یک مدل تلفیقی تعمیم‌یافته از راهبردهای نگهداری ناکامل، جایگزینی زودهنگام و تابع زیان تاگوچی در طراحی اقتصادی نمودار کنترل $\overline{X}$ برای فرایندهای روبه‌زوال

محمد بامنی‌مقدم*
استاد گروه آمار، دانشگاه علامه طباطبائی
مجتبی آقاجان‌پور پاشا
دکتری آمار، دانشگاه علامه طباطبائی

چکیده به‌کارگیری راهبردهای نگهداری پیش‌گیرانه در طراحی نمودار کنترل، که از ابزار عمده در کنترل آماری کیفیت فرایند است، نه‌تنها افزایش قابلیت اعتماد سامانه و کاهش فرسودگی آن را به ارمغان می‌آورد، بلکه به کاهش هزینه‌های طراحی نمودار نیز منجر می‌شود. با این حال، هزینه‌ی کیفیت در رویکرد کلاسیک طراحی نمودار کنترل، که برگرفته از فلسفه‌ی دروازه فوتبالی کراسبی است، تنها به این که مشخصه‌ی کیفیت درون یا بیرون حدود کنترل قرار دارد بستگی دارد. در مقابل، بهره‌گیری از رهیافت تابع زیان در فعالیت‌های پایش حین تولید مانند نمودارهای کنترل، که در آن هزینه‌ی کیفیت بر مبنای مفهوم زیان اجتماعی کیفیت تاگوچی به مقدار انحراف مشخصه‌ی کیفیت از مقدار هدف وابسته است، به ارزیابی جامع‌تر از فرایند و در نتیجه به تصمیم‌های به‌تر در برنامه‌ریزی و مدیریت رهنمون می‌شود. در این مقاله، یک مدل تلفیقی از تابع زیان تاگوچی، راهبردهای نگهداری پیش‌گیرانه شامل نگهداری ناکامل و جایگزینی زودهنگام، و طراحی اقتصادی نمودار کنترل $\overline{X}$ ارائه می‌شود که در آن مدل شوک یا سازوکار شکست فرایند دارای نرخ شکست افزایشی است. به‌علاوه، با توجه به آن‌که داده‌هایی که از اندازه‌گیری‌های مربوط به خروجی فرایند تولید حاصل می‌شوند، ممکن است از توزیع نرمال پیروی نکنند و یا این‌که پذیره‌های قضیه‌ی حد مرکزی در مورد آن‌ها صادق نباشند، لزوم مطالعه‌ی مدل تلفیقی در این موقعیت‌ها نیز، علاوه بر حالت توزیع نرمال، ضرورت پیدا می‌کند. برای تشریح موضوع، مثال‌های عددی بر اساس طرح نمونه‌گیری نایکنواخت و مدل شوک وایبول ارائه شده است. پارامترهای تنظیمی حاصل از مدل تلفیقی (اندازه‌ی نمونه، فاصله‌های نمونه‌گیری، ضریب پهنای حدود کنترل، زمان جایگزینی زودهنگام، و سطح هزینه و زمان نگهداری ناکامل) علاوه بر تفاوت قابل ملاحظه در حالت‌های نرمال و نانرمال، نشان می‌دهند که با افزایش سطح نگهداری پیش‌گیرانه، هزینه‌ی متوسط طراحی هم در حالت نرمال و هم در حالت نانرمال کاهش خواهد یافت.

کلمات کلیدی نرخ شکست افزایشی، جایگزینی زودهنگام، نگهداری ناکامل، تابع زیان تاگوچی، مدل اقتصادی تلفیقی تعمیم‌یافته

۱- مقدمه

دو دسته از انحراف‌ها، نمایش تغییرپذیری فرایندهای تولیدی و خدماتی عنوان شده‌اند، انحراف‌های ذاتی فرایند و انحراف‌های بادلیل. دسته‌ی اول، انحراف‌هایی تصادفی هستند که در حضور آن‌ها، فرایند، تحت کنترل خوانده می‌شود. در طرف دیگر، انحراف‌های بادلیل نشانه‌ی بروز اشکالی در عملکرد سامانه هستند که فرایند در حضور آن‌ها، خارج از کنترل نامیده می‌شود. هدف اصلی نمودار کنترل به عنوان مهم‌ترین ابزار کنترل آماری فرایند، تمایز بین این دو دسته از انحراف‌هاست تا نهایتا با اعلان رخداد انحراف بادلیل و پیش از تولید انبوهی از محصول‌های نامنطبق، اقدام اصلاحی برای تعمیر فرایند انجام گیرد. پیاده‌سازی نمودارهای کنترل بر اساس یک چرخه‌ی کیفیت شامل مدت زمان بین حالت‌های متوالی تحت کنترل بودن فرایند انجام می‌شود که شامل زمان تحت کنترل بودن فرایند، لحظه‌ی وقوع انحراف بادلیل، زمان تا لحظه‌ی وقوع هشدار درست توسط نمودار و زمان کشف و تعمیر عامل وقوع انحراف است. پس از تعمیر، مجددا فرایند به حالت تحت کنترل باز گشته و چرخه‌ی کیفیت از سر گرفته می‌شود.

استفاده از روش‌های آماری برای این تصمیم‌گیری راهبردی بر این اساس است که اجرا یا پیاده‌سازی نمودار کنترل بر پایه‌ی

*(Corresponding author) bamenimoghadam@atu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۷

Archive of SID
www.SID.ir

آزمون فرض‌های آماری، با نمونه‌هایی به اندازه‌ی n که در فاصله‌های زمانی $h_j; j = 1, 2, \ldots$ از خروجی فرایند گرفته می‌شوند و با استفاده از آماره‌ای مانند $\bar{X}$ که آماره‌ی کنترل نامیده می‌شود، صورت می‌گیرد. در نمودار کنترل شوهارت $\bar{X}$، مادامی که مقدار آماره‌ی $\bar{X}$ بین حدود کنترل نمودار یعنی $\mu - L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ و $\mu + L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ قرار گیرد، فرایند تحت کنترل و در غیر این صورت، فرایند، خارج از کنترل استنباط می‌شود که در آن پارامتر σ در طول زمان ثابت فرض می‌شود. در حالت خارج از کنترل که پس از وقوع انحراف بادلیل رخ می‌دهد، میانگین فرایند از μ به $\mu + \delta\sigma$ انتقال می‌یابد. طراحی نمودار کنترل در واقع تعیین اندازه‌ی نمونه n، فاصله‌های زمانی $h_j; j = 1, 2, \ldots$، و پهنای حدود کنترل L است که پارامترهای تنظیمی طراحی نمودار نیز خوانده می‌شوند.

ابتدا تنها شواهد تجربی و بعدها این تجربه‌ها به همراه معیارهای آماری مانند متوسط طول دنباله در طراحی نمودارهای کنترل مورد توجه قرار می‌گرفتند. نقد جدی به این گونه از طراحی‌ها که ملاحظه‌های اقتصادی مانند هزینه‌های نمونه‌گیری و هزینه‌های تولید محصول نامنطبق را در نظر نمی‌گرفتند منجر به معرفی طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل توسط دانکن [1] شد که به طور قابل‌ملاحظه‌ای توسط لورنزن و وانس [2] بهبود یافت. در این نوع طراحی، پارامترهای تنظیمی به‌گونه‌ای تعیین می‌شوند که متوسط هزینه در واحد زمان پیاده‌سازی نمودار کنترل کمینه شود. با توجه به قضیه‌ی تجدید پاداش [3]، تابع هدف در مسئله‌ی بهینه‌سازی، یعنی متوسط هزینه در واحد زمان (ECT)، می‌تواند از نسبت E(C) (متوسط هزینه‌ی هر چرخه) به E(T) (متوسط زمان آن چرخه) حاصل شود. بهینه‌سازی این تابع هدف می‌تواند تحت محدودیت‌هایی بر معیارهای آماری مانند احتمال‌های خطای نوع اول و توان نمودار انجام شود که در [4]، طراحی آماری-اقتصادی نام گرفت.

توزیع مشخصه‌ی کیفیت خروجی فرایند و سازوکار شکست یا مدل شوک در فرایند، دو پذیره‌ی اساسی در طراحی‌های اقتصادی و آماری-اقتصادی نمودارهای کنترل بر اساس استنباط آماری پارامتری هستند. مدل اقتصادی دانکن و مدل یکپارچه‌شده‌ی لورنزن و وانس، هر دو، توزیع زمان تا وقوع انحراف بادلیل یا دوره‌ی تحت کنترل بودن فرایند را توزیع نمایی در نظر گرفتند که نرخ شکست ثابت و ویژگی بی‌حافظگی آن، استفاده از طرح نمونه‌گیری یکنواخت با فاصله‌های نمونه‌گیری ثابت را القاء می‌کند. استفاده از توزیع نمایی در بسیاری از کاربردهای عملی به‌ویژه کاربردهای صنعتی که دارای نرخ شکست افزایشی هستند، به عدم تطابق مدل با واقعیت می‌انجامد. بنرجی و رحیم [5] و [6]، با معرفی روش معادله‌های بازگشتی و طرح نمونه‌گیری نایکنواخت که در آن فاصله‌های نمونه‌گیری بر اساس نرخ شکست فرایند حاصل می‌شوند، مدل دانکن را برای سامانه‌های تحت مدل شوک وایبول با نرخ شکست افزایشی گسترش دادند. این رهیافت برای سامانه‌های با نرخ شکست افزایشی، کاهش فاصله‌های زمانی بین نمونه‌گیری‌ها یا افزایش فراوانی نمونه‌گیری‌ها را با گذر زمان در پی خواهد داشت که موجب صرفه‌جویی اقتصادی آن نسبت به طرح نمونه‌گیری یکنواخت می‌شود. مروری بر نوشتارهای ارائه شده درباره طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل را می‌توان در [۷] و [۸] ملاحظه کرد.

اگر سامانه‌ای روبه‌زوال باشد، یعنی شواهد لازم وجود داشته باشد که احتمال شکست در سامانه با گذشت زمان افزایش می‌یابد، آن‌گاه انتخاب معقولانه برای مدل شوک، توزیعی است که دارای نرخ شکست افزایشی باشد. به‌علاوه، آشکارا طرح نمونه‌گیری نایکنواخت با فاصله‌های نمونه‌گیری کاهشی در تناسب بیش‌تری با مدل شوک است. با این حال در هر دو طرح، تنها به انجام نمونه‌گیری برای اطلاع از رخداد زوال یا انتقال به حالت خارج از کنترل فرایند پرداخته می‌شود و برای سامانه‌ای که با توجه به نرخ شکست آن، لحظه به لحظه وقوع زوال در آن محتمل‌تر می‌شود، اقدامی اصلاحی صورت نمی‌گیرد. از آن‌جا که با افزایش استفاده از دستگاه‌ها در صنعت، اهمیت ابزار تولید از نیروی انسانی به دستگاه انتقال یافته است، شرایط کنترل‌شده از نظر کمیت، کیفیت و حتی هزینه برای دستگاه‌های تولیدی، که بایستی در شرایط ایده‌آل برای تولید نگهداری شوند، از همیشه مشهودتر است. بدیهی است اجرای راهبردهای نگهداری پیش‌گیرانه (PM)، که تنظیم و تعدیل‌های بازدارنده‌ی وقوع انحراف یا انحراف‌های بادلیل مانند تعویض یا جایگزینی زودهنگام قطعه‌ها، روغن‌کاری و رنگ‌کاری تجهیزات و ... را شامل می‌شود، می‌تواند به افزایش قابلیت اعتماد سامانه و جلوگیری از فرسودگی آن منجر شده و زمان رخداد انحراف بادلیل را به تعویق اندازد. مدل‌های خطی و غیرخطی بهبود سامانه توسط راهبرد نگهداری را می‌توان در [۹] و [۱۰] یافت.

رحیم و بنرجی [۱۱]، بر اساس یک چرخه‌ی کیفیت بریده‌شده که یا با تعمیر انحراف بادلیل یا با رسیدن سامانه به سن بهینه‌ای، هر کدام که زودتر رخ دهند، پایان می‌پذیرد، مدل تعمیم‌یافته‌ای از طراحی اقتصادی نمودار کنترل $\bar{X}$ را برای هر طرح نمونه‌گیری و هر توزیع طول عمر با نرخ شکست افزایشی ارائه کردند. در این مدل که از راهبرد جایگزینی زودهنگام یا نگهداری کامل با معرفی مفهوم مقدار بازیابی یا سود حاصل از قطعات اوراقی بهره می‌گیرد، زمان جایگزینی قطعه به عنوان یک متغیر تصمیم به مدل اقتصادی وارد شده و همزمان با

Archive of SID

www.SID.ir

پارامترهای تنظیمی طراحی بهینه خواهد شد. راهبرد دیگر در این راستا، اجرای اقدامات اصلاحی یا نگهداری ناکامل است که مستلزم صرف زمان و هزینه بوده و مدل اقتصادی تعمیم‌یافته‌ی رحیم و بنرجی [۱۱] را از جهت کمیت‌های زمان و هزینه دستخوش تغییر قرار می‌دهد. بن‌دایا و رحیم [۱۲]، با تعدیل و تغییرهای لازم حاصل از نگهداری پیش‌گیرانه به ارائه یک مدل تعمیم‌یافته و بررسی تاثیرات راهبردهای نگهداری پیش‌گیرانه بر طراحی اقتصادی نمودار کنترل $\bar{X}$ پرداختند که اساس کار در این مقاله قرار می‌گیرد. در دهه‌های اخیر، تلفیق راهبردهای نگهداری و کنترل آماری فرایند که معمولا در گذشته به طور مجزا بررسی می‌شدند، مورد توجه قرار گرفته و توانسته صرفه‌های اقتصادی قابل توجهی را برای سازمان به ارمغان بیاورد که در بسیاری از شرکت‌های پیش‌رو مانند جنرال الکتریک، موتورولا، میلیکِن، فورد و ... تجربه شده است [۱۳]. برای جزییات بیش‌تر در این رابطه می‌توان به [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۸] و [۱۹] مراجعه کرد.

هزینه‌ی تحت کنترل و هزینه‌ی خارج از کنترل سامانه، مقدارهایی ثابت و به عنوان مقدارهای ورودی مدل‌های اقتصادی کلاسیک، که در بالا به آن‌ها اشاره شد، در نظر گرفته شده‌اند، اما شرحی بر این‌که این مقدارها چگونه به دست آیند ارائه نشده است. از طرفی، استفاده از رهیافت کلاسیک در نمودارهای کنترل مستلزم این است که هنگامی که مشخصه‌ی کیفیت خارج از حدود کنترل قرار گیرد، زیان کیفیت به عنوان هزینه در نظر گرفته شود و همه‌ی محصول‌ها داخل حدود کنترل، بدون توجه به انحراف مشخصه‌ی کیفیت‌شان از مقدار هدف، دارای کیفیت مشابه قلمداد شوند. اما این با واقعیت چندان سازگار نیست، زیرا هر انحراف از مقدار آرمانی، مشتری را متحمل زیانی متناسب آن انحراف می‌کند. تعریف کیفیت از دیدگاه تاگوچی می‌تواند در این باره راهگشا باشد. تاگوچی، کیفیت را زیان اجتماعی حاصل از تولید یک محصول پس از ارسال آن به سوی مشتری تعریف می‌کند [۲۰]. بنا بر این، یک تابع زیان می‌تواند برای انعکاس زیان مرتبط با تغییرها و انحراف‌ها از مقدار هدف به کار گرفته شود [۲۱] و [۲۲]. رویکرد تابع زیان، با هر تغییر یا انحراف از مقدار هدف، زیانی را متناظر می‌داند حتی اگر مقدار آماره‌ی کنترل داخل حدود کنترل باشد. تنها در نقطه‌ی هدف مقدار زیان برابر صفر است. تابع زیان درجه‌ی دوم تاگوچی می‌تواند برای تعیین زیان کیفیت یک محصول وقتی مشخصه‌ی کیفیت آن از مقدار هدف انحراف دارد به کار رود، به گونه‌ای که حتی یک محصول با مشخصه‌ی کیفیت قابل قبول نیز، هزینه‌ای متناسب با مجذور انحرافش از مقدار هدف را متحمل خواهد کرد. بنا بر این، این رهیافت میان دو محصول با مقدارهایی درون حدود مشخصه، که یکی در نزدیکی مقدار آرمانی و دیگری در نزدیکی حدود قرار می‌گیرد، تفاوت قائل است.

الکساندر و همکاران [۲۳]، یک مدل تلفیقی از ترکیب مدل اقتصادی دانکن با تابع زیان تاگوچی را ارائه کردند که زیان متناظر با تغییرات حاصل از انحراف‌های تصادفی و انحراف‌های بادلیل را در طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل به کار می‌گیرد که به پذیره‌های مدل دانکن محدود است. دوفوا و بن‌دایا [۲۴] از تابع زیان درجه دوم تاگوچی برای تعریف هزینه‌ی تحت کنترل کیفیت و هزینه‌ی خارج از کنترل کیفیت به عنوان تابع‌هایی از پارامترهای طراحی استفاده کردند که همزمان با پارامترهای تنظیمی طراحی اقتصادی نمودارها بهینه خواهند شد. در این مقاله، از کمیت‌های فوق بهره خواهیم برد.

از طرف دیگر، به دلیل رایج بودن توزیع نرمال در مشخصه‌های کیفیت و وجود قضیه‌ی حد مرکزی، بیش‌تر پژوهش‌های صورت گرفته در طراحی نمودار کنترل $\overline{X}$ بر اساس توزیع نرمال انجام گرفته است. گاهی اوقات، پذیره‌ی نرمال بودن توزیع مشخصه‌ی کیفیت و یا پذیره‌های قضیه‌ی حد مرکزی قابل قبول نیست. در ادبیات موضوع، دو توزیع بِر و جانسون، که به‌ترتیب برای اولین بار در [۲۵] و [۲۶] معرفی شده‌اند، به عنوان توزیع مشخصه‌ی کیفیت نانرمال به کار برده شده‌اند که بر داده‌های نانرمال متعددی تطابق بسیار خوبی دارند. انتخاب توزیع بِر برای داده‌های نانرمال در این مقاله، به این خاطر است که تابع توزیع آن دارای فرم بسته است و موجب سادگی محاسبات مربوط به مدل تلفیقی می‌شود [۲۷]، [۲۸] و [۲۹].

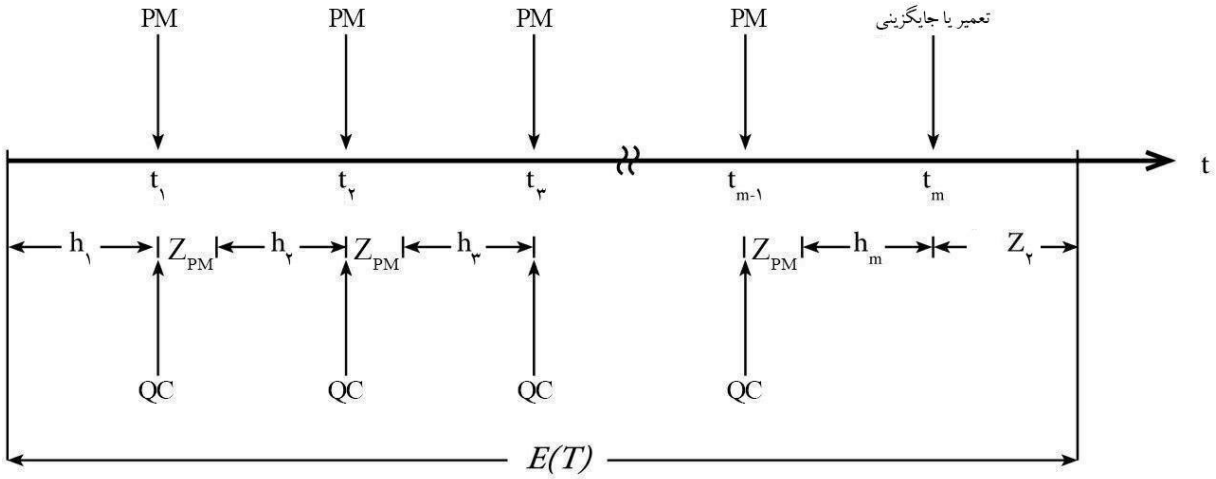
در بخش دوم، مدل تلفیقی حاصل از ادغام تابع زیان تاگوچی و طراحی اقتصادی تعمیم‌یافته‌ی نمودارهای کنترل که در حضور دو راهبرد جایگزینی زودهنگام و نگهداری ناکامل است، ارائه خواهد شد. بخش سوم به تاثیر توزیع مشخصه‌ی کیفیت و در نتیجه توزیع آماره‌ی کنترل $\overline{X}$ بر مدل تلفیقی تعدیل شده بر این نمودار خواهد پرداخت. در بخش چهارم، نتایج عددی حاصل از مدل اقتصادی تلفیقی برای نمودار کنترل $\overline{X}$ تحت مدل شوک وایبول و داده‌های مشخصه‌ی کیفیت نرمال و نانرمال ارائه شده و برای حالت‌های نرمال و نانرمال با هم مقایسه خواهند شد، که در واقع همان پارامترهای تنظیمی طراحی، زمان جایگزینی زودهنگام و سطح زمان و هزینه برای نگهداری پیش‌گیرانه هستند. این مقایسه نه از منظر برتری اقتصادی یکی بر دیگری خواهد بود بلکه برای توجه اهمیت توزیع برازش داده شده به داده‌های کیفیت با توجه به اختلاف مقادیر حاصل انجام می‌گیرد. بخش نتیجه‌گیری پایان‌بخش این مقاله خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱.راهبردهای نگهداری پیش‌گیرانه (PM) در یک چرخه‌ی تولید موازی با بازرسی‌های نمونه‌ای

۲- ساختار مدل تلفیقی

در این بخش، ابتدا مدل اقتصادی تعمیم‌یافته‌ی ارائه شده توسط بن‌دایا و رحیم [۱۲] و مفهوم‌ها و نمادهای آن به‌ویژه در رابطه با نگهداری پیش‌گیرانه را مرور کرده، سپس با ادغام تابع زیان تاگوچی، مدل تلفیقی نهایی را ارائه می‌کنیم.

با توجه به شکل ۱، یک چرخه‌ی کیفیت از حالت تحت کنترل شروع و تا زمان وقوع انحراف بادلیل، محصولاتی با کیفیت قابل‌قبول تولید می‌کند. متغیر تصادفی زمان تحت کنترل T_a با تابع توزیع F و تابع چگالی f که دارای تابع نرخ شکست افزایشی است را به عنوان سازوکار شکست فرایند در نظر می‌گیریم. نمونه‌هایی تصادفی به اندازه‌ی n در نقطه‌های زمانی t_j، $j = 1,2, \dots, m$، را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که m، مرحله‌ی پایانی نمونه‌گیری در یک چرخه‌ی کیفیت یا همان مرحله‌ی جایگزینی قطعه است و $t_j = \sum_{i=1}^{j} h_i + (j-1)Z_{PM}$ که در آن h_i فاصله‌ی نمونه‌گیری iام است، و Z_{PM} مدت زمان لازم برای اقدامات نگهداری پیش‌گیرانه است که به طور موازی با بازرسی‌های نمونه‌ای انجام می‌گیرند. البته همین کمیت باعث می‌شود که برای هشدارهای اشتباه نمودار کمیت زمانی جداگانه‌ای قایل نشویم. پس از هر بار انجام PM سن سامانه به اندازه‌ای متناسب با هزینه‌ی آن (C_{PM}) به عقب برمی‌گردد. این اقدام (نگهداری ناکامل) به معنی افزایش قابلیت اعتماد و کاهش فرسودگی آن است که می‌تواند توسط مدل‌های خطی و غیرخطی [۹] تعیین گردد. چرخه‌ی کیفیت یا پس از کشف انحراف بادلیل یا رسیدن به مرحله‌ی نمونه‌گیری m، هر کدام که زودتر رخ دهند، خاتمه می‌یابد. در این هنگام، فرایند، به‌ترتیب، یا با تعمیر انحراف بادلیل و یا تعویض قطعه، مجددا به حالت اولیه در ابتدای چرخه باز می‌گردد و بنا بر این یک فرایند تجدید پاداش را تشکیل می‌دهد. مقدار Z_{PM} نیز متناسب با C_{PM} مشخص می‌شود، یعنی، $Z_{PM} = \frac{C_{PM}}{{C_{PM}}^0} {Z_{PM}}^{max}$، که در آن ${C_{PM}}^0$ و ${Z_{PM}}^{max}$ به‌ترتیب، هزینه و زمان متناظر با بالاترین سطح نگهداری پیش‌گیرانه هستند که مقدارهای ورودی مدل و از پیش تعیین‌شده خواهند بود. البته قابل توجه است که اگر $Z_{PM} = 0$، بدون توقف سامانه نیز می‌توان به انجام اقدامات پیش‌گیرانه پرداخت. به‌علاوه، p_j را احتمال شرطی آن تعریف می‌کنیم که فرایند در طول فاصله‌ی نمونه‌گیری (t_{j-1}, t_j) از کنترل خارج شود به شرط آن‌که در ابتدای فاصله نمونه‌گیری یعنی در نقطه‌ی t_{j-1}، در حالت تحت کنترل باشد. به عبارت دیگر، $p_j = \frac{\int_{t_{j-1}}^{t_j} f(t)dt}{\int_{t_{j-1}}^{\infty} f(t)dt}$. در این صورت، بنا به تاثیر نگهداری ناکامل [۹]، خواهیم داشت:

$$p_j = \frac{F(y_j) - F(w_{j-1})}{1 - F(w_{j-1})},$$

که در آن، y_j سن سامانه قبل از jامین PM و w_{j-1} سن سامانه پس از $j-1$امین فعالیت PM است. تعریف می‌کنیم $p_0 = 0$. با استفاده از روش معادلات بازگشتی در [۵]، بن‌دایا و رحیم [۱۲] نشان دادند که متوسط زمان چرخه‌ی کیفیت، متوسط هزینه‌ی کنترل کیفیت و متوسط هزینه‌ی نگهداری پیش‌گیرانه در یک چرخه، به‌ترتیب برابر هستند با:

Archive of SID

www.SID.ir

$$E(T)=\sum_{j=1}^{m}h_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)+Z_{PM}\sum_{j=1}^{m-1}\prod_{i=0}^{j}(1-p_i)$$
$$+\beta\sum_{j=1}^{m-1}p_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)\left[\sum_{i=j+1}^{m-1}(h_i+Z_{PM})\,\beta^{i-j-1}\right.$$
$$\left.+h_m\beta^{m-j-1}\right]+Z_2, \qquad (۱)$$

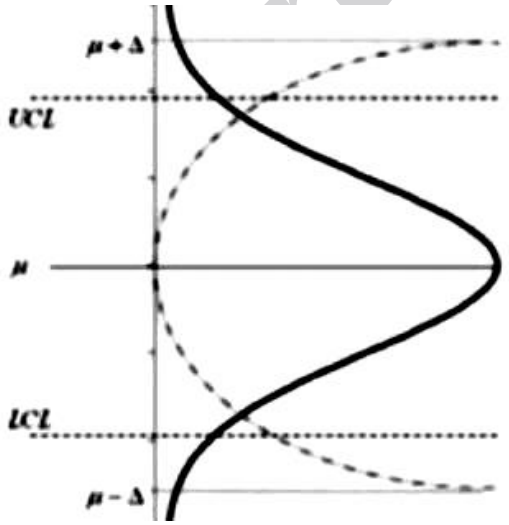
$$E(QC)=D_0\sum_{j=1}^{m}h_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)$$
$$+(D_0-D_1)\sum_{j=1}^{m}\frac{p_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)}{F(y_j)-F(w_{j-1})}\int_{w_{j-1}}^{y_j}tf(t)dt$$
$$+\alpha Y\sum_{j=1}^{m-1}\prod_{i=1}^{j}(1-p_i) \qquad (۲)$$
$$+(D_1-D_0)\sum_{j=1}^{m}y_j\,p_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)$$
$$+D_1\beta\sum_{j=1}^{m-1}p_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)\sum_{i=j+1}^{m}h_i\,\beta^{i-j-1}$$
$$(a+bn)\left[1+\sum_{j=1}^{m-2}p_j\prod_{i=1}^{j}(1-p_i)\right.$$
$$\left.+\beta\sum_{j=1}^{m-2}p_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)\sum_{i=0}^{m-j-2}\beta^i\right]+W,$$

و

$$E(PM)=C_{PM}\left[\sum_{j=1}^{m-1}\prod_{i=1}^{j}(1-p_i)\right.$$
$$\left.+\beta\sum_{j=1}^{m-1}p_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)\right. \qquad (۳)$$
$$\left.+\beta\sum_{j=1}^{m-2}p_j\prod_{i=0}^{j-1}(1-p_i)\sum_{i=0}^{m-j-2}\beta^i\right]=n_{PM}C_{PM},$$

که در آن Z_2 میانگین زمان کشف و تعمیر انحراف بادلیل، a هزینه‌ی ثابت نمونه‌گیری، b هزینه‌ی متغیر نمونه‌گیری، Y هزینه‌ی هر هشدار اشتباه، W هزینه‌ی کشف و تعمیر انحراف بادلیل، D_0 هزینه‌ی کیفیت در هر ساعت در دوره‌ی تحت کنترل، D_1 هزینه‌ی کیفیت در هر ساعت در دوره‌ی خارج از کنترل، α احتمال خطای نوع اول و β احتمال خطای نوع دوم است. n_{PM} را می‌توان به عنوان تعداد مراحلی در نظر گرفت که اقدامات نگهداری پیش‌گیرانه انجام می‌شود.

حال با توجه به آن که $ECT=\frac{E(QC)+E(PM)}{E(T)}$، مینیمم‌سازی متوسط هزینه در واحد زمان با استفاده از رابطه‌های (۱)، (۲) و (۳)، پارامترهای تنظیمی بهینه‌ی طراحی، یعنی n، h_j و L را همراه با سطح بهینه‌ی نگهداری پیش‌گیرانه C_{PM} و زمان جایگزینی بهینه‌ی m در اختیار خواهد گذاشت. برای ساده‌سازی این مسئله‌ی برنامه‌ریزی غیرخطی بر اساس رهیافت خطر تجمعی ثابت عمل می‌کنیم که توسط بنرجی و رحیم [۶] پیشنهاد شده و به‌طور وسیعی در ادبیات موضوع به‌کار گرفته شده است. فاصله‌های نمونه‌گیری در این رهیافت به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که مخاطره‌ی تجمعی روی هر فاصله‌ی نمونه‌گیری، مشابه با آنچه در توزیع نمایی به‌ازای طرح نمونه‌گیری یکنواخت رخ می‌دهد، ثابت بماند. این فرض معادل با آن خواهد بود که برای هر $p_j=p \;,\; j=1,2,\dots,m$. با به‌کارگیری این رابطه، h_jها به صورت تابعی از h_1 حاصل خواهند شد. علاوه بر تقلیل پارامترهای تصمیم به تعیین n، h_1، L، m و C_{PM}، تاثیر اصلی راهبرد نگهداری ناکامل بر تابع هدف مدل اقتصادی از طریق همین تابع خواهد بود.



شکل ۲. رویکرد تابع زیان در طراحی نمودار کنترل

Archive of SID

www.SID.ir

هزینه‌ی تحت کنترل و خارج از کنترل سامانه در مدل فوق به عنوان مقدارهایی ثابت و به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شده‌اند که چندان با واقعیت سازگار نیست. تاگوچی [۲۰] پیشنهاد کرد که بایستی بین محصول‌های تولیدی با مشخصه‌ی کیفیت متفاوت حول مقدار هدف تفاوت قایل شد، به این صورت که هرچه مشخصه‌ی کیفیت از مقدار هدف دورتر باشد، هزینه‌ی اجتماعی کیفیت بالاتری برای آن در نظر گرفته شود. دوفوا و بن‌دایا [۲۴] با بهره‌گیری از تابع زیان درجه‌ی دوم تاگوچی به تعریف هزینه‌ی تحت کنترل کیفیت و هزینه‌ی خارج از کنترل کیفیت پرداختند. برای این کار، با توجه به شکل ۲، فرض می‌کنیم Δ، آستانه‌ی دوجانبه‌ی محصول تولیدی و A، هزینه‌ی دوباره‌کاری یا امحاء یک واحد با انحراف از مقدار هدفΔ باشد. به‌علاوه، دم توزیع میانگین نمونه‌ای خارج از حدود مشخصه قابل اغماض فرض می‌شود. با این پذیره‌ها، هزینه‌ی تحت کنترل کیفیت سامانه در تلفیق تابع زیان درجه دوم تاگوچی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$L_{in}(n,L)=\frac{A}{\Delta^2}\int_{\mu_0-L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}^{\mu_0+L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}(\bar{x}-\mu_0)^2 f(\bar{x})d\bar{x} \quad (۴)$$

که در آن، f تابع چگالی احتمال $\bar{X}$ در حالت تحت کنترل است. به‌علاوه، هزینه‌ی خارج از کنترل به صورت زیر است:

$$L_{out}(n,L)=\frac{A}{\Delta^2}\Big[\int_{-\infty}^{+\infty}(\bar{x}-\mu_0)^2 f(\bar{x})d\bar{x} - \int_{\mu_0-L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}^{\mu_0+L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}(\bar{x}-\mu_0)^2 f(\bar{x})d\bar{x}\Big] \quad (۵)$$

که در آن، f تابع چگالی احتمال $\bar{X}$ در حالت خارج از کنترل است. حال قرار می‌دهیم $D_0 = PL_{in}$ و $D_1 = PL_{out}$ که در آن، P نرخ تولید در فرایند است.

اکنون از کمیت‌های (۴) و (۵) در تعدیل مدل اقتصادی تعمیم‌یافته‌ی بن‌دایا و رحیم [۱۲] استفاده می‌کنیم. توجه کنیم که رابطه‌های (۱) و (۳) به کمیت‌های هزینه‌ای D_0 و D_1 بستگی ندارند و بنا بر این در مدل تلفیقی تغییر نخواهند کرد، اما متوسط هزینه‌ی کنترل کیفیت چرخه که آن را در مدل تلفیقی با نماد $E(IQC)$ نشان می‌دهیم توسط رابطه‌های (۴) و (۵) تعدیل خواهند شد. بدیهی است این هزینه‌ها، بنا به وابستگی به پارامترهای تنظیمی، در مسئله‌ی بهینه‌سازی بهینه می‌شوند. نهایتا، حل مسئله‌ی بهینه‌سازی با تابع هدف متوسط هزینه‌ی تلفیقی در واحد زمان ($IECT=\frac{E(IQC)+E(PM)}{E(T)}$)، پارامترهای بهینه‌ی مدل اقتصادی تلفیق‌شده با تابع زیان تاگوچی و نگهداری پیش‌گیرانه را در اختیار می‌گذارد.

۳- تاثیر توزیع مشخصه‌ی کیفیت بر مدل تلفیقی

محاسبه‌ی رابطه‌های (۱)، (۲) و (۳) در مدل تلفیقی طراحی اقتصادی نمودارهای کنترل، بیش از همه به سازوکار شکست فرایند وابسته است، به جز این که احتمال خطای نوع اول α، هزینه‌ی تحت کنترل L_{in}، احتمال خطای نوع دوم β، و هزینه‌ی خارج از کنترل L_{out}، به آماره‌ی کنترل $\bar{X}$ و توزیع آن بستگی دارند. در این بخش، در دو زیربخش جداگانه برای دو موقعیت داده‌های نرمال و نانرمال، رویه‌های محاسباتی برای این کمیت‌های چهارگانه ارائه خواهند شد.

۳-۱ حالت نرمال

اگر $\bar{X}$ به خاطر برقراری قضیه‌ی حد مرکزی به طور تقریبی و یا به خاطر آن که مشخصه‌ی کیفیت دارای توزیع نرمال با میانگین μ_0 و انحراف‌معیار σ است به طور دقیق دارای توزیع نرمال با میانگین μ_0 و انحراف‌معیار $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ پنداشته شود، آن‌گاه

$$\alpha = P\left(\bar{X} > \mu_0 + L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\middle|\mu=\mu_0\right)$$

$$+P\left(\bar{X} < \mu_0 - L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\middle|\mu=\mu_0\right) = 2\Phi(-L), \quad (۶)$$

$$\beta = P\left(\mu_0 - L\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \le \bar{X} \le \mu_0 + L\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\middle|\mu=\mu_0+\delta\sigma\right)$$

$$= \Phi\left(L-\delta\sqrt{n}\right) - \Phi\left(-L-\delta\sqrt{n}\right), \quad (۷)$$

که در آن، Φ تابع توزیع نرمال استاندارد است. به‌علاوه، از [۲۴]،

$$L_{in}(n,L)=\frac{A\sigma^2}{n\Delta^2}\left[1-\frac{2L}{\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-L^2}{2}}-\alpha\right], \quad (۸)$$

$$L_{out}(n,L)=\frac{A\sigma^2}{n\Delta^2}[(1+\delta^2 n)(1-\beta)$$

$$+\frac{L+\delta\sqrt{n}}{\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-(L-\delta\sqrt{n})^2}{2}}+\frac{L-\delta\sqrt{n}}{\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-(L+\delta\sqrt{n})^2}{2}}]. \quad (۹)$$

۳-۲ حالت نانرمال

Archive of SID

www.SID.ir

در فقدان فرض نرمال بودن توزیع آماره‌ی $\bar{X}$، توزیع بِر یک توزیع مناسب در برازش با داده‌های نانرمال است که به خاطر آن که تابع توزیع آن دارای فرم بسته است، محاسبات مربوط به کمیت‌های چهارگانه را نیز ساده می‌سازد. این توزیع که توسط بِر [۲۵] ارائه شد، دارای تابع چگالی احتمال $f(x)=\frac{ckx^{c-1}}{(1+x^c)^k}$ و تابع توزیع $F(x)=1-\frac{1}{(1+x^c)^k}$ است. میانگین، انحراف‌معیار، ضریب چولگی و ضریب کشیدگی خانواده‌ی توزیع‌های بِر در جدول‌هایی (جدول II و جدول III) نشان داده شده‌اند [۲۵]. این جدول‌ها محقق را قادر می‌سازند تا تبدیل استانداردی بین یک متغیر تصادفی دلخواه X و متغیر Q با توزیع بِر به صورت زیر ایجاد نماید:

(۱) ضریب چولگی و ضریب کشیدگی داده‌های اصلی برآورد می‌شود.

(۲) ضریب چولگی و ضریب کشیدگی برای توزیع بِر از جدول (II) و با توجه به خروجی مرحله‌ی (۱) حاصل می‌شود.

(۳) میانگین و انحراف معیار توزیع بِر از جدول (III) و با توجه به خروجی مرحله‌ی (۲) به دست می‌آید.

(۴) تبدیل استاندارد بین Q با توزیع بِر و متغیر تصادفی دلخواه X به صورت $\frac{X-\bar{X}}{S_X}=\frac{Q-M}{S}$ است که در آن $\bar{X}$ و S_X به‌ترتیب میانگین و انحراف‌معیار نمونه‌ی اصلی، و M و S به‌ترتیب میانگین و انحراف‌معیار خانواده‌ی توزیع‌های بِر متناظر با نمونه‌ی اصلی هستند.

برای محاسبه‌ی کمیت‌های چهارگانه، فرض می‌کنیم $\bar{X}$ همان متغیر با توزیع دلخواه باشد. در حالت تحت کنترل بودن فرایند، $\bar{X}$ با معادله‌ی $\bar{X}=\mu_0+\frac{(Q-M)\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}{S}$ به توزیع بِر مرتبط می‌شود. بنا بر این، با توجه به [۲۸] و [۲۹] خواهیم داشت:

$$\alpha=1+\frac{1}{[1+(M+LS)^c]^k}-\frac{1}{[1+(M-LS)^c]^k}. \qquad (۱۰)$$

همچنین با استفاده از تغییر متغیر در انتگرال‌گیری،

$$L_{in}(n,L)=\frac{A\sigma^2}{n\Delta^2S^2}\int_{M-LS}^{M+LS}\frac{ck(q-M)^2q^{c-1}dq}{(1+q^c)^{k+1}}. \qquad (۱۱)$$

حال فرض کنیم انحراف بادلیل رخ داده و فرایند به حالت خارج از کنترل انتقال یافته است. در این حالت، تبدیل استاندارد به صورت $\bar{X}=\mu_0+\delta\sigma+\frac{(Q-M)\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}{S}$ است. بنا بر این،

$$\beta=\frac{1}{\left[1+(M-LS-S\delta\sqrt{n})^c\right]^k}-\frac{1}{\left[1+(M+LS-S\delta\sqrt{n})^c\right]^k}, \qquad (۱۲)$$

$$L_{out}(n,L)=\frac{A\sigma^2}{n\Delta^2S^2}\left[\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{ck\left(q-M+\sqrt{n}S\delta\right)^2q^{c-1}dq}{(1+q^c)^{k+1}}-\int_{M-LS-\delta\sqrt{n}S}^{M+LS-\delta\sqrt{n}S}\frac{ck(q-M+\delta\sqrt{n}S)^2q^{c-1}dq}{(1+q^c)^{k+1}}\right] \qquad (۱۳)$$

به این ترتیب، رابطه‌های (۶) ، (۷)، (۸) و (۹) برای محاسبات در بخش عددی برای تعدیل مدل اقتصادی تلفیقی در حالت نرمال، و رابطه‌های (۱۰)، (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) برای محاسبات لازم در حالت نانرمال (توزیع بِر) به کار گرفته می‌شوند. با توجه به تقریب توزیع بِر با پارامترهای $c=5$ و $k=6$ از توزیع نرمال و در نتیجه $M=0/65513$ و $S=0/16103$، در بخش عددی ابتدا نتایج حاصل از به‌کارگیری این دو توزیع را مقایسه می‌کنیم تا دقت به‌کارگیری تقریب توزیع بِر در طراحی اقتصادی محک زده شود. سپس، تحلیل داده‌های نانرمال بر اساس توزیع بِر و داده‌های کیفیت نانرمال [۳۰] انجام می‌گیرد که دارای ضریب چولگی و ضریب کشیدگی به‌ترتیب ۰/۶۳۵ و ۴/۶۳۰ هستند. به این ترتیب، ضریب چولگی و ضریب کشیدگی توزیع بِر به ترتیب $c=5$ و $k=2$ خواهند بود و از این‌جا، $M=0/85517$ و $S=0/24794$.

۴- نتایج عددی

در این بخش، نتایج عددی حاصل از طراحی اقتصادی نمودار کنترل $\bar{X}$ در حضور راهبردهای نگهداری پیش‌گیرانه و تابع زیان تاگوچی تحت طرح نمونه‌گیری نایکنواخت در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب به ازای مشخصه‌های کیفیت نرمال، تقریب بِر برای توزیع نرمال ($c=5$ و $k=6$) و تقریب بِر برای توزیع نانرمال ($c=5$ و $k=2$) ارائه شده است. فرض شده است مدل شوک وایبول با نرخ شکست افزایشی و با پارامتر مقیاس $\lambda=0/05$ و پارامتر شکل $\upsilon=2$ باشد. به‌علاوه، فرض می‌کنیم $Z_2=1$ ساعت، $a=1$ دلار، $b=0/1$ دلار، $Z_1{}^{max}=0/1$ ساعت، $Y=25$ دلار، $W=50$ دلار، $P=100$، $A=5$ و $\delta=2$ و $\frac{\sigma}{\Delta}=0/1$ پارامترهای ورودی مدل تلفیقی باشند. در هر سطر از جدول‌های ۱، ۲ و ۳، C_{PM}، سطح هزینه نگهداری، به‌عنوان کمیت ورودی مدل و سایر مقادیر، حاصل مسئله‌ی بهینه‌سازی با تابع هدف ($IECT=\frac{E(IQC)+E(PM)}{E(T)}$) هستند.

ابتدا دقت می‌کنیم مقایسه‌ی جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که تحت مدل شوک وایبول با پارامترهای مقیاس و شکل در نظر گرفته شده، نتایج طراحی‌های اقتصادی تلفیقی به ازای توزیع

Archive of SID

www.SID.ir

نرمال و بِر با پارامترهای $c = 5$ و $k = 6$ بسیار به هم نزدیک هستند که این امر دقت توزیع بِر برای تقریب توزیع نرمال را در طراحی اقتصادی نشان می‌دهد. نتیجه‌ای مشابه در این مورد، در [۲۹] نیز نشان داده شده است. مقایسه‌ی جدول‌های ۱ و ۳، که به‌ترتیب نتایج طراحی اقتصادی تلفیقی در دو حالت مشخصه‌ی کیفیت نرمال و نانرمال را نشان می‌دهند، وجود اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای بین نتایج حاصل از طراحی اقتصادی تلفیقی در استفاده از توزیع نرمال و توزیع بِر را بیان می‌کند. این موضوع بر اهمیت انتخاب توزیع مناسب برای مشخصه‌ی کیفیت تاکید می‌کند. همچنین به طور مشابه با آنچه در رویکرد کلاسیک در ادبیات موضوع، به‌ویژه در [۱۲] مشاهده شده است، نتایج در هر سه جدول نشان می‌دهند که با افزایش سطح نگهداری پیش‌گیرانه C_{PM}، متوسط هزینه‌ی کلی طراحی اقتصادی نمودار ($IECT$) در هر دو حالت نرمال و نانرمال کاهش می‌یابد.

جدول ۱. پارامترهای بهینه در طراحی اقتصادی و معیارهای آماری حاصل (توزیع نرمال)

C_{PM}	m	n	h_1	L	α	$1-\beta$	t_m	ET	$E(IQC)/E(T)$	$IECT$
۰	۱۸	۹	۲/۸۵	۳/۴۰	۰/۰۰۱	۰/۹۹۵۶	۱۲/۰۹	۵/۶۱	۱۲/۶۹	۱۲/۶۹
۱۰	۱۹	۱۳	۳/۳۷	۳/۳۴	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹۹	۶۱/۲۴	۸/۹۵	۹/۳۱	۱۲/۲۳
۱۵	۲۲	۱۲	۲/۸۷	۳/۳۹	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹۸	۵۹/۸۴	۹/۷۰	۸/۳۲	۱۱/۳۷
۲۰	۲۸	۱۱	۲/۳۱	۳/۳۹	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹۴	۶۰/۵۲	۱۱/۰۴	۷/۲۰	۱۰/۱۵

جدول ۲. پارامترهای بهینه در طراحی اقتصادی و معیارهای آماری حاصل (توزیع بِر، حالت نرمال)

C_{PM}	m	n	h_1	L	α	$1-\beta$	t_m	ET	$E(IQC)/E(T)$	$IECT$
۰	۱۶	۵	۲/۸۲	۲/۲۷	۰/۰۲۳	۰/۹۰۳۲	۱۱/۲۸	۵/۶۹	۱۳/۱۰	۱۳/۱۰
۱۰	۸	۵	۳/۳۵	۱/۶۰	۰/۱۱۱	۰/۹۸۳۲	۲۶/۸۶	۸/۹۴	۹/۷۶	۱۲/۷۴
۱۵	۱۳	۵	۲/۸۴	۱/۷۷	۰/۰۸	۰/۹۷۲۵	۳۶/۳۲	۹/۷۹	۸/۷۸	۱۱/۹۳
۲۰	۲۲	۵	۲/۲۲	۲/۰۱	۰/۰۴۵	۰/۹۴۹۹	۴۶/۸۰	۱۱/۴۴	۷/۵۳	۱۰/۷۳

جدول ۳. پارامترهای بهینه در طراحی اقتصادی و معیارهای آماری حاصل (توزیع بِر، حالت نانرمال)

C_{PM}	m	n	h_1	L	α	$1-\beta$	t_m	ET	$E(IQC)/E(T)$	$IECT$
۰	۱۷	۲۹	۳/۹۱	۲/۷۷	۰/۰۱۱	۰/۹۳۱۴	۱۶/۱۱	۵/۵۹	۱۱/۹۲	۱۱/۹۲
۱۰	۱۵	۲۸	۳/۹۰	۲/۴۲	۰/۰۲۰	۰/۹۱۹۵	۵۶/۶۹	۶/۷۴	۷/۸۳	۶/۹۷
۱۵	۷	۲۸	۴/۱۹	۲/۴۲	۰/۰۲۰	۰/۹۳۲۹	۲۹/۳۰	۶/۷۳	۸/۶۲	۶/۷۶
۲۰	۷	۲۷	۴/۶۰	۲/۳۵	۰/۰۲۲	۰/۹۲۸۷	۳۲/۱۶	۶/۵۴	۹/۲۲	۶/۰۵

Archive of SID

www.SID.ir

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدل هزینه‌ی تعمیم‌یافته‌ی بن‌دایا و رحیم (۲۰۰۰) برای تلفیق تابع زیان تاگوچی در طراحی اقتصادی نمودار کنترل $\bar{X}$ به کار گرفته شده است که متناسب با سامانه‌های روبه‌زوال در حضور راهبردهای نگهداری پیش‌گیرانه عمل می‌کند. مدل تلفیقی حاصل، نه‌تنها مفهوم زیان اجتماعی کیفیت تاگوچی را از مرحله‌ی پیش از ساخت به مرحله‌ی حین ساخت محصول گسترش می‌دهد، بلکه برای هر طرح نمونه‌گیری و هر توزیع طول عمر با نرخ شکست افزایشی قابل استفاده است. برای بررسی جامع‌تر، مدل تلفیقی تعمیم‌یافته حاصل تحت داده‌های نرمال و نانرمال به صورت نظری و عددی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج عددی به ازای توزیع وایبول به عنوان سازوکار شکست فرایند، طرح نمونه‌گیری نایکنواخت، و تابع زیان درجه دوم در جدول‌هایی خلاصه شده است. به عنوان پژوهش‌های آتی، مدل تلفیقی حاصل در این مقاله را می‌توان برای موقعیت‌هایی که استفاده از تابع‌های زیان دیگر معقولانه به نظر می‌رسد و نیز برای مدل‌های غیرخطی از بهبود سامانه تحت تاثیر راهبرد نگهداری پیش‌گیرانه تعدیل کرده و به کار گرفت.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با حمایت معنوی و مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علامه طباطبایی از هسته پژوهشی کیفیت انجام پذیرفته است.

مراجع

[1] Duncan, J. (1956). *The Economic Design of $\bar{X}$–Charts Used to Maintain Current Control of a Process. J. American Statistical Association*, 51, 228-242.

[2] Lorenzen, T. J. & Vance, L. C. (1986). *The Economic Design of Control Charts: A Unified Approach. Technometrics*, 28, 3-10.

[3] Ross, S. M. (1970). *Applied Probability Models with Optimization Applications*. San Francisco: Holden-Day.

[4] Saniga, E. M. (1989) *Economic statistical control-chart designs with an Application to $\bar{X}$ and R charts, Technometrics*, 31, 313-320.

[٥] Banerjee, P. K. & Rahim, M. A. (1987). *The economic design of control charts: a unified approach, Engineering Optimization*, 12, 63-73.

[٦] Banerjee, P. K. & Rahim, M. A. (1988). *Economic Design of $\bar{x}$-Control Charts Under Weibull Shock Models. Technometrics*, 30, 407-414.

[٧] Montgomery, D. (1980). *The economic design of control charts: A review and literature survey. Journal of Quality Technology*, 12, 75-87.

[٨] Ho, C. & Case, K. E. (1994). *Economic design of control charts, a literature review for 1981-1991. Journal of Quality Technology*, 26, 39-53.

[٩] Nakagawa, T. (1988). *Sequential imperfect preventive maintenance policies, IEEE Transactions on Reliability*, 37, 295-298.

[١٠] McKone, K. and Weiss, E. N. (1998). *Total Productive Maintenance: Bridging the Gap Between Practice and Research, Production Operations Management*, 7, 335-351.

[١١] Rahim, M. A. & Banerjee, P. K. (1993). *A generalized model for economic design of $\bar{x}$–control charts for production systems with increasing failure rate and early replacement. Naval Research Logistics*, 40, 787-809.

[١٢] Ben-Daya, M. & Rahim, M. A. (2000). *Effect of maintenance on the economic design of $\bar{x}$-control chart, European Journal of Operational Research*, 120, 131-143.

[١٣] Pande, P. S., Neuman, R. P. and Cavanagh, R. R. (2000). *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*, McGrow-Hill, New York.

[١٤] Ben-Daya, M. (1999). *Integrated production maintenance and quality model for imperfect processes, IIE Transactions*, 31, 491-501.

[١٥] Lee, B. H. & Rahim, M. A. (2001). *An integrated Economic design model for quality control, replacement, and maintenance, Quality Engineering*, 13, 581-593.

[١٦] Yeung, T. G. Cassady, C. R. & Schneider, K. (2008). *Simultaneous optimization of $\bar{X}$ control chart and age-based preventive maintenance policies under an economic objective, IIE Transactions*, 40, 147-159.

[١٧] Panagiotidou, S. & Nenes, G. (2009). *An economically designed, integrated quality and maintenance model using an adaptive Shewhart chart. Reliability Engineering and System Safety*, 94, 732-741.

[١٨] Mehrafrooz, Z. and Noorossana, R. (2011). *An integrated model based on statistical process*

Archive of SID

www.SID.ir

[۱۹] Morales, S. O. C. (2013). *Economic Statistical Design of Integrated X-bar-S Control Chart with Preventive Maintenance and General Failure Distribution*, *PLOS ONE,* 8, 1-25.

[۲۰] Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering. Designing Quality into Products and Processes.* Asian Productivity Organization.

[۲۱] Taguchi, G. & Wu, Y. (1979). *Introduction to Off-Line Quality Control.* Tokyo: Central Japan Quality Control Association.

[۲۲] Taguchi, G., Elsayed, E. A. & Hsiang, T. (1989). *Quality Engineering in Production Systems*. New York: McGraw-Hill.

[۲۳] Alexander, S. M., Dillman, M. A., Usher, J. S. & Damodaran, B. (1995). *Economic design of control charts using the Taguchi loss function. Computers and Industrial Engineering,* 28, 671-679.

[۲۴] Duffuaa, S. O. & Ben-Daya, M. (2003). *Integration of Taguchi's loss function approach in the economic design of $\bar{x}$–chart. International Journal of Quality & Reliability Management,* 20(5), 607-619.

[۲۵] Burr, IW. (1942). *Cumulative frequency functions. Annal Math Stat*, 13, 215–232.

[۲۶] Johnson, N. L. (1949). *Systems of frequency curves generated by methods of translation. Biometrika*, 36, 149-176.

[۲۷] Chen, H. & Cheng, Y. (2007). *Non-normality effects on the economic-statistical design of $\bar{X}$ charts with Weibull in-control time. European Journal of Operational Research,* 176, 986-998.

[۲۸] Chen, F. L. & Yeh, C. H. (2009). *Economic statistical design of non-uniform sampling scheme Xbar control charts under non-normality and Gamma shock using genetic algorithm. Expert Systems with Applications*, 36, 9488-9497.

[۲۹] Chen, F. L. & Yeh, C. H. (2011). *Economic statistical design for x-bar control charts under non-normal distributed data with Weibull in-control time. Journal of the Operational Research Society*, 62, 750-759.

[۳۰] Rahim, M. A. (1993). *Economic design of $\bar{X}$ control charts assuming Weibull distribution in-control times. Journal of Quality Technology,* 25(4), 296-305.

Archive of SID

www.SID.ir