پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، صص ۱۱۶-۱۳۲
نوع مقاله: پژوهشی

طراحی اقتصادی مدل یکپارچه نمودار کنترل و مدیریت نگهداری و تعمیرات در شرکت صنایع چوب کیش

هیرسا جویا اردکانی[۱*]، مرتضی خاکزار بفروئی[۲]

۱. دکتری تخصصی مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰ /۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳

چکیده

کنترل فرایند آماری (SPC) و مدیریت نگهداری و تعمیرات (MM) دو ابزار کلیدی برای کنترل فرایندهای تولید می‌باشند. این دو ابزار در ادبیّات موضوع و نحوهٔ عمل متفاوتند، امّا اهداف مشترکی را دنبال می‌کنند. مهم‌ترین اهدافشان رسیدن به کیفیت بهینه تولید، کاهش زمان از کار افتادگی و کاهش هزینه با کنترل تغییرات در فرایند تولید است. استفاده از این دو ابزار بصورت یکپارچه می‌تواند کارایی بهتری از نظر هزینه و کیفیت برای سازمان داشته باشد؛ از این‌رو در این مقاله، مدل یکپارچه کنترل فرایند آماری و مدیریت نگهداری و تعمیرات با در نظر گرفتن هزینه‌های دو ابزار در شرکت صنایع چوب کیش طرّاحی شده است. از نرم‌افزار MATLAB و رویکرد grid-search جهت یافتن مقادیر بهینه اندازه نمونه (n)، پهنای حدود کنترل (L)، بازه نمونه‌برداری (h) و تعداد دفعات نمونه‌برداری در فاصله زمانی تعمیرات برنامه‌ریزی شده (k) استفاده شده است تا نرخ هزینه کل به ازای یک ساعت حداقل شود. مقادیر n، h، L و k برای فرایند روکش کاری، به ترتیب ۵، ۱، ۲/۹ و ۳۰ محاسبه شدند.

کلیدواژه‌ها: کنترل فرایند آماری، مدیریت نگهداری تعمیرات، نمودار کنترل، طراحی اقتصادی، شرکت صنایع چوب کیش

---

* نویسنده مسئول مقاله E-mail: hirsa.jooya@gmail.com

۱- مقدمه

معمولاً، از نمودارهای کنترل برای پایش فرایندهای تولید که محصولات استاندارد طی یک روند تکراری تولید می‌کنند، استفاده می‌شود. انحرافات بادلیل مانند خطای اپراتور، تنظیم اشتباه دستگاه و استفاده از مواد اولیه نامرغوب بر فرایند تولید تأثیر منفی گذاشته و باعث بدتر شدن کیفیت خروجی می‌شود. هدف اصلی نمودارهای کنترل، کشف انحرافات بادلیل است تا کنش لازم و به موقع قبل از تولید زیاد محصولات نامنطبق صورت گیرد. شوهارت در سال ۱۹۲۴ میلادی اولین نمودار کنترل را معرّفی کرد. پس از آن تکنیک‌های مختلف نمودار کنترل معرفی و به‌عنوان ابزار اولیه در کنترل فرایند آماری به کار برده شدند. Duncan (۱۹۵۶) اولین مدل اقتصادی جهت تعیین سه پارامتر نمودار کنترل $\bar{x}$ با هدف حداقل کردن متوسط هزینه، زمانی که فرایند خارج از کنترل است، ارائه نمود[۱]. مدل هزینه دانکن، شامل هزینه نمونه‌گیری و بازرسی، هزینه تولید اقلام معیوب، هزینه هشدار نادرست، هزینه جستجو برای انحراف بادلیل و هزینه اصلاح فرآیند می‌شود. از این پس، طرّاحی بهینه اقتصادی پارامترهای نمودار $\bar{x}$ بیشتر مورد توجه قرار گرفت[۲]. Montgomery (۱۹۸۰) ادبیّات طرح‌های اقتصادی نمودارهای کنترل گوناگون را بررسی نمود[۳]. Alexander (۱۹۹۵) مدل هزینه دانکن را با تابع زیان تاگوچی ترکیب کرد تا یک مدل زیان برای تعیین سه پارامتر مورد آزمون ایجاد کند[۴].

به‌طورکلی کنترل فرایند آماری (SPC) و مدیریت نگهداری و تعمیرات (MM) دو ابزار مهم برای کنترل فرایندهای تولید می‌باشند. محقّقان نشان دادند که رابطه‌ای قوی بین کیفیت محصول، کیفیت فرایند و نگهداری و تعمیرات تجهیزات وجود دارد و یکپارچگی کنترل فرایند آماری و مدیریت نگهداری و تعمیرات، می‌تواند کارایی بهتری از نظر هزینه و کیفیت برای سازمان داشته باشد[۵] امّا تحقیق در این حوزه محدود می‌باشد [۱۳]. Rahim (۱۹۹۳) به طراحی بهینه نمودار کنترل $\bar{x}$ و مدیریت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برای یک سیستم تولید با نرخ شکست افزایشی پرداخت [۶]. Rahim (۱۹۹۴) و Ben-Daya (۲۰۰۰) یکپارچگی نمودارکنترل $\bar{x}$ و مدیریت نگهداری و تعمیرات را برای حالتی که فرایند خرابی ماشین در دوره تحت کنترل از توزیع عمومی با نرخ اتفاقات افزایشی پیروی می‌کند، بررسی کردند [۷،۸و۹]. Cassady (۲۰۰۰) یک نمودار کنترل با رویه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه جایگزینی را مطالعه کرد[۱۰]. Linderman (۲۰۰۵) مدل بهینه یکپارچه کنترل فرایند آماری و نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده با هدف حداقل کردن متوسط هزینه کل معرفی

کرد[۱۱]. Panagiotidou (۲۰۰۷) مدل اقتصادی برای بهینه سازی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در یک فرایند تولید با دو وضعیت کیفیت را بررسی نمود [۱۲]. Zhou (۲۰۰۷) با استفاده از مدل Linderman (۲۰۰۵)، به طرّاحی مدل یکپارچه نمودار کنترل و مدیریت نگهداری و تعمیرات پرداخت [۱۳]. در این مدل از نمودار کنترل مشخصه محصول جهت نظارت بر تجهیزات و اعلام هشدار برای خرابی تجهیزات استفاده شده است. وی براساس مدل هزینه Alexander (۱۹۹۵) رفتار اقتصادی مدل یکپارچه را بررسی کرد و به طرّاحی بهینه اندازه نمونه، پهنای حدود کنترل، بازه نمونه‌برداری و تعداد دفعات نمونه‌برداری در فاصله زمانی تعمیرات برنامه‌ریزی شده که هزینه کل به ازای یک ساعت را حداقل می‌کند، پرداخت.

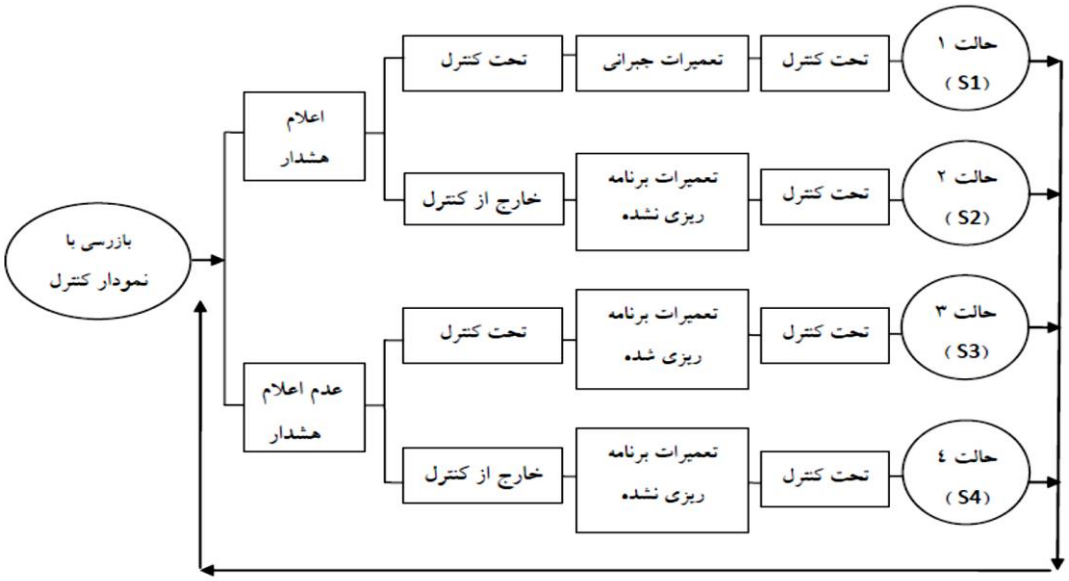
در این مقاله با ایده گرفتن از کار Zhou (۲۰۰۷) مدل یکپارچه‌ای برای تعیین پارامترهای اصلی نمودار کنترل آماری فرآیند و نگهداری و تعمیرات در شرکت کیش چوب پیاده‌سازی شده است. در ادامه در بخش دوم مدل یکپارچه مورد استفاده تشریح شده است. در بخش سوم و چهارم ضمن معرفی شرکت کیش چوب، نحوه پیاده‌سازی مدل یکپارچه در این شرکت تشریح شده است و در بخش پایانی نتیجه‌گیری تحقیق آمده است.

۲- تشریح مدل

مدل یکپارچه نمودار کنترل و مدیریت نگهداری و تعمیرات در شکل ۱ نشان داده شده است. در ابتدا فرض می‌شود فرایند تحت کنترل است و زمان منتهی به خرابی ماشین از توزیع وایبال [۱۴] با تابع چگالی احتمال زیر

$$f\,(t) = \frac{b}{a}\,(\frac{t-\theta}{a})^{b-۱}e^{-(\frac{t-\theta}{a})^{b}} \quad a > ۰.\ b > ۰.\ t \geq \theta$$

و تابع توزیع تجمعی آن $F\,(t) = ۱ - e^{-(\frac{t-\theta}{a})^{b}}$ پیروی می‌کند.



شکل ۱. مدل یکپارچه CC و MM

فرض می‌شود که نمونه‌برداری جهت کنترل فرآیند در هر بازه h ساعت در زمان تولید انجام می‌شود. مشخصه کنترلی مورد نظر اندازه‌گیری و روی نمودار کنترل رسم می‌شود تا وضعیت فرایند برآورد شود. اگر نمودار کنترل بعد از k بازه نمونه‌برداری وضعیت خارج از کنترل را نشان ندهد، نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده در بازه نمونه‌برداری $k+1$ ام انجام می‌شود. اما اگر نمودار کنترل در هر یک از j بازه نمونه‌برداری، وضعیت خارج از کنترل نشان بدهد، جستجویی برای مشخص کردن علت خارج از کنترل بودن فرایند جهت تأیید هشدار انجام می‌شود. اگر هشدار معتبر باشد تعمیرات برنامه‌ریزی نشده انجام می‌شود و در صورتی که نامعتبر باشد، تعمیرات جبرانی انجام می‌شود. فرض می‌شود که بعد از هر سه نوع تعمیرات (برنامه‌ریزی شده، برنامه‌ریزی نشده، جبرانی)، ماشین به شرایط مطلوب بر می‌گردد. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، مدل یکپارچه شامل ۴ حالت (سناریوی) متفاوت می‌باشد که در ادامه با جزئیات بیشتر شرح داده شده است.

در سناریوی $S1$، فرض می‌شود فرایند با وضعیت تحت کنترل شروع می‌شود و سیگنال

هشدار قبل از زمان برنامه‌ریزی شده تعمیرات در نمودار کنترل وجود دارد. امّا سیگنال نادرست است و فرایند هنوز تحت کنترل است. در این حالت علاوه بر جستجو و تعیین علت سیگنال نادرست که زمانبر و هزینه‌بر می‌باشد و باید در مدل در نظر گرفته شود، تعمیرات جبرانی نیز انجام می‌شود. در سناریوی S2 نیز مشابه حالت S1، سیگنال هشدار وجود دارد و این سیگنال معتبر است و فرایند از کنترل خارج شده است، در نتیجه تعمیرات برنامه‌ریزی نشده انجام می‌شود. در سناریوهای S3 و S4، هیچ سیگنالی در نمودار کنترل قبل از زمان برنامه‌ریزی شده وجود ندارد و نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده در بازه نمونه‌برداری k+۱ ام انجام می‌شود. در سناریوی S3 فرایند در طول زمان برنامه‌ریزی شده تعمیرات، تحت کنترل است. در سناریوی S4 که فرایند از کنترل خارج می‌شود تعمیرات برنامه‌ریزی نشده انجام می‌شود؛ زیرا شرایط خارج از کنترل قبل از زمان برنامه‌ریزی شده تعمیرات اتفاق می‌افتد و زمان و هزینه اضافی را جهت حل مشکل تجهیزات موجب می‌شود.

۲-۱- تحلیل هزینه مدل یکپارچه

برای تعیین هزینه مدل یکپارچه، ابتدا باید زمان سیکل را محاسبه کرد و هزینه‌ها را بر مبنای آن محاسبه کرد. زمان سیکل از مجموع زمان تحت کنترل بودن فرایند، زمان خارج از کنترل بودن فرایند و زمان نگهداری و تعمیرات به‌دست می‌آید. متوسط زمان سیکل برای ۴ سناریو به‌صورت زیر محاسبه می‌شود. در جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده در مدل تعریف شده است.

سناریوی ۱($S1$): در این مرحله فرایند به‌طور کامل تحت کنترل است.

$$E(T|S1) = h\sum_{i=۱}^{k} ip_i^{\cdot}\left(۱ - F(ih)\right) + T_{\cdot} + T_C$$

که $E(T|S1)$ متوسط (امید ریاضی) زمان تحت سناریوی S۱ است. و عبارت اول سمت راست معادله متوسط زمان رسیدن به یک سیگنال نادرست است و $T_{\cdot}$ متوسط زمان لازم برای جستجوی علت سیگنال نادرست و T_C متوسط زمان تعمیرات جبرانی است.

جدول ۱. فهرست پارامترهای مدل

P_i	احتمال اینکه متوسط طول دنباله در دوره تحت کنترل برابر با i باشد.
$P_i^{'}$	احتمال اینکه متوسط طول دنباله در دوره خارج از کنترل برابر با i باشد.
ARL_0	متوسط طول دنباله در دوره تحت کنترل
ARL_1	متوسط طول دنباله در دوره خارج از کنترل
T_0	متوسط زمان جستجو برای یک سیگنال نادرست.
T_C	متوسط زمان انجام تعمیرات جبرانی.
T_A	متوسط زمان برای تعیین انحراف با دلیل.
T_R	متوسط زمان نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی نشده.
T_P	متوسط زمان نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده.
C_I	هزینه زیان کیفی در واحد زمان، زمانی که فرایند تحت کنترل است. (اغلب توسط تابع زیان تاگوچی تخمین زده می‌شود.)
C_O	هزینه زیان کیفی در واحد زمان، زمانی که فرایند خارج از کنترل است. (اغلب توسط تابع زیان تاگوچی تخمین زده می‌شود.)
C_P	هزینه انجام تعمیرات برنامه‌ریزی شده.
C_R	هزینه انجام تعمیرات برنامه‌ریزی نشده.
C_C	هزینه انجام تعمیرات جبرانی.
C_V	هزینه متغیّرنمونه برداری.
C_F	هزینه ثابت نمونه برداری.
C_f	هزینه جهت رسیدگی به هشدار نادرست.
γ_P	متغیری که اگر تولید در طول تعمیرات برنامه‌ریزی شده ادامه یابد، برابر ۱ می‌شود و در غیر این‌صورت برابر ۰.
γ_R	متغیری که اگر تولید در طول تعمیرات برنامه‌ریزی نشده ادامه یابد، برابر ۱ و در غیر این‌صورت برابر ۰ می‌باشد
γ_C	متغیری که اگر تولید در طول تعمیرات جبرانی ادامه یابد، برابر ۱ می‌شود و در غیر این‌صورت برابر ۰.
γ_A	متغیری که اگر تولید در طول جستجوی انحراف بادلیل ادامه یابد، برابر ۱ می‌شود و در غیر این‌صورت برابر ۰.
τ	متوسط زمان سپری شده از آخرین نمونه‌برداری قبل از وقوع انحراف با دلیل در مدل یکپارچه.
$\acute{\tau}$	متوسط زمان سپری شده از آخرین نمونه‌برداری قبل از وقوع انحراف با دلیل در مدل کنترل فرایند آماری.
α	احتمال خطای نوع اول.
β	احتمال خطای نوع دوم.

E	متوسط زمان نمونه‌برداری و محاسبات برای رسم و تحلیل به ازای یک نمونه.
n	اندازه نمونه.
h	بازه زمانی نمونه‌برداری.
k	تعداد نمونه‌های برداشته شده قبل از تعمیرات و نگهداری برنامه‌ریزی شده.
L	پهنای حدود کنترل.

سناریوی ۲($S2$): از آنجایی که در این مرحله فرایند قبل از نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده از کنترل خارج می‌شود و مکانیزم خرابی فرایند از توزیع وایبال پیروی می‌کند، زمان تحت کنترل بودن فرایند از یک توزیع وایبال به‌صورت زیر پیروی می‌کند:

$$f\ (t|(k+۱)h) = \frac{f(t)}{F((k+۱)h)} = \frac{\frac{b}{a}(\frac{t-\theta}{a})^{b-۱}e^{-(\frac{t-\theta}{a})^b}}{۱-\ e^{-(\frac{(k+۱)h}{a})^b}}. \quad \theta \le t \le (k+۱)h$$

بنابراین متوسط زمان سیکل در این سناریو به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E(T|S2) = \int_۰^{kh} tf(t|(k+۱)h)dt + \ hARL_۱ - \tau + nE + \ T_A + \ T_R$$

و τ متوسط زمان سپری شده از آخرین نمونه‌برداری قبل از وقوع انحراف بادلیل است که به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\tau = \sum_{i=۰}^{K} \int_{ih}^{(i+۱)h} (t-ih)\ f(t|(k+۱)h)dt.$$

سناریوی۳ ($S3$): در این سناریو متوسط زمان سیکل از جمع زمان k+۱ دوره نمونه‌برداری و متوسط زمان نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$E(T|S3) = (k+۱)h + \ T_P$$

سناریوی ۴ ($S4$): در این سناریو متوسط زمان سیکل از جمع زمان k+۱ دوره نمونه‌برداری و متوسط زمان نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی نشده به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$E(T|S4) = (k+۱)h + \ T_R$$

۲-۱-۱- محاسبه هزینه سیستم در زمان سیکل

هزینه سیستم در زمان سیکل شامل هزینه زیان کیفی تحمیل شده زمان عملیّات فرایند، هزینه نمونه‌برداری و هزینه نگهداری و تعمیرات می‌باشد. هزینه زیان کیفی، شامل هزینه زیان کیفی در زمانی که عملیات تولید تحت کنترل است (C_I) و هزینه زیان کیفی در زمانی که عملیات تولید خارج از کنترل است (C_O) است. هزینه‌های زیان کیفی با استفاده از تابع زیان تاگوچی تخمین زده می‌شوند.

متوسط هزینه سیستم در زمان سیکل برای ۴ سناریو به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E(C|S1) = C_I\left[h\sum_{i=0}^{k} ip_i^0\big(1-F(ih)\big)+\gamma_C T_C\right] + (C_F+nC_V)\sum_{i=0}^{k} ip_i\big(1-F(ih)\big) + C_f + C_C$$

$$E(C|S2) = C_I\int_0^{kh} tf(t|(k+1)h)dt + C_O(hARL_1 - \tau + nE + \gamma_A T_A + \gamma_R T_R) + \frac{1}{h}E(T|S2)(C_F+nC_V) + C_R$$

$$E(C|S3) = C_I\big[(k+1)h+\gamma_p T_p\big] + k(C_F+nC_V) + C_p .$$

$$E(C|S4) = C_I\int_0^{kh} tf(t|(k+1)h)dt + C_O\left[(k+1)h - \int_0^{kh} tf(t|(k+1)h)dt + \gamma_R T_R\right] + k(C_F+nC_V) + C_R$$

در برآورد هزینه‌ها، فرض می‌شود که هزینه تعمیرات برنامه‌ریزی‌نشده از هزینه تعمیرات برنامه‌ریزی شده و هزینه تعمیرات برنامه‌ریزی شده از تعمیرات جبرانی بیشتر است ($C_R > C_P > C_C$).

۲-۱-۲- محاسبه متوسط هزینه سیستم در واحد زمان

متوسط هزینه سیستم در واحد زمان (ساعت) با تقسیم متوسط هزینه در زمان سیکل تقسیم

بر متوسط زمان سیکل به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E[H] = \frac{E[C]}{E[T]}$$

که $E[T]$ متوسط زمان سیکل به ازای ۴ سناریو است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E[T] = E(T|S1)P(S1) + E(T|S2)P(S2) + E(T|S3)P(S3) + E(T|S4)P(S4)$$

و $E[C]$ متوسط هزینه به ازای ۴ سناریو است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E[C] = E(C|S1)P(S1) + E(C|S2)P(S2) + E(C|S3)P(S3) + E(C|S4)P(S4)$$

در دو رابطه فوق، لازم است احتمال رخ دادن سناریوها ($P(Si)$) محاسبه شود. این محاسبات به شرح زیر است.

$$P(S1) = \sum_{i=۰}^{K} p_i^{\cdot} \left(۱ - F(ih)\right) = \sum_{i=۱}^{k} \alpha(۱-\alpha)^{i-۱} \left(۱ - F(ih)\right)$$

$$P(S2) = \sum_{i=۱}^{K} [F(ih) - F\left((i-۱)h\right](۱-\alpha)^{i-۱} \sum_{j=۱}^{k-i+۱} p_l^{۱}$$

$$= \sum_{i=۱}^{K} [F(ih) - F\left((i-۱)h\right](۱-\alpha)^{i-۱} \; (۱-\beta^{k-i+۱})$$

$$P(S3) = \left(۱ - F(kh)\right)(۱-\alpha)^k$$

$$P(S4) = \sum_{i=۱}^{K} \left[(۱-\alpha)^{i-۱}\beta^{k+۱-i}\right] [F(ih) - F\left((i-۱)h\right)]$$

از آنجا که مجموع احتمالات سناریوها باید برابر با یک باشد، بنابراین می‌توان برای بررسی صحت روابط فوق این مجموع را محاسبه کرد. همان طور که از روابط زیر مشخص است به ازای مقادیر احتمال خطای نوع اول مخالف صفر ($\alpha \neq ۰$) این مجموع برابر با یک است.

$$
\begin{aligned}
P(S1)+P(S2)+P(S3)+P(S4) \\
&= F(ih)\left[(1-\alpha)^{i-1}\sum_{j=1}^{k-i+1} p_j^1 - p_i^0 + (1-\alpha)^{i-1}\beta^{k-i+1}\right] \\
&+ F((i-۱)h)\left[-(۱-\alpha)^{i-۱}\sum_{j=۱}^{k-i+۱} p_j^۱ - (۱-\alpha)^{i-۱}\beta^{k-i+۱}\right] \\
&+ p_i^i + (۱-\alpha)^k - F(kh)(۱-\alpha)^k \\
&= \sum_{i=۱}^{k}\Big[F(ih)(۱-\alpha)^i - F\big((i-۱)h\big)(۱-\alpha)^{i-۱} \\
&+ \alpha(۱-\alpha)^{i-۱}\Big] + (۱-\alpha)^k\big(۱-F(kh)\big) \\
&= \sum_{i=۱}^{k}\alpha(۱-\alpha)^{i-۱} + (۱-\alpha)^k \\
&= \frac{\alpha\big(۱-(۱-\alpha)^k\big)}{۱-(۱-\alpha)} + (۱-\alpha)^k = ۱
\end{aligned}
$$

در عمل، چهار پارامتر n (اندازه نمونه)، L (پهنای حدود کنترل)، h (بازه زمانی نمونه‌برداری از فرایند) و k (تعداد دفعات نمونه‌برداری در فاصله زمانی تعمیرات برنامه‌ریزی شده) باید طوری تعیین شود که متوسط هزینه سیستم در واحد زمان حداقل شود.

۲-۲- بررسی کارایی مدل اقتصادی یکپارچه طراحی شده

جهت اثبات کارایی اقتصادی مدل یکپارچه طراحی شده، این مدل با مدل‌های نگهداری و تعمیرات و کنترل فرایند آماری به‌صورت مجزا مقایسه می‌شود.

۲-۲-۱- مدل نگهداری و تعمیرات

در این مدل فقط نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده انجام می‌شود و از نمودارهای کنترل آماری فرآیند استفاده نمی‌شود و یا اندازه نمونه صفر است. بنابراین زمانی که فرایند از کنترل خارج می‌شود، فرایند به عملیّات ادامه می‌دهد تا تعمیرات برنامه‌ریزی شده انجام شود. متوسط هزینه و زمان سیکل در این مدل به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$E_{MM}[T] = (k+۱)h + T_R\, F\big((k+۱)h\big) + T_P\Big(۱ - F\big((k+۱)h\big)\Big)$$

$$E_{MM}[C] = \left\{C_I \int_{۰}^{kh} tf(t|k+۱)h)dt + C_O\left[(k+۱)h - \int_{۰}^{kh} tf(t|k+۱)h)dt + \gamma_R T_R\right] + C_R\right\} \times F\big((k+۱)h\big) + \{C_I\left((k+۱)h + \gamma_p T_p\right) + C_P\}[۱ - F\big((k+۱)h\big]$$

$$E_{MM}[H] = \frac{E_{MM}[C]}{E_{MM}[T]}$$

۲-۲-۲- مدل کنترل فرایند آماری

این مدل دومین حالت خاص مدل یکپارچه را دنبال می‌کند. زمانی که k در مـدل یکپارچـه بـه بی‌نهایت نزدیک می‌شود، مدل یکپارچه به مدل کنترل فرایند آماری تبـدیل می‌شـود. متوسـط هزینه و زمان سیکل از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{SPC}[T] = \int_{۰}^{\infty} t\, f(t|(k+۱)h)\, dt + hARL_۱ - \acute{\tau} + nE + T_A + T_R.$$

که:

$$\acute{\tau} = \sum_{i=۰}^{\infty} \int_{ih}^{(i+۱)h} (t-ih)\ f(t|(k+۱)h)dt.$$

$$E_{SPC}[C] = C_I \int_0^{\infty} tf(t|k+1)h)dt + C_O(hARL_1 - \tau + nE + \gamma_A T_A + \gamma_R T_R) + \frac{۱}{h} E_{SPC}[T](C_F + nC_V) + C_R.$$

$$E_{MM}[H] = \frac{E_{MM}[C]}{E_{MM}[T]}$$

مدل یکپارچه نمودار کنترل و مدیریت نگهداری و تعمیرات برای انواع نمودارهای کنترل صدق می‌کند. از آنجایی که نمودار کنترل $\bar{X}$ نمودار پایه کنترل فرایند آماری می‌باشد، در این مقاله از این نمودار جهت پایش فرایند استفاده شده است. فرض می‌کنیم زمانی که فرایند تولید تحت کنترل است، مشخصه کنترلی از توزیع نرمال با میانگین $\mu_۰$ و انحراف استاندارد σ پیروی می‌کند. با وقوع انحراف با دلیل میانگین فرایند از $\mu_۰$ به $\mu_۰ + \delta\sigma$ یا $\mu_۰ - \delta\sigma$ تغییر یافته و در نتیجه فرایند از کنترل خارج می‌شود. حدود بالا و پایین نمودار کنترل از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$UCL = \mu_{.} + L(\sigma/\sqrt{n})$$
$$CL = \mu_{.}$$
$$LCL = \mu_{.} - L(\sigma/\sqrt{n})$$

زمانی که میانگین نمونه‌ای خارج از حدود کنترل قرار گیرد، بیانگر این است که فرایند از کنترل خارج شده است.

۳- پیاده‌سازی مدل در شرکت کیش چوب

شرکت صنایع چوب کیش با هدف ساخت تمامی فراورده‌های چوبی مورد نیاز واحدهای تجاری، اداری و مسکونی در فروردین ۱۳۸۲ در دو فاز افتتاح گردید. در فاز اول امکان تولید طبق درخواست مشتری، برش و نوار کاری قطعات منحنی شکل و یا قطعات غیرهندسی با توجه به وجود دستگاه‌های برش، نوارکاری، فرز و سوراخکاری تمام اتوماتیک وجود دارد. فاز دوم در نزدیکی فاز اول تأسیس شده است که در این بزرگترین مجتمع صنایع چوب حال حاضر خاورمیانه، خط تولید پیوسته‌ای شامل ماشین آلات ۲۰۰۵ HOMAG آلمان وجودداشته که امکان تولید انبوه را ایجاد کرده است. واحد کنترل کیفیت شامل مدیر، سرپرست و بازرس می‌باشد. از طریق مشخصه‌های کنترل کمّی و کیفی که توسط کارشناسان امر تعیین شده است، پارامترهای لازم در مواد اولیه، محصولات در جریان ساخت و محصولات ساخته شده بازرسی می‌شوند. اخیراً اقداماتی در خصوص طرّاحی نمودارهای کنترل نیز انجام شده است.

در کارخانه صنایع چوب کیش فرایند شیارزنی توسط دستگاه Complete Line روی Stripe ها صورت می‌گیرد. در اینجا شمش‌های طولی که قرار است به قطعات Side UC L&R تبدیل شوند، مدنظر می‌باشد. عرض شیار یک مشخصه کیفی مهم می‌باشد. مسؤلین کنترل کیفیت کارخانه از نمودار $\bar{X}$ برای کنترل این فرایند استفاده می‌کنند. فرض می‌شود که فرایند در سطح $\bar{\bar{X}} = ۴.۱۵۶mm$ تحت کنترل می‌باشد و انحراف بادلیل به اندازه ۰/۱۳ در فرایند روی دهد، در نتیجه میانگین فرایند از $\mu_{.}$ به $\mu_{.} + \delta\sigma$ یا $\mu_{.} - \delta\sigma$ تغییر می‌یابد. نمودار کنترل $\bar{X}$ با خط مرکزی $\mu_{.}$ و حدود بالا و پایین کنترل $\mu_{.} \pm L(\sigma/\sqrt{n})$ جهت پایش فرایند استفاده شده است. در نتیجه احتمال خطای نوع اول و احتمال خطای نوع دوم به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\alpha = ۲\int_{L}^{\infty} \Phi(z)dz$$

$$\beta = \int_{-L-\delta\sqrt{n}}^{L-\delta\sqrt{n}} \Phi(z)dz$$

همچنین فرض می‌کنیم زمانی که میانگین نمونه‌ای خارج از حدود کنترل بیفتد، نمودار کنترل $\bar{X}$ هشداری مبنی بر خارج از کنترل بودن نشان می‌دهد. بنابراین داریم:

$$p_i = \alpha * (۱-\alpha)^{i-۱}\ , \quad p_i^{۱} = (۱-\beta) * \beta^{i-۱}$$

مقادیر پارامترهای برآوردی مدل در شرکت کیش چوب در جدول ۲ آمده است.

جدول۲: مقادیر پارامترها

پارامتر	δ	E	C_F	C_f	C_V	C_I	C_O	C_C	C_R
مقدار	۰.۱۳	۰.۱۵	۱	۱۰	۰.۰۱	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰
پارامتر	C_P	$T_.$	T_C	T_A	T_R	T_P	θ	a	b
مقدار	۲۰۰	۰.۲	۰.۶	۰.۳	۱.۵	۱	۰	۴۲.۱۲	۹.۶

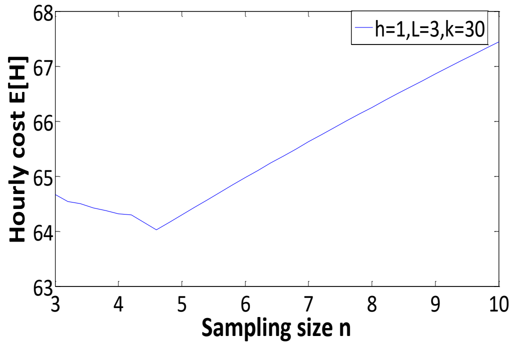
از آنجایی که میانگین و انحراف معیار زمان منتهی به از کار افتادگی دستگاه complete-line به ترتیب ۴۰ و ۵ ساعت می‌باشند، مقادیر a و b (پارامترهای توزیع وایبال مربوط به این زمان) از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\mu = a\Gamma\left(۱ + {}^{۱}\!/_{b}\right) \Rightarrow a\Gamma\left(۱ + \frac{۱}{b}\right) = ۴۰$$

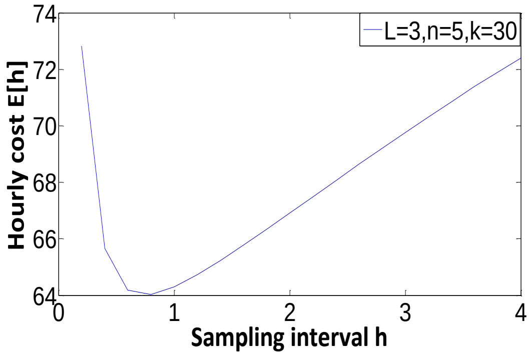
$$\sigma^{۲} = a^{۲}\Gamma\left(۱ + {}^{۲}\!/_{b}\right) - \mu^{۲} \Rightarrow a^{۲}\Gamma\left(۱ + \frac{۲}{b}\right) = ۱۶۰۰ + ۲۵ = ۱۶۲۵$$

مقادیر a و b به ترتیب ۴۲.۱۲ و ۹.۶ به‌دست می‌آید.

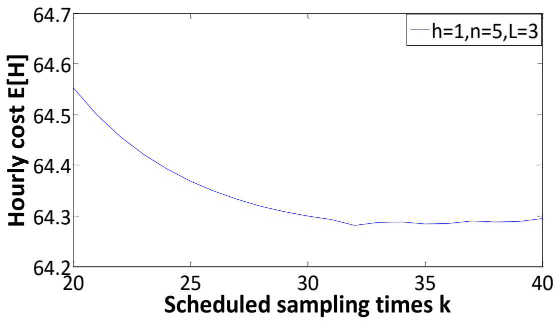
برای بهینه کردن مدل، از نرم‌افزار MATLAB و رویکرد Grid-search جهت یافتن مقادیر متغیّرها استفاده شده است؛ به‌طوری‌که متوسط هزینه سیستم در واحد زمان (ساعت) حداقل شود. همان طور که مشخص است، با افزایش هر ۴ متغیر خروجی مدل یعنی اندازه نمونه (شکل ۲- الف)، بازه زمانی نمونه‌گیری (شکل ۲- ب)، تعداد بازه‌های نمونه‌گیری در فواصل زمانی تعمیرات برنامه‌ریزی شده (شکل ۲- ج) و بازه حدود کنترل (شکل ۲- د)، ابتدا متوسط هزینه سیستم در واحد زمان را کاهش داده و سپس افزایش می‌یابد.



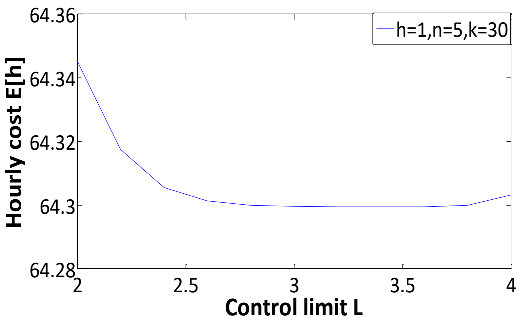
الف: متوسط هزینه در واحد زمان به تغییرات n



ب:متوسط هزینه در واحد زمان به ازای تغییراتh



ج: متوسط هزینه در واحد زمان به ازای تغییرات k



د: متوسط هزینه در واحد زمان به ازای تغییراتL

شکل۲. تأثیر متغیرها روی متوسط هزینه سیستم در واحد زمان

نتایج شکل ۲ که بیانگر تأثیر هر یک از ۴ متغیر روی متوسط هزینه سیستم به ازای هر ساعت می‌باشد، نشان می‌دهد که جواب بهینه تقریبی که با رویکرد grid-search به‌دست آمده، به شرح زیر است:

n =۵, L = ۲/۹, k = ۳۰, h = ۱, E(H) =۶۴/۲۹

همان طور که ملاحظه شد مقادیر n، h، L و k به‌ترتیب ۵، ۱، ۲/۹ و ۳۰ است. این بدین معناست که باید نمونه‌هایی ۵ تایی از خط تولید هر یک ساعت یکبار برداشته شود. پس از ۳۱ بار نمونه‌برداری یکبار تعمیرات برنامه‌ریزی شده انجام شود و پهنای حدود کنترل ۲.۹

انحراف معیار فرآیند باشد. متوسط هزینه سیستم نیز در واحد زمان ۶۴.۲۹ ده هزار ریال (معادل ۶۴۲۹۰۰ ریال در ساعت) برای دستگاه complete-line است.

۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق به دنبال پیاده‌سازی یک مدل یکپارچه کنترل آماری فرایند و نگهداری و تعمیرات در شرکت کیش چوب بوده است و برای رسیدن به این هدف با شناسایی مدل مناسب و تعیین و تخمین ورودی‌های مدل، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB پارمترهای خروجی این مدل یکپارچه تعیین گردید. هدف اصلی مدل حداقل کردن متوسط هزینه کل سیستم یکپارچه کنترل فرآیند و نگهداری و تعمیرات بوده است. هرچند پیاده کردن چنین سیستم‌هایی در نگاه اول دارای پیچیدگی زیاد در محاسبات می‌باشد اما با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای مختلف مهندسی مانند MATLAB به‌سرعت می‌توان به جواب نسبتاً خوبی دست یافت. اما نکته مهم در یکپارچه سازی دو مبحث، کاربردی کنترل فرآیند و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات می‌باشد که این یکپارچه‌سازی باعث کاهش هزینه‌های کل سیستم شده و در نهایت موجب افزایش کیفیت نیز خواهد شد. نکته کاربردی دیگر اینکه برای پیاده‌سازی چنین مدل‌هایی باید ورودی‌های دقیق و صحیح تولید نمود. از جمله این ورودی‌ها هزینه و مدت زمان تعمیرات برنامه‌ریزی است و باید بسترسازی مناسب جهت ایجاد سیستم‌های اطلاعاتی عملیات و تولید ایجاد نمود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، پیشنهاد می‌شود که بهینه‌سازی این مدل یکپارچه به‌صورت همزمان برای چندین فرایند که دارای سیستم نگهداری و تعمیرات مشترک هستند توسط محققان دیگر توسعه یابد.

۵- قدردانی

در اینجا لازم است از مدیریت محترم شرکت صنایع چوب کیش و بویژه مسؤلین کنترل کیفیت کارخانه که کمک شایانی جهت انجام این تحقیق نمودند، تشکر نماییم.

۶- منابع

[۱] A.J. Duncan, the economic statistical of x-bar charts used to maintain current of a process, Journal of the American Statistical Association ٥٢ (١٩٥٦) ٢٢٨-٢٤٢.

[۲] E.M. Saniga, Economic statistical control-chart designs with an application to x-bar and R charts, Technometrics ٣١ (١٩٨٩) ٣١٣-٣٢٠.

[۳] D.C. Montgomery, The economic design of control charts: A review and literature survey, Journal of Quality Technology ١٢ (١٩٨٠) ٧٥-٧٨.

[٤] S.M. Alexander, M.A. Dillman, J.S. Usher, B. Damodaram, Economic design of control charts using the Taguchi loss function, Computers and Industrial Engineering ٢٨ (١٩٩٥) ٦٧١-٦٧٩.

[٥] K.E. McKone, R.G. Schroeder, K.O. Cua, The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance, Journal of Operations Management ١٩(٢٠٠١)٣٩-٥٨

[٦] M.A. Rahim, P.K. Banerjee, A generalized model for the economic design of x-bar control chart for production systems with increasing failure rate and early replacement, Navel Research Logistics ٤٠ (١٩٩٣) ٧٨٧-٨٠٩.

[٧] M.A. Rahim, Joint determination of quantity, inspection, schedule and control chart design, IIE Transactions ٢٦(١٩٩٤) ٢-١١.

[٨] M. Ben-Daya, Integrated production maintenance and quality model for imperfect process, IIE Transactions ٣١ (١٩٩٩) ٤٩١-٥٠١.

[٩] M. Ben-Daya, M.A. Rahim, Effects of maintenance on economic design of an x-bar control chart, European Journal of Operation Research ١٢٠ (٢٠٠٠) ١٣١-١٤٣.

[١٠] C.R. Cassedy, R.O. Bowden, E.A. Pohl, Combining preventive maintenance and statistical process control: A preliminary investigation, IIE Transactions ٣٢ (٢٠٠٠) ٤٧١-٤٧٨.

[١١] K. Linderman, K.E. McKone – Sweet, Anderson, An integrated systems approach to process control and maintenance, European Journal of Operational

Research ١٦٤ (٢٠٠٥) ٣٢٤-٣٤٠.

[١٢] S. Panagiotidou, G. Tagaras, Optimal preventive maintenance for equipment with two quality state and general failure time distributions, European Journal of Operational Research ١٨٠ (٢٠٠٧) ٣٢٩-٣٥٣.

[١٣] Wen – Hui Zhou, Gui – Long Zhu, Economic design of integrated model of control chart and maintenance management, journal of Mathematical and Computer Modelling ٤٧ (٢٠٠٨) ١٣٨٩-١٣٩٥.

[١٤] B. Dodson, Weibull Analysis, Asq Quality Press, Milwauke, ١٩٩٤.