

مدل یکپارچه‌ی کنترل فرایند آماری و سیاست نگهداری و تعمیرات مبتنی بر نظارت تأخیری در فرایندهای دومرحله‌یی

سید سعید نجیبی (کارشناس ارشد)

امیرحسین امیری* (دانشیار)

فرزاد امیرخانی (دانشجوی دکتری)

گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد تهران

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۸
دوری (۳۵-۱)، شماره ۲/۲، ص. ۹۳-۸۱

استفاده از سیاست نظارت تأخیری برای نظارت بر فرایندها از جدیدترین پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی کنترل فرایند آماری و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت است. در این پژوهش یک مدل یکپارچه‌ی کنترل فرایند آماری و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر نظارت تأخیری در فرایندهای دومرحله‌یی طراحی شده است. نظارت تأخیری بدین معناست که فرایندها در ابتدای شروع به کار تحت کنترل هستند و نمونه‌گیری را می‌توان تا یک زمان برنامه‌ریزی شده به تعویق انداخت. ابزار نظارت بر فرایند، نمودارهای کنترل \bar{X} - باقی‌مانده است. برای یکپارچه نمودن دو مدل کنترل فرایند آماری و سیاست‌های نگهداری و تعمیرات، یک مدل ریاضی طراحی شده است که هزینه‌های مورد انتظار تولید در واحد زمان را از طریق به کارگیری الگوریتم فراابتکاری کمیته می‌کند. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، یک مثال عددی ارائه شده که نتایج آن بیانگر عملکرد مطلوب مدل است.

واژگان کلیدی: کنترل فرایند آماری، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت، نظارت تأخیری، الگوریتم ژنتیک، فرایندهای دومرحله‌یی.

saeidnajibi@gmail.com
amiri@shahed.ac.ir
fzd.amirkhani@shahed.ac.ir

۱. مقدمه

گاهی اوقات با مشاهده یک وضعیت یا رفتار به خصوص از یک تجهیز در حال کار، می‌توان فهمید که یک حادثه در حال شکل‌گیری و وقوع است که این حادثه می‌تواند باعث شکست و از کار افتادگی تجهیز شود. وقتی که از سامانه‌ی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت استفاده می‌شود، می‌توان از نمودار کنترل به عنوان یکی از ابزار پایش وضعیت استفاده کرد. هدف پایش وضعیت با نمودار کنترل این است که عملکرد نامطلوب فرایند را پایش کند و با اعمال اقدامات نگهداری و تعمیرات آن را بهبود دهد. نمودارهای کنترلی \bar{X} از متداول‌ترین ابزارهای پایش فرایند هستند^[۱] و از اطلاعات حاصل از این نمودار کنترلی می‌توان به‌دتر شدن وضعیت فرایند تولید و کاهش کیفیت محصول پی برد که عملکرد نامناسب ناشی از خرابی تجهیزات تولیدی می‌تواند یکی از دلایل وقوع این اتفاق باشد.^[۲] ایده‌ی ترکیب ابزارهای کنترل فرایند آماری^۱ (SPC) با فعالیت‌های نگهداری در فرایندهایی که تغییرات کیفیتی و خرابی‌ها ممکن است به صورت هم‌زمان در آنها روی دهد، اولین بار توسط ناگارس^[۳] مطرح شده است و در سال‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی روی این موضوع انجام شده است. کیم و میکیس^[۴] به طراحی اقتصادی نمودار کنترل مربع کای برای استفاده در فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات پرداختند.

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۷/۲۹، اصلاحیه ۱۳۹۷/۱۱/۱۵، پذیرش ۱۳۹۸/۱/۲۱.

DOI:10.24200/J65.2019.51017.1883

فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط تجهیز و طراحی اقتصادی نمودار کنترل \bar{X} ارائه دادند. در این مقاله برای نظارت بر فرایند از یک نمودار شوهارت استفاده شده است. بین و همکاران^[۱] یک مسئله یکپارچه‌ی کنترل فرایند آماری و نگهداری و تعمیرات را بررسی کردند که در آن برای نظارت بر فرایند از سیاست نظارت تأخیری استفاده می‌شود و نمودار کنترل مورد استفاده در این پژوهش، نمودار \bar{X} است. همچنین ژانگ و همکاران^[۱۴] یک مدل مارکوف برای سیاست نگهداری و تعمیرات تأخیری ارائه داده‌اند. ژانگ و همکاران^[۱۵] یک مدل برای کمینه کردن هزینه‌های کیفیت، نگهداری و تعمیرات و بازرسی در فرایندهای دومرحله‌ی به هم پیوسته با نرخ خرابی ثابت مطرح کردند. اخیراً رسای و همکاران^[۱۶] نیز یک مدل یکپارچه طراحی اقتصادی نمودار مربع کای و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات ارائه کرده‌اند.

در این مقاله یک مدل یکپارچه‌ی کنترل فرایند آماری و سیاست‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس سیاست نظارت تأخیری توسعه داده شده است. در این نوع سیاست تعمیر و نگهداری، فرایندهای تولید تا یک زمان برنامه‌ریزی شده، بدون نظارت به کار خود ادامه می‌دهند و پس از گذشت زمان بهینه، فرایندها کنترل می‌شوند. با توجه به این‌که تاکنون سیاست نظارت تأخیری در فرایندهای دو مرحله‌ی بررسی نشده است، نوآوری این مقاله استفاده از این سیاست در فرایندهای دو مرحله‌ی است.

فرایندها در ابتدای شروع به کار فرایند تحت کنترل هستند به همین دلیل نمونه‌گیری در شروع این مرحله، تقریباً صرف کردن هزینه اضافی است. بنابراین با استفاده از سیاست نظارت تأخیری می‌توان تا یک زمان برنامه‌ریزی شده، نمونه‌گیری را به تعویق انداخت و از صرف هزینه اضافی نیز جلوگیری کرد که حاصل آن کاهش هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان است. فرایند تولید دومرحله‌ی بدین صورت است که فرایند تولید یک محصول با دو تجهیز در نظر گرفته شده است که در هر مرحله یک تجهیز وجود دارد و مشخصه‌ی کیفی محصول کنترل می‌شود. مشخصه‌ی کیفی محصول در هر مرحله دارای توزیع آماری نرمال است. استفاده از سیاست نظارت تأخیری، ۲۸ سناریوی مختلف را ایجاد می‌کند که در آن علاوه بر تغییر کیفیت، خرابی تجهیزات نیز رخ می‌دهد. ابزار نظارت بر فرایند نیز، نمودارهای کنترل \bar{X} - باقی مانده است.

روند این پژوهش در ادامه بدین گونه است که در بخش ۲ احتمال وقوع، زمان و هزینه‌ی هر سناریو محاسبه شده است و سپس یک مدل ریاضی باهدف کمینه کردن هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان طراحی می‌شود. در بخش ۳ مدل طراحی شده، با استفاده از الگوریتم فرایندتکاری ژنتیک حل می‌شود. برای کمینه کردن هزینه‌ی کل تولید، متغیرهای تصمیم L (حد کنترل)، h (فاصله‌ی نمونه‌گیری)، n (اندازه‌ی نمونه)، KD (تعداد نمونه‌ی که در زمان تأخیر گرفته نمی‌شود) و K (تعداد نمونه‌ی که باید در زمان نظارت بر فرایند، گرفته شود). بهینه می‌شود. در بخش ۴ برای نشان دادن عملکرد مطلوب مدل، یک مثال عددی ارائه شده است. در بخش ۵ بر روی برخی پارامترهای مدل تحلیل حساسیت انجام شده است. در پایان در بخش ۶ نیز نتیجه‌گیری مسئله بیان می‌شود.

مرحله ۱ در حالت خارج از کنترل؛

G_{01}, g_{02} : تابع توزیع تجمعی و تابع چگالی احتمال مدت زمان تا خرابی تجهیز ۲

مرحله ۲ در حالت تحت کنترل؛

G_{11}, g_{12} : تابع توزیع تجمعی و تابع چگالی احتمال مدت زمان تا خرابی تجهیز ۲

مرحله ۲ در حالت خارج از کنترل؛

λ_i : نرخ خرابی تجهیزات در حالت i و $i = 1, 2$ ؛

α_i : احتمال خطای نوع اول در مرحله i ؛

β_i : احتمال خطای نوع دوم در مرحله i ؛

ARL_{01} : متوسط طول دنباله در مرحله ۱ در حالت تحت کنترل؛

ARL_{11} : متوسط طول دنباله در مرحله ۱ در حالت خارج از کنترل؛

ARL_{02} : متوسط طول دنباله در مرحله ۲ در حالت تحت کنترل؛

ARL_{12} : متوسط طول دنباله در مرحله ۲ در حالت خارج از کنترل؛

δ_i : اندازه‌ی تغییر میانگین فرایند در حالت تغییر کیفیت در مرحله i ؛

TI : مدت زمان عملیات در حالت تحت کنترل؛

TO : مدت زمان عملیات در حالت خارج از کنترل؛

TC : مدت زمان مورد انتظار انجام شدن نگهداری و تعمیرات اصلاحی؛

TP : مدت زمان مورد انتظار انجام شدن نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه؛

TR : مدت زمان مورد انتظار انجام شدن نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه؛

TY : مدت زمان مورد انتظار بازرسی هشدار؛

TM : دوره‌ی نظارت؛

CI : هزینه‌ی تولید در واحد زمان در حالت تحت کنترل؛

CO : هزینه‌ی تولید در واحد زمان در حالت خارج از کنترل؛

CF : هزینه‌ی ثابت هر نمونه‌گیری؛

CV : هزینه‌ی متغیر هر نمونه؛

CY : هزینه‌ی بازرسی هر هشدار؛

CC : هزینه‌ی نگهداری تعمیرات اصلاحی؛

CP : هزینه‌ی نگهداری تعمیرات پیش‌گیرانه؛

CR : هزینه‌ی نگهداری تعمیرات پیش‌گویانه؛

TD : مدت برنامه‌ریزی شده بدون نظارت؛

T : مدت برنامه‌ریزی شده با نظارت؛

KD : تعداد نمونه‌گیری مشمول در دوره‌ی نظارت تأخیری؛

K : تعداد نمونه‌گیری در دوره‌ی نظارت؛

n : اندازه‌ی نمونه؛

h : فاصله‌ی نمونه‌گیری؛

Li : ضریب حد کنترل در مرحله i .

در ادامه‌ی این بخش به بیان مسئله پرداخته می‌شود.

۲.۲. بیان مسئله

در این پژوهش یک مدل یکپارچه کنترل کیفیت آماری و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر نظارت تأخیری در فرایندهای دومرحله‌ی طراحی شده است. هر مرحله شامل یک تجهیز است که باید بر مشخصه‌ی کیفی محصول نظارت شود. در هر مرحله فقط یک جریان وجود دارد. تغییر در پارامتر میانگین مشخصه‌ی کیفی محصول تجهیز مرحله‌ی اول، ممکن است بر مشخصه‌ی کیفی محصول تجهیز مرحله‌ی دوم اثر بگذارد.

۲. مدل‌سازی ریاضی مسئله

۱.۲. معرفی توابع، متغیرها و پارامترها

در ادامه توابع، متغیرها و پارامتر مدل پیشنهادی شرح داده شده است.

G_{01}, g_{01} : تابع توزیع تجمعی و تابع چگالی احتمال مدت زمان تا خرابی تجهیز ۱

مرحله ۱ در حالت تحت کنترل؛

G_{11}, g_{11} : تابع توزیع تجمعی و تابع چگالی احتمال مدت زمان تا خرابی تجهیز ۱

کنترل و خرابی تجهیزات، به صورت یک فرایند تصادفی در نظر گرفته شده است. مدت زمان تا تغییر کیفیت در مرحله اول و دوم و خرابی تجهیزات در حالت های صفر و یک، توسط تابع توزیع وایبول با پارامترهای شکل و مقیاس B, η ، مدل سازی شده که به صورت روابط ۱۳ تا ۱۸ است:

$$f_1(t) = \left(\frac{B_1}{\eta_1}\right) \left(\frac{t}{\eta_1}\right)^{B_1-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta_1}\right)^{B_1}}, \quad (13)$$

$$f_2(t) = \left(\frac{B_2}{\eta_2}\right) \left(\frac{t}{\eta_2}\right)^{B_2-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta_2}\right)^{B_2}}, \quad (14)$$

$$g_{01}(x_0) = \left(\frac{B_{01}}{\eta_{01}}\right) \left(\frac{x_0}{\eta_{01}}\right)^{B_{01}-1} e^{-\left(\frac{x_0}{\eta_{01}}\right)^{B_{01}}}, \quad (15)$$

$$g_{11}(x_1) = \left(\frac{B_{11}}{\eta_{11}}\right) \left(\frac{x_1}{\eta_{11}}\right)^{B_{11}-1} e^{-\left(\frac{x_1}{\eta_{11}}\right)^{B_{11}}}, \quad (16)$$

$$g_{02}(y_0) = \left(\frac{B_{02}}{\eta_{02}}\right) \left(\frac{y_0}{\eta_{02}}\right)^{B_{02}-1} e^{-\left(\frac{y_0}{\eta_{02}}\right)^{B_{02}}}, \quad (17)$$

$$g_{12}(y_1) = \left(\frac{B_{12}}{\eta_{12}}\right) \left(\frac{y_1}{\eta_{12}}\right)^{B_{12}-1} e^{-\left(\frac{y_1}{\eta_{12}}\right)^{B_{12}}}. \quad (18)$$

به این نکته باید توجه داشت که در حالت خارج از کنترل، نه تنها هزینه ی عملیات فرایند بیشتر از حالت تحت کنترل است بلکه نرخ خرابی تجهیزات نیز بالاتر است. در این مقاله در صورتی که نمودارهای کنترل، هشدار دهند، اقدامات برای بررسی و بازرسی هشدار آغاز می شود. در صورتی که هشدار، بیان کننده ی تغییر کیفیت فرایند باشد، فوراً نگهداری و تعمیرات پیش گوینه انجام می شود تا فرایند به حالت تحت کنترل بازگردد. اگر هشدار نادرست باشد (احتمال خطای نوع اول)، سامانه ی بدون انجام عملیات نگهداری و تعمیرات به کار خود ادامه می دهد. زمانی که تجهیزات خراب می شوند، نگهداری و تعمیرات اصلاحی، برای یک بار انجام می شود و تجهیزات را به حالت اولیه که سالم است، بازمی گرداند.

وقتی که بعد از K بار نمونه گیری، نمودار کنترل هیچ هشدار ندهد و هیچ کدام از تجهیزات هم خراب نشوند، ممکن است دو حالت وجود داشته باشد؛ فرایند در حالت کنترل است یا فرایند در حال خارج از کنترل است اما قابل تشخیص نیست. بنابراین، پس از K بار نمونه گیری، فرایند تولید متوقف می شود تا نگهداری و تعمیرات پیش گیرانه به صورت رابطه ی ۱۹ انجام گیرد:

$$T = (K + 1)h. \quad (19)$$

نرخ خرابی در تابع توزیع وایبول با گذشت زمان، افزایش می یابد. بنابراین امکان وقوع تغییر کیفیت و خرابی در شروع فرایند، به شدت پایین است. پس نمونه گیری در حالت تحت کنترل معمولاً بی ارزش است. در نتیجه می توان نظارت بر فرایند را تا یک زمان برنامه ریزی شده TD بر مبنای فاصله ی نمونه گیری به تأخیر انداخت. زمان تأخیر به صورت زیر محاسبه می شود:

$$T_D = K_D h. \quad (20)$$

انتظار می رود سیاست نظارت تأخیری به کاهش هزینه های نمونه برداری و تولید کمک کند؛ ولی ممکن است هزینه های ناشی از تغییر کیفیت و خرابی تجهیزات در دوره ی نظارت تأخیری افزایش یابد. بنابراین TD یک متغیر تصمیم مهم است و همراه با ۵ متغیر تصمیم n, T, L_1, L_2 و h بهینه می شود.

۳.۲. ایجاد مدل یکپارچه

به کارگیری سیاست نظارت تأخیری منجر به ایجاد ۲۸ سناریوی تولید مختلف می شود

در ابتدا به یک مدل برای برقراری ارتباط بین مشخصه ی کیفی محصول در مرحله ی اول (X) و مرحله ی دوم (Y) نیاز است. برای برقراری رابطه از مدل رگرسیون خطی ساده استفاده شده است:

$$Y = b_0 + b_1 X + \varepsilon. \quad (1)$$

فرض شود که b_0 و b_1 معلوم هستند و توزیع خطای تصادفی $N(0, \sigma^2)$ باشد. تجهیزات در شروع فرایند، به طور کامل راه اندازی می شوند و فرایند در حالت تحت کنترل قرار دارد که به آن حالت صفر گفته می شود. مشخصه های کیفی محصول هر دو تجهیز دارای توزیع نرمال و به صورت زیر هستند:

$$X \sim N(\mu_{0X}, \sigma_X^2), \quad (2)$$

$$Y \sim N(\mu_{0Y}, \sigma_Y^2). \quad (3)$$

نمونه گیری بعد از پایان مرحله ی دوم انجام می شود. از نمودار \bar{X} برای نظارت بر مرحله ی اول و از نمودار میانگین باقی مانده برای نظارت بر مرحله ی دوم استفاده می شود.

در پایان مرحله ی دوم یک نمونه n تایی (x_i, y_i) از فرایند گرفته می شود. برای مرحله ی اول میانگین مشخصه ی کیفی آن به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\bar{X}_t = \frac{\sum_{i=1}^n x_{it}}{n}. \quad (4)$$

پس از محاسبه ی میانگین نمودار کنترل \bar{X} برای مشخصه ی کیفی مرحله ی اول حدود کنترل زیر رسم می شود:

$$Z_{1t} = \frac{\bar{X}_t - \mu_X}{\sigma_X / \sqrt{n}}, \quad (5)$$

$$UCL = 0 + L_1 \left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right), \quad (6)$$

$$LCL = 0 - L_1 \left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right). \quad (7)$$

پس از رسم نمودار کنترل برای مرحله ی اول، باید نمودار میانگین باقی مانده برای مرحله ی دوم را نیز رسم کرد. آماره ی مرحله ی دوم به صورت زیر است:

$$\bar{e}_t = \frac{\sum_{i=1}^n e_{it}}{n}, \quad (8)$$

که e_{it} به صورت زیر محاسبه می شود:

$$e_{it} = y_{it} - b_0 - b_1 x_{it}. \quad (9)$$

حدود کنترل آماره \bar{e}_t به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Z_{2t} = \frac{\bar{e}_t - 0}{\sigma_Y / \sqrt{n}}, \quad (10)$$

$$UCL = 0 + L_2 \left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right), \quad (11)$$

$$LCL = 0 - L_2 \left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right). \quad (12)$$

در این پژوهش همانند مقاله ی بین و همکاران،^[۲] تغییر حالت فرایند به خارج از

جدول ۱. سناریوهای مدل یکپارچه کنترل کیفیت آماری و نگهداری و تعمیرات.

| ماشین ۲ | | | | | | ماشین ۱ | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|------|---|---------|--------|--------|--------|------|--------|
| تغییر | تغییر | خرابی | خرابی | سالم | | تغییر | تغییر | خرابی | خرابی | سالم | سناریو |
| کیفیت | کیفیت | بعد از | قبل از | | | کیفیت | کیفیت | بعد از | قبل از | | |
| بعد از | قبل از | T_D | T_D | | | بعد از | قبل از | T_D | T_D | | |
| T_D | T_D | | | | | T_D | T_D | | | | |
| | | | | * | | | | | * | | ۱ |
| | | | * | | | | | | | * | ۲ |
| | | | * | | | | | | * | | ۳ |
| | | | | * | | | | * | | | ۴ |
| | | * | | | | | | | | * | ۵ |
| | | * | | | | | | * | | | ۶ |
| | | | | * | | | | | | * | ۷ |
| | | | | * | | | * | | * | | ۸ |
| | * | | * | | | * | | | | * | ۹ |
| | * | | * | | | * | | | * | | ۱۰ |
| | | | | * | | * | * | * | | | ۱۱ |
| | * | * | * | | | * | * | * | | * | ۱۲ |
| | * | * | * | | | * | * | * | * | | ۱۳ |
| | | | | * | * | * | * | * | * | | ۱۴ |
| * | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۱۵ |
| * | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۱۶ |
| | | | | * | | * | * | * | * | | ۱۷ |
| | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۱۸ |
| | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۱۹ |
| | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | ۲۰ |
| | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۲۱ |
| | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۲۲ |
| | | | | * | * | * | * | * | * | * | ۲۳ |
| * | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۲۴ |
| * | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۲۵ |
| | | | | * | * | * | * | * | * | * | ۲۶ |
| | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۲۷ |
| | * | * | * | | | * | * | * | * | * | ۲۸ |

واحد زمان، $E(CT)$ ، به این صورت به دست می‌آید که هزینه‌ی مورد انتظار چرخه به زمان مورد انتظار چرخه تقسیم می‌شود.

$$E(CT) = E(Cycle Cost) / E(Cycle Time) = \frac{\sum_{i=1}^{28} P(S_i) E(C | S_i)}{\sum_{i=1}^{28} P(S_i) E(T | S_i)} \quad (21)$$

که همه‌ی آن‌ها در جدول ۱ آمده است. شرح کامل سناریوها در بخش ۵.۲ و همراه با محاسبه‌ی احتمال وقوع هر سناریو ذکر شده است. در صورتی که تجهیزات در طول فرآیند تولید خراب شوند، برای بازگرداندن آنها به حالت سالم از سیاست نگهداری و تعمیرات اصلاحی استفاده می‌شود. اگر فرآیندهای تولید از کنترل خارج شوند و این تغییر شناسایی شود، برای بازگرداندن فرآیند به حالت تحت کنترل از سیاست نگهداری و تعمیرات پیشگویانه استفاده می‌شود. همچنین در صورتی که فرآیند در طول فعالیت خود با هیچ مشکلی مواجه نشود، پس از اتمام فرآیند باید بر روی آن سیاست نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه اعمال شود.

۵.۲. محاسبه‌ی احتمال وقوع هر سناریو

در سناریوهای ۱ تا ۳ تغییر کیفیت در فرایند رخ نمی‌دهد، اما تجهیز یک یا دو یا هر دو تجهیز، قبل از زمان شروع شدن نظارت خراب می‌شوند.

۴.۲. تابع هزینه

در این بخش تابع هزینه‌ی ۲۸ سناریو ایجاد شده است. هزینه‌های کل تولید در

این نکته را باید توجه داشت بر طبق مقاله^[۲] زمانی که فرایند در حالت خارج از کنترل قرار دارد، از توزیعی با تابع چگالی احتمال $\frac{g_{\nu}(x_0)}{G_{\nu}(t)}$ پیروی می‌کند.

$$P(S_{\lambda}) = \left(\int_0^{T_D} f_{\nu}(t) \cdot h_{\nu}(t) dt \right) \cdot \bar{F}_{\nu}(T_D + T) \bar{G}_{\nu}(T_D + T),$$

$$h_{\nu}(t) = \int_t^{\infty} g_{\nu}(x_0) \cdot dx_0 \cdot \frac{\int_t^{T_D} g_{\nu}(x_0) dx_0}{G_{\nu}(t)}. \quad (30)$$

$$P(S_{\lambda}) = \left(\int_0^{T_D} f_{\tau}(t) \cdot h_{\lambda}(t) dt \right) \cdot \bar{F}_{\nu}(T_D + T) \bar{G}_{\nu}(T_D + T),$$

$$h_{\lambda}(t) = \int_t^{\infty} g_{\nu}(y_0) \cdot dy_0 \cdot \frac{\int_t^{T_D} g_{\nu}(y_0) dy_0}{G_{\nu}(t)}. \quad (31)$$

$$P(S_{\nu_0}) = \left(\int_0^{T_D} f_{\nu}(t_1) \cdot h_{\lambda}(t_1) dt_1 \right) \cdot \left(\int_0^{T_D} f_{\tau}(t_2) \cdot h_{\nu_0}(t_2) dt_2 \right),$$

$$h_{\lambda}(t) = \int_{t_1}^{\infty} g_{\nu}(x_0) \cdot dx_0 \cdot \frac{\int_{t_1}^{T_D} g_{\nu}(x_0) dx_0}{G_{\nu}(t_1)},$$

$$h_{\nu_0}(t) = \int_{t_2}^{\infty} g_{\nu}(y_0) \cdot dy_0 \cdot \frac{\int_{t_2}^{T_D} g_{\nu}(y_0) dy_0}{G_{\nu}(t_2)}. \quad (32)$$

در جدول سناریوها (جدول ۱) مشخص است که در سناریوهای ۱۱ تا ۱۳، ۱۷ تا ۲۲ و ۲۶ تا ۲۸ حالت فرایند به خارج از کنترل تغییر می‌کند، اما نمودار کنترل این تغییر را شناسایی نمی‌کند. بنابراین در این سناریوها احتمال خطای نوع دوم وجود دارد که باید آن را محاسبه کرد.

$$\beta_i = \phi(L_i - \delta_i \sqrt{n}) - \phi(-L_i - \delta_i \sqrt{n}); i = 1, 2 \quad (33)$$

که در آن $\phi(\cdot)$ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است.

برای محاسبه‌ی احتمال کشف تغییر کیفیت توسط نمودار کنترل، این پژوهش همانند مقاله^[۲] به جای این‌که بر روی فاصله‌ی نمونه‌گیری تمرکز کند، روی دوره‌ی نسبتاً طولانی از زمان متمرکز است. تغییر کیفیت در هر نمونه در طول زمان $[t_s, t_e]$ قابل کشف است.

اگر نمودار کنترل تغییر کیفیت را در s امین نمونه‌گیری شناسایی نکند، احتمال کشف تغییر به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P_s = (1 - \beta_i) \beta_i^{s-1}. \quad (34)$$

در طول زمان $m_i[t_s, t_e]$ نمونه‌گیری انجام می‌شود و تعداد نمونه‌گیری به صورت زیر به دست می‌آید:

$$m = \left\lceil \frac{t_e - t_s}{h} \right\rceil. \quad (35)$$

در این رابطه $\lceil \cdot \rceil$ نشان‌دهنده‌ی بزرگ‌ترین عدد صحیح کوچک‌تر از یا مساوی با عبارت داخل قلاب است. بنابراین با توجه به تعداد نمونه‌گیری، احتمال کشف تغییر

$$P(S_{\nu}) = \left(\int_0^{T_D} g_{\nu}(x_0) \cdot h_{\nu}(x_0) dx_0 \right) \cdot \bar{F}_{\nu}(T_D + T) \bar{G}_{\nu}(T_D + T),$$

$$h_{\nu}(x_0) = \int_{x_0}^{\infty} f_{\nu}(t) dt. \quad (22)$$

با توجه به این‌که در این سناریوها تغییر کیفیت رخ نمی‌دهد، $h(x_0)$ بر قابلیت اطمینان فرایند دلالت دارد.

$$P(S_{\tau}) = \left(\int_0^{T_D} g_{\nu}(y_0) \cdot h_{\tau}(y_0) dy_0 \right) \cdot \bar{F}_{\nu}(T_D + T) \bar{G}_{\nu}(T_D + T),$$

$$h_{\tau}(y_0) = \int_{y_0}^{\infty} f_{\tau}(t) dt. \quad (23)$$

$$P(S_{\tau}) = \left(\int_0^{T_D} g_{\nu}(x_0) \cdot h_{\nu}(x_0) dx_0 \right) \cdot \left(\int_0^{T_D} g_{\nu}(y_0) \cdot h_{\tau}(y_0) dy_0 \right). \quad (24)$$

در سناریوهای ۴ تا ۶ تغییر کیفیت در فرایند صورت نمی‌گیرد. اما تفاوت آن با ۳ سناریوی قبلی در این است که تجهیزات در دوره‌ی که نظارت بر فرایند وجود دارد، خراب می‌شوند (یعنی در طول بازه‌ی (T_D, T)).

$$P(S_{\tau}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} g_{\nu}(x_0) \cdot h_{\tau}(x_0) dx_0 \right) \cdot \bar{F}_{\nu}(T_D + T) \bar{G}_{\nu}(T_D + T),$$

$$h_{\tau}(x_0) = \int_{x_0}^{\infty} f_{\tau}(t) dt. \quad (25)$$

$$P(S_{\delta}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} g_{\nu}(y_0) \cdot h_{\delta}(y_0) dy_0 \right) \cdot \bar{F}_{\nu}(T_D + T) \bar{G}_{\nu}(T_D + T),$$

$$h_{\delta}(y_0) = \int_{y_0}^{\infty} f_{\tau}(t) dt. \quad (26)$$

$$P(S_{\delta}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} g_{\nu}(x_0) \cdot h_{\tau}(x_0) dx_0 \right) \cdot \left(\int_{T_D}^{T_D+T} g_{\nu}(y_0) \cdot h_{\delta}(y_0) dy_0 \right). \quad (27)$$

در سناریوی ۷ هیچ‌کدام از تجهیزات مرحله‌ی ۱ و ۲ تا پایان فرایند خراب نمی‌شوند و تغییر کیفیت نمی‌دهند. فرایند از آغاز تا زمان $T_D + T$ تحت کنترل است. احتمال سناریوی ۷ به صورت رابطه‌ی ۲۸ است.

$$P(S_{\nu}) = (\bar{F}_{\nu}(T_D + T) \cdot \bar{G}_{\nu}(T_D + T)) \times (\bar{F}_{\tau}(T_D + T) \cdot \bar{G}_{\tau}(T_D + T)). \quad (28)$$

که در این مدل \bar{F} و \bar{G} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{F}(T_D + T) = 1 - F(T_D + T),$$

$$\bar{G}(T_D + T) = 1 - G(T_D + T). \quad (29)$$

در سناریوهای ۸ تا ۱۰ قبل از زمان T_D ، حالت فرایند به حالت خارج از کنترل تغییر می‌کند و در طول زمان (t, T_D) ماشین یک، دو یا هر دو ماشین خراب می‌شوند.

کیفیت توسط نمودار نیز به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{ei}(t_s, t_e) = \sum_{s=1}^m P_s = 1 - \beta_i^m. \quad (36)$$

و احتمال کشف نکردن تغییر کیفیت از سوی نمودار هم برابر β_i است. علاوه بر این میانگین طول دنباله زمانی که فرایند خارج از کنترل است به صورت زیر است:

$$ARL_{vi} = \frac{1}{1 - \beta_i}. \quad (37)$$

در سناریوهای ۱۱ تا ۱۳ نیز فرایندها در طول زمان $(0, T_D)$ حالتشان از تحت کنترل به خارج از کنترل تغییر می کند. اما تجهیزات در دوره‌یی که نظارت وجود دارد، خراب می شوند. بنابراین در این سناریوها خطای نوع دوم وجود دارد. زیرا نمودار کنترل باید تغییر حالت فرایندها را شناسایی می کرد و هشدار می داد، که این کار صورت نگرفت.

$$P(S_{11}) = \left(\int_0^{T_D} f_1(t).h_{11}(t)dt \right). \bar{F}_1(T_D + T) \bar{G}_{11}(T_D + T),$$

$$h_{11}(t) = \bar{G}_{11}(t) \frac{\int_0^{T_D+T} g_{11}(x_1) \bar{P}_{11}(T_D, x_1) dx_1}{\bar{G}_{11}(t)}. \quad (38)$$

$$P(S_{12}) = \left(\int_0^{T_D} f_2(t).h_{12}(t)dt \right). \bar{F}_1(T_D + T) \bar{G}_{11}(T_D + T),$$

$$h_{12}(t) = \bar{G}_{11}(t) \frac{\int_0^{T_D+T} g_{12}(y_1) \bar{P}_{12}(T_D, y_1) dy_1}{\bar{G}_{12}(t)}. \quad (39)$$

$$P(S_{13}) = \left(\int_0^{T_D} f_1(t_1).h_{11}(t_1)dt_1 \right). \left(\int_0^{T_D} f_2(t_2).h_{12}(t_2)dt_2 \right), \quad (40)$$

در سناریوهای ۱۴ تا ۱۶ تغییر کیفیت فرایند قبل از زمان T_D رخ می دهد و بعد از شروع دوره نظارت، تغییر مذکور شناسایی می شود. در این سناریوها دو حالت ممکن است رخ دهد:

الف) تغییر کیفیت فرایند اولین بار در زمان t قبل از زمان T_D رخ دهد و سپس قبل از آنکه تجهیزات در طول زمان $(t, T_D + T)$ خراب شوند، در طول زمان $(T_D, T_D + T)$ شناسایی شوند.

ب) تغییر کیفیت فرایند اولین بار در زمان t قبل از زمان T_D رخ دهد و قبل از پایان چرخه در طول زمان $(T_D, T_D + T)$ شناسایی می شود و قرار است تجهیزات در طول زمان $T_D + T$ تا بی نهایت خراب شوند. بنابراین احتمال وقوع سناریوها به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P(S_{14}) = P(S_{14-1}) + P(S_{14-2}) =$$

$$\left(\int_0^{T_D} f_1(t).h_{14-1}(t)dt \right). \bar{F}_1(T_D + T) \bar{G}_{14}(T_D + T) +$$

$$\left(\int_0^{T_D} f_1(t).h_{14-2}(t)dt \right). \bar{F}_1(T_D + T) \bar{G}_{14}(T_D + T),$$

$$h_{14-1}(t) = \bar{G}_{14}(t) \frac{\int_0^{T_D+T} g_{14}(x_1) P_{14}(T_D, x_1) dx_1}{\bar{G}_{14}(t)},$$

$$h_{14-2}(t) = \bar{G}_{14}(t) \frac{\int_0^{T_D+T} g_{14}(x_1) P_{14}(T_D, T_D+T) dx_1}{\bar{G}_{14}(t)}. \quad (41)$$

$$P(S_{15}) = P(S_{15-1}) + P(S_{15-2}) =$$

$$\left(\int_0^{T_D} f_2(t).h_{15-1}(t)dt \right). \bar{F}_1(T_D + T) \bar{G}_{15}(T_D + T) +$$

$$\left(\int_0^{T_D} f_2(t).h_{15-2}(t)dt \right). \bar{F}_1(T_D + T) \bar{G}_{15}(T_D + T),$$

$$h_{15-1}(t) = \bar{G}_{15}(t) \frac{\int_0^{T_D+T} g_{15}(y_1) P_{15}(T_D, y_1) dy_1}{\bar{G}_{15}(t)},$$

$$h_{15-2}(t) = \bar{G}_{15}(t) \frac{\int_0^{T_D+T} g_{15}(y_1) P_{15}(T_D, T_D + T) dy_1}{\bar{G}_{15}(t)}. \quad (42)$$

$$P(S_{16}) = \left(\int_0^{T_D} f_1(t_1).h_{16-1}(t_1)dt_1 + \int_0^{T_D} f_1(t_1).h_{16-2}(t_1)dt_1 \right) *$$

$$\left(\int_0^{T_D} f_2(t_2).h_{16-1}(t_2)dt_2 + \int_0^{T_D} f_2(t_2).h_{16-2}(t_2)dt_2 \right). \quad (43)$$

در سناریوهای ۱۷ تا ۱۹ تغییر کیفیت فرایندها قبل از زمان T_D رخ می دهد. بعد از شروع دوره نظارت بر فرایند، نمودار کنترل هیچ گونه هشدار تولید نمی کند که نمایانگر خطای نوع دوم است. اما تجهیزات بدون هیچ خرابی به زمان برنامه ریزی شده نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه می رسند. با انجام عملیات مذکور، تجهیزات به حالت خوب بازمی گردند.

$$P(S_{17}) = \left(\int_0^{T_D} f_1(t).h_{17}(t)dt \right). \bar{F}_1(T_D + T) \bar{G}_{17}(T_D + T),$$

$$h_{17}(t) = \bar{G}_{17}(t) \frac{\int_0^{T_D+T} g_{17}(x_1) \bar{P}_{17}(T_D, T_D + T) dx_1}{\bar{G}_{17}(t)}. \quad (44)$$

$$P(S_{18}) = \left(\int_0^{T_D} f_2(t).h_{18}(t)dt \right). \bar{F}_1(T_D + T) \bar{G}_{17}(T_D + T),$$

$$h_{18}(t) = \bar{G}_{17}(t) \frac{\int_0^{T_D+T} g_{18}(y_1) \bar{P}_{18}(T_D, T_D + T) dy_1}{\bar{G}_{18}(t)}. \quad (45)$$

$$P(S_{19}) = \left(\int_0^{T_D} f_1(t_1).h_{19}(t_1)dt_1 \right). \left(\int_0^{T_D} f_2(t_2).h_{19}(t_2)dt_2 \right). \quad (46)$$

از سناریوی ۲۰ به بعد محاسبات شبیه سناریوهای ۱۷ تا ۱۹ است. با این تفاوت که تغییر کیفیت در تجهیزات، بعد از زمان T_D و در دوره نظارت $(T_D, T_D + T)$ رخ می دهد.

در سناریوهای ۲۰ تا ۲۲ فرایندها در طول دوره نظارت (یعنی در طول بازه‌ی

$$h_{r_{0-1}}(t) = \frac{\int_0^{T_D+T} g_{1r}(y_1) P_{r_1}(t, y_1) dy_1}{\overline{G_{1r}}(t)},$$

$$h_{r_{0-r}}(t) = \frac{\int_0^{T_D+T} g_{1r}(y_1) P_{r_1}(t, T_D + T) dy_1}{\overline{G_{1r}}(t)}. \quad (51)$$

$$P(S_{r0}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t_1) . h_{19-1}(t_1) dt + \int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t_1) . h_{19-r}(t_1) dt \right) *$$

$$\left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_r(t_r) . h_{r0-1}(t_r) dt + \int_{T_D}^{T_D+T} f_r(t_r) . h_{r0-r}(t_r) dt \right). \quad (52)$$

در سناریوهای ۲۶ تا ۲۸ نیز تغییر کیفیت فرایندها در طول دوره‌ی وجود داشتن نظارت رخ می‌دهد. اما هیچ خرابی برای تجهیزات به وجود نمی‌آید و با رسیدن زمان برنامه‌ریزی شده‌ی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه و انجام آن، تجهیزات به حالت تحت کنترل بازمی‌گردند.

$$P(S_{r1}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t) . h_{r1}(t) dt \right) . \overline{F}_r(T_D + T) \overline{G_{1r}}(T_D + T),$$

$$h_{r1}(t) = \frac{\int_0^{T_D+T} g_{11}(x_1) \overline{P_{r_1}}(t, T_D + T) dx_1}{\overline{G_{11}}(t)}. \quad (53)$$

$$P(S_{r2}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_r(t) . h_{18}(t) dt \right) . \overline{F}_1(T_D + T) \overline{G_{11}}(T_D + T),$$

$$h_{18}(t) = \frac{\int_0^{T_D+T} g_{1r}(y_1) \overline{P_{r_1}}(t, T_D + T) dy_1}{\overline{G_{1r}}(t)}. \quad (54)$$

$$P(S_{r3}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t_1) . h_{r1}(t_1) dt_1 \right) . \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_r(t_r) . h_{r2}(t_r) dt_r \right). \quad (55)$$

۶.۲. محاسبه‌ی زمان مورد انتظار هر چرخه

زمان مورد انتظار هر چرخه شامل سه قسمت است:

۱. زمان تولید در حالت تحت کنترل، T_I و زمان تولید در حالت خارج از کنترل، T_O برای هر سناریو

۲. زمان کل بازرسی برای تشخیص صحت هشدار نمودار کنترل

۳. زمان انجام نگهداری و تعمیرات اصلاحی (T_C)، پیش‌گویانه (T_R) و پیش‌گیرانه (T_P)

بنابراین زمان مورد انتظار هر سناریو از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$E(T | S_i) = T_{I_i} + T_{O_i} + T_Y \left(\frac{T_{M_i}}{h_{ARL_{i_1}}} + v_1 + \frac{T_{M_i}}{h_{ARL_{i_2}}} + v_2 \right) + (\omega T_C + \gamma T_R + \rho T_P) ; i = 1, 2, \dots, 28 \quad (56)$$

حالتشان به خارج از کنترل تغییر می‌کند. اما نمودار کنترل این تغییر را شناسایی نمی‌کند و تجهیزات در همین دوره خراب می‌شوند. نگهداری و تعمیرات اصلاحی نیز انجام می‌شود.

$$P(S_{r0}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t) . h_{19}(t) dt \right) . \overline{F}_r(T_D + T) \overline{G_{1r}}(T_D + T),$$

$$h_{19}(t) = \frac{\int_0^{T_D+T} g_{11}(x_1) \overline{P_{r_1}}(t, x_1) dx_1}{\overline{G_{11}}(t)}. \quad (47)$$

$$P(S_{r1}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_r(t) . h_{18}(t) dt \right) . \overline{F}_1(T_D + T) \overline{G_{1r}}(T_D + T),$$

$$h_{18}(t) = \frac{\int_0^{T_D+T} g_{1r}(y_1) \overline{P_{r_1}}(t, y_1) dy_1}{\overline{G_{1r}}(t)}. \quad (48)$$

$$P(S_{r2}) = \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t_1) . h_{19}(t_1) dt_1 \right) . \left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_r(t_r) . h_{18}(t_r) dt_r \right). \quad (49)$$

در سناریوهای ۲۳ تا ۲۵ تغییر کیفیت فرایند بعد از زمان T_D رخ می‌دهد و پس از آن، تغییر مذکور شناسایی می‌شود و نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه صورت می‌گیرد. در این سناریوها دو حالت ممکن است رخ دهد:

الف) تغییر کیفیت فرایند اولین بار در زمان t بعد از زمان T_D رخ دهد و سپس قبل از آنکه تجهیزات در طول زمان $(t, T_D + T)$ خراب شوند، خرابی در طول همان زمان شناسایی شود.

ب) تغییر کیفیت فرایند اولین بار در زمان t بعد از زمان T_D رخ دهد و قبل از پایان چرخه در طول زمان $(t, T_D + T)$ شناسایی شود و فرض می‌شود تجهیزات در طول زمان $T_D + T$ تا بی‌نهایت خراب شوند.

$$P(S_{r3}) = P(S_{r3-1}) + P(S_{r3-2}) = (\overline{F}_r(T_D + T) \overline{G_{1r}}(T_D + T))^*$$

$$\left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t) . h_{19-1}(t) dt + \int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t) . h_{19-r}(t) dt \right),$$

$$h_{19-1}(t) = \frac{\int_0^{T_D+T} g_{11}(x_1) P_{r_1}(t, x_1) dx_1}{\overline{G_{11}}(t)},$$

$$h_{19-r}(t) = \frac{\int_0^{T_D+T} g_{11}(x_1) P_{r_1}(t, T_D + T) dx_1}{\overline{G_{11}}(t)}. \quad (50)$$

$$P(S_{r4}) = P(S_{r4-1}) + P(S_{r4-2}) = (\overline{F}_1(T_D + T) \overline{G_{11}}(T_D + T))^*$$

$$\left(\int_{T_D}^{T_D+T} f_r(t) . h_{r0-1}(t) dt + \int_{T_D}^{T_D+T} f_r(t) . h_{r0-r}(t) dt \right),$$

هزینه‌ی مورد انتظار هر سناریو به صورت رابطه‌ی ۶۱ است:

$$E(C | S_i) = C_I T_{I_i} + C_O T_{O_i} + (C_F + C_v n) \frac{T_{M_i}}{h} + C_Y \left(\frac{T_{M_i}}{h ARL_{e,1}} + v_1 + \frac{T_{M_i}}{h ARL_{e,2}} + v_2 \right) + (\omega C_C + \gamma C_R + \rho C_P). \quad (61)$$

۳. روش حل و مثال عددی

در این مقاله برای یافتن متغیرهای تصمیم مناسب مدل پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک یک روش جستجو برای یافتن راه‌حل‌های نزدیک به بهینه برای مسائل بهینه‌سازی ارائه می‌کند. در واقع این الگوریتم با یک جمعیت اولیه از راه‌حل‌ها شروع می‌شود. هر راه‌حل از طریق یک کروموزوم نمایش داده می‌شود و تمام راه‌حل‌های ممکن با استفاده از یک سامانه‌ی کدگذاری تبدیل به کد می‌شوند. برای هر کروموزوم یک مقدار مرتبط با شایستگی راه‌حلی که نمایش می‌دهند، وجود دارد. این الگوریتم به دنبال کمینه کردن مقدار تابع شایستگی است به طوری که در محدودیت‌های آماری صدق کند.

در این مقاله متغیرهای تصمیم کنترل فرایند آماری و نگهداری و تعمیرات توسط الگوریتم ژنتیک طراحی می‌شوند. سپس با قرار گرفتن مقدارهای بهینه‌ی n ، K ، L_1 ، L_2 ، L_D ، K_D در رابطه‌ی ۲۱ هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان کمینه می‌شود. روش الگوریتم ژنتیک به صورت زیر است:

گام ۱. تنظیم پارامترهای ورودی: تعداد تکرار 200 ، اندازه‌ی جمعیت 20 ، احتمال ادغام 0.4 و احتمال جهش 0.1 است.

گام ۲. مقداردهی اولیه‌ی جمعیت: با کد کردن الگوریتم ژنتیک 20 راه‌حل تصادفی تولید می‌شود. در همین حال محدودیت مقداردهی متغیرهای تصمیم به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} 1 \leq L_1 \leq 3 & \quad 1 \leq n \leq 50 \\ 1 \leq L_2 \leq 3 & \quad 1 \leq K \leq 50 \\ 1 \leq h \leq 15 & \quad 1 \leq K_D \leq 20 \end{aligned}$$

گام ۳. محاسبه‌ی سازگاری: با توجه به رابطه‌ی ۲۱ مقدار متناسب هر کروموزوم به دست آمده ثبت می‌شود.

گام ۴. انتخاب کروموزوم والد: در این مرحله کروموزوم‌ها را بر اساس تابع برازندگی با یکدیگر مقایسه و ارزیابی می‌کنیم. کروموزوم‌هایی که بهترین تابع هدف (کمترین مقدار هزینه) را دارند، به منظور انجام عملیات ادغام انتخاب می‌شوند.

گام ۵. ادغام: در این مرحله با استفاده از عملگر ادغام سه نقطه‌یی، به صورت تصادفی سه ژن متناظر از کروموزوم‌های والد انتخاب شده در گام قبل را با احتمال ادغام با یکدیگر جابه‌جا و دو کروموزوم فرزند تولید می‌کنیم. مقدار تابع هدف آن‌ها را محاسبه و کروموزوم‌های فرزند را ذخیره می‌کنیم. $8 = 0.4 \times 20$ کروموزوم برای ادغام انتخاب می‌شود.

گام ۶. جهش: $2 = 0.1 \times 20$ کروموزوم به طور تصادفی برای عملیات جهش و تولید کروموزوم جدید انتخاب می‌شود.

گام ۷. گام‌های ۳ تا ۶ تا زمان رسیدن به 200 تکرار ادامه پیدا می‌کند. خروجی تکرار 200 ام کمترین هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان است.

همچنین باید به این نکته توجه داشت که هر علامت هشدار، بدون توجه به درستی یا نادرستی، بازرسی خواهد شد. در رابطه‌ی ۵۶، وقتی که فرایند در حالت تحت کنترل است، T_{M_i} نشان‌گر زمان واقعی نظارت بر سناریوی S_i است. از طرفی احتمال خطای نوع اول و میانگین طول دنباله در حالت تحت کنترل نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha_i = 2\phi(-L_i), \quad (57)$$

$$ARL_{e,i} = \frac{1}{\alpha_i}. \quad (58)$$

بنابراین متوسط تعداد بازرسی‌های هشدارهای غلط برابر $\frac{T_{M_i}}{h ARL_{e,i}}$ است. با این حال برای سناریوهای ۱ تا ۳ و ۸ تا ۱۰ برابر صفر است. برای سناریوهای ۱۷، ۱۹ تا ۲۶ و ۲۸ برابر T است. برای بقیه‌ی سناریوها هم برابر $T_I + T_O - T_D$ است. v_i هم شاخصی است که اگر هشدار نمودار صحیح باشد، برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است. در سناریوهای ۱۴ تا ۱۶ و ۲۳ تا ۲۵، شاخص مذکور برابر یک و در بقیه‌ی سناریوها برابر صفر است.

ω, γ, ρ هم شاخص‌های نگهداری و تعمیرات اصلاحی، پیش‌گویانه و پیش‌گیرانه هستند که در صورت انجام این نگهداری و تعمیرات شاخص‌های مربوط به آن‌ها برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.

زمانی که در سناریوی یک، تجهیز مرحله‌ی اول خراب می‌شود، تابع چگالی احتمال خرابی به صورت زیر است:

$$\xi = \frac{g_{e,1}(x_0)h_1(x_0)}{P(S_1)}. \quad (59)$$

رابطه‌ی ۵۹ بیان می‌کند که اگر تجهیز در فاصله‌ی $(0, T_D)$ خراب شود، نتیجه‌ی این رابطه برابر یک است. بنابراین زمان تولید در حالت تحت کنترل در سناریوی یک، با توجه به خرابی تجهیز مرحله‌ی اول و ادامه‌ی کار تجهیز مرحله‌ی دوم تا زمان نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده، در رابطه‌ی ۶۰ آمده است.

$$T_{I_1} = \int_0^{T_D} \left(\frac{x_0 g_{e,1}(x_0) h_1(x_0)}{P(S_1)} \right) dx_0 + T_D + T. \quad (60)$$

در این رابطه $T_D + T$ به این معناست که تجهیز مرحله‌ی دوم تا زمان نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده به کار خود ادامه می‌دهد و هیچ اتفاقی برای این تجهیز رخ نخواهد داد. در سناریوی ۱ تغییر کیفیتی رخ نمی‌دهد؛ بنابراین زمان تولید در حالت خارج از کنترل برابر صفر است. برای بقیه‌ی سناریوها نیز محاسبات فوق مشابه و زمان‌های T_I و T_O همه‌ی سناریوها در جدول ۲ محاسبه شده است.

۷.۲. محاسبه‌ی هزینه‌ی مورد انتظار هر چرخه

هزینه‌ی مورد انتظار ۲۸ سناریو شامل ۴ قسمت است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود:

۱. هزینه‌ی تولید در حالت‌های تحت کنترل و خارج از کنترل؛
۲. هزینه‌ی نمونه‌گیری، که شامل هزینه‌ی ثابت و هزینه‌ی متغیر عملیات نمونه‌گیری است.
۳. هزینه‌ی بازرسی هشدار نمودار کنترل که متشکل از هشدارهای درست و غلط است.
۴. هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات اصلاحی، پیش‌گویانه و پیش‌گیرانه

جدول ۲. زمان تولید در حالت‌های تحت کنترل و خارج از کنترل هر سناریو.

| T | T ₁ | S _i |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| - | $\int_0^{T_D} \frac{x_0 g_{01}(x_0) h_1(x_0)}{P(S_1)} dx_0 + T_D + T$ | ۱ |
| - | $\int_0^{T_D} \frac{y_0 g_{02}(y_0) h_2(y_0)}{P(S_2)} dy_0 + T_D + T$ | ۲ |
| - | $\int_0^{T_D} \frac{x_0 g_{01}(x_0) h_1(x_0)}{P(S_1)} dx_0 + \int_0^{T_D} \frac{y_0 g_{02}(y_0) h_2(y_0)}{P(S_2)} dy_0$ | ۳ |
| - | $(\int_0^{T_D+T} \frac{x_0 g_{01}(x_0) h_1(x_0)}{P(S_1)} dx_0) + T_D + T$ | ۴ |
| - | $(\int_0^{T_D+T} \frac{y_0 g_{02}(y_0) h_2(y_0)}{P(S_2)} dy_0) + T_D + T$ | ۵ |
| - | $(\int_0^{T_D+T} \frac{x_0 g_{01}(x_0) h_1(x_0)}{P(S_1)} dx_0) + (\int_0^{T_D+T} \frac{y_0 g_{02}(y_0) h_2(y_0)}{P(S_2)} dy_0)$ | ۶ |
| - | $2(T_D + T)$ | ۷ |
| $(\int_0^{T_D} \frac{x_1 g_{11}(x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_9)} \int_0^{T_D} \frac{f_1(t) dt \int_0^{T_D} g_{01}(x_0) dx_0}{G_{11}(x_1) P(S_9)} dx_1) - (\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_1(t)}{P(S_9)} dt)$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_1(t)}{P(S_9)} dt) + T + T_D$ | ۸ |
| $(\int_0^{T_D} \frac{y_1 g_{12}(y_1)}{G_{12}(y_1) P(S_9)} \int_0^{T_D} \frac{f_2(t) dt \int_0^{T_D} g_{02}(y_0) dy_0}{G_{12}(y_1) P(S_9)} dy_1) - (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_2(t)}{P(S_9)} dt)$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_2(t)}{P(S_9)} dt) + T + T_D$ | ۹ |
| $(\int_0^{T_D} \frac{x_1 g_{11}(x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_{10})} \int_0^{T_D} \frac{f_1(t) dt \int_0^{T_D} g_{01}(x_0) dx_0}{G_{11}(x_1) P(S_{10})} dx_1) + (\int_0^{T_D} \frac{y_1 g_{12}(y_1)}{G_{12}(y_1) P(S_{10})} \int_0^{T_D} \frac{f_2(t) dt \int_0^{T_D} g_{02}(y_0) dy_0}{G_{12}(y_1) P(S_{10})} dy_1) - ((\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_1(t)}{P(S_{10})} dt) + (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_2(t)}{P(S_{10})} dt))$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_1(t)}{P(S_{10})} dt) + (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_2(t)}{P(S_{10})} dt)$ | ۱۰ |
| $(\int_0^{T_D+T} \frac{x_1 g_{11}(x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_{11})} \int_0^{T_D} \frac{f_1(t) dt \int_0^{T_D} g_{01}(x_0) dx_0 \overline{P_{01}}(T_D, x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_{11})} dx_1) - (\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_1(t)}{P(S_{11})} dt)$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_1(t)}{P(S_{11})} dt) + T + T_D$ | ۱۱ |
| $(\int_0^{T_D+T} \frac{y_1 g_{12}(y_1)}{G_{12}(y_1) P(S_{12})} \int_0^{T_D} \frac{f_2(t) dt \int_0^{T_D} g_{02}(y_0) dy_0 \overline{P_{02}}(T_D, y_1)}{G_{12}(y_1) P(S_{12})} dy_1) - (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_2(t)}{P(S_{12})} dt)$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_2(t)}{P(S_{12})} dt) + T + T_D$ | ۱۲ |
| $(\int_0^{T_D+T} \frac{x_1 g_{11}(x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_{13})} \int_0^{T_D} \frac{f_1(t) dt \int_0^{T_D} g_{01}(x_0) dx_0 \overline{P_{01}}(T_D, x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_{13})} dx_1) + (\int_0^{T_D+T} \frac{y_1 g_{12}(y_1)}{G_{12}(y_1) P(S_{13})} \int_0^{T_D} \frac{f_2(t) dt \int_0^{T_D} g_{02}(y_0) dy_0 \overline{P_{02}}(T_D, y_1)}{G_{12}(y_1) P(S_{13})} dy_1) - ((\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_1(t)}{P(S_{13})} dt) + (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_2(t)}{P(S_{13})} dt))$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_1(t)}{P(S_{13})} dt) + (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_2(t)}{P(S_{13})} dt)$ | ۱۳ |
| $\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^{m-i+1} h \beta_1^{j-1} \int_{ih}^{(i+1)h} \frac{f_1(t) h_{13-1}(t)}{P(S_{14})} dt) \frac{P(S_{14-1})}{P(S_{14})} + (T_D - T_{i4} + hARL_{11}) \frac{P(S_{14-2})}{P(S_{14})}$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_{13}(t)}{P(S_{14})} dt) + T + T_D$ | ۱۴ |
| $\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^{m-i+1} h \beta_2^{j-1} \int_{ih}^{(i+1)h} \frac{f_2(t) h_{14-1}(t)}{P(S_{15})} dt) \frac{P(S_{15-1})}{P(S_{15})} + (T_D - T_{i5} + hARL_{12}) \frac{P(S_{15-2})}{P(S_{15})}$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_{14}(t)}{P(S_{15})} dt) + T + T_D$ | ۱۵ |
| $[\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^{m-i+1} h \beta_1^{j-1} \int_{ih}^{(i+1)h} \frac{f_1(t) h_{13-1}(t)}{P(S_{16})} dt) \frac{P(S_{16-1})}{P(S_{16})} + (T_D - T_{i6} + hARL_{11}) \frac{P(S_{16-2})}{P(S_{16})}] + [\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^{m-i+1} h \beta_2^{j-1} \int_{ih}^{(i+1)h} \frac{f_2(t) h_{14-1}(t)}{P(S_{16})} dt) \frac{P(S_{16-1})}{P(S_{16})} + (T_D - T_{i6} + hARL_{12}) \frac{P(S_{16-2})}{P(S_{16})}]$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_{13}(t)}{P(S_{16})} dt) + (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_{14}(t)}{P(S_{16})} dt)$ | ۱۶ |
| $T_D + T - (\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_{15}(t)}{P(S_{17})} dt)$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_{15}(t)}{P(S_{17})} dt) + T + T_D$ | ۱۷ |
| $T_D + T - (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_{16}(t)}{P(S_{18})} dt)$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_{16}(t)}{P(S_{18})} dt) + T + T_D$ | ۱۸ |
| $2(T_D + T) - (\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_{15}(t)}{P(S_{19})} dt) + (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_{16}(t)}{P(S_{19})} dt)$ | $(\int_0^{T_D} \frac{t_1 f_1(t) h_{15}(t)}{P(S_{19})} dt) + (\int_0^{T_D} \frac{t_2 f_2(t) h_{16}(t)}{P(S_{19})} dt)$ | ۱۹ |
| $(\int_0^{T_D+T} \frac{x_1 g_{11}(x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_{20})} \int_0^{T_D} \frac{f_1(t) dt \int_0^{T_D} g_{01}(x_0) dx_0 \overline{P_{01}}(T, x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_{20})} dx_1) - (\int_0^{T_D+T} \frac{t_1 f_1(t) h_{17}(t)}{P(S_{20})} dt)$ | $(\int_0^{T_D+T} \frac{t_1 f_1(t) h_{17}(t)}{P(S_{20})} dt) + T + T_D$ | ۲۰ |

ادامه‌ی جدول ۲.

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| $\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{\int_{T_D}^{T_D+T} f_2(t) dt \int_{T_D}^{T_D+T} g_{02}(y_0) dy_0 \overline{P_{02}}(t, y_1)}{G_{12}(y_1) P(S_{21})} dy_1 - \left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{f_2(t) h_{18}(t)}{P(S_{21})} dt \right) dt + T + T_D$ | ۲۱ |
| $\left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{\int_{T_D}^{T_D+T} f_1(t_1) dt_1 \int_{T_D}^{T_D+T} g_{01}(x_0) dx_0 \overline{P_{01}}(t_1, x_1)}{G_{11}(x_1) P(S_{22})} dx_1 + \left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{\int_{T_D}^{T_D+T} f_2(t_2) dt_2 \int_{T_D}^{T_D+T} g_{02}(y_0) dy_0 \overline{P_{02}}(t_2, y_1)}{G_{12}(y_1) P(S_{22})} dy_1 \right) \right) dt_1 + \left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{t_1 f_1(t_1) h_{17}(t_1)}{P(S_{22})} dt_1 + \left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{t_2 f_2(t_2) h_{18}(t_2)}{P(S_{22})} dt_2 \right) dt_2 \right)$ | ۲۲ |
| $\sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^{m-i+1} h \beta_1^{j-1} \int_{T_D+ih}^{T_D+(i+1)h} \frac{f_1(t) h_{19-1}(t)}{P(S_{23})} dt \right) \frac{P(S_{23-1})}{P(S_{23})} + h ARL_{11} \frac{P(S_{23-2})}{P(S_{23})}$ | ۲۳ |
| $\sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^{m-i+1} h \beta_2^{j-1} \int_{T_D+ih}^{T_D+(i+1)h} \frac{f_2(t) h_{20-1}(t)}{P(S_{24})} dt \right) \frac{P(S_{24-1})}{P(S_{24})} + h ARL_{12} \frac{P(S_{24-2})}{P(S_{24})}$ | ۲۴ |
| $\left[\sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^{m-i+1} h \beta_1^{j-1} \int_{T_D+ih}^{T_D+(i+1)h} \frac{f_1(t_1) h_{19-1}(t_1)}{P(S_{25})} dt_1 \right) \frac{P(S_{25-1})}{P(S_{25})} + h ARL_{11} \frac{P(S_{25-2})}{P(S_{25})} \right] + \left[\sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^{m-i+1} h \beta_2^{j-1} \int_{T_D+ih}^{T_D+(i+1)h} \frac{f_2(t_2) h_{20-1}(t_2)}{P(S_{25})} dt_2 \right) \frac{P(S_{25-1})}{P(S_{25})} + h ARL_{12} \frac{P(S_{25-2})}{P(S_{25})} \right]$ | ۲۵ |
| $T_D + T - \left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{f_1(t) h_{21}(t)}{P(S_{26})} dt \right) dt + T + T_D$ | ۲۶ |
| $T_D + T - \left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{f_2(t) h_{22}(t)}{P(S_{27})} dt \right) dt + T + T_D$ | ۲۷ |
| $2(T_D + T) - \left[\left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{t_1 f_1(t_1) h_{21}(t_1)}{P(S_{28})} dt_1 + \left(\int_{T_D}^{T_D+T} \frac{t_2 f_2(t_2) h_{22}(t_2)}{P(S_{28})} dt_2 \right) dt_2 \right) \right]$ | ۲۸ |

جدول ۳. مقدار پارامترهای استفاده شده در مثال عددی و مدل مقایسه شده.

| پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار |
|---------|-------|---------|-------|------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|---------|-------|------------|-------|----------|-------|
| C_V | ۵ | C_1 | ۷۵ | η_1 | ۸۸۵ | η_{01} | ۳۰۰ | C_p | ۴۵ | T_R | ۰٫۵ | δ_1 | ۱٫۱۵ | B_{12} | ۱٫۱ |
| C_Y | ۱۵۰ | C_o | ۴۰۰ | δ_2 | ۸۹۵ | η_{12} | ۷۷ | η_{01} | ۲ | T_Y | ۷۵ | T_c | ۱٫۰ | B_1 | ۱٫۰۵ |
| | | C_F | ۳ | C_R | ۷۴ | η_1 | ۷۸ | η_{11} | ۵۰۰ | C_C | ۵ | T_p | ۱٫۰ | B_2 | ۱٫۶۵ |

جدول ۴. جواب بهینه‌ی متغیرهای مدل هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان توسط الگوریتم ژنتیک.

| n | h | K | K_D | L_1 | L_2 | ECT | T_D | T_D |
|-----|-------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| ۴ | ۶٫۳۶۶ | ۲۹ | ۱۶ | ۲٫۹۰۷ | ۲٫۹۷۴ | ۱۲۱٫۶۵ | ۱۹۰٫۹۸ | ۱۰٫۱۸۵ |

نظارت تأخیری در فرایندهای دومرحله‌یی، یک مدل یکپارچه بدون نظارت تأخیری برای مقایسه در نظر گرفته شد. مدل مقایسه بر پایه‌ی ۸ سناریو است که توسط ژنگ و ما [۱۵] ارائه شده است که در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

مدل مذکور یک فرایند دومرحله‌یی با نرخ خرابی مشخص است که برای نظارت بر فرایند از یک نمودار کنترل شوهارت استفاده می‌کند. تابع نرخ خرابی یک تابع توزیع نمایی با پارامتر λ است. هدف مدل کمیته کردن هزینه‌ی مورد انتظار در واحد زمان است.

برای حل مدل مقایسه از پارامترهای زمانی و هزینه‌یی جدول ۴ استفاده شده است. پس از حل مدل مقایسه و مدل پیشنهادی به ترتیب متوسط هزینه‌های ۱۲۹٫۸۱ و ۱۲۳٫۶۵ حاصل شد که نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر مدل نظارت تأخیری در فرایندهای دومرحله‌یی است.

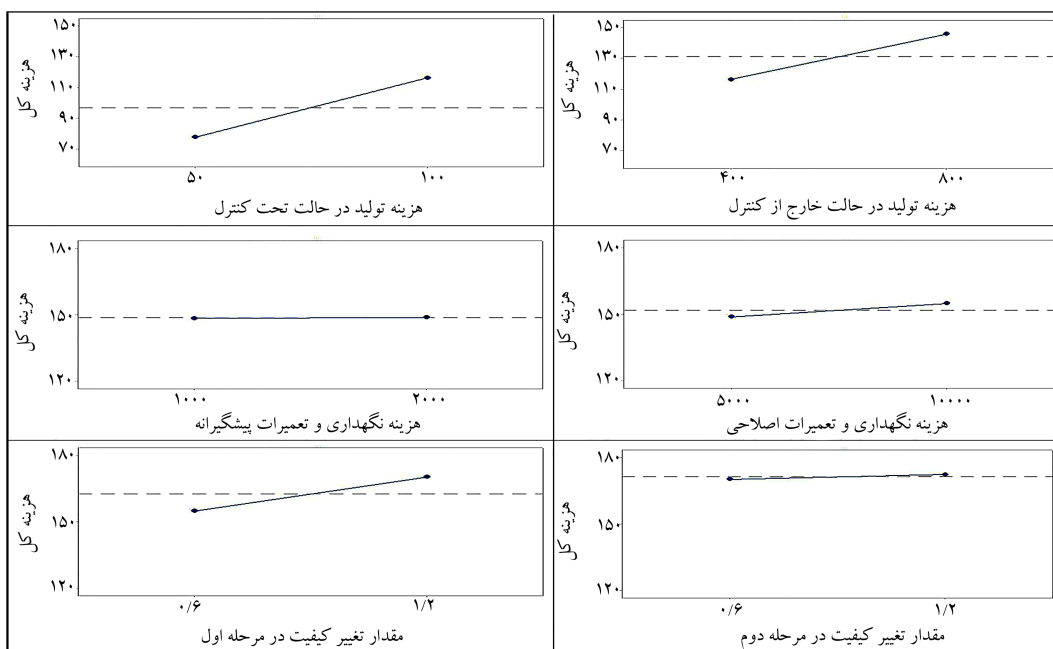
برای نشان دادن اثر اقتصادی مدل یک مثال عددی ارائه شده است. پارامترها برای محاسبه‌ی هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان به‌طور تصادفی انتخاب شده و مقادیر محاسبه شده به‌صورت جدول‌های ۳ و ۴ است. روش کار بدین صورت است که پس از کدنویسی الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب برای بهینه‌سازی مدل پیشنهادی، مقادیر متغیرهای تصمیم L (حد کنترل)، h (فاصله‌ی نمونه‌گیری)، n (اندازه‌ی نمونه)، KD (تعداد نمونه‌یی که در زمان تأخیر گرفته نمی‌شود) و K (تعداد نمونه‌یی که باید در زمان نظارت بر فرایند گرفته شود)، محاسبه شد.

۴. مدل مقایسه

برای ارزیابی عملکرد مدل یکپارچه کنترل فرایند آماری و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر

جدول ۵. سناریوهای مدل مقایسه.

| شماره سناریو | شرح سناریو | وضعیت نمودار | سیاست نگهداری و تعمیرات |
|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| ۱ | مرحله اول تحت کنترل | هشدار ندهد | برنامه ریزی شده |
| ۲ | مرحله دوم تحت کنترل | هشدار دهد | جبرانی |
| ۳ | مرحله اول خارج از کنترل | هشدار ندهد | اصلاحی |
| ۴ | مرحله دوم تحت کنترل | هشدار دهد | اصلاحی |
| ۵ | مرحله اول تحت کنترل | هشدار ندهد | اصلاحی |
| ۶ | مرحله دوم خارج از کنترل | هشدار دهد | اصلاحی |
| ۷ | مرحله اول خارج از کنترل | هشدار ندهد | اصلاحی |
| ۸ | مرحله دوم خارج از کنترل | هشدار دهد | اصلاحی |



شکل ۱. نمودار اثر اصلی.

۵. تحلیل حساسیت

میزان تغییر کیفیت مرحله اول، هزینه کل تولید در واحد زمان به طرز چشمگیری افزایش می یابد که نشان دهنده تأثیرگذاری مهم این پارامتر است. افزایش مقدار تغییر کیفیت مرحله دوم، تأثیر ناچیزی بر هزینه کل تولید دارد که می توان آن را نادیده گرفت.

در این بخش با بهره گیری از نمودار اثر اصلی، اثر تغییرات پارامترهای هزینه های تولید در حالت تحت کنترل و خارج از کنترل، هزینه های نگهداری و تعمیرات اصلاحی و پیش گویانه و میزان تغییر کیفیت، بر روی هزینه کل تولید در واحد زمان بررسی شده است. تحلیل حساسیت بدین گونه بوده است که اثر پارامترهای مذکور بر هزینه کل تولید در واحد زمان اندازه گیری شده که در شکل ۱ نمودار اثرات این پارامترها آمده است. از نتایج تحلیل حساسیت می توان فهمید که افزایش هزینه تولید در حالت تحت کنترل تأثیر مستقیمی بر افزایش چشمگیر هزینه کل تولید در واحد زمان خواهد داشت. همچنین افزایش هزینه تولید در حالت خارج از کنترل، هزینه کل تولید بر واحد زمان را نیز به طور قابل تأملی افزایش خواهد داد. افزایش هزینه نگهداری و تعمیرات اصلاحی، هزینه کل تولید را به میزان قابل تأملی افزایش می دهد؛ اما افزایش هزینه نگهداری و تعمیرات پیش گویانه تأثیری بر روی هزینه کل تولید ندارد. در صورت افزایش

۶. نتیجه گیری

بر پایه مدل بین و همکاران^[۲] که به یک مدل بهینه سازی یکپارچه کنترل فرایند آماری و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر نظارت تأخیری در فرایندهای تک مرحله ای پرداخته است، یک مدل بهینه سازی یکپارچه کنترل فرایند آماری و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر نظارت تأخیری در فرایندهای دومرحله ای توسعه داده شد. در این مقاله فرض شده است امکان وقوع حالت خارج از کنترل و نیز خرابی تجهیزات در طول فرایند وجود دارد. علاوه بر این توابع توزیع مدت زمان تا تغییر کیفیت و مدت زمان تا خرابی در دو مرحله

زمان، متغیرهای تصمیم با الگوریتم ژنتیک بهینه شد. سپس یک مثال عددی در این خصوص ارائه شد. نتایج مثال عددی نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب این مدل است. ارائه‌ی مدلی که بتواند به‌طور هم‌زمان وقوع چند انحراف با دلیل را در نظر بگیرد، می‌تواند به عنوان مطالعه‌ی آتی پیشنهاد شود. همچنین در نظر گرفتن چند نوع خرابی که برخی باعث تغییر در میانگین و برخی باعث تغییر در انحراف معیار یا تغییر هم‌زمان در میانگین و واریانس شود، نیز می‌تواند به‌عنوان تحقیق آتی بررسی شود.

از توزیع وایبول با نرخ شکست افزایشی پیروی می‌کند. استفاده از سیاست نظارت تأخیری منجر به ایجاد ۲۸ سناریوی مختلف شده است. هدف این مقاله کمیته کردن هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان است. برای رسیدن به این هدف در ابتدا احتمال وقوع هر سناریو، زمان مورد انتظار هر سناریو و هزینه‌ی مدل انتظار هر سناریو محاسبه شد. سپس با تقسیم هزینه‌ی مورد انتظار هر سناریو بر زمان مورد انتظار هر سناریو، هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان به دست آمد. برای کمیته کردن هزینه‌ی کل تولید در واحد

پانویس

1. Statistical Process Control

منابع (References)

- Mehrafrooz, Z. and Noorossana, R. "An integrated model based on statistical process control and maintenance", *Computers & Industrial Engineering*, **61**(4), pp. 1245-1255 (2011).
- Yin, H., Zhang, G., Zhu, H. and et al. "An integrated model of statistical process control and maintenance based on the delayed monitoring", *Reliability Engineering & System Safety*, **133**, pp. 323-333 (2015).
- Tagaras, G. "An integrated cost model for the joint optimization of process control and maintenance", *Journal of the Operational Research Society*, **39**(8), pp. 757-766 (1988).
- Kim, M. J. and Makis, V. "Optimal maintenance policy for a multi-state deteriorating system with two types of failures under general repair", *Computers & Industrial Engineering*, **57**(1), pp. 298-303 (2009).
- Wang, W. "An inspection model for a process with two types of inspections and repairs", *Reliability Engineering & System Safety*, **94**(2), pp. 526-533 (2009).
- Panagiotidou, S. and Tagaras, G. "Statistical process control and condition-based maintenance: a meaningful relationship through data sharing", *Production and Operations Management*, **19**(2), pp. 156-171 (2010).
- Ho, L.L. and Quinino, R.C. "Integrating on-line process control and imperfect corrective maintenance: an economical design", *European Journal of Operational Research*, **222**(2), pp. 253-262 (2012).
- Dhouib, K., Gharbi, A. and Aziza, M.B. "Joint optimal production control/preventive maintenance policy for imperfect process manufacturing cell", *International Journal of Production Economics*, **137**(1), pp. 126-136 (2012).
- Lee, P.H., Torng, C.C. and Liao, L.-F. "An economic design of combined double sampling and variable sampling interval X control chart", *International Journal of Production Economics*, **138**(1), pp. 102-106 (2012).
- Xiang, Y. "Joint optimization of X⁻ control chart and preventive maintenance policies: A discrete-time Markov chain approach", *European Journal of Operational Research*, **229**(2), pp. 382-390 (2013).
- Panagiotidou, S. and Tagaras, G. "Optimal integrated process control and maintenance under general deterioration", *Reliability Engineering & System Safety*, **104**, pp. 58-70 (2012).
- Le, M.D. and Tan, C.M. "Optimal maintenance strategy of deteriorating system under imperfect maintenance and inspection using mixed inspectionscheduling", *Reliability Engineering & System Safety*, **113**, pp. 21-29 (2013).
- Liu, L., Yu, M., Ma, Y. and et al. "Economic and economic-statistical designs of an X control chart for two-unit series systems with condition-based maintenance", *European Journal of Operational Research*, **226**(3), pp. 491-499 (2013).
- Zhang, G., Deng, Y., Zhu, H. and et al. "Delayed maintenance policy optimisation based on control chart", *International Journal of Production Research*, **53**(2), pp. 341-353 (2015).
- Zhong, J. and Ma, Y. "An integrated model based on statistical process control and maintenance for two-stage dependent processes", *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, **46**(1), pp. 106-126 (2017).
- Rasay, H., Fallahnezhad, M. S. and Zare Mehrjerdi, Y. "An integrated model for economic design of chi-square control chart and maintenance planning", *Communications in Statistics-Theory and Methods*, **47** (12), pp. 2892-2907 (2018).