌زدگی می‌باشند. در مجموع، تعداد داده‌های جمع‌آوری شده ۱۵۰ داده است که ۱۰۰ داده در فاز I جهت برآورد پارامترهای مدل و اطمینان از پایداری فرایند و ۵۰ داده در فاز II جهت بررسی عملکرد نمودار و تشخیص سریع تغییر در پارامترهای مدل در فاز I مورد استفاده قرار می‌گیرند. پس از اطمینان از پایداری فرایند و تحت کنترل بودن داده‌های فاز I، ۵۰ داده فاز II بر روی نمودار کنترل ترسیم و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. از آنجا که نتایج ارزیابی عملکرد دو نمودار کنترل پیشنهادی برتری نمودار کنترل CUSUM را نشان داد، تنها کاربرد این رویکرد مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به داده‌های واقعی که در اختیار داشتیم نشان داده شد که داده‌های ضخامت رنگ از توزیع نرمال با میانگین ۳ و انحراف معیار تقریباً ۱ پیروی می‌کنند. تعیین توزیع داده‌های ضخامت رنگ توسط نرم‌افزار مینی‌تب صورت گرفته و مورد تأیید است. همچنین، به منظور برآورد ارزش پارامترهای تحت کنترل مدل AFT توزیع ویبول از روش برآورد حداکثر درستنمایی (MLE[۱۷]) در نرم‌افزار MATLAB استفاده شد [۱۶] و این ارزش‌ها با مقادیر β_0 برابر با ۰/۶۳، β_1 برابر با ۰/۱۱ و κ برابر با ۷/۷۸ مشخص شدند. در نهایت، LCL_1 نمودار کنترل CUSUM پیشنهادی همانند قبل به گونه‌ای تعیین شده است که متوسط طول دنباله تحت کنترل مطلوب تقریباً ۲۰۰ برسیم و این مقدار برابر با ۳/۱۷- می‌باشد. شکل (۱) نمودار کنترل CUSUM پیشنهادی را به منظور پایش ۱۵۰ داده جمع‌آوری شده، نمایش می‌دهد:



شکل (۱): عملکرد نمودار کنترل CUSUM پیشنهادی در تولید جعبه-های الکتریکی فلزی.

نتایج شکل (۱) نشان می‌دهد که مشخصه کیفی در فاز I در حالت تحت کنترل به سر می‌برد. این در حالی است که در فاز II، برای ۵۰ داده مشاهده می‌شود که نمونه شماره ۱۱ با z = -۴/۳۳ در حالت خارج از کنترل گزارش شده است. بنابراین، فرایند باید در این مرحله متوقف شده و علت رخداد انحراف تشخیص داده شود و اقدامات اصلاحی صورت پذیرد. با توجه به اینکه تأثیر ضخامت رنگ بر روی زمان زنگ-زدگی برداشته شد، ریشه انحراف مرتبط با عملکرد نامناسب در مرحله جاری است و مربوط به ضخامت رنگ نمی‌باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مهم‌ترین علت کاهش زمان زنگ‌زدگی را می‌توان به عملکرد بد کوره‌ای نسبت داد که در آن خشک کردن رنگ انجام می‌گیرد.

[Downloaded from iejqp.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.8.3]
[DOI: 10.52547/iejqp.10.1.71]

۶- نتیجه

در این مقاله، پایش داده‌های زمان زنگ‌زدگی جعبه‌های الکتریکی فلزی در صنعت برق مورد توجه قرار گرفت که تحت تأثیر داده‌های ضخامت رنگ قرار داشتند. بدین منظور، نمودارهای کنترل CUSUM و EWMA پیشنهاد شد. همچنین، برای غلبه بر تأثیر ضخامت رنگ بر زمان زنگ‌زدگی از مدل رگرسیون تحلیل بقای AFT استفاده شد که ارتباط میان ضخامت رنگ و زمان زنگ‌زدگی را نشان داده و مدل‌سازی کند. مشخص شد که داده‌های ضخامت رنگ دارای توزیع نرمال هستند و داده‌های زمان زنگ‌زدگی یا مشخصه کیفی خروجی از توزیع ویبول پیروی می‌کنند. همچنین، تبدیل توزیع داده‌های مشخصه کیفی خروجی به توزیع کوچکترین مقدار حدی استاندارد جهت حذف اثر متغیر ضخامت رنگ مورد استفاده قرار گرفت. به دنبال آن، به منظور ارائه رویکردهای پایش پیشنهادی، مقدار ارزش انتظاری برای داده‌هایی که تحت سانسورشدگی بازه‌ای قرار داشتند با استفاده از برآورد حداکثر درستنمایی محاسبه شد. برای ارزیابی عملکرد رویکردهای پیشنهادی مطالعت شبیه‌سازی صورت پذیرفت و با توجه به چهار شاخص ARL، EQL، PCI و RARL نمودارهای کنترل با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که عملکرد نمودار کنترل CUSUM نسبت به نمودار کنترل EWMA برتری دارد. از طرف دیگر، پارامتر هموارسازی کوچک در نمودار کنترل EWMA، توان این نمودار کنترل را در تشخیص تغییرات کوچک افزایش می‌دهد. همچنین، افزایش نرخ سانسورشدگی توانایی تشخیص نمودارهای کنترل را کاهش می‌دهد و به منظور عملکرد بهتر پیشنهاد می‌شود تا حد امکان از سانسور شدگی در فرایندها پیشگیری شود. در نهایت، کاربرد رویکرد CUSUM پیشنهادی از طریق یک مطالعه موردی در کارخانه تولید جعبه‌های الکتریکی فلزی به منظور پایش زمان زنگ‌زدگی در حضور سانسورشدگی بازه‌ای و تشخیص شرایط خارج از کنترل نشان داده شد.

مراجع

[۱] فلقی، حمید.، باقری، سعید.، **"یک روش کاربردی برای ارزیابی قابلیت اطمنیان در برنامه‌ریزی چندهدفه توسعه شبکه انتقال"**، نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، جلد ۹، شماره ۲، ص ۱-۱۲، ۱۳۹۹.

[2] Montgomery, D.C., *Introduction to statistical quality control. 6th ed.*, New York, John Wiley and Sons, 2009.

[3] Asadzadeh, S., Aghaie, A., *"Improving the product reliability in multistage manufacturing and service operations"*, Quality and Reliability Engineering International, Vol. 28, pp. 397-407, 2012.

[4] Asadzadeh, S., Baghaei, A., *"Robust AFT-based monitoring procedures for reliability data"*, Quality Technology & Quantitative Management, Vol. 17, pp. 1-15, 2020.

[5] Keshavarz, M., Asadzadeh, S., *"Phase II monitoring of survival times with categorical covariates"*, Quality and Reliability Engineering International, 2020. In Press.

[۶] آتشگر، کریم.، اخوان نیاکی، سید تقی.، کلایی، مهدیه.، سلیمانی، پریا.، **"ارزیابی توان شناسایی تغییر در فرایندهای چندمرحله‌ای برای فاز I پایش پروفایل خطی ساده"**، نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت، دوره ۴، شماره ۴، ص ۱-۱۶، ۱۳۹۳.

[7] Biswas, P., Kalbfleisch, J.D., *"A risk-adjusted CUSUM in continuous time based on the Cox model"*, Statistics in Medicine, Vol. 27, pp. 3382-3406, 2008.

[8] Sego, L.H., Reynolds, M.R., Woodall, W.H., *"Risk-adjusted monitoring of survival times"*, Statistics in Medicine, Vol. 28, pp. 1386-1401, 2009.

[9] Goodarzi, A., Amiri, A., Asadzadeh, S., *"Monitoring the censored lognormal reliability data in a three-stage process using AFT model"*, Journal of Industrial Engineering International, Vol. 13, pp. 67-80, 2017.

[10] Asadzadeh, S., Kiadaliry, F., *"Monitoring type-2 censored reliability data in multistage processes"*, Quality and Reliability Engineering International, Vol. 33, pp. 2551-2561, 2017.

[11] Xu, S., Jeske, D.R., *"Weighted EWMA charts for monitoring type-1 censored Weibull lifetime"*, Journal of Quality Technology, Vol. 50, pp. 220-230, 2018.

[12] Rafiei, N., Asadzadeh, S., *"Designing a risk-adjusted CUSUM control chart based on DEA and NSGA-II approaches (a case study in healthcare: Cardiovascular patients"*, Scientia Iranica, 2020.

[۱۳] رفیعی، نوید.، اسدزاده، شروین.، اخوان نیاکی، سید تقی.، **"طراحی اقتصادی آماری یک نمودار کنترل به منظور پایش مدت زمان بقای بیماران"**، مجله مهندسی صنایع و مدیریت، مقالات آماده انتشار، پذیرفته شده، انتشار آنلاین از تاریخ ۲۹ اسفند ۱۳۹۹.

[14] Niaki, S.T.A., Malaki, M., Ershadi, M.J., *"A particle swarm optimization approach on economic and economic-statistical designs of MEWMA control charts"*, Scientia Iranica, Vol. 18, pp. 1529-1536, 2011.

[15] Riaz, M., Ali, S., *"On process monitoring using location control charts under different loss functions"*, Transactions of the Institute of Measurement and Control, Vol. 38, pp. 1107-1119, 2016.

[16] Lawless, J.F., *Statistical models and methods for lifetime data*, New York, John Wiley and Sons, 2003.

زیرنویس‌ها

[1] Censoring
[2] Cascade Property
[3] Accelerated Failure Time
[4] Proportional Hazard
[5] Simple Linear Profile
[6] Cumulative Sum
[7] Average Run Length
[8] Exponentially Weighted Moving Average
[9] Cause Selecting Control Chart
[10] Likelihood Function
[11] Smallest Extreme Value
[12] Standardized Smallest Extreme Value
[13] Conditional Expected Values
[14] Extra Quadratic Loss
[15] Performance Comparison Index
[16] Relative Average Run Length
[17] Maximum Likelihood Estimation

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.8.3]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.71]