

مدل سازی و حل مسئله‌ی یکپارچه‌ی مقدار تولید اقتصادی و طراحی نمودار کنترلی در فرایند تولید ناقص با در نظر گرفتن کمبود و محدودیت‌های سطح خدمت و فضای انبار

فاطمه شیخی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

سید حمیدرضا پسندیده* (دانشیار)

گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۹ (۱۳۹۹)
دوری (۳۶-)، شماره ۱/۱، ص. ۹۷-۱۰۵

با افزایش رقابت جهانی، بهره‌وری مسئله‌ی مهم برای صنایع است و تعیین مقدار بهینه‌ی تولید و تولید اقلام با کیفیت مطلوب نقش بسیار مهمی در افزایش بهره‌وری دارند. با این حال، به دلایل مختلف کیفیت تولیدات همیشه در سطح مطلوب قرار ندارد که منجر به افزایش هزینه‌ها و کاهش بهره‌وری می‌شود. بنابراین، کنترل مقدار و کیفیت تولید به یک اندازه مهم‌اند. در این تحقیق، مسئله‌ی یکپارچه‌ی تعیین مقدار تولید اقتصادی و کیفیت اقلام تولیدی با استفاده از نمودار کنترلی با در نظر گرفتن فرایند تولید ناقص بررسی شده است. در مدل ارائه شده کمبود مجاز است و فضای انبار محدود و سطح خدمت دارای یک مقدار کمینه است. تابع هزینه یک تابع غیرخطی عدد صحیح مختلط است و به منظور اعتبارسنجی مدل از الگوریتم فراابتکاری جست‌وجوی ممنوع استفاده شده است.

واژگان کلیدی: مقدار تولید اقتصادی، طراحی نمودار کنترلی، تولید ناقص، کمبود.

۱. مقدمه

در مسئله‌ی کلاسیک تعیین مقدار تولید اقتصادی هدف تعیین میزان تولید است، به‌گونه‌ی که هزینه‌ی کل کمینه شود. در این مسئله، کیفیت تولید کامل در نظر گرفته می‌شود؛ در صورتی که در واقعیت این چنین نیست و در صنایع، تولید همراه با تغییر پذیری در کیفیت اقلام است. اگر قرار باشد یک محصول مشخصات مورد نظر مشتری را دارا باشد باید از تغییر پذیری کمی حول مقدار هدف یا ابعاد اسمی مشخصات محصول برخوردار باشد. در هر فرایند تولید با وجود طراحی خوب یا نگهداری مناسب از آن، مقدار خاصی تغییر پذیری به صورت ذاتی وجود دارد. تغییر پذیری ذاتی منجر به انحرافات تصادفی^۱ می‌شود که در حضور آن‌ها عملکرد فرایند قابل قبول است. اما گونه‌ی دیگر از تغییر پذیری‌ها وجود دارد که آن‌ها را انحرافات با دلیل^۲ می‌نامند و معمولاً بیان‌گر سطح غیر قابل قبول عملکرد برای فرایند هستند. وقوع انحرافات با دلیل به معنی فرایند تولید ناقص و تولید اقلام با سطح کیفیت نامطلوب است که منجر به افزایش هزینه‌ها می‌شود. بنابراین، فرض تولید کامل در مسئله‌ی تعیین مقدار تولید اقتصادی جواب منطقی‌بی نمی‌دهد. تحقیقات بسیاری به بررسی میزان تولید زمانی که فرایند ناقص است، پرداخته و در باره‌ی روش‌های مختلف بازرسی پس از تولید مدل‌هایی ارائه داده‌اند. نکته‌ی قابل توجه این است که برای کاهش هزینه‌های

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۲/۲۱، اصلاحیه ۱۳۹۸/۶/۹، پذیرش ۱۳۹۸/۷/۷.

DOI: 10.24200/J65.20190.53367.1991

fatemehsheikhi.gh@gmail.com
shr_pasandideh@khu.ac.ir

ناشی از تولید اقلام ناقص باید کیفیت فرایند حین تولید کنترل شود. یکی از اهداف اصلی کنترل فرایند آماری پی بردن سریع به وجود انحرافات با دلیل یا تغییرات در فرایند است قبل از این‌که تعداد زیادی محصول معیوب تولید شود. نمودارهای کنترلی یکی از روش‌های کنترل فرایند حین تولید است که برای این منظور مناسب‌اند.^۱ به همین دلیل نمودارهای کنترلی برای کنترل کیفیت فرایند در بسیاری از صنایع کاربرد دارند. تحقیقاتی از نویسندگان مختلف وجود دارند که از ابزار نمودار کنترلی برای کنترل کیفیت استفاده و با تعیین دوره‌ی تولید میزان تولید اقتصادی را مشخص کرده‌اند. با مطالعه‌ی این تحقیقات و مشاهده‌ی سیر تحول آن‌ها مشخص می‌شود که نویسندگان به دنبال گسترش فرضیات مرتبط با کنترل کیفیت مسئله هستند و مسئله‌ی تعیین مقدار تولید اقتصادی بدون تغییر باقی مانده است. در صنایع بسیار رایج است که تولیدکننده یا تأمین‌کننده مقداری از تقاضا را به صورت کمبود پس‌افت جبران کند. در این تحقیق سعی شده است ضمن در نظر گرفتن فرایند ناقص و کنترل کیفیت فرایند با استفاده از نمودار کنترلی^۲، مدل تعیین مقدار تولید اقتصادی گسترش داده شود. به همین منظور، فرض مجاز بودن کمبود که در هیچ‌یک از تحقیقات انجام شده در نظر گرفته نشده بود، به مدل اضافه شده است. به این ترتیب، مسئله‌ی مطرح شده بسیاری از کاربردهای صنعتی را پوشش خواهد داد. در این تحقیق، هدف تعیین هم‌زمان مقدار تولید و کمبود اقتصادی، زمان‌بندی مناسب برای بازرسی و پارامترهای مناسب برای طراحی نمودار کنترلی با در نظر گرفتن محدودیت‌های سطح خدمت و

فضای انبار به‌گونه‌ی است که هزینه‌ی کل مورد انتظار کمینه شود. در ادامه پس از مروری بر پژوهش‌های پیشین در این حوزه در بخش ۲، به تعریف مسئله و توسعه‌ی مدل در بخش ۳ پرداخته می‌شود و یک مثال عددی با الگوریتم جست‌وجوی ممنوع برای اعتبارسنجی مدل در بخش ۴ حل و نتایج آن نمایش داده می‌شود و در نهایت در بخش ۵ جمع‌بندی و پیشنهاد‌های برای تحقیقات آتی بیان می‌شود.

۲. مروری بر پژوهش‌های پیشین

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، فرض کیفیت کامل اقلام تولیدی در مسئله‌ی کلاسیک تعیین مقدار تولید اقتصادی با دنیای واقعی مطابقت ندارد. رزنبلت و لی^[۱] و پرتوس^[۲] اولین بار فرض فرایند تولید ناقص در تعیین مقدار تولید اقتصادی را در نظر گرفته‌اند و در تحقیقات خود با معرفی حالت‌های تحت کنترل (تولید اقلام با کیفیت مطلوب) و خارج از کنترل (تولید اقلام با کیفیت نا مطلوب) برای فرایند به تعیین مقدار بهینه‌ی دوره‌ی تولید که مقدار آن از مسئله‌ی کلاسیک تولید اقتصادی کمتر است، پرداخته‌اند. حریقا و بن‌دایا^[۳] به گسترش کار رزنبلت و لی با در نظر گرفتن زمانی با توزیع تصادفی تا انتقال فرایند به حالت خارج از کنترل پرداخته‌اند. سلامه و جابر^[۴] یک مدل موجودی اصلاح شده را با در نظر گرفتن اقلام با کیفیت ناقص ارائه کرده‌اند به‌گونه‌ی که مقدار p درصد از اقلام ناقص باشند و به صورت بسته‌ی جداگانه با قیمت پایین‌تر به فروش برسند. سنا و همکاران^[۵] به یافتن مقدار سود اقتصادی با در نظر گرفتن فرایند تولید ناقص در مسئله‌ی تعیین مقدار تولید اقتصادی و همچنین در نظر گرفتن هزینه‌ی تولید به صورت تابعی از نرخ تولید که یک متغیر تصادفی است، پرداخته‌اند. در این تحقیق نویسندگان از تابع جریمه‌ی داخلی^۳ برای بهینه‌سازی دارای محدودیت استفاده کرده‌اند. وی و همکاران^[۶] در تحقیقی به گسترش مدل سلامه و جابر^[۵] پرداخته و با در نظر گرفتن کمبود به صورت پس‌افت، اثر هزینه‌های مختلف کمبود را بررسی کرده‌اند. یو و همکاران^[۸] در تحقیقی سامانه‌ی را در نظر گرفته‌اند که فرایند تولید ناقص و بازرسی با خطاهای نوع یک و دو همراه است. اقلام معیوب توسط مشتری بازگردانده می‌شود. نویسندگان در این تحقیق مقدار تولید اقتصادی، مقدار بهینه‌ی خطاهای نوع یک و دو، نسبت اقلام معیوب و تعداد دفعات دوباره‌کاری را تعیین کرده‌اند. هسو و هسو^[۹] دو مدل در موضوع مقدار بهینه‌ی تولید با در نظر گرفتن تولید ناقص، کمبود پس‌افت و برگشت کالای فروخته شده و همچنین خطاهای نوع یک و دو در بازرسی را بررسی کرده و مقدار بهینه‌ی تولید و کمبود را به دست آورده‌اند. پسندیده و همکاران^[۱۰] در تحقیقی به بررسی مدل چند محصول و یک ماشین تولید اقتصادی با در نظر گرفتن فرایند تولید ناقص و کمبود پرداخته‌اند. دوباره‌کاری اقلام ناقص با توجه به نوع نقص به چند گروه تقسیم می‌شود. نویسندگان برای مدل، محدودیت‌های قابلیت اطمینان و فضای انبار نیز در نظر گرفته‌اند. سلامه^[۱۱] نیز در تحقیقی به تعیین مقدار تولید اقتصادی با فرض فرایند تولید و بازرسی ناقص با در نظر گرفتن خطاهای نوع یک و دو پرداخته است. نویسنده فرض کرده است که برای دسته‌های اقلام تولیدی نمونه‌گیری پذیرش^۴ انجام و سپس برای بازار ارسال می‌شود. اقلام ناقص توسط بازار به واحد تولیدی بازگردانده و دوباره‌کاری می‌شوند و در بازار دوم به فروش می‌رسند. مانا و همکاران^[۱۲] در تحقیقی به بررسی مدل تولید اقتصادی با در نظر گرفتن اثر تبلیغات بر تقاضا پرداخته‌اند. اقبال و سارکر^[۱۳] با فرض فرایند تولید ناقص و تولید کالای فاسدشدنی به توسعه‌ی مدلی برای تعیین نرخ و دوره‌ی تولید پرداخته‌اند. نویسندگان همچنین فرض کرده‌اند که کالاهای معیوب و فاسد شده دفع می‌شوند. نوییل و همکاران^[۱۴] به بررسی یک

مسئله‌ی تولید اقتصادی چندمحصول و یک ماشین با فرایند تولید ناقص و در نظر گرفتن زمان تنظیمات ماشین برای دوباره‌کاری پرداخته‌اند. هدف نویسندگان تعیین بهینه‌ی زمان تولید و مقدار کمبود در هر دوره است به‌گونه‌ی که هزینه‌ی کل کمینه شود. در پیشینه‌ی مربوط به موضوع کیفیت، ابزارهای کنترل کیفیت آماری کاربرد بسیاری داشته‌اند. در میان این ابزارها نمودارهای کنترلی به دلیل نمایش عملکرد بهتر در فرایند تولید کاربرد بیشتری دارند. طراحی یک مدل اقتصادی برای نمودار کنترلی \bar{x} را اولین بار دانکن^[۱۵] معرفی کرد. یک مشخصه‌ی کیفی قابل اندازه‌گیری از اقلام تولیدی که دارای توزیع نرمال است توسط نمودار کنترلی، کنترل می‌شود. فرایند تولید به دلیل وقوع انحرافات با دلیل از حالت تحت کنترل به حالت خارج از کنترل می‌رود. این تغییر حالت توسط نمونه‌گیری و استفاده از نمودار کنترلی \bar{x} قابل تشخیص است. کار دانکن توسط پژوهشگران مختلفی توسعه داده شده است. اطلاعات جامعی درباره‌ی طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی برای کنترل میانگین فرایند در کار مونته‌گومری و همکاران^[۱۶] و کاستا و همکاران^[۱۷] قابل مشاهده است. چن و یانگ^[۱۸] یک مدل طراحی نمودار کنترلی اقتصادی با در نظر گرفتن مشخصات آماری فرایند ارائه داده‌اند. مشابه این تحقیق، مقالاتی توسط پژوهشگرانی نظیر مهمود و همکاران^[۱۹] نس و همکاران^[۲۰] و دیلاتر و فام^[۲۱] ارائه شده است. پاشا و همکاران^[۲۲] اثر مشخصه‌ی کیفی غیرنرمال بر طراحی اقتصادی نمودار کنترلی ایکس‌بار را بررسی کرده‌اند. السلام و همکاران^[۲۳] در پژوهشی به طراحی اقتصادی نمودار کنترلی زمانی که مشخصه‌ی کیفی مورد نظر از توزیع گاما بر اساس روش فاصله‌ی آماری نورتوزوفیک^۵ پیروی می‌کند، پرداخته‌اند. در مجموع، تحقیقات انجام گرفته در موضوع تعیین مقدار تولید اقتصادی موارد قابل توجهی تأثیر فرایند تولید ناقص را - که در نتیجه‌ی آن تعدادی از اقلام با سطح کیفیت نامطلوب تولید می‌شوند - بر میزان تولید بررسی کرده‌اند. در این میان بخشی از این تحقیقات به کاربرد ابزارهای کنترل فرایند آماری برای کنترل کیفیت فرایند تولید و کاهش هزینه‌ی کل مورد انتظار که شامل هزینه‌های تولید و نگهداری به‌علاوه‌ی هزینه‌های کنترل کیفیت می‌شوند، پرداخته‌اند. رحیم^[۲۴] در تحقیقی، مدلی برای تعیین مقدار تولید اقتصادی، زمان بندی مناسب برای بازرسی و پارامترهای مناسب برای طراحی نمودار کنترلی به‌طور هم‌زمان، ارائه کرده است. وقوع انحراف با دلیل که زمان آن از تابع چگالی وایبول (نرخ خطر فرایند) پیروی می‌کند، باعث می‌شود سیستم به حالت خارج از کنترل برود. کیفیت تولید توسط نمودار کنترلی \bar{x} و با در نظر گرفتن وقوع خطاهای نوع یک و نوع دو کنترل می‌شود. هدف، یافتن کمینه‌ی هزینه‌ی کل مورد انتظار است که شامل هزینه‌ی تنظیمات، هزینه‌ی نگهداری موجودی و هزینه‌ی کنترل کیفیت با استفاده از نمودار کنترلی \bar{x} می‌شود. در این مدل فرایند فقط زمانی متوقف می‌شود که انحراف با دلیل شناسایی شود. در مدل ارائه شده در این تحقیق کمبود در نظر گرفته نشده است. رحیم و بن‌دایا^[۲۵] به ارائه‌ی مدلی برای تعیین مقدار تولید اقتصادی، زمانی که فرایند ناقص است، پرداخته‌اند. نمودار کنترلی \bar{x} با در نظر گرفتن وقوع خطاهای نوع یک و نوع دو برای کنترل کیفیت اقلام تولیدی به‌کار گرفته می‌شود. این مدل، گسترش یافته‌ی مدل رحیم^[۲۴] است؛ با اضافه کردن این فرض که زمانی که نمودار کنترلی حالت خارج از کنترل را نشان دهد، حتی اگر اخطار نادرست باشد و انحراف با دلیل وجود نداشته باشد، فرایند متوقف می‌شود. به این ترتیب، زمانی برای بررسی درست یا نادرست بودن اخطار نمودار کنترلی اختصاص می‌یابد. در مدل اخیر هم نویسندگان کمبود موجودی را در نظر نگرفته‌اند. رحیم و اهتا^[۲۶] در تحقیقی به بررسی مسئله‌ی یکپارچه‌ی کنترل کیفیت و کنترل موجودی پرداخته و مدل‌های معرفی شده در کارهای رحیم^[۲۴] و رحیم و بن‌دایا^[۲۵] را گسترش داده‌اند. نویسندگان علاوه‌بر تغییر در میانگین فرایند، تغییر در واریانس را نیز در نظر گرفته‌اند. به این صورت که با وقوع انحراف با دلیل و تغییر در

جدول ۱. خلاصه‌ی پیشینه.

پژوهش	مقدار تولید اقتصادی	محدودیت		طراحی خطاهای نمودار نوع یک
		محدودیت فضای انبار	سطح خدمت	
[۹]	✓			✓
[۱۰]	✓	✓	✓	
[۱۴]	✓			
[۱۵-۲۳]				✓
[۲۴-۳۰]	✓			✓
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓

حوزه‌ی تولید اقتصادی و طراحی نمودار کنترلی برای کنترل کیفیت در کنار یکدیگر پرداخته‌اند. اما سیر تحول این تحقیقات به‌گونه‌ی بوده است که بخش تولید اقتصادی در ساده‌ترین حالت باقی مانده است و نویسندگان به توسعه‌ی بخش کنترل کیفیت پرداخته‌اند. از ویژگی‌های متمایز پژوهش حاضر در نظر گرفتن کمبود به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فرضیات مدل تولید اقتصادی است. جدول ۱ سیر تحولات تحقیقات انجام گرفته و شکاف تحقیقاتی را به‌طور خلاصه نمایش می‌دهد.

۳. تعریف مسئله و مدل ریاضی

در یک تولیدی یک ماشین یک نوع کالا تولید می‌کند و یک مشخصه‌ی کیفی قابل اندازه‌گیری از کالای تولیدی دارای توزیع نرمال با پارامترهای μ و σ^2 است. فرایند تولید ناقص است و دو حالت دارد: ۱- حالت تحت کنترل و ۲- حالت خارج از کنترل. فرایند در ابتدای دوره‌ی تولید در حالت تحت کنترل شروع به‌کار می‌کند، اما پس از گذشت مدت زمانی به دلیل وقوع انحرافات با دلیل به حالت خارج از کنترل می‌رود. انحرافات با دلیل آن دسته از تغییرپذیری‌هایی هستند که در صورت وقوع، عملکرد سیستم دچار مشکل می‌شود. فرض می‌شود تعداد دفعات وقوع انحراف با دلیل یک متغیر تصادفی است که از توزیع پواسون با میانگین λ پیروی می‌کند که در این صورت زمان بین وقوع هر دو انحراف با دلیل و همچنین زمان تا وقوع اولین انحراف با دلیل، با توجه به این‌که فرایند در حالت تحت کنترل شروع می‌شود، یک متغیر تصادفی است که از توزیع نمایی با میانگین λ پیروی می‌کند. در حالت خارج از کنترل میانگین مشخصه‌ی کیفی مورد نظر از μ به $\mu + \delta\sigma$ تغییر می‌کند و در نتیجه اقلام تولیدی با سطح کیفیت نامطلوب تولید می‌شوند. فرض می‌شود که واریانس مشخصه‌ی کیفی مورد نظر بدون تغییر باقی می‌ماند. برای کنترل کیفیت اقلام تولیدی، در بازه‌های زمانی یکسان به اندازه‌ی h ، نمونه‌ی بی به اندازه‌ی n از فرایند گرفته می‌شود و توسط نمودار کنترلی \bar{x} بررسی می‌شود. اگر نمودار کنترلی حالت خارج از کنترل را نشان دهد و پس از بررسی انحراف با دلیل شناسایی شود، فرایند تا زمان تمام شدن موجودی در دست متوقف می‌شود و اقدامات تعمیراتی انجام می‌گیرد. اما اگر انحراف با دلیل یافت نشود یا نمودار کنترلی حالت تحت کنترل را نشان دهد، فرایند تا پایان دوره‌ی تولید ادامه پیدا می‌کند و در پایان این دوره اقدامات پیش‌گیرانه انجام می‌گیرد. باید در نظر داشت که نمودار کنترلی در معرض خطاهای نوع یک و دو است. دوره‌ی تولید زمانی پایان می‌یابد که یا یک هشدار درست از نمودار کنترلی دریافت شود یا زمان تعیین شده برای دوره‌ی تولید گذرانده شده باشد. هدف تعیین هم‌زمان مقدار تولید و کمبود اقتصادی به‌علاوه‌ی زمان بندی مناسب برای بازرسی و

میانگین و واریانس مشخصه‌ی کیفی، فرایند از حالت تحت کنترل به حالت خارج از کنترل می‌رود. نمودارهای کنترلی \bar{x} و R به‌طور هم‌زمان و با در نظر گرفتن وقوع خطاهای نوع یک و نوع دو برای کنترل کیفیت فرایند (میانگین و واریانس) استفاده شده‌اند. زمانی که اخطار دریافت شود یک فرایند جست‌وجو برای یافتن انحراف با دلیل شروع می‌شود و تا زمانی معین که یک متغیر تصادفی است، ادامه می‌یابد. در انتها نویسندگان اشاره می‌کنند که بهتر است پارامترهای طراحی نمودار کنترلی به گونه‌ی تعیین شوند که خطای نوع دو مقداری بین 0.01 تا 0.05 را بگیرد. بن دایا [۲۷] مدلی برای تعیین مقدار تولید اقتصادی و پارامترهای مناسب طراحی نمودار کنترلی ارائه کرده است. فرضیات مانند مدل رحیم [۲۴] است با این تفاوت که در این تحقیق نویسنده معتقد است که نرخ تغییر حالت فرایند از تحت کنترل به خارج از کنترل متناسب با سطح اقدامات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه کاهش می‌یابد. همچنین، هر چه سطح اقدامات نگهداری و تعمیرات بالاتر باشد، کاهش هزینه‌های کیفیت بیشتر است. هدف تعیین سطح بهینه از اقدامات نگهداری و تعمیرات است که در طی دوره‌ی تولید در بازه‌های زمانی که اندازه‌ی آن‌ها متغیر تصادفی است، انجام می‌گیرد. بن دایا و مخدوم [۲۸] در تحقیقی با توسعه‌ی کار بن دایا [۲۷] سه سیاست مختلف برای اقدامات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در نظر گرفته‌اند. فرایند در حالت تحت کنترل شروع به‌کار می‌کند و پس از گذشت مدت زمانی که از تابع توزیع وایبول پیروی می‌کند به حالت خارج از کنترل می‌رود. نمونه‌هایی برای کنترل کیفیت فرایند گرفته می‌شود و توسط نمودار کنترلی \bar{x} بازرسی می‌شوند. اقدامات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه به سه صورت انجام می‌شوند: ۱. همراه با فرایند بازرسی در بازه‌هایی که زمان آن‌ها متغیر تصادفی است؛ ۲. همراه با فرایند بازرسی در زمانی که میانگین دو نمونه‌ی متوالی در محدوده‌ی اخطار که ضریب آن متغیر تصادفی است، واقع شود؛ ۳. همراه با فرایند بازرسی زمانی که نرخ تغییر حالت فرایند به آستانه‌ی یک متغیر تصادفی است، برسد. مدل ارائه شده برای هر سیاست مقدار تولید اقتصادی، پارامترهای بهینه‌ی طراحی نمودار کنترلی و سطح بهینه‌ی اقدامات تعمیرات و نگهداری پیش‌گیرانه را تعیین می‌کند. پن و همکاران [۲۹] در تحقیقی به ترکیب مدل تعیین مقدار تولید اقتصادی با کنترل کیفیت توسط نمودار کنترلی \bar{x} و کاهش هزینه‌های کیفیت با سیاست‌های نگهداری و تعمیرات پرداخته‌اند. نویسندگان کنترل فرایند را در سه وضعیت مختلف بررسی کرده‌اند: ۱. فرایند در کل دوره‌ی تولید در حالت تحت کنترل قرار دارد و هیچ‌گونه خطاری از نمودار کنترلی دریافت نمی‌شود. ۲. فرایند در طی دوره‌ی تولید به حالت خارج از کنترل می‌رود و اخطار از نمودار کنترلی دریافت می‌شود. ۳. فرایند در طی دوره‌ی تولید به حالت خارج از کنترل می‌رود، ولی هیچ خطاری از نمودار کنترلی دریافت نمی‌شود. با توجه به هر کدام از وضعیت‌ها سیاست نگهداری و تعمیرات مناسب اتخاذ می‌شود. هزینه‌ی کیفیت در هر یک از شرایط با استفاده از تابع ضرر ناگوشی محاسبه می‌شود. هدف کاهش کل هزینه‌ی مورد انتظار با تعیین بهینه‌ی مقدار تولید اقتصادی، برنامه‌ی زمان بندی و پارامترهای طراحی نمودار کنترلی \bar{x} به‌علاوه‌ی تعیین متغیرهای مربوط به نگهداری و تعمیرات است. سلماس‌نیا و همکاران [۳۰] به توسعه‌ی مدل یکپارچه‌ی تعیین مقدار تولید اقتصادی، کنترل کیفیت آماری توسط نمودار کنترلی و اقدامات نگهداری و تعمیرات در زمانی که فرایند تحت تأثیر بیش از یک انحراف با دلیل است، پرداخته‌اند. در این تحقیق نیز نویسندگان سه سناریوی مختلف برای فرایند تولید با اقدامات نگهداری و تعمیرات متناسب، مشابه پن و همکاران [۲۹] در نظر گرفته‌اند. نویسندگان از الگوریتم ازدحام ذرات برای یافتن حداقل هزینه‌ی کل مورد انتظار استفاده کرده‌اند؛ مدل ارائه شده در این تحقیق دارای محدودیت‌های مرتبط با کنترل کیفیت آماری است. تحقیقات ۲۴ تا ۳۰ پژوهش‌هایی‌اند که به بررسی دو

پارامترهای مناسب برای طراحی نمودارکنترلی است به گونه‌یی که هزینه‌ی کل مورد انتظار حداقل شود. با توجه به مفروضات گفته شده مدل ریاضی پیشنهادی یک مدل یکپارچه از مسئله‌ی تعیین مقدار تولید اقتصادی و یک مسئله‌ی طراحی نمودارکنترل کیفیت است و برای یافتن مقدار تولید و کمبود اقتصادی مدل ریاضی به صورتی طراحی شده است که مقدار بهینه‌ی زمان تولید ($T_p = w_m$) و مدت زمانی از دوره‌ی تولید که در آن کالای تولیدی صرف تأمین کمبود می‌شود ($t_1 = w_{m_b}$)، تعیین می‌شوند. همچنین با حل مدل طول بازه‌های بازرسی و پارامترهای طراحی نمودارکنترلی \bar{x} یعنی اندازه‌ی نمونه و ضریب حدود کنترل نمودارکنترلی \bar{x} نیز تعیین می‌شوند. زمانی که هزینه‌ی کمبود برای تولیدکننده بسیار بالا باشد، طبیعتاً تولیدکننده مایل به نگهداری موجودی به جای مواجه شدن با کمبود است. اما ممکن است تولیدکنندگان فضای کافی برای انبارش موجودی به گونه‌یی که تمام تقاضا را تأمین کنند و در هیچ زمانی با کمبود مواجه نشوند، نداشته باشند. از طرفی چنانچه تولیدکننده بیش از مقدار مشخصی کمبود داشته باشد، هزینه‌ی وارد شده به سیستم بسیار زیاد می‌شود و ممکن است مشتریان زیادی را از دست بدهد؛ بنابراین، تمایل دارد که مقدار کمبود از حد مشخصی بالاتر نرود یا سطح خدمت از مقدار مشخصی کمتر نشود. پژوهش حاضر به‌طور کلی بر اساس پژوهش رحیم [۲۴] است با این تفاوت که در پژوهش مذکور زمان تا وقوع اولین انحراف تصادفی از توزیع وایبول پیروی می‌کند. همچنین کمبود غیرمجاز است و مسئله‌ی تولید اقتصادی در ساده‌ترین حالت بدون هیچ‌گونه محدودیت به‌کار برده شده است. فرضیات مسئله به‌صورت زیر است:

-- وقوع انحرافات با دلیل از توزیع پواسون پیروی می‌کند؛ بنابراین، مدت زمان تا وقوع اولین انحرافات با دلیل از توزیع نمایی پیروی می‌کند؛

-- نرخ شکست در هر بازه‌ی بازرسی ثابت است و بازرسی در زمان‌های jh انجام می‌شود. همچنین: ($j = 1, 2, \dots$) $w_j = jh$ ؛

-- یک دوره‌ی تولید زمانی پایان می‌یابد که با یک هشدار درست دریافت شود یا تعداد بازه‌های بازرسی از پیش تعیین شده به پایان برسد؛ هر کدام زودتر اتفاق بیافتد؛

-- کمبود به‌صورت پس‌افت مجاز است؛

-- فضای انبار محدود است (محدودیت فضای انبار)؛

-- تولیدکننده تمایل دارد که سطح خدمت از مقدار مشخصی کمتر نباشد. (محدودیت سطح خدمت).

۱.۳. متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم در مدل ارائه شده به‌صورت زیر هستند:

m : تعداد بازه‌های بازرسی؛

n : اندازه‌ی نمونه؛

h : طول بازه‌های بازرسی؛

k : ضریب حدود کنترل نمودارکنترلی \bar{x} ؛

m_b : تعداد بازه‌های بازرسی که در آن کمبود داریم.

۲.۳. پارامترها

پارامترهای مرتبط با تعیین مقدار تولید اقتصادی و پارامترهای مرتبط با طراحی نمودار کنترلی به‌صورت زیر است.

D : نرخ ثابت تقاضا؛

p : نرخ ثابت تولید؛

c_h : هزینه‌ی نگهداری به ازای هر کالا؛

c_e : هزینه‌ی تنظیمات در هر دوره؛

π : هزینه‌ی کمبود به ازای هر کالا؛

$\hat{\pi}$: هزینه‌ی کمبود به ازای هر گزینیه در واحد زمان؛

t_1 : مدت زمانی از یک دوره که موجودی منفی است و تولیدات صرف جبران کمبود می‌شوند؛

t_2 : مدت زمانی از یک دوره که تولید انجام می‌شود و موجودی رو به افزایش است؛

T_p : زمان دوره‌ی تولید؛

T : زمان کل دوره؛

Q : مقدار کالای تولیدی؛

B : مقدار کمبود؛

S_m : بیشینه‌ی فضای در دست برای نگهداری محصولات تولیدی؛

μ : فضای مورد نیاز برای هر محصول؛

T : فضای مورد نیاز برای راهرو که درصدی از بیشینه‌ی موجودی در دست است؛

ε : ضریب ایمنی قابل قبول کمبود مربوط به سطح خدمت؛

t_r : زمان مورد انتظار برای تعمیر در صورتی که انحراف با دلیلی شناسایی شود و زمان مورد انتظار برای اقدامات پیش‌گیرانه در صورتی که انحراف با دلیلی شناسایی نشود؛

a : هزینه‌ی ثابت نمونه‌گیری؛

b : هزینه‌ی متغیر نمونه‌گیری به ازای هر واحد؛

D_0 : هزینه‌ی کیفیت در هر واحد زمانی وقتی که فرایند تحت کنترل است؛

D_1 : هزینه‌ی کیفیت در هر واحد زمانی وقتی که فرایند خارج از کنترل است؛

Y : هزینه‌ی هر هشدار نادرست از نمودارکنترلی (هزینه‌ی خطای نوع یک)؛

W : هزینه‌ی شناسایی و تعمیر انحراف با دلیل؛

α : احتمال این‌که نمودار حالت خارج از کنترل را نشان دهد، در صورتی که فرایند تحت کنترل است. (خطای نوع یک)؛

β : احتمال این‌که نمودار حالت تحت کنترل را نشان دهد، در صورتی که فرایند خارج از کنترل است. (خطای نوع دو)؛

T_e : زمان دوره‌ی کیفیت؛

δ : ضریب تغییر میانگین؛

x : مدت زمان تا وقوع اولین انحراف با دلیل (متغیر نمایی)؛

$f(w_j) = \lambda e^{-\lambda w_j}$: احتمال وقوع انحراف با دلیل در زمان w_j ؛

$F(w_j) = 1 - e^{-\lambda w_j}$: احتمال وقوع انحراف با دلیل قبل از زمان w_j ؛

$\Delta F(w_j)$: احتمال وقوع انحراف با دلیل بین W_{j-1} و W_j ؛

$F(w_j) = 1 - F(w_j)$: احتمال وقوع انحراف با دلیل بعد از w_j .

۳.۳. مدل ریاضی

هدف تعیین کمترین هزینه‌ی مورد انتظار تولید است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود: هزینه‌ی کل مورد انتظار = هزینه‌ی مورد انتظار تنظیمات + هزینه‌ی مورد انتظار نگهداری + هزینه‌ی مورد انتظار کمبود + هزینه‌ی مورد انتظار کیفیت.

باید توجه کرد که مقادیر مورد استفاده، با توجه به ماهیت مسئله، مقادیر قطعی نیستند و احتمالی‌اند؛ بنابراین، از مقدار مورد انتظار آن‌ها در فرمول‌ها استفاده می‌کنیم. در ادامه هر یک از بخش‌های هزینه‌ی کل مورد انتظار معرفی و تعیین می‌شوند.

هزینه‌ی تنظیمات در هر دوره یک مقدار ثابت است و برابر است با:

$$(۱)$$

هزینه‌ی نگهداری در هر دوره در مدل مقدار تولید اقتصادی همراه با کمبود برابر است با:

$$H = C_h \frac{(Q(1 - \frac{D}{P}) - b)^2}{2Q(1 - \frac{D}{P})} \cdot T \quad (۲)$$

با توجه به شکل ۱:

$$Q = T_P \cdot P \quad (۳)$$

$$Q = D \cdot T \quad (۴)$$

$$B = (P - D)t_v \quad (۵)$$

در نتیجه:

$$H = \frac{(T_P \cdot P(1 - \frac{D}{P}) - (P - D) \cdot t_v)^2}{2T_P \cdot P \cdot D(1 - \frac{D}{P})} \cdot C_h \cdot T_P \cdot P \quad (۶)$$

بنابراین، مقدار مورد انتظار هزینه‌ی نگهداری در هر دوره برابر است با:

$$E(H) = \frac{(E(T_P) \cdot P(1 - \frac{D}{P}) - (P - D) \cdot E(t_v))^2}{2E(T_P) \cdot P \cdot D(1 - \frac{D}{P})} \cdot C_h \cdot E(T_P) \cdot P \quad (۷)$$

هزینه‌ی کمبود در مدل مقدار تولید اقتصادی همراه با کمبود برابر است با:

$$B = \pi b + \hat{\pi} \cdot \frac{b^2}{2Q(1 - \frac{D}{P})} \cdot T \quad (۸)$$

$$B = \pi(P - D)t_v + \frac{((P - D)t_v)^2}{2T_P \cdot P \cdot D(1 - \frac{D}{P})} \cdot \hat{\pi} \cdot T_P \cdot P \quad (۹)$$

و هزینه‌ی مورد انتظار کمبود برابر است با:

$$E(B) = \pi(P - D)E(t_v) + \frac{((P - D)E(t_v))^2}{2E(T_P) \cdot P \cdot D(1 - \frac{D}{P})} \cdot \hat{\pi} \cdot E(T_P) \cdot P \quad (۱۰)$$

هزینه‌ی کیفیت در هر دوره برابر است با:

$$E(C) = [(D_o - D_v) \int_0^{w_m} x f(x) dx + (D_v - D_o) \sum_{j=1}^{m-1} w_j \Delta F(w_j)] + [D_o h \sum_{j=1}^m j \bar{F}(w_{j-1})] + [\alpha Y \sum_{j=1}^{m-1} \bar{F}(w_j)] + D_v \beta h (\sum_{j=1}^{m-1} j \Delta F(w_j) \sum_{i=j+1}^m \beta^{i-j-1}) + [W] + [(a + bn)(1) + \sum_{j=1}^{m-1} \bar{F}(w_j) + \beta \sum_{j=1}^{m-1} \bar{F}(w_j)]$$

$$\Delta F(w_j) ((1 - \beta) \sum_{i=1}^{m-1-j} i \beta^{i-1} + (m - 1 - j) \beta^{m-1-j}) \quad (۱۱)$$

و شامل موارد زیر می‌شود:

-- هزینه‌ی مورد انتظار عملیات زمانی که فرایند در ابتدا در حالت تحت کنترل است و سپس به حالت خارج از کنترل می‌رود؛

-- هزینه‌ی مورد انتظار عملیات زمانی که فرایند در طول دوره در حالت تحت کنترل است و هیچ خطاری دریافت نمی‌شود؛

-- هزینه‌ی مورد انتظار اخطار نادرست؛

-- هزینه‌ی مورد انتظار عملیات زمانی که فرایند در حالت خارج از کنترل است، اما هیچ خطاری دریافت نمی‌شود؛

-- هزینه‌ی تعمیر یا اقدامات پیش‌گیرانه؛

-- هزینه‌ی مورد انتظار نمونه‌گیری.

۳.۳.۳. زمان مورد انتظار دوره‌ی کیفیت

منظور از دوره‌ی کیفیت، بخشی از کل دوره است که در آن تولید صورت می‌گیرد. در نتیجه، به کنترل کیفیت اقلام تولیدی نیاز است. علاوه بر دوره‌ی تولید مدت زمانی که فرایند به دلیل اخطار نمودار کنترلی و یافتن یک انحراف با دلیل متوقف شده و فعالیت‌های تعمیراتی در حال انجام است، نیز جزء زمان دوره‌ی کیفیت محسوب می‌شود. بنابراین، زمان دوره‌ی کیفیت برابر است با:

$$T_C = T_P + t_r \quad (۱۲)$$

زمان مورد انتظار دوره‌ی کیفیت از دو بخش کلی تشکیل می‌شود:

-- مدت زمانی از دوره‌ی کیفیت که در حال تولید و مصرف هستیم. (در حال جریان کمبود)

-- مدت زمانی از دوره‌ی کیفیت که تولید انجام می‌شود و موجودی رو به افزایش است.

هریک از دو بخش ذکر شده‌ی دوره‌ی کیفیت شامل موارد زیر هستند:

-- زمان مورد انتظار بازه‌های بازرسی زمانی که فرایند تحت کنترل است.

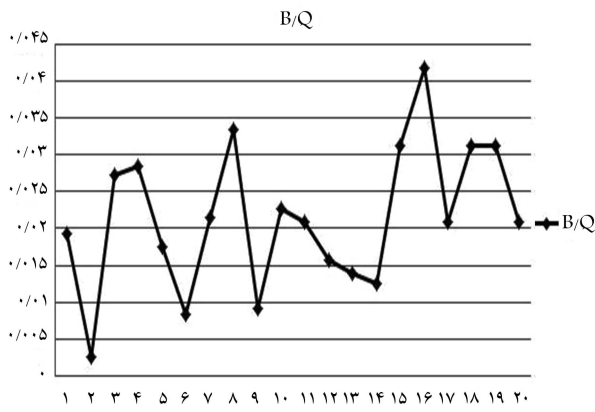
-- زمان مورد انتظار تا یافتن انحراف با دلیل.

بنابراین زمان مورد انتظار مدت زمانی از دوره‌ی کیفیت که در حال تولید و مصرف هستیم، برابر است با:

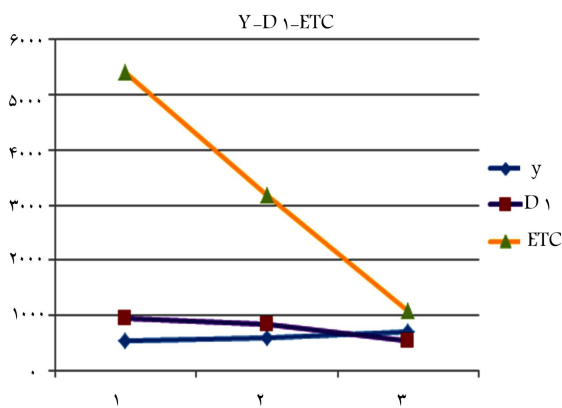
$$E(t_v) = h \sum_{j=1}^{m_b} \bar{F}(w_{j-1}) + \beta h \sum_{j=1}^{m_b} \Delta F(w_j) \sum_{i=j+1}^{m_b} \beta^{i-j-1} \quad (۱۳)$$

همچنین زمان مورد انتظار مدت زمانی از دوره‌ی کیفیت که تولید انجام می‌شود و موجودی رو به افزایش است، برابر است با:

$$E(t_r) = h \sum_{j=m_b+1}^m \bar{F}(w_{j-1}) + \beta h \sum_{j=m_b+1}^{m-1} \Delta F(w_j) \sum_{\substack{i=j+1 \\ j \geq m_b}}^m \beta^{i-j-1} \quad (۱۴)$$



شکل ۲. نسبت B/Q.



شکل ۳. نتیجه‌ی تغییرات هزینه‌ی کیفیت.

و این که بازه‌ی تغییرات دو هزینه‌ی مذکور تقریباً برابر است، اثر هزینه‌ی کیفیت زمانی که فرایند خارج از کنترل است، بسیار بیشتر از هزینه‌ی هشدار نادرست است. می‌دانیم که هر هشدار نادرست احتمال خارج از کنترل نشان داده شدن فرایند توسط نمودار کنترلی در صورتی که فرایند تحت کنترل است (خطای نوع یک)، می‌باشد. از طرفی هزینه‌ی کیفیت خارج از کنترل زمانی که سیستم اعمال می‌شود که فرایند خارج از کنترل باشد، اما نمودار کنترلی هشدار نداد است (خطای نوع دو). بنابراین، اثر هزینه‌ی خطای نوع دو بیشتر از خطای نوع یک است. در شرایط واقعی چنانچه برآورد هزینه‌های مذکور تقریباً یکسان باشد، بهتر است تمام هشدارها بررسی شود، حتی اگر تعداد هشدارهای نادرست قابل توجه باشد.

۵. نتیجه‌گیری

افزایش هزینه‌ها به دلیل تولید اقلام معیوب، از جمله هزینه‌های دوباره‌کاری، اقلام بازگشتی و ... و از طرف دیگر هزینه‌ی از دست دادن اعتبار و کاهش رضایت مشتری از مشکلاتی است که صنایع تولیدی با آن مواجه هستند. می‌توان با استفاده از نمودار کنترلی که مدل این تحقیق به دنبال طراحی بهینه‌ی آن است، اطلاعات مفیدی برای بهبود کارایی فرایند به دست آورد و هزینه‌ها را کاهش و بازده کارها را افزایش داد. محققان بسیاری در سال‌های گذشته به بررسی مسئله‌ی تولید اقتصادی با در نظر گرفتن تولید کالای ناقص یا با سطح کیفیت نامطلوب

جدول ۲. مقادیر بهینه‌ی تنظیم پارامتر الگوریتم جست‌وجوی ممنوع.

Lim	۴	b_3	-۵۴۱/۳۱
NN	۱۰	b_4	-۷۸/۰۴۵
b_1	۴۴۳۱/۳	b_5	۱۳/۴۲۸
b_2	-۹۶۵/۷۶	b_6	۸۲/۵۹۲

ثابت نگه داشتن پارامترهای مرتبط با مدل به تعداد دفعات مشخصی مدل با استفاده از نرم‌افزار متلب اجرا می‌شود. با استفاده از تابع رگرسیون غیرخطی درجه دو رابطه‌ی بین هزینه‌ی کل مورد انتظار و مقادیر مختلف پارامترهای مرتبط با الگوریتم‌های مورد استفاده حاصل شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار گمز و بهینه‌سازی، بهترین مقادیر پارامترها تعیین شده‌اند. پارامترهای مرتبط با الگوریتم جست‌وجوی ممنوع شامل تعداد همسایه NN و تعداد تکرارهایی که یک جواب در فهرست ممنوع باقی می‌ماند Lim هستند. تابع رگرسیون غیرخطی مرتبط با الگوریتم جست‌وجوی ممنوع به صورت زیر است:

$$Z = b_1 + b_2 Lim + b_3 NN + b_4 Lim^2 + b_5 NN^2 + b_6 Lim.NN \quad (24)$$

مدل بهینه‌سازی مرتبط با تنظیم پارامتر الگوریتم جست‌وجوی ممنوع با تابع هدف رابطه‌ی ۲۴ با توجه به محدودیت‌های زیر کمینه می‌شود.

$$2 \leq Lim \leq 5 \quad (25)$$

$$4 \leq NN \leq 10 \quad (26)$$

با توجه به مقادیر بهینه‌ی مربوط به پارامترها (جدول ۲) و با توجه به دو محدودیت فضای انبار و سطح خدمت سعی شده است با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای پارامترهای پیشینه‌ی فضای انبار و حداقل سطح خدمت مقادیر بهینه‌ی مقدار تولید و کمبود و همچنین هزینه‌ی کل مورد انتظار محاسبه شود. برای تولید این مثال‌ها مقادیر پارامترهای ε و S_m ، $\hat{\pi}$ ، C_h ، P ، D ، D_1 ، Y به ترتیب در بازه‌های (۵۰۰-۷۰۰)، (۵۵۰-۹۵۰)، (۱۶۰۰-۲۱۰۰)، (۱۵۰۰-۲۰۰۰)، (۰/۹-۰/۱)، (۰/۵-۲)، (۰/۵-۲۰۰) و (۵۰-۲۰۰) تغییر کرده‌اند. انتخاب این مقادیر بر اساس تحقیقات سلماس نیا و همکاران^[۳۰] و پن و همکاران^[۲۹] است. با توجه به نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی ممنوع حاصل رابطه‌ی b/Q در بازه‌ی (۰/۴-۰/۲) است که نشان‌دهنده این است که مدل با هدف کاهش هزینه‌ی کل چه درصدی از کل مقدار تولید را به تأمین کمبود اختصاص می‌دهد و با توجه به بازه‌ی به دست آمده برای نسبت ذکر شده به نظر می‌رسد مدل به دنبال کاهش میزان کمبود است. با توجه به این نتیجه، به نظر می‌رسد که کاهش میزان کمبود و نگهداری موجودی بیشتر تا جایی که محدودیت فضای انبار اجازه می‌دهد در کاهش هزینه‌ها و در نتیجه افزایش سود مؤثرتر است. با افزایش پیشینه‌ی ظرفیت انبار و ثابت نگه داشتن سایر پارامترها و جواب اولیه‌ی یکسان برای شروع، پیشینه‌ی موجودی و مقدار بهینه‌ی تولید و هزینه نیز افزایش و با کاهش هزینه‌ی کیفیت زمانی که فرایند خارج از کنترل است و ثابت نگه داشتن سایر پارامترها و جواب اولیه‌ی یکسان برای شروع هزینه‌ی کل مورد انتظار کاهش یافته است که منطقی به نظر می‌رسد. همچنین کاهش هزینه‌ی کیفیت زمانی که فرایند خارج از کنترل است هم‌زمان با افزایش هزینه‌ی هر هشدار نادرست هم روند کاهش‌ی در هزینه‌ی کل را نشان می‌دهد (شکل ۳). با توجه به شکل ۲

مهره) است که یکی از مهم‌ترین ثمرات عینی آن افزایش بهره‌وری در فرایند تولید است.

پیشنادهایی برای گسترش تحقیق و توسعه‌ی مدل ارائه شده:

- در نظر گرفتن کمبود به صورت پس‌افت جزئی؛
- در نظر گرفتن چند انحراف با دلیل به جای یک انحراف با دلیل؛
- در نظر گرفتن مسئله‌ی تولید چندمحصولی به جای یک محصول؛
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در مقدار تقاضا یا هر یک از پارامترهای دیگر؛
- استفاده از روش‌های فراابتکاری دیگر و بررسی و مقایسه‌ی جواب‌های به دست آمده با پژوهش حاضر؛
- هر چه بازه‌ی مورد بررسی در الگوریتم جست‌وجوی ممنوع کوچک‌تر در نظر گرفته شود γ جواب دقیق‌تری حاصل می‌شود؛ به همین دلیل برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که بازه به جای $(-1, 1)$ ، به صورت $(-0.1, 0.1)$ در نظر گرفته شود؛
- در نظر گرفتن فرضیاتی مانند تخفیف و تخفیف جزئی در مدل تولید اقتصادی؛
- در نظر گرفتن سطوح مختلف نگهداری و تعمیرات و بررسی اثر آن.

پرداخته‌اند. از طرف دیگر نویسندگان بسیاری به توسعه‌ی مدل‌های کنترل کیفیت با استفاده از ابزارهای کنترل کیفیت آماری پرداخته‌اند. اما متأسفانه تعداد کمی از تحقیقات انجام شده این دو مسئله‌ی مهم، یعنی تعیین مقدار تولید اقتصادی و کنترل کیفیت با استفاده از ابزارهای کنترل کیفیت آماری، را در کنار یکدیگر بررسی کرده‌اند. همچنین مسئله‌ی کمبود که وقوع آن در سیستم‌های تولید و موجودی یک اتفاق بسیار رایج است، اصلاً در این تحقیقات در نظر گرفته نشده است. در این پژوهش مدل یکپارچه‌ی تعیین مقدار تولید اقتصادی و طراحی نمودار کنترلی با در نظر گرفتن کمبود توسعه داده شده است و به منظور نزدیک‌تر کردن هر چه بیشتر مدل توسعه داده شده به دنیای واقعی دو محدودیت فضای انبار و سطح خدمت نیز بررسی شدند. انتخاب دو محدودیت ذکر شده به این دلیل بوده است که این دو محدودیت از رایج‌ترین محدودیت‌هایی‌اند که تولیدکننده با آن‌ها مواجه می‌شود. به منظور اعتبارسنجی مدل ارائه شده از الگوریتم فراابتکاری جست‌وجوی ممنوع استفاده شده است. همچنین برای تولید جواب‌های هر چه بهتر ابتدا مقادیر بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم فراابتکاری با استفاده از تنظیم پارامتر به‌وسیله‌ی تابع رگرسیون غیرخطی و استفاده از نرم‌افزار گمز برای بهینه‌سازی، به دست آمده است. مدل توسعه داده شده در این مقاله علاوه بر فواید نظری برای دانشجویان و محققان این رشته، دارای فایده‌ی عملی برای صنایع مرتبط (تولید انواع قطعات مانند پیچ و

پانویس‌ها

1. random causes
2. assignable causes
3. interior penalty function
4. acceptance sampling
5. neutrosophic
6. crowns
7. hyper rectangular
8. movement

منابع (References)

1. Montgomery, Douglas, C., *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley & Sons, New York (2009).
2. Rosenblatt, M.J. and Lee, H.L. "Economic production cycles with imperfect production processes", *IIE transactions*, **18**(1), pp. 48-55 (1986).
3. Porteus, E.L. "Optimal lot sizing, process quality improvement and setup cost reduction", *Operations Research*, **34**(1), pp. 137-144. (1986).
4. Hariga, M. and Ben-Daya, M. "Note: the economic manufacturing lot-sizing problem with imperfect production processes: bounds and optimal solutions", *Naval Research Logistics (NRL)*, **45**(4), pp. 423-433 (1998).
5. Salameh, M.K. and Jaber, M.Y. "Economic production quantity model for items with imperfect quality", *International Journal of Production Economics*, **64**(1-3), pp. 59-64 (2000).
6. Sana, S.S., Goyal, S.K. and Chaudhuri, K. "An imperfect production process in a volume flexible inventory model", *International Journal of Production Economics*, **105**(2), pp. 548-559 (2007).
7. Wee, H.M., Yu, J. and Chen, M.C. "Optimal inventory model for items with imperfect quality and shortage backordering", *Omega*, **35**(1), pp. 7-11 (2007)
8. Yoo, S.H., Kim, D. and Park, M.S. "Lot sizing and quality investment with quality cost analyses for imperfect production and inspection processes with commercial return", *International Journal of Production Economics*, **140**(2), pp. 922-933 (2012).
9. Hsu, J.T. and Hsu, L.F. "Two EPQ models with imperfect production processes, inspection errors, planned backorders, and sales returns", *Computers & Industrial Engineering*, **64**(1), pp. 389-402 (2013).
10. Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A., Nabil, A.H. and et al. "A multiproduct single machine economic production quantity model for an imperfect production system under warehouse construction cost", *International Journal of Production Economics*, **169**, pp. 203-214. (2015).
11. Al-Salamah, M. "Economic production quantity in batch manufacturing with imperfect quality, imperfect inspection, and destructive and non-destructive acceptance sampling in a two-tier market", *Computers & Industrial Engineering*, **93**, pp. 275-285 (2016).
12. Manna, A.K., Dey, J.K. and Mondal, S.K. "Imperfect production inventory model with production rate dependent defective rate and advertisement dependent de-

- mand”, *Computers & Industrial Engineering*, **104**, pp. 9-22 (2017).
13. Iqbal, M.W. and Sarkar, B. “A model for imperfect production system with probabilistic rate of imperfect production for deteriorating products”, *DJ J. Eng. Appl. Math*, **4**(1), pp.1-12 (2018).
 14. Nabil, A.H., Afshar Sedigh, A.H., Tiwari, S. and et al. “An imperfect multi-item single machine production system with shortage, rework, and scrapped considering inspection, dissimilar deficiency levels, and non-zero setup times”, *Scientia Iranica*, **26**(1), pp. 557-570 (2019).
 15. Duncan, A.J. “The economic design of X charts used to maintain current control of a process”, *Journal of the American Statistical Association*, **51**(274), pp. 228-242 (1956).
 16. Montgomery, D.C. Prabhu, S.S. and Runger, G.C. “Economic-statistical design of an adaptive X chart”, *International Journal of Production Economics*, **49**(1), pp. 1-15 (1997).
 17. Costa, A.F. De Magalhães, M.S. and Epprecht, E.K. “Constrained optimization model for the design of an adaptive X chart”, *International Journal of Production Research*, **40**(13), pp. 3199-3218 (2002).
 18. Chen, Y.S. and Yang, Y.M. “Economic design of x-control charts with Weibull in-control times when there are multiple assignable causes”, *International Journal of Production Economics*, **77**(1), pp. 17-23 (2002).
 19. Mehmood, R., Riaz, M. and Does, R.J. “Control charts for location based on different sampling schemes”, *Journal of Applied Statistics*, **40**(3), pp. 483-494 (2013).
 20. Nenes, G., Tasiias, K.A. and Celano, G. “A general model for the economic-statistical design of adaptive control charts for processes subject to multiple assignable causes”, *International Journal of Production Research*, **53**(7), pp. 2146-2164 (2015).
 21. De la Torre Gutierrez, H. and Pham, D.T. “Estimation and generation of training patterns for control chart pattern recognition”, *Computers & Industrial Engineering*, **95**, pp. 72-82 (2016).
 22. Pasha, M.A., Moghadam, M.B. and Rahim, M.A. “Effects of non-normal quality data on the integrated model of imperfect maintenance, early replacement, and economic design of \bar{x} control charts”, *Operational Research*, **1**, pp. 1-18 (2018).
 23. Aslam, M., Bantan, R.A. and Khan, N. “Design of a control chart for gamma distributed variables under the indeterminate environment”, *IEEE Access*, **7**, pp. 8858-8864 (2019).
 24. Rahim, M.A. “Joint determination of production quantity, inspection schedule, and control chart design”, *IIE Transactions*, **26**(6), pp. 2-11 (1994).
 25. Rahim, M.A. and Ben-Daya, M. “A generalized economic model for joint determination of production run, inspection schedule and control chart design”, *International Journal of Production Research*, **36**(1), pp. 277-289 (1998).
 26. Rahim, M.A. and Ohta, H. “An integrated economic model for inventory and quality control problems”, *Engineering Optimization*, **37**(1), pp. 65-81 (2005).
 27. Ben-Daya, M. “Integrated production maintenance and quality model for imperfect processes”, *IIE Transactions*, **31**(6), pp. 491-501 (1999).
 28. Ben-Daya, M. and Makhdoum, M. “Integrated production and quality model under various preventive maintenance policies”, *Journal of the Operational Research Society*, **49**(8), pp. 840-853 (1998).
 29. Pan, E., Jin, Y., Wang, S. and et al. “An integrated EPQ model based on a control chart for an imperfect production process”, *International Journal of Production Research*, **50**(23), pp. 6999-7011 (2012).
 30. Salmasnia, A., Abdzadeh, B. and Namdar, M. “A joint design of production run length, maintenance policy and control chart with multiple assignable causes”, *Journal of Manufacturing Systems*, **42**, pp. 44-56 (2017).
 31. Glover, F. and Laguna, M. “Tabu search” Springer (1997).
 32. Siarry, P. and Berthiau, G. “Fitting of tabu search to optimize functions of continuous variables”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, **40**(13), pp. 2449-2457 (1997).
 33. Siarry, P., Chelouah, R. and Siarry, P. “Tabu search applied to global optimization”, *European Journal of Operational Research*, **123**(2), pp. 256-270 (2000).