فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات مدیریت (بهبود و تحول) ـ سال بیست و دوم شماره ٦٨، پاییز ۹۱
صفحات ۱۳۵ تا ۱۵٦

پایش عملکرد سیستم نگهداری و تعمیرات در صنعت خودروسازی

حجت نبوتی *
امیر صالحی‌پور **

چکیده

امروزه سیستم‌های نگهداری و تعمیرات (نت) نقش بسیار مهمی در ارتقای کیفیت تولید و نگهداری ماشین‌ها و تجهیزات تولیدی در شرایط قابل قبول و استاندارد ایفا می‌کنند. میزان اثربخشی یک برنامه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه توسط اندازه‌گیری شاخص‌های مربوط و پایش آن‌ها در طول زمان تعیین می‌شود. رویکرد مرسوم در پایش و کنترل شاخص‌ها محدود به مقایسه آن‌ها با استانداردهای موجود (محدود به برخی صنایع و تجهیزات) و یا استفاده از نمودارهای روند می‌باشد. با توجه به نقاط ضعف هر یک از دو روش، در این مقاله از نمودارهای کنترل کیفیت آماری استفاده شده‌است. رویکرد پیشنهادی در یک سازمان تولیدی داخلی به‌کار گرفته شده‌است. مقایسه نتایج حاصل‌شده با نمودارهای روند (رویکرد فعلی) نشان از برتری رویکرد پیشنهادی دارد.

واژگان کلیدی: نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، نمودار کنترل کیفیت آماری، کنترل آماری شاخص‌های نگهداری و تعمیرات.

* کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه
** استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمسار
تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۲

Archive of SID
www.SID.ir

کلیات

امروزه سیستم‌های نگهداری و تعمیرات (نت) نقش بسیار مهمی در فرآیند تولیدی و حفظ و نگهداری ماشین‌ها و تجهیزات مرتبط در شرایط قابل قبول و استاندارد ایفا می‌کنند. عمدتا فعالیت‌های نت را می‌توان به نت پیشگیرانه و نت اصلاحی دسته‌بندی کرد. در نت پیشگیرانه هدف نگاه‌داری ماشین‌ها و تجهیزات مربوطه در شرایط مناسب عملیاتی از طریق برنامه‌ریزی بازدیدهای دوره‌ای و تعمیرات منظم می‌باشد. در نقطه مقابل، هدف از نت اصلاحی تعمیر و راه‌اندازی مجدد ماشین‌های از کار افتاده و معیوب است. پرواضح است که نت پیشگیرانه به مراتب با اهمیت‌تر از نت اصلاحی است، چرا که علاوه بر جلوگیری از توقف روند تولید (بسیار حیاتی به‌ویژه در سیستم‌های تولید انبوه نظیر خط تولید) دارای هزینه‌های کمتری نیز است. مهم‌تر، حفظ مشتری و رضایت وی است که در نتیجه عدم توقف ناگهانی تولید حاصل می‌شود. به‌علاوه، برای تعیین میزان اثربخشی یک برنامه نت پیشگیرانه، می‌بایستی عوامل مختلف اثرگذار در آن شامل انواع هزینه‌ها، زیان‌های ناشی از توقف تولید، بهره‌وری و موارد مشابه دیگر در نظر گرفته شوند. جهت سهولت، شاخص‌های متعددی بدین منظور تهیه شده‌اند. یکی از رویکردهای رایج جهت کنترل شاخص‌ها، مقایسه آن‌ها با استانداردهای موجود (که البته تنها محدود به برخی صنایع و ماشین‌ها است) می‌باشد. رویکرد رایج دیگر شامل پایش سوابق شاخص‌ها از طریق مقایسه مقادیر فعلی آن‌ها با مقادیر قبلی آن‌ها می‌باشد. در این روش، مقادیر شاخص‌ها طی زمان روی نموداری موسوم به نمودار روند ترسیم می‌شوند.

به‌راحتی می‌توان نشان داد هر یک از دو رویکرد دارای معایب و مشکلاتی هستند و بنابراین نمی‌توانند روش‌های کارایی جهت کنترل و پایش شاخص‌ها باشند. به‌عنوان مثال، هنگام مقایسه مقادیر شاخص‌ها با مقادیر استاندارد این سئوال‌ها ممکن است مطرح شوند: برای ماشین‌ها و صنایعی که فاقد استانداردهای مربوطه هستند، چگونه می‌توان وضعیت شاخص‌ها را ارزیابی نمود؟ چگونه می‌توان عملکرد سیستم نت پیشگیرانه را ارزیابی نمود؟ بنابراین تنها با بهره‌گیری از این رویکرد نمی‌توان پیش‌بینی نمود چه مقدار انحراف از مقادیر شاخص‌ها مجاز خواهد بود. انحراف غیرمجاز منجر به بازبینی برنامه نت پیشگیرانه می‌شود. دلایل مشابهی را می‌توان برای رویکرد دوم

Archive of SID

www.SID.ir

برشمرد. لذا دو رویکرد مذکور از عملکرد مطلوبی برخوردار نیستند و رویکرد دیگری که بتواند جایگزین آن‌ها شده به‌طوری‌که دارای معایب آن‌ها نیز نباشد بسیار حائز اهمیت است.

بنابراین، هدف، پایش شاخص‌ها طی زمان و ارزیابی وضعیت آن‌ها (تحت کنترل بودن / نبودن) می‌باشد. این پایش نظام‌مند سبب می‌شود بتوان عملکرد نامطلوب سیستم نت پیشگیرانه را پایش نموده و با اعمال اقدامات اصلاحی آن را بهبود داد. در این پژوهش که براساس تجربیات و مطالعات نویسندگان پژوهشی نوین در این حوزه می‌باشد برآنیم به‌منظور دست‌یابی به هدف پژوهش رویکردی جامع و با قابلیت اطمینان بالا توسعه دهیم به‌طوری‌که بتواند انحرافات (تغییرات) اعم از تصادفی و ریشه‌ای را پایش نماید.

در حقیقت این پژوهش نگرشی جدید به سیستم نت پیشگیرانه دارد. مهم‌ترین هدف این پژوهش بهبود عملکرد سیستم نت پیشگیرانه براساس بهره‌گیری از دانش کنترل کیفیت آماری می‌باشد. رویکرد پیشنهادی در این پژوهش شامل کنترل آماری شاخص‌های عملکرد یک سیستم نت پیشگیرانه با بهره‌گیری از نمودارهای کنترلی است. بدین منظور از داده‌های واقعی بهره خواهیم گرفت و با پایش آن‌ها توسط نمودارهای کنترلی نشان خواهیم داد آیا شاخص‌ها تحت کنترل هستند. دانستن این موضوع می‌تواند منجر به بهبود عملکرد سیستم نت شده و به‌علاوه مسیر این بهبود را نیز ترسیم می‌نماید. ساختار مقاله بدین شرح است. بخش دوم به بررسی پیشینه پژوهش اختصاص داده شده‌است. در بخش سوم شرح کاملی از رویکرد پیشنهادی آورده شده‌است. این بخش با ارائه یک مطالعه موردی در یک سازمان تولیدی داخلی خاتمه می‌یابد. تحلیل نتایج و یافته‌ها در بخش چهارم آورده شده‌اند. نتیجه‌گیری و بیان تحقیقات آتی خاتمه‌دهنده این مقاله هستند.

پیشینه پژوهش

علی‌رغم اهمیت موضوع پژوهش، تاکنون پژوهش مشابهی با موضوع به‌کارگیری نمودارهای کنترل کیفیت آماری به‌منظور کنترل آماری شاخص‌های عملکرد سیستم نت پیشگیرانه صورت نگرفته‌است. اگرچه پژوهش‌ها و مطالعاتی در راستای بهبود

Archive of SID

www.SID.ir

فرآیندهای نت پیشگیرانه با بهره‌گیری از ابزارهای کنترل کیفیت آماری انجام شده‌است، ولی نمی‌توان دقیقا آن‌ها را به‌عنوان سوابق پژوهش‌های پیشین با توجه به هدف این پژوهش ملحوظ نمود. البته گفتنی است به‌دلیل نبود تحقیقات مرتبط با موضوع پژوهش، در این بخش مهم‌ترین تحقیقات صورت‌گرفته مرتبط با بهره‌گیری از نمودارها و ابزارهای کنترل کیفیت آماری به‌منظور بهبود سیستم‌های نت پیشگیرانه آورده می‌شود.

در دیدگاه سنتی و مرسوم، کنترل فرآیند آماری و مدیریت نت به‌طور مستقل نگریسته می‌شوند. لذا یکپارچه‌سازی این دو عنصر پایه پژوهش‌های بسیاری بوده‌است. اهمیت کنترل فرآیند آماری و مدیریت نت در فرآیند مدیریت تولید لیندرمن و همکاران را بر آن ساخت تا با یکپارچه‌سازی کنترل فرآیند آماری و سیستم نت، بتوانند هزینه‌های کیفیت، نت و بازرسی را حداقل نمایند Linderman, K., McKone-Sweet, K. E., and Anderson, J. C. (2005). ژو و ژوو طراحی اقتصادی مدلی یکپارچه از نمودارهای کنترلی و مدیریت نت با هدف دست‌یابی به کیفیت بهینه خدمات (محصول)، کاهش زمان بیکاری و کاهش هزینه را مطالعه کرده‌اند Zhou, W., Zhu, G. (2008). اسکیپرز معتقد است نمی‌توان در عمل دو رویکرد را مستقل و مجزا از یکدیگر دانست. با هدفی مشابه اهداف بالا، اساس رویکرد وی نیز بهره‌گیری از رویکردی یکپارچه در جهت کاهش انحرافات و تغییرپذیری در فرآیند می‌باشد Schippers, W. A. J. (2001). زی و همکاران ایده مشابه این مقاله را جهت پایش پایایی (قابلیت اطمینان) یک سیستم خدماتی (تولیدی) استفاده کرده‌اند. اساس نمودار کنترلی، تعداد تجمعی (انباشته) موفقیت بین شکست (خرابی‌های متوالی) است. آن‌ها توزیع آماری بازه موفقیت (زمان بین شکست‌ها) را در حالت توزیع آماری نمایی مطالعه نمودند و توانستند مدت زمان لازم تا رخداد تعداد معینی خرابی را پایش نمایند. اهمیت این مورد در عدم وابستگی رویکرد پیشنهادی به تعداد نمونه‌ها می‌باشد Xie, M., Goh, T.N., and Ranjan, P. (2002).

هاورث از نمودارهای کنترلی رگرسیونی برای پایش فرآیند تولید نرم‌افزار بهره گرفته‌است Haworth, D. A. (1996). رحیم و بن‌داین تاثیر خدمات معیوب و فرآیند ارائه آن‌ها را روی نحوه ارائه خدمات، حجم و دامنه آن مطالعه نمودند. با به‌کارگیری

Archive of SID

www.SID.ir

چند توزیع آماری متفاوت، آن‌ها به مطالعه زمان‌بندی بازبینی و طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی پرداختند. Rahim, M. A. and Ben-Daya, M. (2001)

یونگ و همکاران نیز یکپارچه‌سازی کنترل کیفیت آماری و نت پیشگیرانه را با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های مربوط به اقدامات نت، نمونه‌گیری و کیفیت پایین خدمات (محصول) مطالعه کرده‌اند. مدل نت آن‌ها "جایگزینی فرآیند با طول عمر مفید اتمام‌یافته (علی‌رغم اینکه می‌تواند کار کند)" می‌باشد Yeung, T. G. Cassady, C. R., and Schneider, K. (2008),

خو و زی از نمودارهای کنترلی برای پایش سیستمی که به‌طور منظم نت روی آن اعمال می‌شود بهره گرفته‌اند. رویکرد این امکان را می‌دهد بتوان در خصوص ادامه اقدامات نت تصمیم‌گیری نمود Khoo, M. B. C., and Xie, M. (2009). پاناگیوتیدو و ننس مدل‌سازی فرآیندی را مطالعه نموده‌اند که علاوه بر رخداد انحراف در کیفیت، رخداد خرابی و شکست نیز در آن محتمل است. آن‌ها حذف انحراف را یک اقدام نت پیشگیرانه در نظر گرفته‌اند چراکه منجر به بهبود کیفیت خدمات (محصول)، کاهش نرخ خرابی و کاهش هزینه‌ها می‌شود Panagiotidou, S., and Nenes, G. (2009), بن‌داین و مخدوم تاثیر سیاست‌های نت پیشگیرانه و ارتباط آن با کمیت اقتصادی تولید / ارائه خدمات و طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی را مطالعه کرده‌اند. مدل آن‌ها قادر است متناسب با هر سیاست نت، مطلوب‌ترین کمیت اقتصادی تولید / ارائه خدمات، پارامترهای بهینه نمودار کنترلی و سطح بهینه نت پیشگیرانه را ارائه دهد Ben-Daya, M., and Makhdoum, M. (1998), و Ben-Daya, M. (1999),

چان با مطالعه شش مدل نت روی یک فرآیند تولیدی بهینه‌ترین سیاست نت پیشگیرانه از منظر هزینه را به‌دست آورده‌است Chan, L. (2003). کسدی و همکاران به‌منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی یک استراتژی ترکیبی نمودار کنترلی– نت یشگیرانه برای فرآیندی که تغییر و شیفت به‌سوی وضعیت خارج از کنترل به‌دلیل فرسایش و از کارافتادگی ماشین‌آلات و تجهیزات رخ می‌دهد، ارائه نموده‌اند Cassady, C. R., Bowden R. O., Liew, L., and Pohl, E. A. (2000).

لم و رحیم با مدل‌سازی یکپارچه طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی و زمان‌بندی نت، به‌طور همزمان کمیت اقتصادی تولید برای یک فرآیند فرسوده را تعیین کرده‌اند. مطالعه آن‌ها بر دو فرض مقابل استوار است:

Archive of SID

www.SID.ir

۱) هزینه جایگزینی سیستم (بخشی / کامل) بسیار بالا است؛ ۲) شکست (خرابی) در سیستم دارای توزیع آماری مشخصی نیست و از یک نرخ افزایشی پیروی می‌کند. and Rahim, M. A. (2002), Lam, K. K.,

یرل و همکاران تاثیر برنامه نت روی فرآیند تولید مواد شیمیایی و معدنی را مطالعه نموده‌اند. آن‌ها نشان دادند بعد از اعمال هر برنامه نت وضعیت فرآیند بهبود می‌یابد (برای پایش وضعیت فرآیند از نمودار کنترلی استفاده شده‌است) Yerel, S., Ankara, .H., Konuk, A, and Ozdag, H. (2007)

بن‌دایا برای فرآیند معیوبی که نرخ خرابی آن افزایشی است مدلی یکپارچه به‌منظور تعیین کمیت اقتصادی تولید و سطح نت پیشگیرانه ارائه کرده است. مدل وی بر این فرض استوار است که عمر سیستم متناسب با هر سطح نت پیشگیرانه متغیر بوده و کاهش می‌یابد. با بررسی تاثیر سطوح متفاوت نت پیشگیرانه روی هزینه آیتم‌های نامنطبق و روی هزینه بازگشت به وضعیت تحت کنترل (رخداد تغییر در فرآیند آن‌را به فرآیندی خارج از کنترل تبدیل می‌نماید)، وی اشاره به تاثیر اقتصادی در نظر گرفتن اقدامات نت پیشگیرانه در برنامه عملیاتی کرده‌است (وی نشان داده‌است هزینه این اقدامات از هزینه‌های مربوط به کیفیت پایین‌تر است و توسط صرفه‌جوی‌هایی که در هزینه کیفیت می‌شود به‌راحتی قابل جبران خواهد بود) ,(2002) .Ben-Daya, M.

پاناگیوتیدو و تاگارس با مطالعه ارتباط بین کنترل فرآیند آماری و نت پیشگیرانه و در نظرگرفتن چندین وضعیت عملیاتی متفاوت (شامل از کارافتادگی) وضعیت فرآیند را مطالعه نموده‌اند. مدل آن‌ها شامل استفاده از نمودارهای کنترلی و بهره‌گیری از اطلاعات به‌دست آمده از فرآیند جهت برنامه‌ریزی مجدد اقدامات نت می‌باشد .Panagiotidou, S., And Tagaras, G. (2010),

ژانگ و چان فرآیندی با نرخ خرابی افزایشی را مطالعه کرده‌اند. آن‌ها نشان داده‌اند تسریع نرخ خرابی، منجر به افزایش هزینه‌ها خواهد شد. در صورتی‌که با افزایش هزینه نت پیشگیرانه، هزینه‌های کیفیت کاهش می‌یابند. آن‌ها در طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی تابع هدف را حداقل‌سازی هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های کیفیت قرار داده‌اند . Jhang, J. P, Chan, H. L. (2000)

ژانگ و هم‌کاران از نمودارهای کنترلی زمان بین رخدادها استفاده کرده‌اند و با در نظر گرفتن نت پیشگیرانه یک مدل اقتصادی برای نمودارهای کنترلی نمایی ارائه

Archive of SID

www.SID.ir

نموده‌اند. آن‌ها فرض کرده‌اند که تغییر در فرآیند به‌صورت تصادفی رخ می‌دهد Zhang, H. Y., Xie, M., Goh, T. N., Shamsuzzaman, M. (2008),.

پایش شاخص‌های عملکرد سیستم نت پیشگیرانه توسط نمودارهای کنترل کیفیت آماری

هر فرآیندی به‌طور طبیعی دارای واریانس (انحراف) است و نمودارهای کنترل کیفیت آماری به‌عنوان ابزارهایی توانمند در کنترل و نظارت بر فرآیندها، می‌توانند به کمک اصول آماری میان واریانس‌های طبیعی و واریانس‌های غیرطبیعی فرآیند اختلاف ایجاد کنند. یکی از اولین نمودارهای کنترلی، نمودارهای کنترلی شوهارت می‌باشند. سادگی این نمودارها در کنار کاربردپذیری بالای آن‌ها، این نمودارها را به یکی از پراستفاده‌ترین نمودارهای کنترل کیفیت آماری تبدیل کرده‌است. اساس این نمودارها توزیع آماری نرمال می‌باشد، و از آنجایی‌که بسیاری از پدیده‌ها را می‌توان توسط توزیع آماری نرمال مدل نمود سبب شده‌است این نمودارها بسیار پراهمیت باشند. برخلاف دامنه کاربرد بالای این نمودارها، نمودارهای کنترلی شوهارت براساس دو فرض زیر بنا شده‌اند نوراسناء، رسول،(۱۳۸۲):

- توزیع آماری داده‌ها باید از توزیع آماری نرمال پیروی کند و یا با دقت مناسبی قابل تقریب به آن باشد.
- داده‌های متوالی مستقل از یکدیگر باشند. استقلال داده‌ها بدین معناست که مشاهده یک نمونه در مقدار مشاهده‌شده برای نمونه دیگر اثری نداشته‌باشد.

ادامه این بخش با شرح یک مطالعه موردی و اعمال رویکرد پیشنهادی روی آن ادامه داده می‌شود. همان‌طور که پیشتر در بخش ۲ اشاره گردید، تاکنون تحقیقات نسبتا محدودی در ارتباط با بهره‌گیری از این نمودارها به‌منظور پایش عملکرد سیستم نت پیشگیرانه صورت گرفته‌است. لذا رویکرد ارائه‌شده در این مقاله کاملا نوین بوده و به‌علاوه بسیار پرکاربرد می‌باشد. مطالعه موردی مربوط به سیستم نت پیشگیرانه در یک سازمان تولیدی می‌باشد. بخشی از این سیستم که در این مقاله بررسی شده‌است مربوط به پیاده‌سازی نت پیشگیرانه روی دو خط از خطوط تولید این سازمان به نام‌های BMD1 و BMD2 می‌باشند. این دو خط به مدت ۲۹ ماه مطالعه شده‌اند (بخش ۲,۳ را

Archive of SID

www.SID.ir

ببینید). عمده محصولات این سازمان تولیدی قطعات ریخته‌گری موردنیاز شرکت‌های خودروسازی می‌باشد. خط تولید ریخته‌گری چدن شامل ۴ خط قالب‌گیری شامل ۲ خط با نام‌های BMD1 و BMD2 و ۲ خط دیگر می‌باشد. خط تولید BMD1 خط ریخته‌گری افقی با ظرفیت تولید ۶۰ قالب در ساعت می‌باشد و عمده قطعات تولیدی آن انواع بلوک سیلندر می‌باشد. خط BMD2 خط ریخته‌گری افقی با ظرفیت تولید ۱۰۰ قالب در ساعت می‌باشد و عمده قطعات تولیدی آن تولید انواع میل لنگ، کاسه چرخ، فلایویل و کپه یاتاقان خودرو می‌باشد.

وضعیت نت پیشگیرانه

با توجه به درک اهمیت نگهداری و تعمیرات، در این سازمان اقدامات مهمی در جهت پیاده‌سازی نت پیشگیرانه صورت گرفته‌است. این اقدامات شامل ایجاد شناسنامه فنی برای کلیه تجهیزات و ماشین‌آلات، و تدوین برنامه نت براساس مدارک فنی و کاتالوگ‌های ماشین‌آلات به‌صورت بازه‌های هفتگی، ماهیانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله می‌باشد. این اقدامات اغلب در قالب تعمیرات اضطراری، تعمیرات برنامه‌ریزی شده و بازدیدهای دوره‌ای، و بررسی ظاهری ادوات و تجهیزات از نظر عملکرد می‌باشند. عملکرد فعالیت‌های نت پیشگیرانه با توجه به تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی ارزیابی می‌شود و در صورت لزوم اقدام اصلاحی صورت می‌گیرد. از آنجایی‌که شاخص‌های نت پیشگیرانه معمولا به‌صورت هفتگی و یا ماهانه استخراج می‌شوند بنابراین تعداد داده‌های لازم جهت ترسیم نمودار کنترلی کم می‌باشد. لذا نمی‌توان از نمودارهای مرسوم کنترلی همانند $\bar{x}-R$ و $\bar{x}-S$ بهره جست. به‌راحتی می‌توان نشان داد مناسب‌ترین نمودار کنترلی برای این منظور نمودارهای کنترلی فردی[1] می‌باشند، چراکه:

۱. شاخص مورد مطالعه دارای مقادیر کمی (در مقابل کیفی) بوده و در بازه‌ای پیوسته تهیه می‌شود.
۲. این شاخص و بسیاری از شاخص‌های دیگر که برای ارزیابی اثربخشی و عملکرد سیستم نت پیشگیرانه به‌کار می‌روند.

در بازه‌های هفتگی و یا ماهانه استخراج می‌شوند و این بدان معنی است که تعداد

1- Individual Control Chart (IMR)

Archive of SID

www.SID.ir

نمونه‌های لازم برای ترسیم نمودارهای کنترلی بسیار کم می‌باشند. در این بخش پس از معرفی شاخص مورد مطالعه جهت ارزیابی عملکرد سیستم نت پیشگیرانه، رویکرد پیشنهادی را در قالب یک مطالعه موردی شرح می‌دهیم. دلیل این امر این است که فرضیات و اساس ترسیم نمودارهای کنترلی باید بسته به شرایط تحت مطالعه و داده‌های جمع‌آوری شده بررسی و به‌کار گرفته شوند.

شاخص عملکرد نت مورد مطالعه

یکی از شاخص‌های مهم در نت پیشگیرانه مربوط به انتخاب، خرید و تعمیرپذیری ماشین‌آلات می‌باشد. به‌طور خلاصه، این شاخص بیانگر تعمیرپذیری ماشین‌ها است. به‌عنوان مثال، دو ماشین مشابه که یک نوع محصول تولید می‌کنند را در نظر بگیرید. این دو ماشین ممکن است از لحاظ طراحی، نحوه مونتاژ و برخی موارد دیگر با یکدیگر متفاوت باشند. مثلا ماشین اول دارای قطعات مکانیکی بیشتر و ماشین دوم دارای قطعات الکترونیکی بیشتر باشد. لذا در هنگام توقف (اعم از خرابی و یا دیگر از کارافتادگی‌ها)، ممکن است ماشین دوم سریع‌تر آماده به‌کار شود. بنابرین خاصیت شاخص "تعمیرپذیری" این ماشین بالاتر از ماشین اول است. شاخص تعمیرپذیری مکمل شاخص پایایی (قابلیت اطمینان) است. بهره‌گیری توام از این دو شاخص می‌تواند نشان‌گر وضعیت عملیاتی ماشین باشد. بنابراین این دو شاخص بسیار پرکاربرد در برنامه‌ریزی عملیات نت پیشگیرانه خواهند بود. شاخص تعمیرپذیری ماشین عبارت است از متوسط زمان صرف‌شده جهت تعمیر ماشین و آن‌را با MTTR نشان می‌دهند[1] (رابطه ۱):

$$MTTR = \frac{\sum_i L_i T_i}{\sum_i L_i} \qquad (۱)$$

به‌طوری‌که: T_i متوسط زمان لازم برای تعمیر جزء یا عنصر i

L_i فرکانس خرابی عنصر i (تعداد خرابی عنصر i) در بازه زمانی موردنظر

کاربرد این شاخص در شناسایی ماشین‌ها و مجموعه‌های با پیچیدگی تعمیر بالا و تعیین مدت زمان انتظار جهت انجام تعمیرات است. به‌کارگیری نمودار کنترلی برای این

1- Mean Time to Repair (MTTR)

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص بیانگر آن است که آیا انحرافات و تغییرات ایجاد شده در عملکرد سیستم نت پیشگیرانه در هر دوره دارای علت خاصی هستند (غیرقابل چشم‌پوشی) یا ماهیت تصادفی دارند (قابل چشم‌پوشی).

توزیع آماری داده‌های تحت مطالعه

برای هر یک از دو خط تولید، مقادیر شاخص MTTR به‌صورت ماهانه محاسبه شده و برای یک بازه ۲۹ ماهه استخراج شده‌است. (به‌عبارت بهتر، هر ماه یک نمونه از عملکرد فرآیند نت در شرکت موردمطالعه به‌دست آمده‌است). از دو نرم‌افزار Minitab (نسخه ۱۵) و Easyfit (نسخه ۳,۴) به‌منظور انجام برآزش توزیع‌های آماری و تعیین توزیع آماری داده‌های تحت مطالعه بهره گرفته شده‌است. برخلاف قابلیت نرم‌افزار Minitab در تحلیل‌های آماری و ترسیم نمودارهای کنترل کیفیت آماری، توانایی آن در برآزش توزیع‌های آماری وابسته به انتخاب توزیع‌های آماری توسط کاربر می‌باشد. به‌علاوه نسبت به نرم‌افزار Easyfit تعداد به مراتب کمتری توزیع آماری را برآزش می‌کند. در مقابل، نرم‌افزار Easyfit با داشتن مجموعه بسیار کاملی از توزیع‌های آماری گسسته و پیوسته، جهت برآزش توزیع‌های آماری مختلف بسیار مناسب می‌باشد. جهت حصول شناخت جامع‌تری از توزیع آماری داده‌های تحت مطالعه، آزمون‌های برازندگی از طریق سه آزمون آماری معروف یعنی کلموگراف- اسمیرنف، اندرسون- دارلینگ و کای‌دو صورت گرفته است. براساس نتایج نرم‌افزار Easyfit، نمی‌توان فرض آماری تبعیت داده‌های شاخص MTTR مربوط به خط BMD1 از توزیع آماری نرمال را رد نمود جدول ۱ نتایج مربوط به برآزش آزمون‌های آماری اندرسون- دارلینگ و کلموگراف ـ اسمیرنف با مقادیر مختلف خطای نوع اول توسط نرم‌افزار Easyfit را نشان می‌دهد.

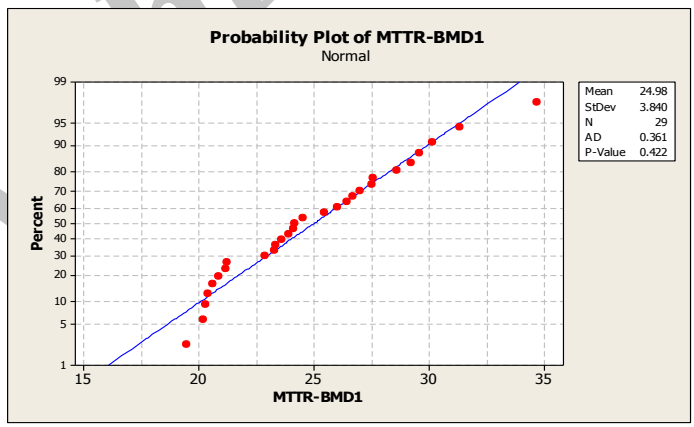
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. نیکویی برآزش انجام‌شده مربوط به توزیع داده‌های شاخص مورد مطالعه خط BMD1

					Kolmogorov-Smirnov
Sample Size					29
Statistic					0.11344
P-Value					0.80942
Rank					13
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466
Reject?	**No**	**No**	**No**	**No**	**No**
					Anderson-Darling
Sample Size					29
Statistic					0.36759
Rank					18
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Reject?	**No**	**No**	**No**	**No**	**No**

با توجه به جدول ۱، در بهترین حالت توزیع آماری نرمال سیزدهمین توزیعی است که برای برآزش داده‌های مذکور مناسب است. در شکل ۱ برآزش نرم‌افزار Minitab روی داده‌های خط BMD1 نشان داده شده‌است.



شکل ۱. نیکویی برآزش توزیع آماری نرمال مربوط به داده‌های خط BMD1

Archive of SID

www.SID.ir

برآزش‌های نرم‌افزارهای Minitab و Easyfit روی داده‌های شاخص MTTR خط BMD2 نشان می‌دهند می‌توان فرض آماری نرمال‌بودن این داده‌ها را رد نمود. لذا توزیع آماری این داده‌ها از توزیع آماری نرمال پیروی نمی‌کند (با توجه به محدودیت در حجم مقاله، این برآزش‌ها در اینجا آورده نشده‌اند). از طرفی، علی‌رغم ثبات نمودارهای کنترلی فردی نسبت به نقض فرض نرمال‌بودن توزیع آماری داده‌ها، لیکن توصیه شده‌است از آن‌ها هنگامی‌که فرض مذکور رد می‌شود استفاده نشود نوراسناء، رسول،(۱۳۸۲). در این راستا، یکی از روش‌های موجود، تبدیل توزیع آماری غیرنرمال داده‌های شاخص MTTR خط BMD2 به توزیع آماری نرمال است.

تبدیل داده‌های با توزیع آماری غیرنرمال به توزیع آماری نرمال

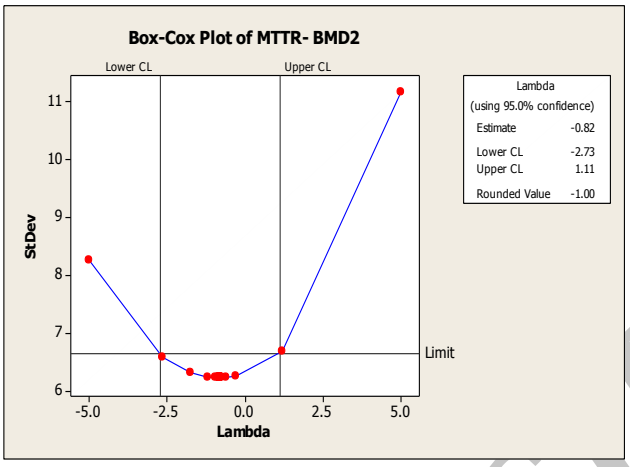
تبدیل داده‌های غیرنرمال به داده‌های با توزیع آماری نرمال یکی از روش‌های متدول در بهره‌گیری از نمودارهای کنترلی شوهارت برای داده‌های غیرنرمال می‌باشد. یک روش مرسوم دیگر محاسبه احتمالی حدود کنترلی می‌باشد. در این مقاله از روش تبدیل استفاده شده‌است. در تبدیل Box-Cox (رابطه ۲) متغیر تصادفی غیرنرمال به توانی بین ۵- تا ۵+ (پارامتر تبدیل) رسانده می‌شود:

$$T(X) = (X^{\lambda} - 1)/\lambda \qquad (۲)$$

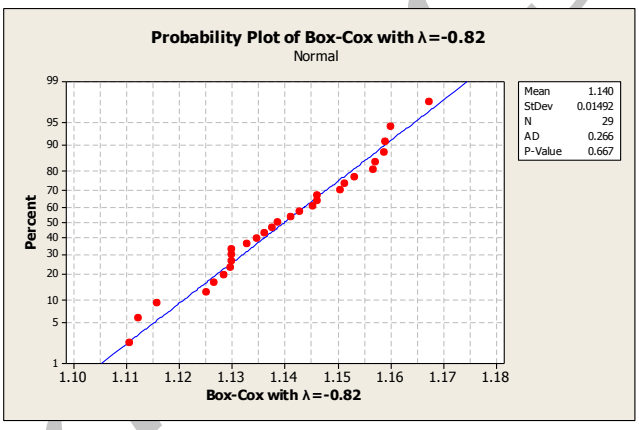
در رابطه (۲) λ پارامتر تبدیل است. این تبدیل فقط برای داده‌های مثبت قابل استفاده است و این به‌عنوان یکی از نقاط ضعف آن مطرح است. مقدار بهینه پارامتر تبدیل برای داده‌های شاخص MTTR خط BMD2 ۰٫۸۲- می‌باشد (شکل۲). مقدار بهینه تبدیل توانسته‌است داده‌های با توزیع آماری نرمال تولید نماید (شکل ۳).

Archive of SID

www.SID.ir



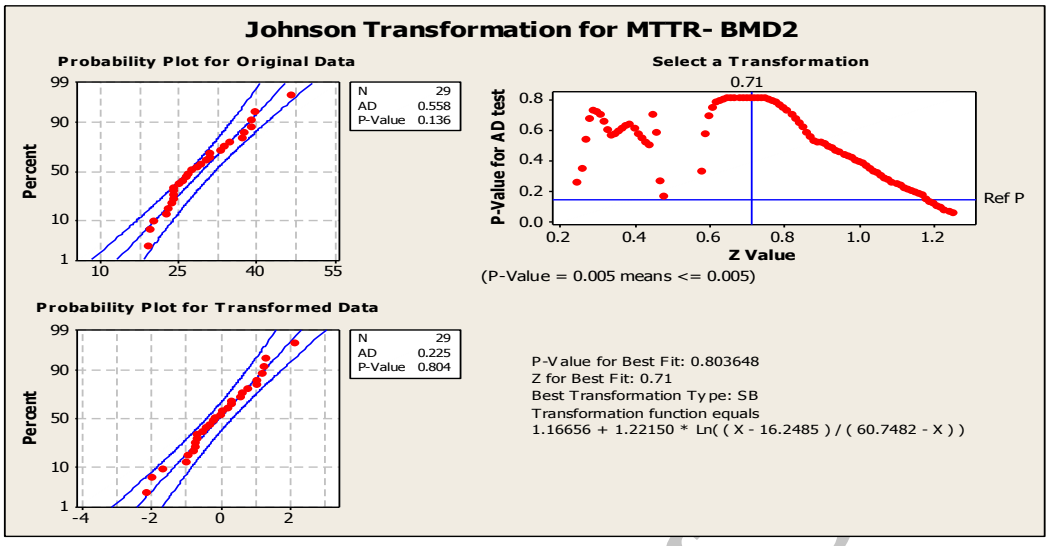
شکل ۲. مقادیر مختلف پارامتر تبدیل Box-Cox



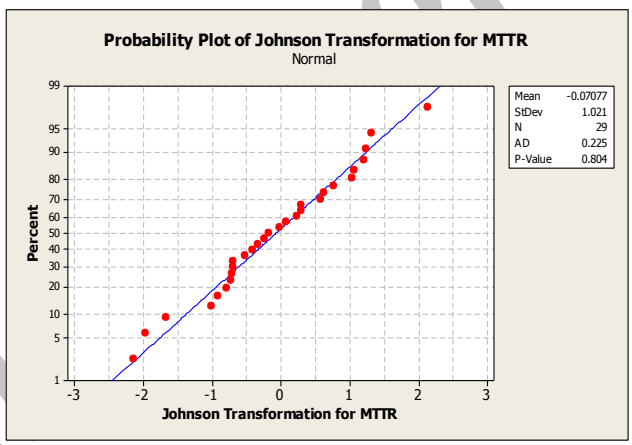
شکل ۳. نیکویی برآزش توزیع آماری نرمال برای داده‌های تبدیل‌یافته خط BMD2 با پارامتر بهینه تبدیل Box-Cox

تبدیل توانمندتری نسبت به تبدیل Box-Cox وجود دارد که خوشبختانه برای داده‌های غیرمثبت نیز به سهولت قابل به‌کارگیری است. محاسبه تبدیل جانسون به مراتب پیچیده‌تر از تبدیل Box-Cox است. البته بسیاری از نرم‌افزارهای آماری نظیر Minitab می‌توانند این تبدیل را به‌راحتی محاسبه نموده و بهترین تبدیل جانسون برای داده‌های غیرنرمال را ارائه نمایند. شکل ۴ اعمال این تبدیل روی داده‌های قبل را نشان می‌دهد. براساس داده‌های تبدیل یافته نمی‌توان فرض توزیع آماری نرمال این داده‌ها را رد کرد. (شکل ۵).

www.SID.ir



شکل ٤. نیکویی برآزش توزیع آماری نرمال برای داده‌های خط BMD2 تحت تبدیل جانسون



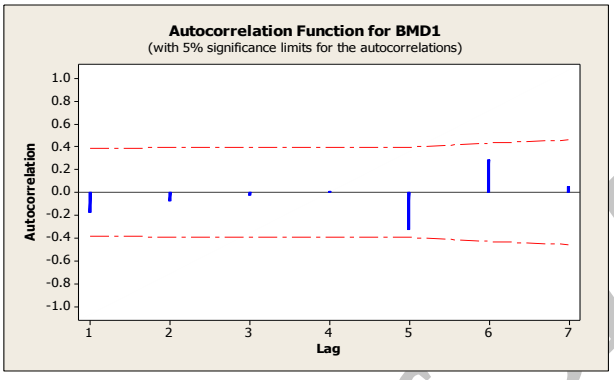
شکل ۵. نیکویی برآزش توزیع آماری نرمال برای داده‌های خط BMD2 تحت تبدیل جانسون

استقلال داده‌های تحت مطالعه

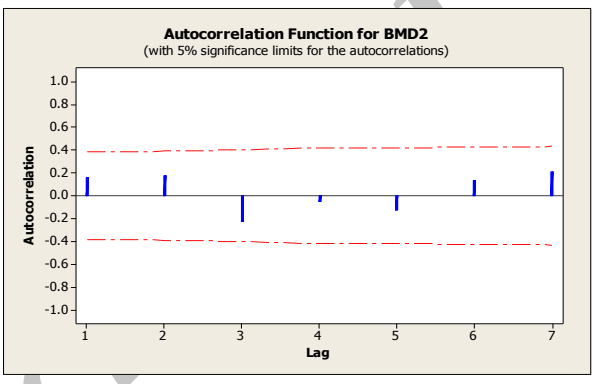
یکی از راه‌های بررسی صحت فرض دوم در ترسیم نمودارهای کنترلی شوهارت – استقلال داده‌ها – ترسیم نمودارهای خود همبستگی برای داده‌های مورد مطالعه توسط نرم‌افزار Minitab می‌باشد (شکل ۶). استقلال به این معنی است که داده‌های متوالی روی یکدیگر تأثیر نمی‌گذارند. بنابراین مقدار مشاهده‌شده برای یک داده تأثیری در

www.SID.ir

مقدار مشاهده‌شده برای داده‌های دیگر ندارد. از شکل‌های الف.۶ و ب.۶ می‌توان دریافت نمی‌توان فرض آماری استقلال داده‌های مورد مطالعه را رد نمود.



الف.



ب.

شکل ٦. نمودار خود همبستگی برای شاخص‌های مورد مطالعه، الف. خط BMD1، ب. خط BMD2؛ این دو نمودار که توسط نرم‌افزار Minitab ترسیم شده‌اند نشان می‌دهند نمی‌توان فرض آماری استقلال داده‌ها را رد نمود.

نمودارهای کنترلی فردی

با حصول شرایط لازم در ترسیم نمودارهای کنترلی فردی ـ نرمال‌بودن و استقلال داده‌ها ـ می‌توان آن‌ها را ترسیم نمود. ذکر این نکته ضروری است که ترسیم این نمودارها و محاسبه حدود کنترلی برای پایش داده‌های آتی لازم است. لذا پس از

Archive of SID

www.SID.ir

ترسیم نمودارها و محاسبه حدود کنترلی، از آن‌ها برای کنترل و پایش آماری شاخص MTTR بهره گرفته می‌شود. یادآوری می‌نماییم در هر دوره از ارزیابی شاخص‌های مورد مطالعه، یک نمونه تک عضوی از عملکرد سیستم نت پیشگیرانه به دست می‌آید. به همین دلیل، مناسب‌ترین نمودار، نمودار کنترلی فردی است (شکل ۷). نمودارهای کنترلی فردی متشکل از دو نمودار هستند و نشان می‌دهند آیا اختلاف قابل توجهی میان نمونه‌ها وجود دارند یا خیر. نمودار اول۱ بیان‌گر مقادیر به‌دست آمده از هر نمونه و نمودار دوم۲ بیان‌گر اختلاف بین هر دو نمونه متوالی است [۱]. پایش مقادیر شاخص‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر، بیان‌گر مغایرت‌ها و انحرافات رخ‌داده در عملکرد سیستم نت پیشگیرانه می‌باشند.

جدول ۲. حدود کنترلی فردی اولیه برای شاخص‌های مورد مطالعه، الف. خط BMD1، ب. خط BMD2

	حدود	الف-خط BMD1	ب- خط BMD2
نمودار اول	حد بالا	۳۷,۹٤	۱,۱۸
	حد مرکزی	۲٤,۹۸	۱,۱٤
	حد پایین	۱۲,۰۲	۱,۱
نمودار دوم	حد بالا	۱۵,۹۲	۰,۰۵
	حد مرکزی	٤,۸۷	۰,۰۱٦
	حد پایین	۰	۰

پس از حصول حدود کنترلی (جدول ۲) می‌توان داده‌های آتی را روی نمودارهای کنترلی ترسیم نمود (شکل ۷). برای این منظور، عملکرد ۱۰ ماهه سیستم نت پیشگیرانه مورد مطالعه قرار گرفت. جدول ۳ مقادیر شاخص‌های مشاهده‌شده را نشان می‌دهد. در جدول مقادیر تبدیل‌یافته شاخص مستخرج از خط BMD2 نیز نشان داده شده‌است. شکل ۷ نمودارهای کنترلی مربوطه را نشان می‌دهند. با دقت در این نمودارها می‌توان دریافت شاخص MTTR در خطوط BMD1 و BMD2 تحت کنترل می‌باشد. بنابراین عملکرد سیستم نت یشگیرانه تحت کنترل بوده و مغایرت قابل توجهی در عملکرد سیستم نت پیشگیرانه مشاهده نمی‌شود. بایستی این نکته متذکر شود در صورتی‌که

1- Individual X
2- Moving Range

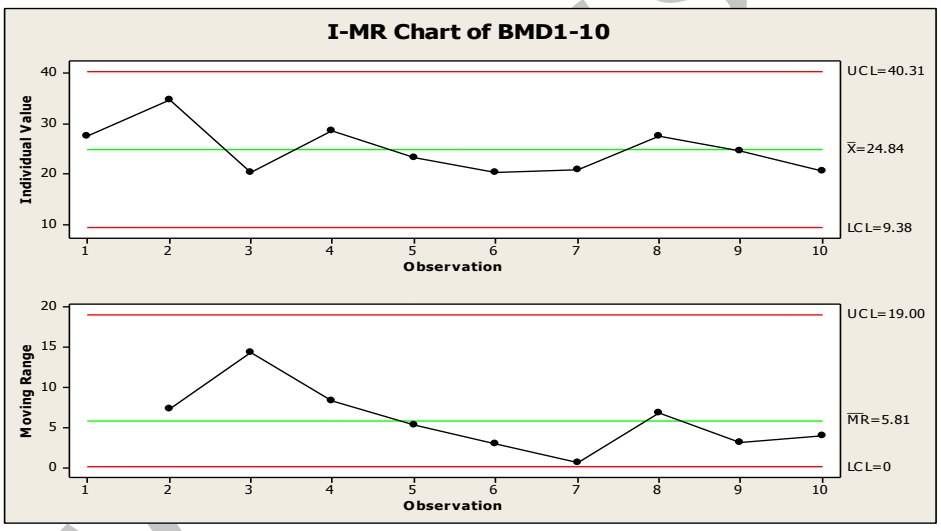
Archive of SID

www.SID.ir

نمودارها عدم کنترل فرآیند را نشان دهند، می‌توان با بررسی و ریشه‌یابی علل مشکل عملکرد سیستم نت پیشگیرانه را به حالت مطلوب باز گرداند.

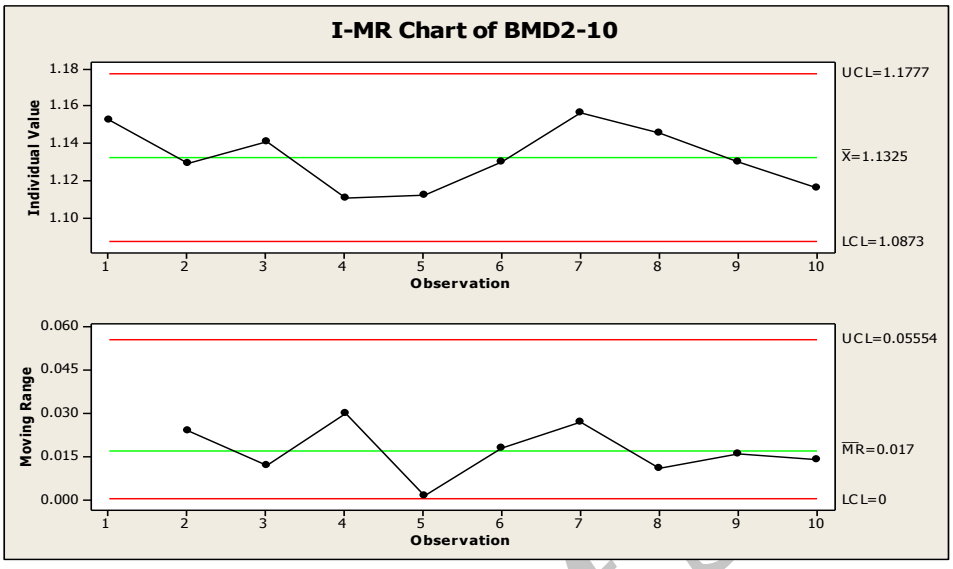
جدول ۳. شاخص خطوط BMD1 و BMD2 برای یک بازه ۱۰ ماهه؛ مقادیر تبدیل‌یافته شاخص خط BMD2 نیز نشان داده شده‌اند

شماره نمونه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
خط BMD1	۲۷,٥	۳٤,۷	۲۰,۳	۲۸,٦۱	۲۳,۳۳	۲۰,۳۸	۲۰,۸۷	۲۷,٥۸	۲٤,٥٥	۲۰,٥۹
خط BMD2	۳٤,۹	۲۳,۷	۲۸,٥	۱۹,۰٥	۱۹,٤۲	۲٤,۲۰	۳۷,۳٥	۳۰,۸۷۸	۲٤,۱۷	۲۰,۲۳
خط BMD2 تبدیل‌یافته	۱,۱٥	۱,۱۳	۱,۱٤	۱,۱۱	۱,۱۱	۱,۱۳	۱,۱٦	۱,۱٥	۱,۱۳	۱,۱۲



الف.

www.SID.ir



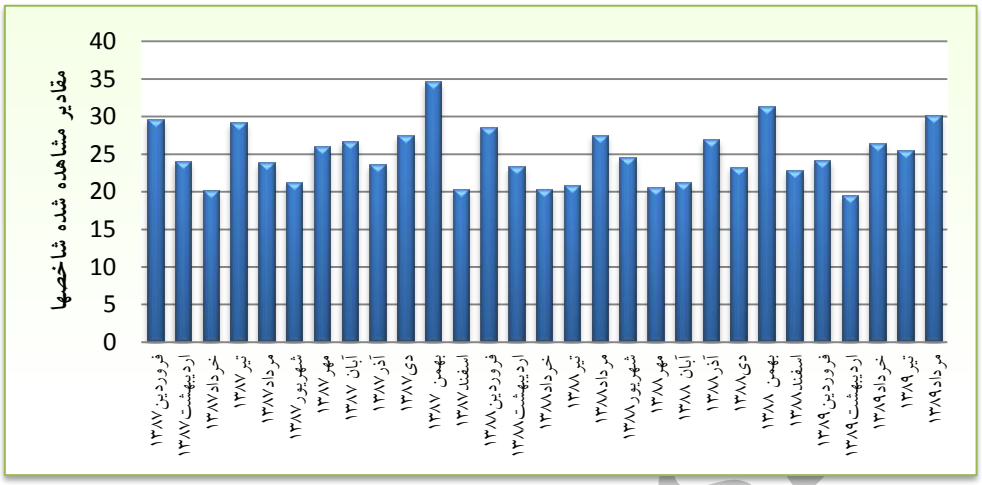
ب.

شکل ۷. نمودار کنترلی فردی برای پایش شاخص‌های مورد مطالعه، الف. خط BMD1، ب. خط BMD2

اگرچه ترسیم نمودارهای کنترلی (شکل ۷) در بردارنده اطلاعات مفیدی در خصوص عملکرد سیستم نت پیشگیرانه است، لیکن به‌منظور نشان‌دادن نقاط قوت آن بر آن شدیم عملکرد آن‌ها را با نمودارهای مرسوم در این سازمان تولیدی مقایسه کنیم. در حال حاضر برای پایش شاخص خطوط BMD1 و BMD2 در این سازمان تولیدی از نمودارهای روند ترسیم‌شده توسط نرم‌افزار Excel استفاده می‌شود. نمونه‌ای از این نمودارها در شکل ۸ نشان داده شده‌است. برخلاف این‌که این نمودارها می‌توانند شاخص‌ها را با گذشت زمان ترسیم کنند و آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمایند، لیکن نمی‌توانند اطلاعاتی در خصوص مغایرت‌های رخ‌داده در عملکرد سیسم نت پیشگیرانه ارائه دهند. به‌عبارت بهتر این نمودارها تنها شمایی از عملکرد سیستم نت را به تصویر می‌کشند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸. نمونه نمودارهای مرسوم در سازمان تولیدی مورد مطالعه جهت کنترل شاخص مورد مطالعه خط BMD1

به‌عنوان مثال با دقت در نمودار ۸ می‌توان دریافت در ابتدای دوره ارزیابی، عملکرد سیستم از وضعیت مطلوبی برخوردار بوده است و در انتهای دوره ارزیابی تغییراتی در عملکرد سیستم نت پیشگیرانه رخ داده‌است. ولی آیا این‌که تغییرات تا چه حد مجاز بوده‌اند و یا به اصلاح طبیعی/ غیرطبیعی هستند، قابل استخراج از این نموداها نیستند. بنابراین رویکرد پیشنهادی در این مقاله می‌تواند ضمن انعکاس عملکرد سیستم نت پشگیرانه، مغایرت‌های رخ‌داده را نیز رفع کند.

نتیجه‌گیری

برخلاف اهمیت سیستم نگهداری و تعمیرات (نت) پیشگیرانه در کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش کیفیت تولید، تحقیقات روی طراحی و توسعه رویکردی یکپارچه به‌منظور کنترل عملکرد سیستم نت پیشگیرانه بسیار محدود بوده‌است.

در این مقاله به‌منظور نشان‌دادن کاربرد و مزایای رویکرد پیشنهادی، از نمودارهای کنترل کیفیت آماری برای کنترل یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی عملکرد سیستم نت پیشگیرانه استفاده گردید. بهره‌گیری از نمودارهای کنترلی نه تنها زبان مشترکی بین افراد جهت نظارت بر فرآیند و عملکرد آن ایجاد می‌نمایند، بلکه با توجه به توانایی آن‌ها در تحلیل روند، امکان تحلیل مطلوب‌تر و تعیین قابلیت فرآیند را میسر

Archive of SID

www.SID.ir

می‌سازند. به‌علاوه، تحت کنترل بودن آماری فرآیند ضمن کاهش هزینه‌های نت باعث افزایش عملکرد فرآیند نیز خواهد شد. رویکرد پیشنهادی در قالب یک مطالعه موردی و با استفاده از داده‌های واقعی تشریح گردید و نقاط قوت آن در مقابل رویکردهای رایج و مرسوم نشان داده‌شد. باید توجه داشت صرف‌نظر از توزیع آماری شاخص‌های تحت مطالعه، در حالت کلی می‌توان روش‌شناسی ارائه شده در این مقاله را برای کنترل و پایش آماری عملکرد سیستم نت پیشگیرانه به کار بست. با توجه به روش‌شناسی این پژوهش سازمان‌ها میتوانند شاخص‌های حوزه نگهداری و تعمیرات خود را با توجه به جایگاه خود در مسیر نت بهره ور مشخص کرده و به جای استفاده از نمودارهای میله‌ای از نمودارهای کنترلی استفاده کنند و از مزایای استفاده از نمودار کنترلی در این حوزه بهره‌مند گردند، نمودارهای کنترل ابزار مؤثری برای درک نوسانات فرآیند به شمار می‌آیند و به صاحبان فرآیند اطلاعات قابل اعتمادی مبنی بر اینکه چه هنگام باید اقداماتی صورت گیرد می‌دهند. هنگامی که فرآیندی تحت کنترل است عملکرد آن قابل پیش‌بینی است و چنین بهبودی می‌تواند به کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری بینجامد. این امر ابهامات، دردسرها و هزینه‌های ناشی از اقدامات اصلاحی نادرست را به حداقل می‌رساند. با توجه به مزایای نمودارهای کنترلی و اهمیت حوزه نگهداری وتعمیرات استفاده از این روش برای مدیران فنی بسیار حائز اهمیت است.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱. نوراسناء، رسول،(۱۳۸۲)، **مقدمه‌ای بر کنترل آماری فرآیند**، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ هشتم،

2. Ben-Daya, M., and Makhdoum, M. (1998), **Production and quality model under various preventive maintenance policies,** The Journal of the Operational Research Society, 49(8): 840-853.
3. Ben-Daya, M. (1999**), Integrated production maintenance and quality model for imperfect processes**, IIE Transactions, 31: 491-501.
4. Ben-Daya, M. (2002), **The economic production lot-sizing problem with imperfect production processes and imperfect maintenance**, International Journal of Production Economics, 76: 257–264.
5. Cassady, C. R., Bowden R. O., Liew, L., and Pohl, E. A. (2000), **Combining preventive maintenance and statistical process control: a preliminary investigation**, IIE Transactions, 32: 471-478.
6. Chan, L. (2003), **Design of inspection and maintenance models based on the CCC-chart**, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium.
7. Haworth, D. A. (1996), **Regression control charts to manage software maintenance**, Software Maintenance: Research and Practice, 8: 35-48.
8. Jhang, J. P. , Chan, H. L. (2000), **The economic design and application of information system of X-bar control charts under a preventive maintenance policy for multiple assignable causes**, 6th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Orlando, FL, Aug. 09-11: 332-336.
9. Khoo, M. B. C., and Xie, M. (2009), **A study of time-between-events control chart for the monitoring of regularly maintained systems**, Quality and Reliability Engineering International, 25: 805–819.
10. Lam, K. K., and Rahim, M. A. (2002), **A senility analysis of an integrated model for joint determination of economic design of X-control charts, economic production quantity and production run length for a deterioration production system**, Quality and Reliability Engineering International, 18: 305–320.
11. Linderman, K., McKone-Sweet, K. E., and Anderson, J. C. (2005), **An integrated systems approach to process control and maintenance**, European Journal of Operational Research, 164: 324–340.
12. Panagiotidou, S., and Nenes, G. (2009), **An economically designed, integrated quality and maintenance model using an adaptive Shewhart chart**, Reliability Engineering and System Safety, 94: 732–741.
13. Panagiotidou, S., and Tagaras, G. (2010), **Statistical process control and condition-based maintenance: a meaningful relationship through data sharing**, Production and Operations Management, 19(2): 156–171.

Archive of SID

www.SID.ir

14. Rahim, M. A. and Ben-Daya, M. (2001), **Joint determination of production quantity, inspection schedule, and quality control for an imperfect process with deteriorating products**, The Journal of the Operational Research Society, 52(12): 1370-1378.
15. Schippers, W. A. J. (2001), **An integrated approach to process control, International Journal of Production Economics**, 69: 93-105.
16. Xie, M., Goh, T.N., and Ranjan, P. (2002**), Some effective control chart procedures for reliability monitoring**, Reliability Engineering and System Safety, 77: 143–150.
17. Yerel, S., Ankara, H., Konuk, A., and Ozdag, H. (2007), **Preventive maintenance policy supported by a quality control chart and Kolmogorov-Smirov Tests: Emet Colemanite Mineral Processing Plant**, Turkey, Minerals and Metallurgical Processing, 24(3): 152-156.
18. Yeung, T. G., Cassady, C. R., and Schneider, K. (2008), **Simultaneous optimization of Xbar control chart and age-based preventive maintenance policies under an economic objective**, IIE Transactions, 40: 147–159.
19. Zhang, H. Y., Xie, M., Goh, T. N., Shamsuzzaman, M. (2008), **Economic design of exponential chart for monitoring time-between-event data under random process shift**, 14th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Orlando, FL, Aug. 07-09: 11-15.
20. Zhou, W., Zhu, G. (2008), **Economic design of integrated model of control chart and maintenance management**, Mathematical and Computer Modelling, 47: 1389–1395

Archive of SID

www.SID.ir