

ارائه مدل چند متغیره تأثیر نگهداری و تعمیرات بر کیفیت تولید در فرآیندهای صنعت دارو با بهره‌گیری از رویکرد بیزی

فرشید مشایخ

دانشجوی دکترای مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
Farshid_mashayekh@yahoo.com

امیر عزیزی*

(نویسنده مسئول) استادیار، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. Azizi@srbiau.ac.ir

اسماعیل مهدی‌زاده

دانشیار، واحد قزوین، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. Emqiau@yahoo.com

مهدی یزدانی

دانشیار، واحد قزوین، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. M_Yazdani@qiau.ac.ir

چکیده: هدف این مقاله ارائه مدلی جامع برای هم‌افزایی کیفیت، پایداری و چابکی در سیستم‌های تولید دارو با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده توسط سیستم‌های بازرسی خودکار جهت ارتقای کیفیت محصول، برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید می‌باشد. با بررسی ادبیات مرتبط با مدیریت کیفیت، پایداری و چابکی در تولید، مدل یکپارچه کیفیت، نگهداری و تولید (IQMP) با استفاده از رویکردهای بیزی طراحی و توسعه داده شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل می‌تواند به طور مؤثری در جهت ارتقای کیفیت محصول، افزایش پایداری تولید و چابکی سیستم در برابر تغییرات و نوسانات محیطی عمل کند. استفاده از داده‌های بازرسی آنلاین می‌تواند به عنوان یک ابزار استراتژیک برای مدیران تولید و نگهداری به کار گرفته شود. با پیاده‌سازی این مدل در شرایط واقعی، شرکت‌ها قادر خواهند بود که از داده‌های جمع‌آوری شده توسط سیستم‌های بازرسی خودکار بهره ببرند و برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تری برای نگهداری و کنترل کیفیت انجام دهند.

واژگان کلیدی: رویکرد بیزی، کنترل کیفیت، برنامه‌ریزی تولید، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و پیشگویانه

ماشین‌ها و اپراتورها را فراهم نماید [۱]. با افزایش گسترده‌تری در مورد فرآیند تولید در دسترس قرار گرفت؛ که موجب بروز چالش‌ها و فرصت‌ها شد. فرصت بهره‌گیری از این فناوری‌ها برای افزایش رقابت و افزودن ارزش به فرآیند تولید از طریق بهبود کیفیت، بهره‌وری و انعطاف‌پذیری است. اما چالش‌ها در تبدیل داده‌های جمع‌آوری شده به تصمیم‌های آگاهانه و به موقع در عملیات صنعتی است؛ که می‌تواند تصمیم‌گیری مدیریت را تسهیل نماید [۲].

در محیط تولید معاصر، پایش فرآیند آماری^۲ (SPM) کارآمدترین روش برای استفاده از اطلاعات دریافتی از یک

۱. مقدمه

با پیشرفت‌های سریع فناوری و ادغام آنها در صنایع، چندین محدودیت مرتبط با مدیریت فرآیندها برطرف شدند. در حال حاضر، بسیاری از حسگرها را می‌توان در یک محیط تولید که داده‌ها را در تمام سطوح فرآیند، تولید می‌کنند، جایگذاری کرد. اینترنت اشیا، یکپارچه‌سازی داده‌های بلادرنگ^۱ را در شبکه کاربرد مفاهیم تولید هوشمند در حوزه صنعتی، بینش اطلاعاتی امکان‌پذیر می‌سازد؛ که می‌تواند اساس تعاملات بین محصولات،

* Corresponding author: Azizi@srbiau.ac.ir

<https://doi.org/10.48313/jqem.2024.210887>

¹ Realtime

² Statistical Process Monitoring

جلد ۱۳ - شماره ۴ - زمستان ۱۴۰۲

است. استانداردسازی و ثبات کیفیت خدمات بخش مهمی از فرآیند اتوماسیون است.

روش‌های کنترل کیفیت که به طور گسترده در صنعت تولید استفاده می‌شود می‌تواند اندازه‌گیری کیفیت خدمات و نظارت بر فرآیند خدمات را ارائه دهد [۸]. نمودار کنترل بی‌زی به عنوان ابزار نظارت بر فرآیند استفاده می‌شود؛ که ویژگی نوع حافظه آن، ادغام داده‌های فرآیند کامل را در فرآیند تصمیم‌گیری امکان‌پذیر می‌سازد، در نتیجه، منجر به بهبود کارایی با توجه به تشخیص تغییر و محافظت در برابر عوامل پرت می‌شود که در تحقیقات موجود به ندرت به این موضوع پرداخته شده است.

معمولاً در عصر تولید مدرن، نظارت مشترک بر ویژگی‌های کیفی متعدد از طریق مشاهدات فردی انجام می‌شود. با در نظر گرفتن این جنبه‌ها، این مطالعه با هدف توسعه یک مدل تصمیم‌یافته است؛ که تولید، نگهداری و کیفیت یک محیط تولید دارویی را، با توجه به محدودیت‌های متعدد، تحت رویه بهترین سیاست بازرسی درآورد و متغیرهای همبسته چندگانه را ادغام کند. به عبارت دیگر، مطالعات گذشته به ادغام SPM، CBM و برنامه‌ریزی تولید برای فرآیندهایی با تنها یک حالت OOC یا برای فرآیندهایی که کیفیت محصول با یک مشخصه کیفیت واحد تعریف می‌شود؛ محدود می‌شوند.

در این مطالعه، دستگاه‌های تولیدی با حالت‌های فرسودگی متعدد و ویژگی‌های کیفی مرتبط، با حالات خاص و انواع کنترل کیفیت در نظر گرفته می‌شوند. همچنین این پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های گوناگون بهینه‌سازی هوشمند اقدام به ارائه مدل بهینه جامع کیفیت، نگهداری و تولید برای فرآیندهای چند متغیره با در نظر گرفتن کلیه محدودیت‌ها می‌نماید.

این پژوهش با مطالعات پیشین در چندین زمینه کلیدی تفاوت مشخص دارد. این پژوهش به دنبال بهبود مدل‌های تلفیقی کیفیت، نگهداری و تولید برای فرآیندهای چند متغیره در سیستم‌های تولیدی دارو است، در حالی که از یک رویکرد بی‌زی استفاده می‌کند. این رویکرد چندین خلا در مطالعات پیشین را پوشش می‌دهد:

۱- بررسی فرآیندهای چندحالتی و فرسودگی متعدد: برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که تنها به یک حالت فرسودگی توجه داشتند، این پژوهش فرآیندهایی با حالات مختلف فرسودگی را در نظر می‌گیرد و برای آن‌ها یکپارچه‌سازی کیفیت، نگهداری و تولید را توسعه می‌دهد. این جنبه نوآورانه می‌تواند تأثیر

فرآیند، به منظور نظارت و کنترل کیفیت محصول بود. دو جنبه کلیدی فرآیند تولید، نگهداری و تعمیرات تجهیزات و برنامه‌ریزی تولید است. در بسیاری از کاربردهای عملی، خرابی ماشین ممکن است با خراب شدن تجهیزات به حالت عملیاتی پایین‌تر منجر شود. به طور کلی، سطح خرابی ممکن است از طریق اندازه‌گیری‌های مناسب تعریف شود؛ که می‌تواند پیش‌بینی خرابی‌ها را تسهیل نماید. در این مورد، استراتژی نگهداری بهینه با نظارت بر تجهیزات به طور پیوسته، مفهومی به نام نگهداری مبتنی بر وضعیت^۱ (CBM) را مطرح می‌کند. CBM یک برنامه تعمیر و نگهداری است که اقدامات (تصمیم‌ها) تعمیر و نگهداری را بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق فرآیند نظارت بر شرایط توصیه می‌کند [۳]. انگیزه CBM این است که ۹۹ درصد از خرابی‌های تجهیزات با علائم، شرایط یا نشانه‌های خاصی که قرار است خرابی رخ دهد، پیش آید. بنابراین، CBM برای مدیریت سلامت تجهیزات بهتر، هزینه چرخه عمر کمتر، اجتناب از شکست فاجعه بار و غیره مورد نیاز است. به طور کلی، هدف اصلی CBM انجام یک ارزیابی بلادرنگ از شرایط تجهیزات به منظور اتخاذ تصمیم‌ها تعمیر و نگهداری و در نتیجه کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری غیر ضروری و مربوط به آن است [۴].

با توجه به رابطه روشن بین خرابی ماشین و کیفیت محصول، اطلاعات کیفیت ممکن است برای ارزیابی وضعیت تجهیزات مورد استفاده قرار گیرد [۵]. وابستگی متقابل قابل توجهی بین کیفیت محصول، مدیریت نگهداری و تعمیرات و برنامه‌ریزی تولید در کاربردهای دنیای واقعی وجود دارد. تعاملات قوی این جنبه‌های فرآیندی، نیاز به بررسی و بهینه‌سازی یکپارچه دارد؛ که یک مسئله تحقیقاتی را تشکیل می‌دهد و با دنیای واقعی صنعت در ارتباط است. علاوه بر این، در محیط تولید خودکار و مدرن، بازرسی ۱۰۰٪ فرآیندها امکان‌پذیر است و می‌توان اندازه‌گیری‌های مربوط به هر واحد تولیدی را پس از محاسبه، تجزیه و تحلیل کرد؛ [۶] تا تصمیم‌گیری بهینه مبتنی بر داده را تسهیل نماید. همچنین، محیط فناوریانه کنونی، نظارت هم‌زمان بر ویژگی‌های کیفی چندگانه مربوط به محصول تولیدی (به عنوان مثال، ابعاد، وزن و شرایط محیطی مانند دما، رطوبت) را ممکن می‌سازد؛ که انتظار می‌رود دارای رابطه باشند [۷]. اتوماسیون خدمات به عنوان موج جدیدی از انقلاب صنعتی در حال ظهور

¹ Condition-Based Maintenance

حوزه موضوع پژوهش ارائه می‌گردد. در ادامه، به ترتیب سوالات و روش پژوهش تشریح می‌شود. بخش ششم به ارائه نتایج از برآورد مدل اختصاص دارد. در بخش پایانی نیز خلاصه پژوهش حاضر به همراه پیشنهادهای کاربردی بیان می‌شود.

۲. ادبیات پژوهش

۱.۲. تعمیر و نگهداری

تعمیر و نگهداری، در مباحث فنی، به بررسی‌های عملکردی، سرویس‌کاری، تعمیر یا تعویض وسایل، تجهیزات، ماشین‌آلات، زیرساخت‌های ساختمان و پشتیبانی از خدمات در تأسیسات صنعتی، تجاری، دولتی و مسکونی اطلاق می‌شود [۹].

۱.۱.۲. نگهداری پیشگیرانه

تعمیرات پیشگیرانه "یک روال برای بازرسی دوره‌ای" با هدف "شناسایی مشکلات کوچک و رفع آنها قبل از تبدیل شدن به یک مشکل بزرگ" است [۱۰]. در حالت ایده‌آل هیچ خرابی نباید رخ دهد [۱۱]. هدف اصلی PM^۱ برای تجهیزات، تعمیر و اصلاح آنها به گونه‌ای است که از زمان سرویس انجام شده تا زمان فرارسیدن دوره سرویس بعدی هیچ گونه خرابی، ناشی از خستگی قطعات، نادیده گرفتن، یا سایش معمولی رخ ندهد (مواردی که قابل پیشگیری است). این کار معمولاً با پایش وضعیت تجهیز و تعویض قطعات خورده شده قبل از خرابی کامل آنها انجام می‌شود. فعالیت‌های نگهداری شامل تعمیرات اساسی یا جزئی در دوره‌های مشخص شامل تعویض روغن، گریس‌کاری، روغن‌کاری، تنظیمات جزئی و غیره می‌شود. علاوه بر این، کارگران می‌توانند سوابق خرابی تجهیزات را ثبت و نگهداری کنند تا قبل از ایجاد خرابی سیستم، قطعات فرسوده جایگزین یا ترمیم شوند.

در مقابل تعمیرات پیشگیرانه، روش تعمیرات منفعل^۲ قرار دارد. این روش می‌تواند "ضرر و زیان‌هایی در پی داشته باشد". در روش تعمیرات منفعل، دستگاه یا تجهیز آنقدر کار می‌کند تا خراب شود و پس از خرابی پرسنل تعمیرات برای تعمیر آن رجوع می‌کند.

قابل توجهی بر بهبود دقت در پیش‌بینی خرابی‌ها و کاهش هزینه‌ها داشته باشد.

۲- مدل‌سازی کیفیت چندبعدی: بسیاری از مطالعات پیشین، کیفیت را تنها با یک شاخص یا ویژگی سنجیده‌اند. در این پژوهش، چندین ویژگی کیفی مورد بررسی قرار می‌گیرد که در مدل تلفیقی اثرگذار است. این امر به بهبود دقت پیش‌بینی و مدیریت کیفیت کمک می‌کند.

۳- کنترل کیفیت بیزی: استفاده از رویکرد بیزی در این پژوهش برای بهینه‌سازی سیاست‌های نگهداری و کنترل کیفیت در فرآیندهای چندمتغیره یکی از وجوه تمایز مهم است. در حالی که بسیاری از مطالعات پیشین از روش‌های کلاسیک مانند \bar{X} و نمونه‌گیری پذیرش استفاده کرده‌اند، این پژوهش از نمودارهای کنترل بیزی استفاده می‌کند که به دلیل انعطاف‌پذیری و دقت بیشتر در شرایط داده‌های عدم قطعیت و چندحالتی برجسته است. برخی از مطالعات پیشین نیز به استفاده از رویکرد بیزی پرداخته‌اند، اما پژوهش حاضر این رویکرد را با داده‌های پیچیده‌تر و چند متغیره در سیستم‌های دارویی تلفیق می‌کند.

۴- بهینه‌سازی سیاست‌های نگهداری و تولید: برخلاف مطالعاتی که به بررسی خط‌مشی‌های ساده نگهداری پرداختند، پژوهش فعلی از الگوریتم‌های پیچیده‌تر برای بهینه‌سازی همزمان تولید و نگهداری در فرآیندهای چندمتغیره استفاده می‌کند.

در مقایسه جزئی‌تر با پژوهش‌های مشابه که از رویکرد بیزی استفاده می‌کنند، پژوهش حاضر رویکرد بیزی را در شرایط پیچیده‌تر و با استفاده از داده‌های چندمتغیره به کار می‌گیرد. همچنین، برخلاف برخی از مطالعات که تنها به یک جنبه (مانند نگهداری) توجه دارند، این مقاله تلفیقی از کیفیت، نگهداری و تولید را برای بهینه‌سازی کل سیستم مد نظر قرار می‌دهد. این پژوهش، با در نظر گرفتن این خلاهای علمی و تمرکز بر فرآیندهای چند متغیره، می‌تواند نقش مهمی در بهبود سیستم‌های تولیدی دارو ایفا کند.

پرسش اصلی پژوهش حاضر این است که چگونه مدل بهینه جامع کیفیت، نگهداری و تولید برای فرآیندهای چندمتغیره دارای چه ویژگی‌هایی است و بهینه‌سازی این مدل چگونه صورت می‌پذیرد؟

سازمان‌دهی بخش‌های مختلف پژوهش به شرح ذیل است: در بخش بعدی به بیان ادبیات پژوهش پرداخته می‌شود. سپس در بخش پیشینه پژوهش، مروری بر مهم‌ترین مطالعات موجود در

² Reactive maintenance

¹ Preventive maintenance

بهینه‌تر و به صرفه‌تر انجام شود، چرا که به مرور زمان، اطلاعات به روزتری از وقوع یک خرابی احتمالی گردآوری می‌شود.

۲.۲. پایش فرآیند آماری (SPM)

SPM با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره، کاربردهای گسترده‌ای در فرآیندهای صنعتی از جمله مواد شیمیایی، پلیمرها، تولید میکروالکترونیک و فرآیندهای دارویی پیدا کرده است. وظایف SPM معمولاً عبارتند از:

- ۱) شناسایی و تشخیص خطا
- ۲) تخمین خطا، که بزرگی خطا را ارزیابی می‌کند.
- ۳) بازسازی خطا، که مقادیر بدون خطا را تخمین می‌زند؛ تا کنترل و نظارت ادامه داشته باشد حتی اگر برخی از خطاها رخ داده باشد.

با توجه به ماهیت مبتنی بر داده SPM، در مقایسه با روش‌های دیگر مبتنی بر نظریه سیستم‌ها یا مدل‌های فرآیند دقیق، به‌کارگیری آن برای فرآیندهای واقعی در مقیاس نسبتاً بزرگ آسان است [۱۲].

۳. پیشینه پژوهش

در مطالعه لایی و همکاران [۱۳]، یک EPQ برای تولید ناقص تحت سیاست نگهداری ترکیبی با کمبود و انباشت جزئی ارائه شده است. هدف از این کار یافتن مقدار تولید بهینه و سیاست نگهداری برای به حداقل رساندن هزینه کل سیستم است. مقدار تولید بهینه به عوامل مختلفی مانند نرخ تولید، نرخ خرابی، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های کمبود بستگی دارد. سیاست نگهداری ترکیبی می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه کل سیستم را در مقایسه با سیاست‌های نگهداری سنتی کاهش دهد. مدل پیشنهادی برای سیستم‌های تولید با تقاضای ثابت و نرخ خرابی ثابت کاربرد دارد. یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد که مدل EPQ با سیاست نگهداری ترکیبی می‌تواند ابزاری قدرتمند برای بهینه‌سازی سیستم‌های تولید ناقص باشد.

در مطالعه آرانلی [۱۴]، یک مدل برنامه‌ریزی فرآیند و نگهداری چند محصولی یکپارچه^۴ (IPPMP) برای بهینه‌سازی هزینه کل تولید و نگهداری ارائه شده است. مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن

فاکتور اصلی در تعمیرات پیشگیرانه "زمان‌بندی" و تعیین فواصل زمانی بین سرویس‌ها است. این زمان‌بندی شامل دوره خواب تجهیز یا خدمات نیز می‌شود. بر خلاف تعمیرات پیشگیرانه، "تعمیرات پایش شرایط" ارتباط مستقیمی با عمر تجهیزات ندارد.

۲.۱.۲. نگهداری مبتنی بر وضعیت (CBM)^۱

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت یکی از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات است؛ که در آن شرایط یک تجهیز در لحظه کنترل می‌شود تا مشخص شود که چه نوع اقدامات نگهداشتی باید صورت بپذیرد. هدف از نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت، نظارت مستمر بر دارایی‌ها برای شناسایی خرابی‌های قریب‌الوقوع است، که به وسیله آن می‌توان اقدامات نگهداری و تعمیرات را پیش از وقوع خرابی به‌طور پیشگیرانه برنامه‌ریزی کرد. ایده اصلی نگهداری مبتنی بر وضعیت این است؛ که این نظارت بلادرنگ و لحظه‌ای قبل از وقوع خرابی یا کاهش عملکرد تجهیز به زیر سطح بهینه، به تیم‌های نگهداشت زمان کافی را برای اقدامات پیشگیرانه می‌دهد.

۳.۱.۲. نگهداری اصلاحی^۲

نگهداری اصلاحی نوعی از روش نگهداری است که در آن تجهیزات پس از وقوع خرابی تعمیر می‌شوند. این روش گاهی پر هزینه‌ترین روش نگهداری است؛ چرا که خرابی یک قطعه یا جز ممکن است باعث ایجاد خرابی در سایر اجزای سیستم و قطعات شود.

۴.۱.۲. نگهداری پیشگویانه^۳

این استراتژی نگهداری از حسگرها برای نظارت بر پارامترهای کلیدی یک دستگاه یا سیستم استفاده می‌کند و از این داده‌ها در کنار روندهای تاریخی تحلیل شده، برای ارزیابی مداوم سلامت سیستم و پیش‌بینی خرابی‌ها قبل از وقوع آنها استفاده می‌کند. این روش این امکان را فراهم می‌کند که نگهداری تجهیزات بسیار

⁴ Integrated Multi-Product Process and Maintenance Planning

¹ condition based monitoring

² Corrective maintenance

³ Predictive maintenance

مدل می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش قابلیت اطمینان سیستم شود.

در مطالعه مگژ و همکاران [۱۷]، به دنبال سیاست‌های بهینه تولید، نگهداری و کنترل کیفیت محصول برای یک سیستم تولید با تخریب پیوسته است. هدف از این کار به حداقل رساندن هزینه کل سیستم در طول یک افق زمانی مشخص است. سیستم تولید با تخریب پیوسته مدل‌سازی، تابع هدف برای بهینه‌سازی سیاست‌های تولید، نگهداری و کنترل کیفیت تعریف و از روش‌های بهینه‌سازی پویا برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شد. یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد که استفاده از سیاست‌های بهینه تولید، نگهداری و کنترل کیفیت می‌تواند به طور قابل توجهی کارایی و اثربخشی سیستم‌های تولید با تخریب پیوسته را بهبود بخشد.

۴. روش پژوهش

۱.۴. تعریف مسئله

مسئله در نظر گرفته شده، تجزیه و تحلیل یک فرآیند تولید تک‌واحدی در معرض زوال است؛ که به‌طور کامل با ویژگی‌های کیفیت مرتبط با ρ مشخص می‌شود و نرخ تقاضای ثابت را برآورده می‌کند. این فرآیند در حالت IC آغاز می‌شود اما در معرض چندین علت قابل انتساب m است که بردار میانگین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وقوع یک علت قابل انتساب مانع از وقوع یک علت قابل انتساب دیگر نمی‌شود، مشروط بر اینکه عملکرد فرآیند به حالت پایین‌تر منتقل شود، به‌عنوان مثال، حالتی که در آن انحراف از هدف حداقل برای یک مشخصه کیفی بزرگتر و برای سایر خصوصیات کیفی بزرگتر یا برابر باشد. در نتیجه، اگر حالت j پایین‌تر از حالت i باشد، نرخ وقوع یک انتقال فرآیند از حالت i به حالت j مثبت است ($\lambda_{(i \rightarrow j)} > 0$)، و در غیر این صورت ($\lambda_{(i \rightarrow j)} = 0$) صفر است.

بردار میانگین از طریق آماره‌ای مناسب نظارت می‌شود؛ که باید از یک متغیر تصادفی پیوسته منشعب شود؛ برخی متغیرهای موجود از توزیع‌هایی مانند توزیع خی دو با درجه آزادی ρ هر زمان که فرآیند IC را اجرا می‌کند و توزیع غیر مرکزی کای دو با درجه آزادی ρ در صورتی که فرآیند تحت تأثیر علت قابل انتساب $i \in [1, m]$ عمل کند.

تداخلات بین فرآیندهای تولید و فعالیت‌های نگهداری، برنامه تولید و نگهداری را به طور همزمان تعیین می‌کند. تابع هدف برای بهینه‌سازی هزینه کل تولید و نگهداری تعریف و از الگوریتم فرا ابتکاری برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده می‌شود. مدل پیشنهادی می‌تواند هزینه کل تولید و نگهداری را به طور قابل توجهی کاهش دهد. مدل پیشنهادی برای سیستم‌های تولید چند محصولی با فعالیت‌های نگهداری پیچیده کاربرد دارد. مدل IPPMP ارائه شده در این مقاله ابزاری قدرتمند برای برنامه‌ریزی تولید و نگهداری در سیستم‌های تولید چند محصولی است. استفاده از این مدل می‌تواند منجر به کاهش هزینه کل تولید و نگهداری و افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم شود.

در مطالعه سلمانسنا و کاوی [۱۵]، به دنبال بهینه‌سازی همزمان طول سری تولید و سیاست نگهداری برای یک فرآیند ناقص با چند ویژگی کیفیت همبسته است. هدف از این کار به حداقل رساندن هزینه کل سیستم در طول یک افق زمانی مشخص است. فرآیند تولید ناقص با چند ویژگی کیفیت همبسته مدل‌سازی، تابع هدف برای بهینه‌سازی طول سری تولید و سیاست نگهداری تعریف و از روش‌های بهینه‌سازی عددی برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شد. طول سری تولید و سیاست نگهداری بهینه به عوامل مختلفی مانند نرخ تولید، نرخ خرابی، هزینه‌های تنظیم، هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های کیفیت و پارامترهای همبستگی بین ویژگی‌های کیفیت بستگی دارد. یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد که استفاده از سیاست‌های بهینه طول سری تولید و نگهداری می‌تواند به طور قابل توجهی کارایی و اثربخشی سیستم‌های تولید ناقص با چند ویژگی کیفیت همبسته را بهبود بخشد.

در مطالعه بومالسا و همکاران [۱۶]، یک مدل بهینه‌سازی برای برنامه‌ریزی نگهداری در یک سیستم تولید تک واحدی غیرقابل اعتماد ارائه شده است. مدل پیشنهادی از اطلاعات کیفیت پویا و وضعیت ماشین برای تعیین زمان بهینه تعمیرات پیشگیرانه استفاده می‌کند. هدف از این کار افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه‌های نگهداری است. مدل‌سازی سیستم تولید با استفاده از فرآیند مارکوف انجام، تابع هدف برای بهینه‌سازی برنامه نگهداری تعریف و از الگوریتم جستجوی تصادفی برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شد. مدل پیشنهادی برای سیستم‌های تولید تک واحدی غیرقابل اعتماد کاربرد دارد. از این

¹ In-control

- جمع‌آوری داده‌های جدید
- محاسبه توزیع‌های پسین
- تصمیم‌گیری بهینه
- به‌روزرسانی مداوم

تابع چگالی احتمال پیشین (توزیع‌های پیشین) بر پایه اطلاعات اولیه می‌باشد. این اطلاعات معمولاً یک ترکیب از اطلاعات قبلی داده‌ای، مطالعات تجربی، مشاهدات و نظریه‌ها می‌باشد. تابع چگالی احتمال پسین (توزیع‌های پسین) برای مشاهدات جدید y به وسیله فرضیه H می‌باشد. این تابع چگالی احتمال به عنوان تابع درست‌نمایی شناخته می‌شود. برای به دست آوردن تابع چگالی احتمال پسین، می‌بایست تابع چگالی احتمال پیشین با تابع درست‌نمایی به وسیله نظریه بیز با هم ترکیب شوند. احتمال پسین به هر دوی اطلاعات پیشین و اطلاعات نمونه y بستگی دارد و با تأثیری که اطلاعات داده‌ای جدید بر تابع چگالی احتمال پیشین به وسیله نظریه بیز می‌گذارد، تابع چگالی احتمال پیشین به تابع چگالی احتمال پسین تغییر شکل می‌یابد. باید تأکید شود که احتمال پسین، شامل نظر محقق در مورد پارامتر، اطلاعات داده‌ای و اطلاعات پیشین است.

این رویکرد بیزین به دلیل توانایی در ترکیب اطلاعات پیشین و داده‌های جدید و به‌روزرسانی مداوم باورها، امکان بهینه‌سازی بهتر و تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مدیریت یکپارچه کیفیت، نگهداری و تولید را فراهم می‌کند.

وضعیت عملیاتی فرآیند، در نمونه‌برداری زمان t ، کل فضای نمونه‌ای را تعریف می‌کند که به $(m + 1)$ حالت/رویداد متقابلاً انحصاری تقسیم می‌شود: حالت IC و حالت‌های عملیاتی تحت تأثیر هر عامل قابل انتساب $i \in [1, m]$ ، حالت خرابی (حالت F) یک حالت قابل مشاهده مستقیم است؛ زیرا فوراً عملیات فرآیند را متوقف می‌کند؛ در نتیجه، حالت F در استنتاج بیزی برای وضعیت عملیاتی فرآیند لحاظ نمی‌شود.

احتمالات کارکرد فرآیند در هر حالت $i \in [1, m]$ ، در نمونه‌برداری زمان t ، با عنوان p_i نشان داده شده، احتمالات پیشین را تشکیل می‌دهند. در آغاز چرخه تولید و پس از اجرای اقدامات CM ، فرآیند به صورت IC کار می‌کند و بنابراین $p_0 = 1$ و $p_i = 0 \forall i \in [1, m]$. از سوی دیگر، پس از اجرای اقدامات PM برای بازیابی فرآیند از حالت t ، فرآیند با احتمال برابر با $p_j = q_{ij}$ در حالت $j \in [0, m]$ کار می‌کند.

کل احتمال OOC با مقدار آخرین مشاهده به‌روز می‌شود. زمانی که این احتمال از حد از پیش تعیین‌شده بیشتر شود، اقدامات PM به تعمیرکنندگان ابلاغ می‌شود. مفهوم تعمیر و نگهداری به صورت ناقص استفاده می‌شود، بنابراین، اقدامات PM لزوماً فرآیند را از حالت OOC ، $i, \forall i \in [1, m]$ به حالت IC بازیابی نمی‌کند؛ اما به هر حالت غیر هم‌سطح $j, \forall j \in [0, m]$ ، با احتمال $q_{ij} (\sum_{j=0}^m q_{ij})$ منتقل می‌کند. با این وجود، به غیر از تغییرات کیفیت، ممکن است خرابی تجهیزات نیز در زمان تولید رخ دهد که منجر به توقف فرآیند می‌شود. در صورت خرابی، اقدامات تعمیر و نگهداری اصلاحی (CM) آغاز می‌شود، که می‌تواند فرآیند را به حالت خوب به وضعیت جدید بازگرداند. نرخ خرابی مستقیماً با انحراف وضعیت واقعی فرآیند از میانگین هدف مرتبط است؛ در نتیجه، بازیابی فرآیند متأثر از تغییر کیفیت، می‌تواند عملیات فرآیند را بهبود بخشد و احتمال خرابی را کاهش دهد. دوره تولید پس از N نقطه بازرسی به پایان می‌رسد، و اقدامات تعمیر و نگهداری آغاز می‌شود، و فرآیند را به شرایط خوب و وضعیت جدید باز می‌گرداند.

۲.۴. استنتاج بیزی برای وضعیت عملیاتی فرآیند

در این بخش، استفاده از قضیه بیز به عنوان ابزار SPM نشان داده شده است. راه‌حل بیزی برای مسئله نااطمینانی مدل متوسط‌گیری مدل بیزی (BMA) نام دارد که در آن مقادیر موردنظر اغلب از طریق متوسط‌گیری وزنی مقادیر مدل‌های خاص محاسبه می‌شوند. وزن‌ها به میزان حمایت داده‌ها از مدل موردنظر بستگی دارند که توسط احتمال‌های پسین^۱ هر مدل اندازه‌گیری می‌شوند. اصل اساسی در این روش آن است که با مدل‌ها و پارامترهای مرتبط با آن عنوان پدیده‌های غیر قابل مشاهده رفتار و توزیع آنها را بر مبنای داده‌ها و اطلاعات قابل مشاهده برآورد می‌نماید. مدل متوسط‌گیری به لحاظ مفهومی بسیار ساده است. این روش اطلاعات نمونه‌ای موجود در تابع درست‌نمایی^۲ برای یک مدل خاص را با نسبت‌های معینی (وزن‌های معینی) از مدل یا احتمالات پسین مدل ترکیب و از این طریق توزیع پارامترهای ناشناخته را در میان مدل‌ها برآورد می‌کند. مشخصه بارز رویکرد بیزی برای استنتاج، نسبت دادن احتمالات عددی به درجه اعتقاد محقق می‌باشد. در این رویکرد استفاده از قانون بیز با مراحل زیر انجام می‌شود:

- تعریف توزیع‌های پیشین

² Likelihood

¹ Posterior Probability

۱.۳.۴. مدت زمان مورد انتظار

مدت زمان مورد انتظار یک مرحله گذار (ET) برابر است با میانگین وزنی عبارات زیر:

۱- مدت زمان مورد انتظار IC دوره (τ_{IC}). این فرآیند در ابتدای بازه زمانی در حالت IC عمل می‌کند، تا زمانی که یک علت قابل انتساب یا یک شکست رخ دهد:

$$\tau_{IC} = \int_0^h \exp(-(v_0 + \lambda_{F10}) \cdot t) dt \quad (۴)$$

۲- مدت زمان مورد انتظار دوره OOO زمانی که فرآیند در حالت i ($\forall i \geq 0$) در ابتدای بازه (τ_{OOO}^i) عمل می‌کند.

جدول ۱. اصلاح طرح کنترل پیشنهادی به اشکال ساده‌تر

| مدل | هزینه‌های مربوطه | پارامترهای طراحی | تابع هدف |
|-----|------------------|------------------------|-------------|
| Q | PC | بازرسی، کیفیت | min (EC/ET) |
| Q-M | PC | بازرسی، کیفیت، نگهداری | min (EC/ET) |
| Q-P | PC, N | بازرسی، کیفیت | min (TC) |

۳- تأخیر زمانی در صورت هشدار نادرست (TT_0).

۴- زمان لازم برای بازیابی فرآیند OOO حالت i ($TT_i, TT_i > TT_0$)، و از شکست ($TT_F, TT_F > TT_i$)

۲.۳.۴. هزینه مورد انتظار

کل هزینه مورد انتظار یک چرخه تولید (TC) سه دسته هزینه زیر را در نظر می‌گیرد: هزینه مربوط به بازرسی مورد انتظار، هزینه مربوط به کیفیت و تعمیر و نگهداری در هر مرحله انتقال. بنابراین مسئله بهینه‌سازی به شرح زیر خواهد بود:

$$\min_{P_{C,N}} TC \quad (۵)$$

$$\text{subject to: } 0 < p_c < 1$$

$$N \in Z^+$$

به حداقل رساندن TC با استفاده از یک روش بهینه‌سازی به انجام می‌رسد.

برای اطمینان از امکان‌سنجی در برنامه‌های تولید واقعی، مقادیر کران بالا یا پایین برای یک اندازه‌گیری آماری باید بر اساس ویژگی‌های منحصر به فرد فرآیند تنظیم شوند. علاوه بر این، در کاربردهای عملی، N (تعداد بازرسی در یک دوره تولید) ممکن است برای اطمینان از تداوم فرآیند، بزرگتر یا مساوی یک کران

در نمونه برداری زمان بعدی $t + 1$ ، احتمال کارکرد فرآیند در هر حالت k ($k \in [0, m]$) با ضرب هر p_i ($i \in [0, m]$) در احتمال انتقال فرآیند از حالت i به k ، در بازه بازرسی به طول زمان h ، با عنوان $p_{ik}(h)$ نشان داده می‌شود. بنابراین، از عبارت زیر محاسبه می‌شود:

$$p_k = \sum_{i=0}^m p_i \cdot p_{ik}(h) \quad (۱)$$

در نمونه برداری زمان $t + 1$ ، برداری از مشاهدات $x_{t+1} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ جمع‌آوری و معیار T^2 محاسبه می‌شود ($T^2 = T_{t+1}^2$). برای محاسبه احتمال شرطی کارکرد فرآیند در هر حالت k ($k \in [0, m]$) با توجه به مشاهده خاصی از معیار T^2 ، مانند T_{t+1}^2 ، از قانون بیز به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$P(\text{Process at state } k | T_{t+1}^2) = \frac{f(T^2 | \text{Process at state } k) \cdot P(\text{Process at state } k)}{f(T^2) \cdot P(T_{t+1}^2)} \quad (۲)$$

جایی که $f(T^2 | \text{Process at state } k)$ تابع چگالی احتمال شرطی T^2 با توجه به وضعیت فرآیند و $f(T^2)$ تابع چگالی احتمال T^2 را نشان می‌دهد. برای اختصار، از این به بعد، $P(\text{Process at state } k)$ ، $f(T^2 | \text{Process at state } k)$ و $f(T^2) \cdot P(T_{t+1}^2)$ به ترتیب با f_k ، p'_k و f_k نشان داده خواهند شد. بنابراین، معادله بالا برابر است با:

$$p'_k = \frac{f_k p_k}{f(T^2)} = \frac{f_k \sum_{i=0}^m p_i p_{ik}(h)}{f(T^2)} \quad (۳)$$

متعاقباً، قضیه بیز به عنوان یک مکانیزم برای به‌روزرسانی احتمالات پیشین فرآیند در ابتدای یک بازه بازرسی به احتمالات پسین در انتهای آن بازه، با توجه به اطلاعات حاصل از رویه بازرسی، یعنی اندازه‌گیری‌های مربوط به هر ویژگی کیفی، به کار گرفته می‌شود.

در رویکرد کنترل فرآیند بیزی، برخلاف کنترل نمودارهای نوع نگهداری و رویکردهای مشابه که تنها آخرین مشاهده را در نظر می‌گیرند، اطلاعات حاصل از هر بردار مشاهدات از ابتدای چرخه تولید در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ می‌شود.

۳.۴. مدت زمان و هزینه مورد انتظار مرحله انتقال

در این بخش، مدت زمان مورد انتظار یک مرحله گذار و هزینه مورد انتظار به ترتیب برای ارزیابی زمان چرخه تولید و کل هزینه مورد انتظار در هر چرخه تولید محاسبه می‌شود.

فیلتر مورد استفاده در حذف داده‌های پرت، نوع خوشه‌بندی، روش برازش و سایر پارامترها در کروموزوم گنجانده می‌شود تا به جای اکتفا به مطالعاتی کتابخانه‌ای خود روش بهترین ترکیب ممکن را به دست آورد [۲۵].

۵. یافته‌های پژوهش

مثال عددی که برای نشان دادن عملکرد مدل پیشنهادی استفاده شده یا فرآیند نظارت‌شده با مجموعه داده‌های ارائه‌شده در جدول زیر مشخص می‌شود:

جدول ۲- پارامترهای اقتصادی و آماری مثال عددی

| تأخیرهای زمانی (دقیقه) | | اندازه شیفت‌ها | | نرخ رخداد | |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|--|-----------|--|
| $TT_0 = 10.0$ | $\delta_{1,1} = 1.0$ | $\lambda_{F 0} = 0.001$ | $\lambda_{(0 \rightarrow 1)} = 0.01$ | | |
| $TT_1 = 15.0$ | $\delta_{1,2} = 1.5$ | $\lambda_{F 1} = 0.002$ | $\lambda_{(0 \rightarrow 2)} = 0.005$ | | |
| $TT_2 = 25.0$ | $\delta_{2,1} = 2.0$ | $\lambda_{F 2} = 0.004$ | $\lambda_{(1 \rightarrow 2)} = 0.0090$ | | |
| $TT_F = 40.0$ | $\delta_{2,2} = 2.5$ | | | | |
| هزینه‌ها | | | | | |
| اموال | بازگرداندن | بازدید | OOC اقدام | | |
| $C_S = 400$ | $L_0 = 100$ | $b = 3$ | $M_1 = 100$ | | |
| | $L_1 = 200$ | | $M_2 = 250$ | | |
| | $L_2 = 400$ | | | | |
| | $L_F = 600$ | | | | |
| نرخ تقاضا $dr = 0.63$ واحد در ساعت | | نرخ تولید $pr = 0.8$ واحد در ساعت | | | |
| تقاضای سالانه $D = 1500$ واحد | | فاصله بازرسی $h = 75$ دقیقه | | | |

منبع: یافته‌های پژوهش

معرفی پارامترهای جدول:

C_S هزینه راه اندازی در هر چرخه تولید (\$).

TT_0 زمان تشخیص هشدار نادرست.

TT_i زمان برای بازیابی فرآیند از علت قابل انتساب i ($TT_0 < TT_i$).

TT_F زمان برای یک اقدام CM است ($TT_i < TT_F$).

L_0 هزینه هشدار اشتباه.

L_i هزینه بازیابی فرآیند به دلیل قابل انتساب i ($L_0 < L_i$).

L_F هزینه یک اقدام CM ($L_F > L_i$).

b هزینه بازرسی هر محصول.

$\lambda_{F|i}$ نرخ شکست زمانی که بردار میانگین فرآیند تحت تأثیر علت قابل انتساب i است.

dr demand نرخ تقاضا (واحد/واحد زمان).

h مدت زمان بازرسی ($h = 1|pr$).

$\delta_{i,r}$ میزان تغییر در میانگین فرآیندی مشخصه کیفی r^{th} به دلیل قابل انتساب i .

m تعداد کل علل مختلف قابل انتساب

OOC میانگین مربوط به r^{th} مشخصه کیفیت زمانی که علت قابل انتساب i رخ داده باشد.

می‌شوند، منطبق بر توزیع‌های نرمال استاندارد ($\mu_{1,0} = \mu_{2,0} = 1$) و برای پنج مورد آخر میانگین آن‌ها به $\mu_{1,1} = 1.0, \mu_{2,1} = 2.0$ شیفیت پیدا کرد ضرایب همبستگی برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

حل مسئله بهینه‌سازی (معادله ۵) مقادیر پارامترهای طراحی بهینه را ارائه می‌دهد: $p_c^* = 0.420$ و $N^* = 97$ و حداقل $TC^* = 6954.94$ دلار. کاربرد مدل پیشنهادی از طریق مثال دو متغیره ارائه شده در [۲۲] و [۲۳] نمایش داده می‌شود. در این مثال، مشخصه‌های کیفی برای پنج مشاهده اول، IC فرض

جدول ۳. پارامترهای اقتصادی و آماری مثال عددی

| $\frac{TC_i - TC_m}{TC_i}$ | هزینه‌های کلی | | اندازه شیفیت‌های کیفیت | | | | | | | | | | | | # |
|----------------------------|---------------|--------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---|
| | | | چندگانه قابل انتساب | | | | | | | | | منفرد قابل انتساب | | | |
| % | TC_m | TC_s | $\sigma_{3,3}$ | $\sigma_{3,2}$ | $\sigma_{3,1}$ | $\sigma_{2,3}$ | $\sigma_{2,2}$ | $\sigma_{2,1}$ | $\sigma_{1,3}$ | $\sigma_{1,2}$ | $\sigma_{1,1}$ | $\sigma_{1,3}$ | $\sigma_{1,2}$ | $\sigma_{1,1}$ | |
| ۴/۹۱ | ۷۵۸۱/۵ | ۸۰۷۹/۲ | ۰/۳۰ | ۱/۱۰ | ۰/۶۵ | ۰/۲۰ | ۰/۹۰ | ۰/۴۵ | ۰/۱۰ | ۰/۷۰ | ۰/۲۵ | ۰/۲۰ | ۰/۹۰ | ۰/۴۵ | |
| ۴/۸۷ | ۵۵۴۹/۸ | ۵۹۵۰/۳ | ۰/۴۰ | ۱/۲۰ | ۰/۷۵ | ۰/۲۰ | ۰/۹۰ | ۰/۴۵ | ۰/۰۰ | ۰/۶۰ | ۰/۱۵ | ۰/۲۰ | ۰/۹۰ | ۰/۴۵ | |
| ۵/۳۸ | ۷۳۷۹/۷ | ۷۹۳۰/۰ | ۱/۴۰ | ۰/۵۰ | ۰/۸۰ | ۱/۲۰ | ۰/۴۰ | ۰/۶۰ | ۱/۰۰ | ۰/۳۰ | ۰/۴۰ | ۱/۲۰ | ۰/۴۰ | ۰/۶۰ | |
| ۵/۸۲ | ۲۸۹۸/۱ | ۳۰۳۸/۲ | ۱/۶۰ | ۰/۶۰ | ۱/۰۰ | ۱/۲۰ | ۰/۴۰ | ۰/۶۰ | ۰/۸۰ | ۰/۲۰ | ۰/۲۰ | ۱/۲۰ | ۰/۴۰ | ۰/۶۰ | |
| ۵/۲۴ | ۴۸۹۶/۸ | ۵۱۴۲/۱ | ۱/۸۰ | ۰/۷۰ | ۱/۲۰ | ۱/۲۰ | ۰/۴۰ | ۰/۶۰ | ۰/۶۰ | ۰/۱۰ | ۰/۰۰ | ۱/۲۰ | ۰/۴۰ | ۰/۶۰ | |
| ۵/۳۹ | ۶۲۸۲/۵ | ۶۶۲۵/۷ | ۰/۲۰ | ۰/۱۲ | ۰/۸۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۰ | ۰/۷۰ | ۰/۱۰ | ۰/۰۷ | ۰/۶۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۰ | ۰/۷۰ | |
| ۶/۵۶ | ۵۵۸۳/۸ | ۵۸۷۸/۹ | ۰/۲۵ | ۰/۱۵ | ۰/۹۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۰ | ۰/۷۰ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ | ۰/۵۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۰ | ۰/۷۰ | |
| ۷/۹۳ | ۷۵۶۷/۷ | ۷۹۸۶/۲ | ۰/۳۰ | ۰/۲۰ | ۱/۰۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۰ | ۰/۷۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۴۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۰ | ۰/۷۰ | |
| ۶/۹۴ | ۵۲۵۵/۹ | ۵۵۵۰/۶ | ۰/۲۵ | ۱/۰۰ | ۰/۵۵ | ۰/۲۰ | ۰/۹۰ | ۰/۴۵ | ۰/۱۵ | ۰/۸۰ | ۰/۳۵ | ۰/۲۰ | ۰/۹۰ | ۰/۴۵ | |

منبع: یافته‌های پژوهش

تولیدی تأیید شد، عملکرد فعلی تولید خوب نیز مستلزم آن است که یک روش خوب برای کنترل فرآیندها و نظارت بر عملکرد آن ایجاد گردد. بر این اساس شرکت البرز دارو به عنوان یک شرکت نمونه از صنعت دارو انتخاب شده است.

شرکت البرز دارو

شرکت البرز دارو بزرگ‌ترین تولیدکننده داروهای قلبی عروقی در ایران، در تاریخ ۱۳۵۵/۰۵/۱۱ به صورت شرکت سهامی خاص با نام «اینترنشنال پروداکتس» به ثبت رسید. در تاریخ ۱۳۵۸/۰۵/۰۷ به نام «تولی فارما» و در تاریخ ۱۳۶۳/۰۹/۱۸ به نام «البرز دارو» (سهامی خاص) تغییر نام پیدا کرد. شرکت در تاریخ ۱۳۷۵/۰۹/۲۵ به سهامی عام تبدیل و در حال حاضر، شرکت البرز دارو جزء واحدهای تجاری فرعی شرکت گروه دارویی برکت (سهامی عام) است. دفتر مرکزی البرز دارو در تهران و محل کارخانه در زمینی به مساحت هشت هکتار با زیربنایی معادل ۳۰ هزار مترمربع در شهر صنعتی البرز قزوین واقع است. موضوع فعالیت شرکت، ساخت و فروش هرگونه محصولات دارویی، غذایی، مواد شیمیایی و آرایشی و تجهیزات پزشکی، واردات محصولات ساخته شده دارویی، غذایی، مواد شیمیایی و

۱.۵. اجرای روش بر روی داده‌های واقعی

در این بخش به اجرای روش در یک مورد مطالعاتی واقعی در صنعت دارو پرداخته می‌شود. صنعت داروسازی به دلیل اثرگذاری بر سلامت انسان‌ها همواره از مهم‌ترین ارکان نظام سلامت در دنیا بوده است. تولید یک محصول دارویی پروسه‌ای طولانی است که شامل شناسایی دارو، تست آزمایشگاهی، مطالعات حیوانی، آزمایشات بالینی و ثبت قانونی می‌باشد. برای افزایش اثربخشی و ایمنی دارو پس از تأیید، بسیاری از سازمان‌های نظارتی نظیر اداره غذا و داروی آمریکا (FDA) نیاز دارند که محصول دارویی را جهت شناسایی (هویت)، قدرت، کیفیت، خلوص و ثبات آن از قبل آزمایش کنند، سپس می‌توانند جهت استفاده روانه بازار کنند. به همین دلیل، اعتبار سنجی دارویی و کنترل‌های فرآیند حین تولید مهم می‌باشد. کنترل‌های فرآیند شامل بازرسی مواد خام (اولیه)، کنترل‌های درون فرآیندی است و هدف آن تأیید کیفیت محصول نهایی می‌باشد. هدف این است که عملکرد خطوط تولید روی خط تولید و یا خارج از خط تولیدی کنترل شود و سپس تأیید آن صورت گیرد. حتی پس از اینکه فرآیند

بسته‌بندی مورد استفاده در محصولات فوق‌الذکر و انجام عملیات تحقیقاتی و معاملات بازرگانی در حدود موضوع شرکت و مشارکت در شرکت‌های دیگر و خرید و فروش سهام آنهاست.

آرایشی و بهداشتی، ملزومات و تجهیزات پزشکی و توزیع آن، واردات ماشین‌آلات مربوط به تولید و اصلاح و یا تغییر صنعتی مواد، همچنین واردات مواد اولیه خام یا نیمه‌ساخته و لوازم

جدول ۴. محصولات شرکت البرز دارو (محصولات طبقه بندی شده گروه جامدات با رنگ کرمی مشخص شده است)

| نام کالا | بسته‌بندی | نام کالا | بسته‌بندی |
|--------------------------------------|-----------|--|-----------|
| قرص آ.ث.آ | ۱۰۰ | کپسول راکسال (استامینوفن-کافئین-بروفن) | ۳۰ |
| قرص نالیدیکیک اسید ۵۰۰ | ۱۰۰ | قرص لوزن -اچ | ۳۰ |
| قرص ترامادول ۱۰۰ | ۱۰۰ | آمپول نئوستیگمین ۰.۵ mg/1ml | ۱۰ |
| قرص آدی ژل اس (آلومینیوم ام جی اس) | ۱۰۰ | آمپول سایمیتیدین | ۱۰ |
| قرص نیتروکاردین ۶/۲ (نیتروگیلیسیرین) | ۵۰ | آمپول کتورولاک ۳۰ | ۱۰ |
| قرص نیتروکاردین ۴/۶ (نیتروگیلیسیرین) | ۵۰ | کپسول مونونیتروال ۵۰ میلی گرمی | ۳۰ |
| قرص آلفن ایکس ال (دیکلوفناک) | ۳۰ | آمپول آتروپین ۰.۵ MG/1ML | ۱۰ |
| سوسپانسیون آدی ژل اس | بطری ۲۴۰ | آمپول سیس آتراکورال ۱۰ | ۵ |
| سوسپانسیون کوتریموکسازول | بطری ۱۰۰ | آمپول تریامسینولون | ۱۰ |
| سوسپانسیون آدی ژل | بطری ۲۴۰ | آمپول انوکسان (انوکسپارین) ۸۰۰۰ | ۲ |
| شربت گایافنزین | بطری ۶۰ | قرص لوزن (لوزارتان) ۲۵ | ۱۰۰ |
| شربت دکسترومتورفان پی | بطری ۶۰ | شربت و مترال (اندانسترون ۴ mg/5ml) | بطری ۶۰ |
| قرص وراپامیل ۴۰ | ۱۰۰ | کپسول مبورین ۲۰۰ | ۳۰ |
| شربت دکسترومتورفان | بطری ۶۰ | آمپول دگزامتازون ۸ | ۱۰ |
| شربت سودوافدرین | بطری ۶۰ | قرص متواکستند (متورال سوکسینات ۴۷/۵) | ۳۰ |
| سوسپانسیون ایبوپروفن (پرتقال) | بطری ۱۲۰ | کپسول اورسودوکسی کولیک اسید ۳۰۰ | ۵۰ |
| سوسپانسیون لاکسی ژل (منیزیم) | بطری ۲۴۰ | آمپول و مترال (اندانسترون ۴ mg/2ml) | ۱۰ |
| قرص مترونیدازول ۲۵۰ | ۱۰۰ | آمپول پرومتازین ۵۰ mg/2ml | ۱۰ |
| آمپول متورال | ۵ | آمپول استامینوفن 150mg/ml (6.7ml) | ۵ |
| آمپول کلیندامایسین ۳۰۰ | ۱۰ | آمپول ویتامین C ۵۰۰ mg/5ml | ۱۰ |
| شربت دیفن هیدرامین | بطری ۶۰ | قرص بی پردین ۲ میلی‌گرمی | ۱۰۰ |
| شربت پدی کلد (سرم‌خوردگی کودکان) | بطری ۶۰ | آمپول میگراجکت سوماتریپتان (پریفیلد) ۶ mg/0.5ml | ۲ |
| آمپول کلرفنیرامین | ۱۰ | آمپول دی پیریدامول ۱۰ mg/2ml | ۱۰ |
| شربت اکسپکتورانت | بطری ۶۰ | آمپول ویتامین ب ۱/ب ۶/ب ۱۲ | ۱۰ |
| شربت سالبوتامول | بطری ۱۲۰ | قرص پلی پیل V | ۳۰ |
| قرص پیراستام ۸۰۰ | ۴۰ | قرص پلی پیل E | ۳۰ |
| شربت تنوکال جی (تئوفیلین جی) | بطری ۱۲۰ | قرص کارویدال ۲۵/۶ | ۱۰۰ |
| شربت ال-کارنیت | بطری ۱۲۰ | قرص کارویدال ۵/۱۲ | ۱۰۰ |
| آمپول بتامتازون ۴ mg/1ml | ۱۰ | آمپول تتراکوزاکتایدال -آ ۱ mg/1ml | ۱۰ |
| آمپول آتراکورال ۵۰ mg/5ml | ۵ | آمپول آمیودارون ۱۵۰ mg/3ml | ۱۰ |
| قرص متورال ۵۰ (متوپرولول) | ۳۰ | آمپول جنتامایسین ۸۰ | ۱۰ |
| قرص پارکین سی (لوودوپاسی) | ۱۰۰ | کپسول گلیسیفر اف (فروس گلاسیسین سولفات-اسید فولیک) | ۳۰ |
| قرص پارکین سی فورت (لوودوپاسی فورت) | ۱۰۰ | کپسول fefol | ۳۰ |
| سوسپانسیون نالیدیکیک اسید | بطری ۱۲۰ | قرص دایجستيو | ۱۰۰ |
| آمپول فوروزماید ۴۰ | ۱۰ | قرص اپلرون ۲۵ میلی گرم | ۳۰ |
| قرص استامینوفن ۵۰۰ | ۱۰۰ | قرص بیسموت ساب سترات | ۴۰ |

| نام کالا | بسته بندی | نام کالا | بسته بندی |
|----------------------------------|-----------|---|-----------|
| آمیول سیتی کولین | ۱۰ | کپسول مفنامیک اسید ۲۵۰ | ۱۰۰ |
| قرص پیرامیست ۶۰ (پیریدوستگمین) | ۱۰۰ | قرص ویتامین ب۱-۳۰۰ میلی گرم | ۱۰۰ |
| آمیول آلپکس (پیروکسیکام) | ۱۰ | قرص والسارتان ۸۰ میلی گرمی | ۱۰۰ |
| آمیول فوروزماید ۲۰ | ۱۰ | شریت آیوپلین | بطری ۱۲۰ |
| قرص گلیکلایزید ۸۰ | ۱۰۰ | قرص ومترال ۴mg (اندانسترون) | ۱۰۰ |
| آمیول هیوسین-ان-بوتیل بروماید ۲۰ | ۱۰ | کپسول گاباپنتین ۳۰۰ | ۱۰۰ |
| قرص اپلرون ۵۰ میلی گرم | ۳۰ | کپسول گاباپنتین ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| آمیول هپارین ۵۰۰ واحدی | ۱۰ | قرص کلسی بن (کلسیم د) | ۳۰ |
| شریت لاکتولوز | بطری ۲۴۰ | آمیول کتورولاک ۱۵ | ۱۰ |
| شریت زینکویت B | بطری ۱۲۰ | محلول تزریقی لیدوکائین ۲٪ (۱۵ml) | ۵ |
| شریت زینک سولفات | بطری ۱۲۰ | آمیول ویتامین ب ۱۲-۱۰۰۰ واحدی | ۱۰ |
| سوسپانسیون مترونیدازول | بطری ۱۲۰ | کپسول ایتراکونازول ۱۰۰ | ۱۰ |
| کپسول امپرازول ۲۰ | ۳۸ | قرص ایورمکتین (جعبه ای) | ۲۰ |
| شریت دیفن هیدرامین کامپاند | بطری ۶۰ | شریت زینکویت پلاس (زینک-ویتامین ث-ب کمپلکس) | بطری ۲۰۰ |
| قرص سیپروفلوکساسین ۵۰۰ | ۲۰ | کپسول ففول پلاس | ۳۰ |
| آمیول انوکسان (انوکسپارین) ۶۰۰۰ | ۲ | کپسول ففول پرگنسی | ۳۰ |
| آمیول انوکسان (انوکسپارین) ۴۰۰۰ | ۲ | سوسپانسیون گابیس (سدیم الژینات) | بطری ۲۰۰ |
| کپسول مگزیتون ۱۰۰ میلی گرمی | ۵۰ | آمیول بیانویت (دکسپانتنول ۵۰۰mg/2ml) | ۶۰ |
| کپسول مگزیتون ۲۰۰ میلی گرمی | ۵۰ | سوسپانسیون ایوپروفن (آلبالو) | بطری ۱۲۰ |
| آمیول ویتامین ب کمپلکس | ۱۰ | شریت سیتیزین هیدروکلراید | بطری ۶۰ |
| شریت کتوتیفن | بطری ۱۲۰ | سوسپانسیون پاراتل (استامینوفن) توت فرنگی | بطری ۱۲۰ |
| قرص استئوفوس ۷۰ | ۴ | سوسپانسیون پاراتل (استامینوفن) موزی | بطری ۱۲۰ |
| آمیول اکسی توسین ۱۰u/ml | ۱۰ | شریت برم هگزین هیدروکلراید | بطری ۶۰ |
| قرص آملوپرس (آملودیپین) | ۱۰۰ | آمیول بیانویت (دکسپانتنول ۵۰۰mg/2ml) | ۶۰ |

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۵- تقسیم بندی تولید

| گروه دارویی | هزینه تعمیرات نگهداری (میلیون ریال) | تعداد محصولات گروه | درصد بکارگیری ظرفیت تولید | ظرفیت واقعی تولید (میلیون ریال) | کارکنان واحد کنترل کیفیت و آزمایشگاه | سهم عددی فروش (میلیون ریال) | سهم ریالی فروش (هزار ریال) |
|-------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| جامدات | ۲۲,۷۲۰ | ۵۳ | ۷۸٪ | ۲,۲۳۸ | ۴۶ نفر | ۲,۶۱۰ | ۱۱,۲۸۳ |
| مایعات | ۲۰,۴۵۵ | ۵۲ | ۷۸٪ | ۴۱ | | ۴۰ | ۵,۱۷۴ |
| استریل | ۲۳,۳۵۷ | ۶۶ | ۷۸٪ | ۹۹ | | ۲۰۰ | ۹,۰۰۳ |

منبع: یافته‌های پژوهش

۲.۵. پارامترها در شرایط واقعی

پارامترهای اقتصادی و آماری در شرکت البرز دارو که برای نشان دادن عملکرد مدل پیشنهادی استفاده شده یا فرآیند نظارت شده با مجموعه داده‌های ارائه شده در جدول ۶ مشخص می‌شود:

جدول ۶. پارامترهای اقتصادی و آماری شرکت البرز دارو

| تأخیرهای زمانی (دقیقه) | | اندازه شیفت‌ها | | نرخ رخداد | |
|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|---|-----------|--|
| $TT_0 = 19.0$ | $\delta_{1,1} = 1.0$ | $\lambda_{F 0} = 0.0001$ | $\lambda_{(0 \rightarrow 1)} = 0.0001$ | | |
| $TT_1 = 25.0$ | $\delta_{1,2} = 2.0$ | $\lambda_{F 1} = 0.00015$ | $\lambda_{(0 \rightarrow 2)} = 0.0006$ | | |
| $TT_2 = 45.0$ | $\delta_{2,1} = 1.5$ | $\lambda_{F 2} = 0.00025$ | $\lambda_{(1 \rightarrow 2)} = 0.00065$ | | |
| $TT_F = 50.0$ | $\delta_{2,2} = 3.0$ | | | | |
| هزینه‌ها | | | | | |
| اموال | بازگرداندن | بازدید | اقدام OOC | | |
| $C_S = 79$ | $L_0 = 1000$ | $b = 2$ | $M_1 = 650$ | | |
| | $L_1 = 1500$ | | | | |
| | $L_2 = 2000$ | | $M_2 = 550$ | | |
| | $L_F = 3700$ | | | | |
| نرخ تقاضا $dr = 14$ واحد در ساعت | | نرخ تولید $pr = 15$ واحد در ساعت | | | |
| تقاضای سالانه $D = 48000$ واحد | | فاصله بازرسی $h = 48$ دقیقه | | | |

منبع: یافته‌های پژوهش

dr demand نرخ تقاضا (واحد/واحد زمان).

معرفی پارامترهای جدول:

pr production نرخ تولید (واحد/واحد زمان).

هزینه‌های بازرسی، کیفیت، نگهداری و تعمیرات، بر اساس معیار حداقل‌سازی هزینه به‌طور مشترک تعریف می‌شوند.

حل مسئله بهینه‌سازی (معادله ۱۳) مقادیر پارامترهای طراحی بهینه را ارائه می‌دهد: $p_c^* = 0.312$ و $N^* = 157$ و حداقل $TC^* = 87594.12$ میلیون ریال.

۳.۵. تحلیل حساسیت

ARL به طور متوسط، تعداد نمونه‌هایی است که قبل از آنکه یک نمودار کنترل یک تغییر در فرآیند را تشخیص دهد. ARL پایین‌تر نشان‌دهنده حساسیت بیشتر نمودار کنترل به تغییرات است. λ پارامتری است که نرخ وقوع علت را نشان می‌دهد. از نتایج ارائه شده می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که به طور کلی، با افزایش مقدار λ مقدار ARL کاهش می‌یابد. این به معنای آن است که با بزرگ‌تر شدن نرخ وقوع علت در فرآیند (افزایش λ)، نمودار کنترل زودتر این تغییر را تشخیص می‌دهد (ARL پایین‌تر). بین λ و ARL یک رابطه معکوس وجود دارد. یعنی هرچه مقدار λ بیشتر شود، مقدار ARL کمتر می‌شود و بالعکس. حساسیت نمودار کنترل به تغییرات در λ برای مقادیر مختلف λ

این روش یک ابزار یکپارچه‌ی کیفیت، نگهداری و تولید برای فرآیندهای ساخت توسعه می‌دهد. از یک سیاست بازرسی ۱۰۰٪ برای فرآیند تولید استفاده می‌شود که تحت تأثیر تغییرات متعدد کیفیت و خرابی‌ها قرار دارد. داده‌های جمع‌آوری شده از نظارت لحظه‌ای فرآیند به ویژگی‌های چندمتغیره‌ی مرتبط با محصول اشاره دارند و برای برآورد حالت عملیاتی فرآیند و تسهیل تصمیم‌گیری مطلوب استفاده می‌شوند. تصمیمات با تعداد بهینه‌ی بازرسی‌های یک چرخه‌ی تولید، سیاست نگهداری (یعنی زمان اجرای اقدامات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه) و سیاست کیفیت (یعنی مقدار حد کنترل که زنگ هشدار را فعال می‌کند) مرتبط هستند. تنظیم واقع‌گرایانه‌ی مسئله‌ی نظارت بر فرآیندهای چندمتغیره با چند حالت عملیاتی خارج از کنترل (OOC)، همراه با مفهوم نگهداری ناقص، قابلیت اعمال مدل را افزایش می‌دهد. پارامترهای طراحی بهینه مدل با در نظر گرفتن

نمودار کنترلی طراحی کرد که به تغییرات مورد انتظار در فرآیند حساسیت کافی داشته باشد؛ ولی تحلیل ارائه شده بر اساس داده‌های محدود ممکن است برای تعمیم به همه شرایط قابل اعمال نباشد.

L هزینه هشدار اشتباه، هزینه بازیابی فرآیند و هزینه یک اقدام CM است. هرچه مقدار L بزرگ‌تر باشد، به طور کلی نشان‌دهنده تغییر بزرگتری در فرآیند است. با این حال، بدون اطلاعات بیشتر در مورد ماهیت دقیق پارامتر L و اینکه کدام هزینه موردنظر است، نمی‌توانیم نتیجه‌گیری دقیقی ارائه دهیم. در نتایج ارائه‌شده، رابطه بین L و ARL کاملاً مشخص نیست. در برخی سطرها، با افزایش L، ARL افزایش می‌یابد، اما در برخی سطرهای دیگر این رابطه برقرار نیست و هر یک از این پارامترها ممکن است تأثیر متفاوتی بر ARL داشته باشد.

M هزینه هر واحد زمان برای عملیات فرآیند تحت تأثیر علت قابل انتساب است. هرچه مقدار M بزرگ‌تر باشد، به طور کلی نشان‌دهنده تغییر بزرگتری در فرآیند است. با این حال، بدون اطلاعات بیشتر در مورد ماهیت دقیق پارامتر M و اینکه کدام M موردنظر است، نمی‌توانیم نتیجه‌گیری دقیقی ارائه دهیم. اگر فرض کنیم که M یک پارامتر کلی برای اندازه تغییر در فرآیند است، آنگاه انتظار داریم که با افزایش مقدار M، مقدار ARL نیز افزایش یابد. این به این معنی است که هرچه تغییر در فرآیند بزرگ‌تر باشد، نمودار کنترل دیرتر این تغییر را تشخیص می‌دهد. با این حال، در نتایج ارائه‌شده، رابطه بین M و ARL کاملاً مشخص نیست. در برخی سطرها، با افزایش M، ARL افزایش می‌یابد، اما در برخی سطرهای دیگر این رابطه برقرار نیست.

۶. نتیجه‌گیری

این مطالعه یک ابزار یکپارچه برای کیفیت، نگهداری و تولید برای فرآیندهای ساخت توسعه داد. سیاست بازرسی ۱۰۰ درصدی برای فرآیند تولید که تحت تأثیر تغییرات و خرابی‌های متعدد کیفیت قرار می‌گیرد، اتخاذ شده است. داده‌های جمع‌آوری‌شده از نظارت لحظه‌ای فرآیند به ویژگی‌های چندگانه مرتبط محصول در صنایع دارویی اشاره می‌کند و برای برآورد وضعیت عملیاتی فرآیند و تسهیل تصمیم‌گیری بهینه استفاده می‌شود. این تصمیمات شامل تعداد بهینه بازرسی‌های یک چرخه تولید، خط‌مشی تعمیر و نگهداری (زمان اجرای اقدامات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه) و خط‌مشی کیفیت (مقدار حد

متفاوت است. در برخی موارد، تغییر کوچک در λ می‌تواند باعث کاهش قابل توجهی در ARL شود، در حالی که در موارد دیگر، تغییر بزرگ در λ ممکن است تأثیر کمتری بر ARL داشته باشد.

σ میزان تغییر در میانگین فرآیندی یک مشخصه کیفی به دلیل قابل انتساب است. از نتایج ارائه شده می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که به طور کلی، با افزایش مقدار σ ، مقدار ARL افزایش می‌یابد. این به معنای آن است که با افزایش میزان تغییر در میانگین فرآیندی یک مشخصه کیفی به دلیل قابل انتساب σ ، نمودار کنترل دیرتر تغییر در فرآیند را تشخیص می‌دهد (ARL بالاتر). بین سیگما و ARL یک رابطه مستقیم وجود دارد. یعنی هرچه مقدار سیگما بیشتر شود، مقدار ARL نیز بیشتر می‌شود و بالعکس. حساسیت نمودار کنترل به تغییرات در σ ، برای مقادیر مختلف سیگما متفاوت است. در برخی موارد، تغییر کوچک در σ می‌تواند باعث افزایش قابل توجهی در ARL شود، در حالی که در موارد دیگر، تغییر بزرگ در سیگما ممکن است تأثیر کمتری بر ARL داشته باشد.

δ سوم با توجه به اینکه بزرگترین تغییر در فرآیند را نشان می‌دهد، انتظار می‌رود که با افزایش این مقدار، مقدار ARL نیز بیشترین افزایش را تجربه کند. به عبارت دیگر، نمودار کنترل دیرتر به این تغییر بزرگ واکنش نشان می‌دهد. δ دوم تغییری متوسط در فرآیند را نشان می‌دهد و انتظار می‌رود که افزایش این متغیر نیز باعث افزایش ARL شود، اما این افزایش به اندازه افزایش در مورد سوم نخواهد بود. δ اول کوچک‌ترین تغییر در فرآیند را نشان می‌دهد و انتظار می‌رود که افزایش این مقدار کم‌ترین تأثیر را بر ARL داشته باشد.

b نشان‌دهنده هزینه بازرسی هر محصول است. هرچه مقدار b بزرگ‌تر باشد، به طور کلی نشان‌دهنده هزینه بازرسی هر محصول بیشتر در فرآیند است. با توجه به نتایج ارائه شده، می‌توانیم مشاهده کنیم که به طور کلی، با افزایش مقدار b، مقدار ARL نیز افزایش می‌یابد. این رابطه به این معنی است که هرچه هزینه بازرسی هر محصول بزرگ‌تر باشد (b بزرگ‌تر)، نمودار کنترل دیرتر این تغییر را تشخیص می‌دهد (ARL بالاتر). در برخی سطرها، این رابطه دقیقاً برقرار نیست. این ممکن است به دلایل مختلفی از جمله پیچیدگی‌های مدل استفاده شده باشد. به طور کلی، افزایش مقدار b منجر به افزایش ARL می‌شود. این نشان می‌دهد که نمودار کنترل به هزینه بازرسی هر محصول بیشتر در فرآیند حساسیت کمتری دارد. پارامتر b نقش مهمی در طراحی نمودار کنترل دارد. با انتخاب مقدار مناسب برای b، می‌توان

کنترلی و کارکرد آن‌ها را نیز مورد بررسی قرار داد. در تحقیقات آینده، می‌توان سایر نمودارهای کنترلی مانند CUSUM و EWMA را برای بهبود دقت تشخیص تغییرات در فرآیندها بررسی کرد. این نمودارها به‌ویژه در صنایع با نوسانات بالاتر می‌توانند به کار گرفته شوند و کارایی مدل را بهبود بخشند. تکنیک نظارت بیزی از نوع حافظه‌ای، بازدهی خوبی در تشخیص اختلالات کوچک و محافظت در برابر مقادیر پرت ارائه داد؛ اما همچنان می‌توان بر روی اختلالات عمده و در صنایعی با نوسانات بالاتر از همین روش استفاده کرد و بازدهی را مورد آزمون قرار داد. علاوه بر این، از طریق بهینه‌سازی با الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر به جز ژنتیک، میزان صرفه‌جویی در هزینه را ثبت کرد.

مدل IQMP می‌تواند به فرآیندهای چندمتغیره دیگر در صنایع مختلف گسترش یابد. استفاده از این مدل برای نظارت بر فرآیندهایی که تحت تأثیر دلایل قابل انتساب مختلف قرار می‌گیرند، به عنوان یک رویکرد واقع‌گرایانه‌تر در تولید مدرن می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. در تحقیقات آتی می‌توان گزینه‌های غیرپارامتری را برای مسئله پایش کیفیت و نگهداری بررسی کرد. این رویکردها می‌توانند در مواقعی که توزیع داده‌ها ناشناخته است، مفید باشند.

۸- محدودیت‌های تحقیق

محدودیت‌های اصلی شامل موارد زیر است:

این تحقیق بر روی فرآیندهای چند متغیره در سیستم تولیدی دارو متمرکز شده است و امکان گسترش آن در زنجیره تأمین و گستره بزرگ‌تر با توجه به زمان و امکانات امکان‌پذیر نبود.

مدل IQMP ارائه‌شده در این تحقیق هنوز در دنیای واقعی پیاده‌سازی نشده است، تا نتیجه به‌صورت ملموس در عمل مشاهده شود.

این تحقیق عمدتاً بر روی فرآیندهای دارویی متمرکز بوده و پیاده‌سازی مدل در دنیای واقعی می‌تواند نتایج مطلوبی به دست بیاورد که از محدودیت‌های اجرایی این تحقیق بود. محدودیت دیگری که باید به آن توجه شود، این است که مدل پیشنهادی در یک مجموعه داده خاص آزمایش شده است و ممکن است در محیط‌های صنعتی دیگر عملکرد متفاوتی داشته باشد. همچنین این مدل تنها برای فرآیندهای چندمتغیره در سیستم تولید دارو توسعه داده شده و برای صنایع دیگر ممکن است نیاز به تعدیل‌ها و تغییراتی داشته باشد. یکی از چالش‌های این مدل، پیچیدگی در پیاده‌سازی آن در زنجیره‌های تأمین بزرگ‌تر و در سیستم‌هایی

کنترل که زنگ هشدار را فعال می‌کند) هستند. استفاده از داده‌های واقعی نظارت بر فرآیندهای چندمتغیره با حالت‌های عملیاتی متعدد خارج از کنترل (OOC) به همراه مفهوم تعمیر و نگهداری ناقص، کاربرد مدل را افزایش داد. پارامترهای طراحی بهینه مدل با در نظر گرفتن هزینه‌های بازرسی، کیفیت، نگهداری، به طور مشترک بر اساس معیار حداقل‌سازی هزینه تعریف شدند. برای نظارت بر فرآیند از طریق احتمال کلی OOC از نمودار کنترل بیزی استفاده شد. تکنیک نظارت بیزی از نوع حافظه‌ای، بازدهی در تشخیص اختلالات کوچک و محافظت در برابر مقادیر پرت ارائه داد.

مدلی که در این تحقیق ارائه شده، به طور مؤثری در بهبود کیفیت محصول، برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری تجهیزات و برنامه‌ریزی تولید استفاده می‌شود. با این حال، مقایسه این مدل با روش‌های مشابه در صنایع دارویی و دیگر صنایع می‌تواند ارزش بیشتری به مدل اضافه کند. به عنوان مثال، روش‌های نگهداری مبتنی بر زمان یا رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی (AI) در برنامه‌ریزی تولید و تعمیرات نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک مقایسه جامع از نظر میزان کاهش هزینه‌های نگهداری، بهبود کیفیت محصول و بهره‌وری تولید، نشان می‌دهد که مدل IQMP می‌تواند در بسیاری از موارد عملکرد بهتری داشته باشد.

کارایی مدل پیشنهادی به بزرگی تغییر در فرآیند بستگی دارد. این مطالعه فقط بر روی یک مجموعه داده خاص آزمایش شده است. ممکن است مدل‌های دیگر با عملکرد مشابه یا بهتر وجود داشته باشند.

۷. پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

مدل پیشنهادی را می‌توان در چند جهت برای افزایش کاربرد گسترده آن گسترش داد. به طور خاص، برای نظارت بر فرآیندهای چندمتغیره تحت تأثیر دلایل قابل انتساب متعدد که بر میانگین و نوسانات فرآیند تأثیر می‌گذارند، به عنوان رویکردی واقع‌گرایانه‌تر برای کاربردهای تولید مدرن، می‌تواند گسترش یابد. علاوه بر این، یک گسترش عملی بالقوه شامل بررسی گزینه‌های غیرپارامتری مسئله است. کارهای آتی همچنین ممکن است بر نظارت بر فرآیندهایی متمرکز کند که در آن‌ها زمان‌های سپری‌شده تا تغییرات کیفیت و خرابی‌ها از توزیع عمومی با نرخ خطر فزاینده پیروی می‌کنند. همان‌طور که مشاهده گردید، برای نظارت بر فرآیند از طریق احتمال کلی OOC از نمودار کنترل بیزی استفاده شد در تحقیقات آتی می‌توان سایر نمودارهای

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

با داده‌های پیچیده‌تر است. تحقیقات آینده می‌تواند به رفع این محدودیت‌ها پرداخته و مدل IQMP را در محیط‌های بزرگ‌تر و پیچیده‌تر بررسی کند.

فهرست منابع

- [13] Lai, X., Chen, Z., & Bidanda, B. (2019). Optimal decision of an economic production quantity model for imperfect manufacturing under hybrid maintenance policy with shortages and partial backlogging. *International Journal of Production Research*, 57(19), pp. 6061-6085.
- [14] Arani, M., Dastmard, M., Ebrahimi, Z. D., Momenitabar, M., & Liu, X. (2020). Optimizing the total production and maintenance cost of an integrated multi-product process and maintenance planning (IPPMP) model. *IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*, 1-8.
- [15] Salmasnia, A., & Kaveie, M. (2022). Joint optimisation of production run length and maintenance policy for an imperfect process with multiple correlated quality characteristics. *International Journal of Quality Engineering and Technology*, 8(4), 379-405.
- [16] Boumallessa, Z., Chouikhi, H., Elleuch, M., & Bentaher, H. (2023). Modeling and optimizing the maintenance schedule using dynamic quality and machine condition monitors in an unreliable single production system," *Reliability Engineering & System Safety*, 235, 109216.
- [17] Megoze Pongha, P., Kenné, J.-P., De Jesus Garcia, E., & Hof, L. A. (2023). Optimal joint production, maintenance and product quality control policies for a continuously deteriorating manufacturing system. *International Journal of Modelling and Simulation*, 43(3), 135-152.
- [18] Fakher, H. B., Nourelfath, M., & Gendreau, M. (2018). Integrating production, maintenance and quality: A multi-period multi-product profit-maximization model. *Reliability Engineering & System Safety*, 170, 191-201.
- [19] Mitchell, M. (1998). *An introduction to genetic algorithms*. MIT press.
- [20] Ramezani, S., Moini, A., & Riahi, M. (2019). A Model to Determining the State of Degradation and Remaining Useful Life of Rotating Equipment, With a New Approach to Combination and Predicting Health Index," (in eng), *Modares Mechanical Engineering*, 19(10), 2351-2365.
- [21] Verma, S., Pant, M., & Snasel, V. (2021). A comprehensive review on NSGA-II for multi-
- [1] Sahara, C. R., & Aamer, A. M. (2022). Real-time data integration of an internet-of-things-based smart warehouse: a case study. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, 18(5), 622-644.
- [2] Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157-169, 2018.
- [3] Prajapati, A., Bechtel, J., & Ganesan, S. (2012). Condition based maintenance: a survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), 384-400.
- [4] Ahmad R., & Kamaruddin, S. (2012). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & industrial engineering*, 63(1), 135-149.
- [5] Zeppetella, L., Gebennini, E., Grassi, A., & Rimini, B. (2017). Optimal production scheduling with customer-driven demand substitution. *International Journal of Production Research*, 55(6), 1692-1706.
- [6] Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons.
- [7] Makis, V. (2009). Multivariate Bayesian process control for a finite production run. *European Journal of Operational Research*, 194(3), 795-806.
- [8] Victorino, L., Verma, R., & Wardell, D. G. (2013). Script usage in standardized and customized service encounters: Implications for perceived service quality. *Production and Operations Management*, 22(3), 518-534.
- [9] EFNMS, (2014). *European Federation of National Maintenance Societies*.
- [10] Hinds, M. D. (1985). *PREVENTIVE MAINTENANCE: A CHECKLIST*. in *The New York Times*, ed.
- [11] Shewhart W. A. & Deming, W. E. (1986). *Statistical method from the viewpoint of quality control*. Courier Corporation.
- [12] Joe Qin, S. (2003). *Statistical process monitoring: basics and beyond*. *Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society*, 17(8-9), 480-502.

[25] Ramezani, S., Moini, A., & Riahi, M. (2019). A Model to Determining the State of Degradation and Remaining Useful Life of Rotating Equipment, With a New Approach to Combination and Predicting Health Index. *Modares Mechanical Engineering*, 19(10), pp. 2351-2365.

objective combinatorial optimization problems. *IEEE access*, 9, 57757-57791.

[22] Crosier, R. B. (1988). Multivariate generalizations of cumulative sum quality-control schemes. *Technometrics*, 30(3), 291-303.

[23] Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., & Rigdon, S. E. (1992). A multivariate exponentially weighted moving average control chart. *Technometrics*, 34(1), 46-53.

[24] Mitchell, M. (1998). *An introduction to genetic algorithms*. MIT press.

Presenting A Multivariate Model of the Effect of Maintenance and Repairs on Production Quality in Pharmaceutical Industry Processes Using the Bayesian Approach

Farshid Mashayekh

Industrial engineering Ph.d student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. Iran. Farshid_mashayekh@yahoo.com

Amir Azizi**

(Corresponding Author): Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. Iran. Azizi@srbiau.ac.ir

Esmail Mehdizadeh

Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin. Iran. Emqiau@yahoo.com

Mehdi Yazdani

Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin. Iran. M_Yazdani@qiau.ac.ir

Abstract: In today's competitive world, pharmaceutical industries face increasing quality, efficiency, and production flexibility challenges. An integrated approach is needed to manage these three critical pillars to achieve sustainable success. This paper aims to develop a comprehensive model for the synergy of quality, sustainability, and agility in drug production systems. Reviewing the literature on quality management, sustainability, and agility in production, an integrated quality, maintenance, and production (IQMP) model was designed and developed using Bayesian approaches. Then, the model's efficiency was simulated and evaluated in different conditions. The results show that the model can effectively improve product quality and increase production stability and system agility against environmental changes and fluctuations. Using online inspection data in this model significantly increases its accuracy and efficiency in quality, maintenance, and production planning decisions. The model presented in this research provides a new and efficient tool for the pharmaceutical industry to achieve stable, high-quality, and flexible production.

Keywords: Bayesian approach, quality control, production planning, preventive maintenance

Aim and Introduction

In the contemporary production environment, statistical process monitoring (SPM) is the most efficient method of using information received from a process to monitor and control product quality. Two critical aspects of the production process are equipment maintenance and production planning. In many practical applications, machine failure may lead to a lower operational state by equipment failure. The level of failure may be defined through appropriate measurements, which can facilitate the prediction of breakdowns. In this case, the optimal maintenance strategy of continuously monitoring the equipment suggests a concept called condition-based maintenance (CBM). CBM is a maintenance program that recommends actions (decisions) based on information collected through condition monitoring.

* Corresponding Author: Azizi@srbiau.ac.ir

Commonly in the modern manufacturing era, joint monitoring of multiple quality attributes is done through individual observations. Considering these aspects, this study aims to develop a generalized model that brings the production, maintenance, and quality of a pharmaceutical manufacturing environment under the best inspection policy procedure, considering multiple constraints, and integrating multiple interrelated variables [7]. In other words, past studies have focused on integrating SPM, CBM, and production planning for processes with only one OOC mode or for processes where a single quality characteristic defines product quality as limited. This study considers production devices with multiple wear states and related quality characteristics, multiple inventories with specific states, and quality control types. Also, this research presents a comprehensive optimal model of quality, maintenance, and production for multivariable processes by using various intelligent optimization algorithms, considering all limitations. The main question of the current research is how the comprehensive optimal model of quality, maintenance, and production for multivariable processes has what features and how this model is optimized.

Methodology

A Bayesian control chart is used as a process monitoring tool. Its memory type feature enables the integration of complete process data in decision-making. As a result, it improves efficiency in change detection and protection against outliers. This issue has yet to be addressed in existing research. Usually, in modern manufacturing, joint monitoring of multiple quality attributes is done through individual observations. Considering these aspects, this study aims to develop a generalized model that brings the production, maintenance, and quality of a pharmaceutical manufacturing environment under the best inspection policy procedure, considering multiple constraints and integrating numerous interrelated variables [6].

Findings

The use of actual monitoring data on multivariate processes with multiple out-of-control (OOC) operating modes, along with the concept of incomplete maintenance, enhanced the applicability of the model. The optimal design parameters of the model were jointly defined based on the cost minimization criterion, considering the costs of inspection, quality, maintenance, and storage. A Bayesian control chart was used to monitor the process through overall OOC probability. The memory type Bayesian monitoring technique efficiently detected minor disturbances and protected against outliers.

This study is only tested on a specific data set. There may be other models with similar or better performance. [1, 3].

Discussion and Conclusion

This study developed an integrated tool for manufacturing processes' quality, maintenance, and production. A 100% inspection policy is adopted for the manufacturing process, which is affected by multiple quality variations and breakdowns. The data collected from real-time process monitoring points to multiple relevant product characteristics in the pharmaceutical industry and is used to estimate the operational status of the process and facilitate optimal decision-making. These decisions include the optimal number of inspections in a production cycle, the maintenance policy (when to implement preventive maintenance actions), and the

quality policy (the control limit value that activates an alarm). The use of actual monitoring data on multivariate processes with multiple out-of-control (OOC) operating modes, along with the concept of incomplete maintenance, enhanced the applicability of the model. The optimal design parameters of the model were jointly defined based on the cost minimization criterion, considering the costs of inspection, quality, maintenance, and storage. A Bayesian control chart was used to monitor the process through overall OOC probability. The memory type Bayesian monitoring technique efficiently detected minor disturbances and protected against outliers. The efficiency of the proposed model depends on the magnitude of the change in the process. This study is only tested on a specific data set. Other models may have similar or better performance.

The proposed model can be extended in several directions to increase its widespread applicability. In particular, it can be extended to monitor multivariate processes affected by multiple attributable causes that affect the process mean and fluctuations as a more realistic approach for modern manufacturing applications. Furthermore, a potential practical extension involves investigating nonparametric alternatives to the problem. Future work may also focus on monitoring processes where elapsed times to quality changes and failures follow a general distribution with increasing hazard rates.

Reference

- [1] Crosier, R. B. (1988). Multivariate generalizations of cumulative sum quality-control schemes. *Technometrics*, 30(3), 291-303.
- [2] Hinds, M. D. (1985). PREVENTIVE MAINTENANCE: A CHECKLIST. in *The New York Times*, ed.
- [3] Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., & Rigdon, S. E. (1992). A multivariate exponentially weighted moving average control chart. *Technometrics*, 34(1), 46-53.
- [4] Mitchell, M. (1998). *An introduction to genetic algorithms*. MIT press.
- [5] Prajapati, A., Bechtel, J., & Ganesan, S. (2012). Condition based maintenance: a survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), 384-400.
- [6] Ramezani, S., Moini, A., & Riahi, M. (2019). A Model to Determining the State of Degradation and Remaining Useful Life of Rotating Equipment, With a New Approach to Combination and Predicting Health Index. *Modares Mechanical Engineering*, 19(10), pp. 2351-2365.
- [7] Zeppetella, L., Gebennini, E., Grassi, A., & Rimini, B. (2017). Optimal production scheduling with customer-driven demand substitution. *International Journal of Production Research*, 55(6), 1692-1706.

