

«مدیریت بهره‌وری»

سال یازدهم - شماره چهل و دو - پاییز 1396

ص ص: 195 - 175

تاریخ دریافت: 95/03/24

تاریخ پذیرش: 96/07/04

انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات به منظور بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری

دکتر چنگیز والمحمدی^{1*}
جواد صوفیابادی²
فخرالدین لطف زاده³

چکیده

هدف تحقیق حاضر انتخاب استراتژی نت با توجه به تأثیرگذاری نوع استراتژی بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری در یک شرکت تأمین کننده تجهیزات و ماشین آلات حوزه نفت و گاز می باشد. پژوهش پیش رو بر اساس هدف و نوع گردآوری داده ها، کاربردی و آزمایشی است. داده های تحقیق با بهره مندی از فرم های استاندارد بازدید روزانه، علت و معلول و آنالیز اثرات و حالات خرابی از نه دستگاه تراش طی دو فاز مطالعاتی استخراج شده است. با تأیید نرمال بودن داده ها، فرضیات تحقیق با آزمون فرض میانگین یک جامعه، T زوجی و ضریب همبستگی درون گروهی مورد بررسی قرار گرفت. در فاز اول، استراتژی نت بهره ور فراگیر و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان اجرا شد و در فاز دوم استراتژی نت ترکیبی اجرا گردید. در هر دو مرحله شاخص های میانگین زمان بین خرابی و میانگین زمان تعمیر مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت تا تأثیرات سه استراتژی مقایسه و بهترین استراتژی نت انتخاب شود. نتایج نشان می دهد، استراتژی نت ترکیبی موجب بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری و افزایش بهره‌وری ماشین آلات و تجهیزات می شود.

واژه های کلیدی: نت بهره ور فراگیر، نت مبتنی بر قابلیت اطمینان، میانگین زمان بین خرابی، میانگین زمان تعمیر.

1-دانشیار، گروه فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران جنوب. تهران، ایران (نویسنده مسؤول).
ch_valmohammadi@azad.ac.ir
2- کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروز کوه. تهران، ایران. j.sofiyabadi@gmail.com
3- کارشناس ارشد، مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران جنوب. تهران، ایران.

مقدمه

بهینه‌سازی عملیات و فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات با توجه به تحولات مستمر حوزه فن‌آوری، رقابت اقتصادی حاکم بر صنایع و مسایل زیست‌محیطی و ایمنی از جمله چالش‌هایی است (ول‌موروگان و دهینگرا¹، 2015) که مدیران را ترغیب می‌نماید تا با طراحی و انتخاب استراتژی‌های نت، علاوه بر افزایش عمر مفید و عملکرد دارایی‌ها (فولادگر و همکاران، 2012) الگویی کامل، منسجم، یکپارچه و هماهنگ با تولید و عملیات (نیکولوپولوس و همکاران، 2003) را در جهت کمک به تداوم تولید (نیلی‌پور طباطبانی، 1386) مورد بهره‌برداری قراردهند. اگرچه سازمان‌های تولیدی به صورت عمومی اهدافی نظیر ایمنی، هزینه، ارزش افزوده و امکان‌پذیری اجرای استراتژی را از اجرای استراتژی‌های نت دنبال می‌نمایند (شارما و همکاران²، 2005). آقای و همکاران، (1390) اما اهداف دیگری همانند، پیشگیری از خرابی ناگهانی ماشین‌آلات و تجهیزات (الیس، 2008)، دستیابی به اهداف سازمانی و افزایش بهره‌وری (جعفری و همکاران، 2008) حداقل نمودن خرابی‌های ناگهانی (شارما، 2005)، کم کردن خطرات برای انسان و محیط بواسطه خرابی ناگهانی ماشین‌آلات (موحدی و همکاران، 1388)، حفظ پایداری تولید، در دسترس بودن ماشین‌آلات، حفظ کیفیت تولید، پیشگیری از تأخیر در تحویل محصول یا از دست دادن مستقیم یا غیرمستقیم سود دهی و پیشگیری از تغییر تصور مشتری نسبت به محصول (زعیم، 2012) مورد تأکید محققان می‌باشد. باید توجه داشت که انتخاب و اجرای هر استراتژی نت می‌بایست اهداف فوق را تأمین کند. بنابراین، شایسته است که مدیران نت با توجه به سیاست‌های مرتبط با تولید و عملیات سازمان، به انتخاب استراتژی مناسب بپردازند تا بتوانند با ایجاد توازن در عملیات، شاخص‌های ارزیابی نظیر در دسترس بودن، قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری را در سطح بهینه نگه دارند.

اغلب پژوهش‌های انجام شده پیرامون موضوع انتخاب استراتژی، متمرکز بر بهره‌مندی از روش‌های پیچیده تحقیق در عملیات می‌باشد. مطالعه اجرایی و میدانی انجام شده در این تحقیق و نحوه گردآوری اطلاعات (مبتنی بر پایش کامل تولید و

1. Velmurugan, R. S., & Dhingra, T. (2015).

2. Sharma, R. K., et al (2005).

عملیات) و بهره مندی از روش های نه چندان پیچیده به مدیران صنایع این اجازه را می دهد که بتوانند با اطمینان خاطر و با تأکید بر صحت انتخاب های خود به رشد و بقای سازمان خود کمک نمایند. ضرورتاً بکارگیری روش های پیچیده نمی تواند متضمن نتایج برجسته و پایدار برای سازمان ها باشد. گاهی تنها یک شهود کامل و جامع می تواند سازمان را بیشتر از هر روش یا الگوی تشکیلاتی به موفقیت نزدیک گرداند. محققان در پژوهش پیش رو تلاش نموده اند با ارائه مستندات علمی و مورد تأیید، ارزشی را برای یک سازمان تولیدی فراهم آورند تا این سازمان بتواند با صرف کمترین هزینه بالاترین راندمان را تجربه نماید. از جمله تحقیقات انجام شده پیرامون موضوع انتخاب استراتژی نت با تمرکز بر بهره مندی از روش های تحقیق در عملیات می توان به موارد زیر اشاره نمود. قاضی ناظمی و همکاران (2013) در پژوهش خود با تأکید بر مؤلفه های تعالی کسب و کار، عوامل اقتصادی، عوامل مؤثر انسانی و اجتماعی زیرمعیارهای پایداری¹ و با استفاده از تکنیک ویکور فازی بهترین استراتژی نت را انتخاب نموده است. ویشنا و رجیکومار² (2016) با استفاده از تحلیل فرآیند سلسله مراتبی استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان را بهترین گزینه برای کارخانه تولید گیاه مطالعه شده در تحقیق ذکر می کند. تجدد و همکاران (2016) مطالعه خود را در یک کارخانه تولید فرآورده های لبنی با استفاده از روش های ترکیبی تصمیم گیری چند معیاره سازمان دهی نموده اند. ژیا و همکاران³ (2016) با بهره مندی از تکنیک های ترکیبی تصمیم گیری چند معیاره به انتخاب شبکه استراتژی نت⁴ پرداخته اند. جمونو و همکاران⁵ (2016) در یک نیروگاه حرارتی باتوسعه یک روش نوین با تجزیه و تحلیل چند متغیره، نقشه برداری علی و توسعه روش اجرایی تحلیل علل ریشه ای وقایع⁶ (خرابی ها و رخدادهای نامنطبق) به انتخاب استراتژی مناسب پرداخته است. در فضای صنعتی حاکم بر شرکت های تأمین کننده تجهیزات نفت و گاز خرابی تجهیزات و افزایش فاصله بین خرابی ها و کاهش زمان تعمیر تجهیزات از اهمیت بسیار بالایی در تولید و عملیات برخوردار است و افزایش

1. Sustainability sub criteria.

2. C.R. Vishnu. Regikumar, V.(2016).

3. Xia, W., et al (2016).

4. Network maintenance strategy.

5. Chemweno, P., et al (2016).

6. Root Cause Analysis.

نوسانات و تأخیرها می‌تواند زبان‌های هنگفتی را به سازمان تحمیل نماید. بنابر این شایسته است، استراتژی مناسبی جهت کنترل و بهبود این شاخص‌ها انتخاب و اجرا شود. این پژوهش می‌کوشد، تا با بررسی و مقایسه تأثیر سه استراتژی (نت بهره‌ور فراگیر، نت مبتنی بر قابلیت اطمینان و نت ترکیبی از دو روش ذکر شده) بهترین استراتژی نت را بر اساس میزان اثر گذاری بر بهبود شاخص میانگین فاصله زمان بین خرابی¹ و میانگین زمان انجام تعمیر² انتخاب کند. تحقیق حاضر در پنج بخش سازماندهی شده است: در بخش دوم به مرور تئوری استراتژی نت (نت بهره‌ور و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان) پرداخته ایم. بخش سوم روش تحقیق و فرمول بندی فرضیه‌های تحقیق را مدنظر قرار می‌دهد و در بخش چهارم اجرای روش تحقیق و تحلیل داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و در انتها مقاله با بحث و بررسی و نتیجه‌گیری پایان پذیرفته است. این پژوهش می‌کوشد تا برای سؤال ذیل پاسخی علمی، دقیق و کاربردی را ارائه نماید:

کدام یک از استراتژی‌های (نت بهره‌ور فراگیر، نت مبتنی بر قابلیت اطمینان و نت ترکیبی) می‌تواند بر بهبود شاخص‌های میانگین فاصله زمان بین خرابی و میانگین زمان انجام تعمیر تأثیر گذار باشد؟

استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات³

استراتژی نشان دهنده‌ الگویی منسجم و نظام‌مند در تصمیم‌گیری اهداف سازمانی یک مجموعه است که در خصوص اجرا یا عدم اجرای طرح‌های کسب و کار نظر می‌دهد (پانجالا و همکاران⁴، 2006). استراتژی نت مجموعه‌ای منسجم، نظام‌مند، هماهنگ و در راستای تولید است که به منظور حفاظت از تجهیزات و دارایی‌های شرکت متناسب با نیازها، نوع تولیدات، هزینه‌های قابل تأمین، نیروی انسانی کارآمد و مانند آن تدوین می‌گردد. چنانچه بتوان براساس تعریف فوق استراتژی نت را تشریح کرد می‌توان ادعان داشت رابطه استراتژی‌های نت و استراتژی‌های کسب و کار از موارد مهم و

1. Mean time between failures.

2. Mean Time to Repair.

3. Maintenance Strategies.

4. Pinjala, et al (2006).

غیرقابل اغماض می باشد. سوانسون¹ (2001) معتقد است استراتژی های نت را می توان به سه دسته استراتژی های واکنشی، بازدارنده و تهاجمی طبقه بندی نمود. استراتژی های واکنشی همان استراتژی های مبتنی بر خرابی می باشند. استراتژی های بازدارنده همان استراتژی های مبتنی بر پیشگویی و پیشگری می باشند، بگونه ای که بتوان، پیش از وقوع خرابی آن را پیش بینی کرد، و از رخداد ناگهانی آن اجتناب نمود. استراتژی های تهاجمی مبتنی بر بهبود واقعی عملکرد و طراحی تجهیزات تولید در راستای کاهش میزان خرابی ماشین آلات تمرکز دارد.

نگهداری و تعمیرات بهره ور فراگیر²

نت بهره ور فراگیر یک مفهوم ابداعی ژاپنی است (آهوجا و همکاران³، 2008. زعیم و همکاران⁴، 2012. ونکاتش⁵، 2005) که می توان آن را پاسخی ژاپنی برای سازگاری با شرایط صنعت (حاج شیرمحمدی، 1386) به سبک نگهداری بهره ور امریکایی دانست (وال و همکاران⁶، 2002). نت بهره ور فراگیر بیشینه کردن اثر بخشی تجهیزات و کمینه کردن ضایعات ناشی از آماده سازی و تنظیم، حرکت بدون تولید و توقف های کوتاه مدت تجهیزات را کاهش داده و استفاده از تجهیزات را مطمئن می سازد (بالوچ⁷، 2011). می بایست توجه داشت نت بهره ور فراگیر همه بخش های کارخانه (عالم تبریز و همکاران، 1388) و تمام پرسنل را درگیر کند تا شرایط نامساعد را برطرف نماید (بهداری، 2000. افسر نژاد و همکاران، 1385). ماحصل این استراتژی افزایش بهره وری اقتصادی به واسطه کاهش مجموع هزینه ها، بهینه سازی اثر بخشی تجهیزات، از بین بردن از کار افتادگی ها و ارتقای سطح نگهداری، به نگهداری خودکار، یعنی اجرای عملیات نت به وسیله اپراتور دستگاه در فعالیت های روزانه می باشد. نت بهره ور فراگیر یک دیدگاه استراتژیک از نوع تهاجمی است که در جستجوی بهبود عملکرد و طراحی

1. Swanson. L. (2001).

2. Total Productive Maintenance(TPM).

3. Ahuja, et al. (2008).

4. Zaim, et al. (2012).

5. Venkatesh, J. (2007).

6. Wal et al. (2002).

7. Baluch, et al. (2011).

بهره‌ور تجهیزات بوده و در راستای پیشگیری از خطا و آسیب‌های احتمالی عمل می‌کند. فعالیت‌های نت بهره‌ور فراگیر بر روی از میان برداشتن "عوامل شش گانه تلفات عمده در پروسه تولید" تمرکز یافته است، این تلفات شامل تلفات ناشی از خطای تجهیزات، زمان هدر رفته برای تنظیم و نصب، معطلی و توقف‌های کوتاه مدت ماشین‌آلات، کاهش سرعت، وجود خطا در فرآیند تولید و کاهش عملکرد ناشی از آن می‌باشند. این استراتژی به عنوان محتمل‌ترین استراتژی در جهت بهبود عملکرد نگهداری ماشین‌آلات شناخته شده و برای موفقیت در عرصه بازار مورد پذیرش قرار گرفته است (آهوچا و همکاران، 2008). نت بهره‌ور فراگیر به عنوان یک رویکرد مشارکتی در نگهداری شناخته می‌شود. تحت لوای این استراتژی گروه‌ها یا تیم‌های کوچک کاری با ایجاد رابطه همکاری بین عملیات نگهداری و تولید به پیشبرد عملیات نگهداری کمک می‌کنند. به علاوه آنکه در این روش کارگران تولید در امر نگهداری درگیر شده و بدان‌ها اجازه می‌دهند تا ایفاگر نقش در عملیات نظارت و نگهداری تجهیزات باشند و با افزایش سطح مهارت، به صورت مؤثرتر در نگهداری تجهیزات و حفظ آنها در شرایط مناسب سهیم گردند (سوانسون، 2001).

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان¹

قابلیت اطمینان از معیارهای مهم در ارزیابی عملکرد تجهیزات به شمار می‌رود. به طوریکه در برنامه ریزی نت سیستم‌های صنعتی سعی می‌شود همواره سطح مطلوبی از قابلیت اطمینان حفظ شود (کالاها و همکاران، 1386). این روش در دهه 1960 و توسط شرکت‌های تولیدکننده هواپیما، خطوط هوایی و دولت ایالات متحده ابداع گردید. موبری (1389) نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان را اینگونه تعریف کرده است فرآیندی که برای تعیین فعالیت‌هایی که برای نگاهداشتن دارایی‌های فیزیکی در سطح مشخصی از کارایی حفظ کارکرد آنها مطابق با نظر استفاده‌کننده آنها ضرورت دارد. نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان را بعنوان فرآیندی ساختار یافته و منطقی برای بهسازی یا بهینه‌سازی الزامات نگهداری دارایی‌های فیزیکی در زمینه کارکردی شان که به منظور تحقق قابلیت اطمینان ذاتی (به عنوان سطحی از قابلیت اطمینان که با استفاده از یک

برنامه نگهداری مؤثر بدان رسید، تعریف می نمایند. این روش به منظور مشخص نمودن الزامات نگهداری تجهیزات است. نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان بر پایه الزامات کارکرد تجهیزات و رابطه آن با طراحی و پارامترهای ذاتی قابلیت اطمینان ماشین بنا شده است (ایلانکوماران و همکاران¹، 2009).

ابزار و روش

روش تحقیق مجموعه ای از قواعد، ابزارها و راه های معتبر و نظام یافته ای برای بررسی واقعیت ها، کشف مجهولات و دستیابی به راه حل مشکلات می باشد (خاکی، 1390). با توجه به هدف تحقیق، مبنی بر مقایسه اثر استراتژی های نت بر شاخص های میانگین فاصله زمان بین خرابی و میانگین زمان انجام تعمیر جهت انتخاب یک استراتژی مناسب نت می توان اذعان نمود، تحقیق حاضر در زمره تحقیقات کاربردی قرار می گیرد و با توجه نوع گردآوری اطلاعات برای آزمون فرضیات یا پاسخ به سؤالات مربوط به وضعیت قبل و بعد یک جامعه که به بررسی مقایسه اثر متغیرها می پردازد روش تحقیق بکار رفته در این طرح، روش آزمایشی می باشد. باید توجه داشت که داده های این پژوهش طبق یک فرآیند مبتنی بر بکارگیری تکنیک آنالیز اثرات و حالات خرابی گردآوری شده اند. به منظور گردآوری اطلاعات حاصل از اجرای استراتژی ها، فرم ها و تکنیک های گوناگونی مانند فرمهای بازدید روزانه، فرم های اقدام پیشگیرانه، نمودار علت و معلولی و تدوین روش اجرایی آنالیز اثرات و حالات خرابی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه ابزارهای گردآوری اطلاعات توسط استانداردهای سیستم های کیفیت ارائه شده اند و این ابزارها در بازه های زمانی منظم ارزیابی و به روز رسانی می شوند و با تأکید بر ماهیت این ابزارها می توان اذعان کرد، در تحقیق حاضر بررسی روایی و پایایی با انجام روش های متداول آماری مورد نیاز نمی باشد. همچنین تأکید می شود که تمام ابزارهای گردآوری اطلاعات قبل از بهره برداری مورد تأیید خبرگان و مدیران شرکت تأیید قرار گرفته است و صحت ابزارهای گردآوری اطلاعات مورد تأیید می باشد. جامعه آماری تحقیق حاضر کلیه دستگاه های تراش شرکت مورد مطالعه می باشد. با توجه به کوچک و محدود بودن جامعه آماری و با تأکید بر قابل دسترس بودن دستگاه های مورد مطالعه از تمام شماری بهره مند شدیم تا بتوانیم با گردآوری داده های

جامع‌تر، تحلیل صحیح‌تری را ارائه کنیم. پژوهش حاضر پاسخی علمی برای مسأله انتخاب استراتژی ارائه نموده است و با پاسخ به فرضیه‌های زیر تلاش کند تا با ارائه تحلیل‌های کاربردی به بهبود بهره‌وری عملیات و تولید سازمان مورد مطالعه کمک نماید. فرضیات تحقیق به شرح ذیل در ادامه پژوهش قابل بررسی است:

- استراتژی نت بهره‌ور، بر بهبود شاخص‌های میانگین فاصله زمانی بین خرابی و میانگین زمانی انجام تعمیر مؤثر است.

- استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود شاخص‌های میانگین فاصله زمانی بین خرابی و میانگین زمانی انجام تعمیر مؤثر است.

- استراتژی ترکیبی نت بهره‌ور و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود شاخص‌های میانگین فاصله زمانی بین خرابی و میانگین زمانی انجام تعمیر مؤثر است.

روش‌های کلموگراف-اسمیرنوف، آزمون میانگین یک جامعه، آزمون تی زوجی و ضریب همبستگی درون‌گروهی¹ جهت تحلیل داده‌های تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. شایان تأکید است، روش ضریب همبستگی درون‌گروهی بیانگر این است که، آیا اندازه‌گیرهای مکرر روی اعضای نمونه (جامعه) دقیقاً با هم تطبیق دارد یا خیر. روش آماری ضریب همبستگی درون‌گروهی، آزمون آماری با توان بالاتری نسبت به ضریب همبستگی پیرسون است. نتایج کلیه آزمون‌ها آماری در سطح معنی‌داری 5% ($\alpha=0,05$) بررسی شده‌اند.

تحلیل داده‌های تحقیق

تحلیل‌های تحقیق حاضر با توجه به مقایسه اثرگذاری هر یک از استراتژی‌های نت انتخاب شده بر دو شاخص میانگین فاصله زمانی بین خرابی تجهیزات و میانگین زمان انجام تعمیرات ارائه شده است. بنابر این شایسته است ابتدا تعریف مشخصی از این دو شاخص را مورد بررسی قرار دهیم. میانگین فاصله زمانی بین خرابی تجهیزات،

فاصله زمانی بین دو خرابی را با نماد MTBF نمایش می دهیم (حاج شیرمحمدی، 1383). متوسط زمان بین خرابی شاخصی مثبت است، به عبارتی ما در نت به دنبال افزایش این زمان یا شاخص هستیم. میانگین زمان انجام تعمیرات (MTTR)، مقدار زمان تعمیر یک سیستم عبارت است از میزان پذیرش سیستم جهت اعمال امور تعمیراتی برای بازگرداندن آن به شرایط مشخص و تعریف شده، با استفاده از امکانات مشخص و تعیین شده (حاج شیرمحمدی، 1383). متوسط زمان تعمیر دستگاه شاخصی منفی است، به عبارتی ما در نت به دنبال روش هایی هستیم که بتواند ساعات تعمیر روی دستگاه را کاهش دهد. در مرحله بعد جهت انجام تحلیل نهایی داده ها، ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفته است. جدول یک نتایج حاصل از این آزمون را نشان می دهد.

جدول شماره 1: نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

	MEAN ±SD			C.V			P-Value		
	روشن TPM	روشن RCM	روشن TPM+RCM	روشن TPM	روشن RCM	روشن RCM+TPM	روشن TPM	روشن RCM	روشن TPM+RCM
شاخص MTBF	115,98 ±37,02	140 ±62,5	175,4 ±90,85	0,31	0,44	0,51	0,068	0,089	0,20
شاخص MTTR	15,28 ± 13,57	6,33 ±3,35	3,01 ± 2,03	0,88	0,51	0,67	0,164	0,092	0,20

طبق نتایج جدول فوق سطح معنی داری در هر سه استراتژی انتخاب شده از 0,05 بیشتر می باشد لذا توزیع داده های آماری تحقیق از توزیع نرمال پیروی می کند. در ادامه با استفاده از آزمون میانگین یک جامعه اثر استراتژی نت بهره ور بر شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی اثر استراتژی نت بهره‌ور بر شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری:

جهت بررسی معنی‌داری اثر استراتژی نت بهره‌ور بر شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری آزمون میانگین یک جامعه طبق نتایج ارائه شده در جداول زیر انجام شد. فرضیات مرتبط با اثرگذاری استراتژی نت بهره‌ور بر فراگیر در جدول دو ارائه شده است.

جدول 2: فرموله‌بندی فرضیات اثرگذاری استراتژی نت بهره‌ور بر فراگیر بر بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری

فرضیه	H_0 : استراتژی نت بهره‌ور بر فراگیر بر بهبود شاخص زمان بین‌خرابی تأثیر ندارد.
اول	H_1 : استراتژی نت بهره‌ور بر فراگیر بر بهبود شاخص زمان بین‌خرابی تأثیر دارد.
فرضیه	H_0 : استراتژی نت بهره‌ور بر فراگیر بر بهبود زمان انجام تعمیرتجهیزات تأثیر ندارد.
دوم	H_1 : استراتژی نت بهره‌ور بر فراگیر بر بهبود زمان انجام تعمیرتجهیزات تأثیر دارد.

جدول 3: آزمون فرضیات مرتبط با اثر نت بهره‌ور بر فراگیر بر بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری

تایید یا رد فرضیه	فاصله اطمینان 95% برای تفاوت میانگین‌ها		میانگین	اختلاف	آماره Z	شاخص
	حد بالا	حد پایین				
تایید فرضیه	6.2	-8.5	0.127	-4.124	3.69	شاخص MTBF
تایید فرضیه	3.5	-2.3	0.089	-3.34	2.90	شاخص MTTR

اختلاف میانگین نمونه با مقدار مورد آزمون (110 روز) در شاخص MTBF و 13 روز در شاخص MTTR فاصله اطمینان متمرکز حول میانگین به دست آمده (جدول یک) را تأیید می‌کند. همچنین براساس نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها برای اولین دسته از فرضیات تحقیق می‌توان اذعان نمود، سطح معنی‌داری در بررسی هر دو شاخص میانگین زمان بین‌خرابی، میانگین زمان تعمیر نشان می‌دهد فرض ادعا مبنی بر بهبود زمان بین‌خرابی و زمان انجام تعمیرتجهیزات مورد تأیید می‌باشد.

بررسی اثر استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری:

جهت بررسی معنی داری اثر استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری آزمون مربوط طبق نتایج ارائه شده در جداول زیر انجام شد. فرضیات مرتبط با اثرگذاری استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان در جدول چهار ارائه شده است.

جدول 4: فرموله بندی فرضیات اثرگذاری استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری

فرضیه اول	H ₀ : استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر ندارد. H ₁ : استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر دارد.
فرضیه دوم	H ₀ : استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود زمان تعمیر تجهیزات تأثیر ندارد. H ₁ : استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود زمان انجام تعمیر تجهیزات تأثیر دارد.

جدول 5: آزمون فرضیات مرتبط با اثر نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری

شاخص	آماره تی	اختلاف میانگین	سطح معنی داری	فاصله اطمینان 95% برای تفاوت میانگین ها		تایید یا رد فرضیه
				حد بالا	حد پایین	
شاخص MTBF	4,19	-5,12	0,078	3,6	-2,5	تایید فرضیه
شاخص MTTR	3,24	-4,43	0,088	25,3	-1,1	تایید فرضیه

اختلاف میانگین نمونه با مقدار مورد آزمون (135 روز) در شاخص MTBF و 5 روز در شاخص MTTR فاصله اطمینان متمرکز حول میانگین به دست آمده (جدول یک) را تأیید می کند. براساس نتایج به دست آمده از تحلیل داده ها برای دومین دسته از فرضیات تحقیق می توان اذعان کرد، سطح معنی داری در بررسی هر دو شاخص میانگین زمان بین خرابی، میانگین زمان تعمیر نشان می دهد فرض ادعا مبنی بر بهبود زمان بین خرابی و زمان انجام تعمیر تجهیزات مورد تأیید می باشد.

بررسی اثر استراتژی نت ترکیبی بر شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری:

با توجه اینکه آزمایش‌های درون‌موردی نمونه‌های وابسته از داده‌ها را در اختیار می‌گذارند این گونه داده‌ها معمولاً دارای دو متغیر هستند که حالات پیش و پس از یک رویداد را مورد مطالعه قرار می‌دهند. با از آنجا که تحقیق حاضر اثر استراتژی‌های نت را قبل و بعد از اجرا استراتژی بر شاخص‌های میانگین فاصله زمانی بین خرابی تجهیزات و متوسط زمان بین خرابی مورد مقایسه قرار می‌دهد، شایسته است از آزمون تی زوجی که نتایج آن در جدول‌های زیر ارائه شده بهره‌مند گردیم. در دسته سوم فرضیات بررسی شده در این تحقیق که مهمترین بررسی انجام شده می‌باشد، تلاش شده است تا تأثیر به کارگیری اجرای استراتژی نت ترکیبی (نت بهره‌ور فراگیر و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان) قبل و بعد از اجرای استراتژی مورد مقایسه و بررسی قرار گیرد. فرموله بندی این دسته از فرضیات در جدول شش ارائه شده است.

جدول 6: فرموله بندی فرضیات اثرگذاری استراتژی نت ترکیبی بر بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری

فرضیه	H ₀ : استراتژی نت ترکیبی بر بهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر ندارد.
اول	H ₁ : استراتژی نت ترکیبی بر بهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر دارد.
فرضیه	H ₀ : استراتژی نت ترکیبی بر بهبود زمان انجام تعمیر تجهیزات تأثیر ندارد.
دوم	H ₁ : استراتژی نت ترکیبی بر بهبود زمان انجام تعمیر تجهیزات تأثیر دارد.

جدول 7: آزمون فرضیات مرتبط با اثر استراتژی ترکیبی بر بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری

شاخص	آماره تی	اختلاف میانگین	سطح معنی داری	فاصله اطمینان 95% برای تفاضل میانگین‌های 2 جامعه وابسته	تایید یا رد فرضیه
شاخص MTBF	2,69	59,43	0,027	از 8,57 تا 110,3 (روز)	تایید فرضیه
شاخص MTTR	2,90	12,27	0,02	از 2,52 تا 22,02 (ساعت)	تایید فرضیه

طبق نتایج ارائه شده در جدول 7 به کارگیری روش ترکیبی برای شاخص میانگین فاصله زمانی در دستگاه‌های تراش CNC موجب بهبود وضعیت می شود زیرا که میانگین جامعه شاخص میانگین زمان بین خرابی در این دو روش با یکدیگر تفاوت معناداری دارند ($P\text{-Value} = 0.027 < 0.05$) و در ضمن متوسط تفاضل میانگین زمان خرابی دستگاه ها در 2 روش با اطمینان 95% از 8,57 تا 110,3 (روز) است. همچنین طبق نتایج حاصل شده (جدول 7) به کارگیری روش ترکیبی برای شاخص میانگین زمان انجام تعمیر در دستگاه های تراش CNC موجب بهبود وضعیت می شود، زیرا میانگین جامعه شاخص میانگین زمان انجام تعمیر در این دو روش با یکدیگر تفاوت معناداری دارند ($P\text{-Value} = 0.02 < 0.05$) و در ضمن تفاضل متوسط زمان انجام تعمیر دستگاهها در هر دو روش با اطمینان 95% از 2,52 تا 22,02 (ساعت) می باشد.

تحلیل ضریب همبستگی درون گروهی برای شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری

در آخرین آزمون فرضیه تحقیق ضریب همبستگی درون گروهی برای میانگین زمان بین خرابی و میانگین زمان تعمیر مطابق نتایج ارائه شده در جدول ذیل مورد بررسی قرار گرفت.

جدول 8: نتایج آزمون ضریب همبستگی درون گروهی برای شاخص های ارزیابی قابلیت

اطمینان و تعمیر پذیری

شاخص	ضریب همبستگی درون گروهی	سطح معنی داری
شاخص MTBF	0,41	0,052
شاخص MTTR	0,086	0,344

طبق نتایج آزمون ضریب همبستگی درون گروهی برای هر یک از این دو شاخص در روش اندازه گیری روی هر دستگاه نتایج مشابه نداشته است ($P\text{-Value} = 0.052 > 0.05$). مقادیر ضریب همبستگی درون گروهی جهت شاخص میانگین زمان انجام تعمیر با فاصله اطمینان 95% در دامنه از 0,133 تا 0,814 و ضریب همبستگی درون گروهی 0,41 است که نشان دهنده این مطلب است که بر روی دستگاهها نتایج مشابه نداشته اند و همچنین مقادیر ضریب همبستگی درون گروهی برای شاخص میانگین زمان تعمیر با

فاصله اطمینان 95% در دامنه از 0,226 تا 0,571 و ضریب همبستگی درون گروهی 0,086 است که نشان دهنده این مطلب است که بر روی دستگاه‌ها نتایج مشابه نداشته‌اند یعنی (P-Value = 0.344 > 0.05) است.

بحث و بررسی و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد هر یک از سه استراتژی معرفی شده در تحقیق حاضر اثر مثبت و معنی‌داری در بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری دارند. اگر چه تمام فرضیات تحقیق مورد تأیید قرار گرفت اما می‌بایست توجه نمود استراتژی نت ترکیبی اثر بالاتری در بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری دارد و مشاهدات ثبت شده در عملیات کارخانه مورد مطالعه همین نکته را تأیید می‌کند. استراتژی نت ترکیبی موجب می‌شود تا کاهش خرابی تجهیزات بسیار بسیار کمتر از حالات قبلی گردد و در شاخص میانگین زمان تعمیر اجرای این استراتژی موجب می‌گردد تا خط تولید متوقف شده بتواند سریعتر به سیکل تولید باز گردد و راندمان بالاتری داشته باشد. توجه به شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری همواره مورد توجه تحقیقات بسیاری (چونگ¹، 2014. گاوو و چن²، 2013. دای و لی³، 2013. پوواناسواران و همکاران⁴، 2014. کان و همکاران⁵، 2015. براگلیا و همکاران⁶، 2012. وو و همکاران⁷، 2013، آلتوو و همکاران⁸، 2015. آلتوو و همکاران⁹، 2016. لویا و همکاران¹⁰، 2014. هوتا و همکاران¹¹، 2014. گاپوتا¹²، 2013. دونگ و همکاران¹³، 2014. دونگ و همکاران¹⁴، 2014) بوده است زیرا سازمان‌ها

1. Chong, A. B. (2014).
2. Guo, B., & Chen, J. (2013).
3. Dai, Y., & Li, B. Q. (2013).
4. Puvanasvaran., et al., (2014).
5. Kan, et al. (2015).
6. Braglia, et al. (2012).
7. Wu, et al. (2013).
8. Altuve, et al. (2015).
9. Altuve, et al. (2016).
10. Leiva, et al. (2014).
11. Hotta, et al. (2014).
12. Gupta, et al. (2013).
13. Dong, H., et al. (2014).
14. Dong, Z., et al. (2014).

از طریق کنترل و بهینه سازی این دو شاخص می توانند موجبات افزایش بهره وری، سودآوری را برای سیستم تولید و عملیاتی خود فراهم نمایند. به همین جهت در این تحقیق دو مؤلفه ذکر شده مورد توجه قرار گرفت. یکی از دلایلی که باعث ترکیب دو استراتژی نت بهره ور فراگیر و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان در شرکت مورد مطالعه شد، این است که با توجه به نت های جاری که برای کلیه تجهیزات انجام می گیرد امکان دارد در لحظه ای از زمان تعدادی از تجهیزات که دارای بخش های مختلفی هستند و پیچیدگی خاصی دارند از دسترس خارج گردند و یا به عبارتی، با خرابی یا توقف در این تجهیزات سایر تجهیزات خراب گردند یا خط کل خط تولید متوقف شود. لذا با توجه به تحمل هزینه های گزاف برای سازمان شایسته بود تا با دقت در انجام بازدیدها و دقیق تر شدن محاسبات سیستم های مبتنی بر قابلیت اطمینان با کارایی و اثربخشی بالاتری برای بخش های پیچیده تر تجهیزات مورد بهره برداری قرار گرد و در کنار آن نت بهره فراگیر برای کل تجهیز توأماً مورد استفاده قرار گیرد تا بتوان از طریق این استراتژی پارامترها و متغیرها تحت کنترل بالاتری قرار داشته باشند و در نهایت بتوان زمان بالاتری برای تولید در اختیار داشت و راندمان تولید را افزایش داد. لذا می توان نتیجه گرفت با تأکید بر اهمیت بهینه سازی دو شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری استراتژی نت ترکیبی استراتژی نت مناسب برای مورد مطالعه شده می باشد. محققان پیشنهاد می کنند تحقیقات آتی مؤلفه های مرتبط و اثرگذار بر انتخاب یک استراتژی نت را با به کارگیری مدل سازی ساختاری تفسیری شناسایی نمایند و با بهره مندی از نقشه شناختی فازی مناسب ترین مؤلفه ها در انتخاب یک استراتژی نت را برگزینند و با یک سیستم استنتاج فازی استراتژی های مورد نظر خود را مورد بررسی قرار دهند و نتایج حاصل از این چارچوب را با نتایج حاصل از اجرای روش های در حال اجرای یک سازمان صنعتی مقایسه کنند.

References

- Afsar, A., Jafarnejad, A., & Sadeghimoghadam, M. (2007), Gas-Station Predictive Maintenance Planning with Hybrid Model of Fuzzy Neural Network and PCA. *Business Strategies*, 1(20), 37-48, (In Persian).
- Aghaii, A., Akbari, M., & Mohamadi, K. (2011), Investigation Factors Affecting the Implementation of Preventive Maintenance Notes NAJA Vehicles. *Towsee Human Resource Management*, 22,109-132, (In Persian).
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008), Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709-756.
- Alam Tabriz, A., & Bahrami, M. (2009), Assessment of Readiness for Implementation of TPM (Case Study in Iran Chassis Maker Company). *Industrial Management Studies*, 13, 1-18, (In Persian).
- Altuve, H. J., Zimmerman, K., & Tziouvaras, D. (2015), Maximizing Line Protection Reliability, Speed, and Security.
- Altuve, H. J., Zimmerman, K., & Tziouvaras, D. (2016). Maximizing Line Protection Reliability, Speed, and Sensitivity.
- Baluch, N., Abdullah, C. S. B., & Mohtar, S. B. (2011), Maintenance Management Performance-an Overview Towards Evaluating Malaysian Palm Oil Mill. *The Asian Journal of Technology Management (AJTM)*, 3(1).
- Bhadury, B. (2000), Management of Productivity through TPM. *Productivity*, 41(2), 240-251.
- Braglia, M., Carmignani, G., Frosolini, M., & Zammori, F. (2012), Data Classification and MTBF Prediction with a Multivariate

- Analysis Approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 97(1), 27-35.
- Chemweno, P., Morag, I., Sheikhalishahi, M., Pintelon, L., Muchiri, P., & Wakiru, J. (2016), Development of a Novel Methodology for Root Cause Analysis and Selection of Maintenance Strategy for a thermal Power Plant: A Data Exploration Approach. *Engineering Failure Analysis*, 66, 19-34.
- Chong, A. B. (2014), Product Level MTBF Calculation. 5th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation.
- Dai, Y., & Li, B. Q. (2013), The Interval Estimation of MTBF Based on Markov Chain Monte Carlo Method. 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management.
- Dong, H., Zhu, J., Zhu, K., & Shi, Y. (2014), Maintainability Assessment of a Complex System Based on Field Data. *Proceedings of the First Symposium on Aviation Maintenance and Management*.
- Dong, Z., Chuan, L., Yongxiang, L., & Zhiqi, G. (2014), A System's Mean Time To Repair Allocation Method Based on the Time Factors. *Quality and Reliability Engineering International*, 30(2), 247-256.
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Lashgari, A., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2012), Maintenance Strategy Selection Using AHP and Copras under Fuzzy Environment. *International Journal of Strategic Property Management*, 16(1), 85-104.

- Guo, B., & Chen, J. (2013), Analysis of MTBF/MTTR for Logistics Service System. Fourth International Conference on Transportation Engineering.
- Gupta, P., Gupta, S., & Gandhi, O. P. (2013), Modelling and Evaluation of Mean Time to Repair at Product Design Stage Based on Contextual Criteria. *Journal of Engineering Design*, 24(7), 499-523.
- Haj Shir Mohammadi, A. (2007), Total Productive Maintenance. Esfahan: Arkan Publication, (In Persian).
- Haj Shir Mohammadi, A. (2004), Maintenance Planning. Esfahan: Ghazal Publication, (In Persian).
- Hotta, G., Kanetake, N., Nishimura, T., Ohbuchi, Y., & Sakamoto, H. (2014), Analysis of the Human Factor which Affects the Reliability of Machinery. *Zairyo/Journal of the Society of Materials Science*, 63(2), 149-153.
- Ilangkumaran, M., & Kumanan, S. (2009), Selection of Maintenance Policy for Textile Industry Using Hybrid Multi-Criteria Decision Making Approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(7), 1009-1022.
- Jafari, a., Jafarian, m., Zareei, a., & Zaerpour, F. (2008), Using Fuzzy Delphi Method in Maintenance Strategy Selection Problem, *Journal of Uncertain Systems*, 2(4), 289-298.
- Kan, Y., Zhu, X., Wang, L., Xu, B., Yang, Z., & Li, H. (2015), Comparison between Bayesian Method and LSE in Estimating MTBF of NC Machine Tools. *Computer Science and Mechanical Automation (CSMA)*.
- Khaki, Gh. (2011), Research Methodology with Dissertational Approach. Tehran: Baztab Publication, (In Persian).

- Kolahan, F., Doust Parast, & M., Mamourian, M. (2007), Determine the Type and Timing of Optimal Maintenance and Preventive Maintenance of Multi-Component Systems Based on Reliability. *Journal of Algorithms and Computation*, 41, 511-523, (In Persian).
- Leiva, G. P. A., Curilem, M., Araya, B., Miranda, R., & Garrido, F. (2014), Predictive Models Applied to Heavy Duty Equipment Management. *Mexican International Conference on Artificial Intelligence*.
- Moubray, J. (2010), *Reliability-Centered Maintenance*. Tehran: Ariyana Ghalam Publication, (In Persian).
- Movahhedi, M., Rezaee Nosraty, V., & Yazdani, A. (2009), Condition Monitoring (CM): A Solution for Reducing the Industry Expenses. *Journal of Development & Evolution Mngement*, 1, 59-65, (In Persian).
- Nezami, F. G., & Yildirim, M. B. (2013), A Sustainability Approach for Selecting Maintenance Strategy. *International Journal of Sustainable Engineering*, 6(4), 332-343.
- Nikolopoulos, K., Metaxiotis, K., Lekatis, N., & Assimakopoulos, V. (2003), Integrating Industrial Maintenance Strategy into ERP. *Industrial Management & Data Systems*, 3(3), 184-191.
- Nilipor Tabatabaai, A., Bagherzadeniri, M., & Shabani Sichani, M. (2007), Design of the Applied Model of Balanced Assessment of the Maintenance System. *5th International Management Conference*, (In Persian).
- Pinjala, S. K., Pintelon, L., & Vereecke, A. (2006), An Empirical Investigation on the Relationship between Business and

- Maintenance Strategies. *International Journal of Production Economics*, 104(1), 214-229.
- Puvanavar, A. P., Teoh, Y.S., & Tay, C.C.(2014), Interrelationship Between Availability with Planning Factor and Mean Time Between Failures (MTBF) in Overall Equipment Effectiveness (OEE). *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 6(2).
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005), FLM to Select Suitable Maintenance Strategy in Process Industries Using MISO Model. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 11(4), 359-374.
- Swanson, L. (2001), Linking Maintenance Strategies to Performance. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 237-244.
- Tajadod, M., Abedini, M., Rategari, A., & Mobin, M.(2016), A Comparison of Multi-Criteria Decision Making Approaches for Maintenance Strategy Selection (A Case Study). *International Journal of Strategic Decision Sciences (IJSDS)*, 7(3), 51-69.
- Velmurugan, R. S., & Dhingra, T. (2015), Maintenance Strategy Selection and its Impact in Maintenance Function: A Conceptual Framework. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(12), 1622-1661.
- Venkatesh, J.(2007), An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM). The Plant Maintenance Resource Center.
- Vishnu, C. R., & Regikumar, V.(2016), Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology*, 25, 1080-1087.

- Wal, R. W. E., & Lynn, D. (2002), Total Productive Maintenance in a South African Pulp and Paper Company: A Case Study. The TQM Magazine. 14(6), 356-366.
- Wu, X., Xu, D., Wang, B. Q., & Mu, G. (2013), Equipment MTTR Demonstration Method Based on Virtual Simulation. Mechanics and Materials, 401, 1855-1858.
- Xia, W., Shi, Q., Wang, F., Ge, H., & Chen, C. (2016), Research on Network Maintenance Strategy Selection Based on Analytic Hierarchy Process and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution Algorithm. Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), 21(5), 588-593.
- Zaim, S., Turkyilmaz, A., Acar, M. F., Al-Turki, U., & Demirel, O. F. (2012), Maintenance Strategy Selection Using AHP and ANP Algorithms: A Case Study. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 18(1), 16-29.

