«مدیریت بهره‌وری»
سال یازدهم- شماره چهل و دو – پاییز ۱۳۹۶
ص ص: ۱۹۵ – ۱۷۵
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۴

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

دکتر چنگیز والمحمدی*[۱]
جواد صوفیابادی[۲]
فخرالدین لطف زاده[۳]

چکیده

هدف تحقیق حاضرانتخاب 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 شاخص‌های 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 می‌دهد، استراتژی نت ترکیبی موجب بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری و افزایش بهره‌وری ماشین آلات و تجهیزات می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نت بهره ورفراگیر، نت مبتنی بر قابلیت اطمینان، میانگین زمان بین خرابی، میانگین زمان تعمیر.

۱-دانشیار،گروه مدیریت فناوری و اطلاعات، واحد تهران جنوب،دانشگاه آزاد اسلامی،تهران، ایران. (نویسنده مسؤول). ch_valmohammadi@azad.ac.ir
۲-کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاداسلامی، فیروزکوه. تهران،ایران j.sofiyabadi@gmial.com
۳-کارشناس ارشد، مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران جنوب. تهران، ایران.

مقدمه

بهنیه‌سازی عملیات و فعالیت های نگهداری و تعمیرات با توجه به تحولات مستمر حوزه فن آوری، رقابت اقتصادی حاکم بر صنایع و مسایل زیست محیطی و ایمنی از جمله چالش هایی است (ول موروگان و دهینگرا[1]،۲۰۱۵) که مدیران را ترغیب می نماید تا با طراحی و انتخاب استراتژی‌های نت، علاوه بر افزایش عمر مفید و عملکرد دارایی‌ها (فولادگر و همکاران، ۲۰۱۲) الگویی کامل، منسجم، یکپارچه و هماهنگ با تولید و عملیات (نیکولوپولوس و همکاران، ۲۰۰۳) را در جهت کمک به تداوم تولید(نیلی پور طباطبانی، ۱۳۸۶) مورد بهره برداری قراردهند. اگرچه سازمان های تولیدی به صورت عمومی اهدافی نظیر ایمنی، هزینه، ارزش افزوده وامکان پذیری اجرای استراتژی را از اجرای استراتژی های نت دنبال می نمایند(شارما و همکاران[2]،۲۰۰۵. آقایی و همکاران، ۱۳۹۰) اما اهداف دیگری همانند، پیشگیری از خرابی ناگهانی ماشین آلات و تجهیزات (الیس، ۲۰۰۸)، دستیابی به اهداف سازمانی و افزایش بهره وری(جعفری و همکاران، ۲۰۰۸) حداقل نمودن خرابی های ناگهانی(شارما، ۲۰۰۵)، کم کردن خطرات برای انسان و محیط بواسطه خرابی ناگهانی ماشین آلات (موحدی و همکاران، ۱۳۸۸)، حفظ پایایی تولید، در دسترس بودن ماشین آلات، 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، ۲۰۱۲) مورد تأکید محققان می باشد. باید توجه داشت که انتخاب و اجرای هر استراتژی نت می بایست اهداف فوق را تأمین کند. بنابراین، شایسته است که مدیران نت با توجه به سیاست های مرتبط با تولید و عملیات سازمان، به انتخاب استراتژی مناسب بپردازند تا بتوانند با ایجاد توازن در عملیات، شاخص های ارزیابی نظیر دردسترس بودن، قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری را در سطح بهینه نگه دارند.

اغلب پژوهش های انجام شده پیرامون موضوع انتخاب استراتژی، متمرکز بر بهره‌مندی از روش های پیچیده تحقیق در عملیات می باشد. 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 می‌دهد که بتوانند با اطمینان خاطر و با تأکید بر صحت انتخاب‌های 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(۲۰۱۳) در پژوهش خود با تأکید بر مؤلفه های تعالی کسب و کار، عوامل اقتصادی، عوامل مؤثر انسانی و اجتماعی زیرمعیارهای پایداری[1] و با استفاده از تکنیک ویکور فازی بهترین استراتژی نت را انتخاب نموده است. ویشنا و رجیکومار[2] (۲۰۱۶) 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 (۲۰۱۶) 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 همکاران[3](۲۰۱۶) با بهره مندی از تکنیک های ترکیبی تصمیم گیری چند معیاره به انتخاب شبکه استراتژی نت[4] پرداخته اند. جمونو و همکاران[5](۲۰۱۶) در یک نیروگاه حرارتی باتوسعه یک روش نوین با تجزیه وتحلیل چند متغیره، نقشه برداری علی و توسعه روش اجرایی تحلیل علل ریشه ای وقایع[6] (خرابی‌ها 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 وکاهش زمان تعمیرتجهیزات 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.

نوساتات و تأخیرها می تواند زیان های هنگفتی را به سازمان تحمیل نماید. بنابر این شایسته است، استراتژی مناسبی جهت کنترل و بهبود این شاخص ها انتخاب و اجرا شود. این پژوهش می کوشد، تا با بررسی و مقایسه تأثیر سه استراتژی(نت بهره ور فراگیر، نت مبتنی بر قابلیت اطمیان و نت ترکیبی از دو روش ذکر شده) بهترین استراتژی نت را بر اساس میزان اثر گذاری بر بهبود شاخص میانگین فاصله زمان بین خرابی[1] و میانگین زمان انجام تعمیر[2] انتخاب کند. تحقیق حاضر در پنج بخش سازماندهی شده است: در بخش دوم به مرور تئوری استراتژی نت(نت بهره ور و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان) پرداخته ایم. بخش سوم روش تحقیق و فرمول بندی فرضیه های تحقیق را مدنظر قرار می دهد و در بخش چهارم اجرای روش تحقیق و تحلیل داده ها مورد بررسی قرار گرفته است و در انتها مقاله با بحث و بررسی و نتیجه گیری پایان پذیرفته است. این پژوهش می کوشد تا برای سؤال ذیل پاسخی علمی، دقیق و کاربردی را ارائه نماید:

کدام یک از استراتژی های(نت بهره ور فراگیر، نت مبتنی بر قابلیت اطمیان و نت ترکیبی) می تواند بر بهبود شاخص های میانگین فاصله زمان بین خرابی و میانگین زمان انجام تعمیر تأثیر گذار باشد؟

استراتژی های نگهداری و تعمیرات[3]

استراتژی نشان دهندۀ 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 همکاران[4]، ۲۰۰۶). استراتژی نت مجموعه ای منسجم، نظام مند، هماهنگ و در راستای تولید است که به منظورحفاظت از تجهیزات و دارایی های شرکت متناسب با نیازها، نوع تولیدات، هزینه های قابل تأمین، نیروی انسانی کارآمد و مانند آن تدوین می گردد. چنانچه بتوان براساس تعریف فوق استراتژی نت را تشریح کرد می توان اذعان داشت رابطه استراتژی های نت و استراتژی های 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. سوانسون[1] (۲۰۰۱) معتقد است استراتژی های نت را می توان به سه دسته استراتژی‌های واکنشی، بازدارنده و تهاجمی طبقه‌بندی نمود. استراتژی‌های واکنشی همان استراتژی های مبتنی بر خرابی می باشند. استراتژی های بازدارنده همان استراتژی های مبتنی بر پیشگویی و پیشگری می باشند، بگونه‌ای 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 فراگیر[2]

نت بهره ور فراگیر یک مفهوم ابداعی ژاپنی است(آهوجا و همکاران[3]، ۲۰۰۸. زعیم و همکاران[4]، ۲۰۱۲. ونکاتش[5]، ۲۰۰۵)که می توان آن را پاسخی ژاپنی برای سازگاری با شرایط صنعت(حاج شیرمحمدی، ۱۳۸۶) به سبک نگهداری بهره ور امریکایی دانست (وال و همکاران[6]، ۲۰۰۲). نت بهره ورفراگیر 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 (بالوچ[7]، ۲۰۱۱). می بایست توجه داشت نت بهره ور فراگیر همه بخش های کارخانه (عالم تبریز و همکاران، ۱۳۸۸) و تمام پرسنل را درگیر کند تا شرایط نامساعد را برطرف نماید (بهادری، ۲۰۰۰. افسر نژاد و همکاران، ۱۳۸۵). 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 بر داشتن" 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 توقف های کوتاه مدت ماشین آلات، کاهش سرعت، وجود خطا در فرآیند تولید و کاهش عملکرد ناشی از آن می باشند. این استراتژی به عنوان محتمل ترین استراتژی در جهت بهبود عملکرد نگهداری ماشین آلات شناخته شده و برای موفقیت در عرصه بازار مورد پذیرش قرار گرفته است (آهوجا و همکاران، ۲۰۰۸). نت بهره ور فراگیر به عنوان یک رویکرد مشارکتی در نگهداری شناخته می شود. تحت لوای این استراتژی گروه ها یا تیم های کوچک کاری با ایجاد رابطه همکاری بین عملیات نگهداری و تولید به پیشبرد عملیات نگهداری کمک می کنند. به علاوه آنکه در این روش کارگران تولید در امر نگهداری درگیر شده و بدان ها اجازه می دهند 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، ۲۰۰۱).

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان[1]

قابلیت اطمینان از معیارهای مهم در ارزیابی عملکرد تجهیزات به شمار می رود. به طوریکه در برنامه ریزی نت سیستم های صنعتی سعی می شود همواره سطح مطلوبی از قابلیت اطمینان حفظ شود(کلاهان و همکاران، ۱۳۸۶). این روش در دهه ۱۹۶۰ و توسط شرکت های تولید کننده هواپیما، خطوط هوایی و دولت ایالات متحده ابداع گردید. موبری (۱۳۸۹) نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان را اینگونه تعریف کرده است فرآیندی که برای تعیین فعالیت هایی که برای نگاهداشتن دارایی‌های فیزیکی در سطح مشخصی از کارایی حفظ کارکرد آنها مطابق با نظر استفاده کننده آنها ضرورت دارد. نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان را بعنوان فرآیندی ساختار یافته و منطقی برای بهسازی یا بهینه سازی الزامات نگهداری دارایی های فیزیکی در زمینه کارکردی شان که به منظور تحقق قابلیت اطمینان ذاتی (به عنوان سطحی از قابلیت اطمینان که با استفاده از یک

1. Reliability centered maintenance

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 همکاران[1]، ۲۰۰۹).

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، ۱۳۹۰). 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 پیشگیریانه، نمودار علت ومعلولی و تدوین روش اجرایی آنالیز اثرات وحالات 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 ابزار ها 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

1. Ilangkumaran، et al.(2009)

جامع تر، تحلیل صحیح تری را ارائه کنیم. پژوهش حاضر پاسخی علمی برای مسأله انتخاب استراتژی ارائه نموده است و با پاسخ به فرضیه های زیر تلاش کند تا با ارائه تحلیل های کاربردی به بهبود بهره وری عملیات و تولید سازمان مورد مطالعه کمک نماید. فرضیات تحقیق به شرح ذیل در ادامه پژوهش قابل بررسی است:

- استراتژی نت بهره ور، بر بهبود شاخص های میانگین فاصله زمانی بین خرابی و میانگین زمانی انجام تعمیر مؤثراست.
- 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 مؤثراست.

روش های کلموگراف– اسمیرنوف، آزمون میانگین یک جامعه، آزمون تی زوجی و ضریب همبستگی درون گروهی[1] جهت تحلیل داده های تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. شایان تأکید است، روش ضریب همبستگی درون گروهی بیانگر این است که، آیا اندازه گیریهای مکرر روی اعضای نمونه(جامعه)دقیقا با هم تطبیق دارد یا خیر. روش آماری ضریب همبستگی درون گروهی، آزمون آماری با توان بالاتری نسبت به ضریب همبستگی پیرسون است. نتایج کلیه آزمون ها آماری درسطح معنی داری ۵ ٪ (α= ۰,۰۵) بررسی شده اند.

تحلیل داده های تحقیق

تحلیل های تحقیق حاضر با توجه به مقایسه اثرگذاری هر یک از استراتژی های 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 دوخرابی را با نمادMTBF نمایش می دهیم(حاج شیرمحمدی ،۱۳۸۳). متوسط زمان بین خرابی شاخصی مثبت است، به عبارتی ما در نت به دنبال افزایش این

1. Intraclass Correlation Coefficient

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 بازگردانیدن آن به شرایط مشخص و تعریف شده، با استفاده از امکانات مشخص و تعیین شده(حاج شیرمحمدی،۱۳۸۳). 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 ۱: نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرنوف

	MEAN ±SD			C.V			P-Value		
	روش TPM	روش RCM	روش TPM+RCM	روش TPM	روش RCM	روش RCM TPM+	روش TPM	روش RCM	روش TPM+RCM
شاخص MTBF	۱۱۵,۹۸ ±۳۷,۰۲	۱۴۰ ±۶۲,۵	۱۷۵,۴ ±۹۰,۸۵	۰,۳۱	۰,۴۴	۰,۵۱	۰,۰۶۸	۰,۰۸۹	۰,۲۰
شاخص MTTR	۱۵,۲۸ ± ۱۳,۵۷	۶,۳۳ ±۳,۳۵	۳,۰۱ ± ۲,۰۳	۰,۸۸	۰,۵۱	۰,۶۷	۰,۱۶۴	۰,۰۹۲	۰,۲۰

طبق نتایج جدول فوق سطح معنی داری در هر سه استراتژی انتخاب شده از ۰,۰۵ 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 برشاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی اثر استراتژی نت بهره ور برشاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری:

جهت بررسی معنی داری اثر استراتژی نت بهره فراگیر بر شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری آزمون میانگین یک جامعه طبق نتایج ارائه شده در جداول زیر انجام شد. فرضیات مرتبط با اثرگذاری است استراتژی نت بهره ور فراگیر در جدول دو ارائه شده است.

جدول۲: فرموله بندی فرضیات اثرگذاری استراتژی نت بهره ور فراگیر بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان وتعمیر پذیری

فرضیه اول	H_0: استراتژی نت بهره ور فراگیر بر بهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر ندارد. H_1: استراتژی نت بهره ور فراگیر بر بهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر دارد.
فرضیه دوم	H_0: استراتژی نت بهره ورفراگیر بربهبود زمان انجام تعمیرتجهیزات تأثیر ندارد. H_1: استراتژی نت بهره ورفراگیر بربهبود زمان انجام تعمیر تجهیزات تأثیر دارد.

جدول۳: آزمون فرضیات مرتبط با اثر نت بهره فراگیر بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان وتعمیر پذیری

شاخص	آماره تی	اختلاف میانگین	سطح معنی داری	فاصله اطمینان ۹۵ ٪برای تفاوت میانگین ها		تایید یا رد فرضیه
				حد پایین	حدبالا	
شاخص MTBF	3.69	-4.124	0.127	-8.5	6.2	تایید فرضیه
شاخص MTTR	2.90	-3.34	0.089	-2.3	3.5	تایید فرضیه

اختلاف میانگین نمونه با مقدار مورد آزمون(۱۱۰ روز) در شاخص MTBF و ۱۳ روز در شاخص MTTR فاصله اطمینان متمرکز حول میانگین به دست آمده (جدول یک) را تأیید می کند. همچنین براساس نتایج به دست آمده از تحلیل داده ها برای اولین دسته از فرضیات تحقیق می توان اذعان نمود، 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 مبتنی بر قابلیت اطمینان برشاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری:

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

جدول٤: فرموله بندی فرضیات اثرگذاری استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان وتعمیر پذیری

فرضیه اول	H0: استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بربهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر ندارد H_1 :استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بربهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر دارد .
فرضیه دوم	H0: استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود زمان تعمیر تجهیزات تأثیر ندارد. H_1: استراتژی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بربهبود زمان انجام تعمیر تجهیزات تأثیر دارد.

جدول٥: آزمون فرضیات مرتبط با اثر نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان وتعمیر پذیری

شاخص	آماره تی	اختلاف میانگین	سطح معنی‌داری	فاصله اطمینان ۹۵ ٪برای تفاوت میانگین ها		تایید یا رد فرضیه
				حد پایین	حدبالا	
شاخص MTBF	۴,۱۹	-۵,۱۲	۰,۰۷۸	-۲,۵	۳.۶	تایید فرضیه
شاخص MTTR	۳,۲۴	-۴,۴۳	۰,۰۸۸	۱.۱-	۲۵.۳	تایید فرضیه

اختلاف میانگین نمونه با مقدار مورد آزمون(۱۳۵ روز) در شاخص MTBF و ۵ 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 می‌توان اذعان کرد، سطح معنی‌داری 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 برشاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری:

با توجه اینکه آزمایش‌های درون موردی نمونه‌های وابسته از داده‌ها را در اختیار می‌گذارند این گونه داده ها 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 جدول های 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 برقابلیت 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.

جدول٦: فرموله بندی فرضیات اثرگذاری استراتژی نت ترکیبی بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان وتعمیر پذیری

فرضیه اول	H_0: استراتژی نت ترکیبی بربهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر ندارد. H_1: استراتژی نت ترکیبی بربهبود شاخص زمان بین خرابی تأثیر دارد.
فرضیه دوم	H_0: استراتژی نت ترکیبی بربهبود زمان انجام تعمیر تجهیزات تأثیر ندارد. H_1: استراتژی نت ترکیبی بربهبود زمان انجام تعمیر تجهیزات تأثیر دارد.

جدول۷: آزمون فرضیات مرتبط با اثر استراتژی ترکیبی بر بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان وتعمیر پذیری

شاخص	آماره تی	اختلاف میانگین	سطح معنی داری	فاصله اطمینان ۹۵ ٪برای تفاضل میانگین های ۲ جامعه وابسته	تایید یا رد فرضیه
شاخص MTBF	۲,۶۹	۵۹,۴۳	۰,۰۲۷	از۸,۵۷ تا۱۱۰,۳ (روز)	تایید فرضیه
شاخص MTTR	۲,۹۰	۱۲,۲۷	۰,۰۲	از۲,۵۲ تا ۲۲,۰۲ (ساعت)	تایید فرضیه

طبق نتایج ارائه شده در جدول ۷ به کارگیری روش ترکیبی برای شاخص میانگین فاصله زمانی در دستگاه‌های تراشCNC موجب بهبود وضعیت می شود زیرا که میانگین جامعه شاخص میانگین زمان بین خرابی در این دو روش با یکدیگر تفاوت معناداری دارند (P-Value = 0.027 < 0.05) و در ضمن متوسط تفاضل میانگین زمان خرابی دستگاه ها در ۲ روش با اطمینان ۹۵ ٪ از۸,۵۷ تا ۱۱۰,۳ (روز) است. همچنین طبق نتایج حاصل شده (جدول۷) 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-Value = 0.02 < 0.05) و در ضمن تفاضل متوسط زمان انجام تعمیر دستگاهها در هر دو روش با اطمینان ۹۵ ٪از ۲,۵۲ تا ۲۲,۰۲ (ساعت) می باشد.

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

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.

جدول۸: نتایج آزمون ضریب همبستگی درون گروهی برای شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان وتعمیر پذیری

شاخص	ضریب همبستگی درون گروهی	سطح معنی داری
شاخصMTBF	۰,۴۱	۰,۰۵۲
شاخصMTTR	۰,۰۸۶	۰,۳۴۴

طبق نتایج آزمون ضریب همبستگی درون گروهی برای هر یک از این دو شاخص در روش اندازه‌گیری روی هر دستگاه نتایج مشابه نداشته است(P-Value=0.052>0.05). مقادیر ضریب همبستگی درون گروهی جهت شاخص میانگین زمان انجام تعمیر با فاصله اطمینان ۹۵٪ در دامنه از از ۰,۱۳۳ تا ۰,۸۱۴ و ضریب همبستگی درون گروهی ۰,۴۱ است که نشان دهنده این مطلب است که بر روی دستگاه‌ها نتایج مشابه نداشته‌اند و همچنین مقادیر ضریب همبستگی درون گروهی برای شاخص میانگین زمان تعمیر با

فاصله اطمینان ۹۵٪ در دامنه از از ۰,۲۲۶ تا ۰,۵۷۱ و ضریب همبستگی درون گروهی ۰,۰۸۶ 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 نتیجه گیری

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل های انجام شده نشان می دهد هر یک از سه استراتژی معرفی شده در تحقیق حاضر اثر مبثت و معنی داری در بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری دارند. اگر چه تمام فرضیات تحقیق مورد تأیید قرار گرفت اما می بایست توجه نمود استراتژی نت ترکیبی اثر بالاتری در بهبود شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری دارد و مشاهدات ثبت شده در عملیات کارخانه مورد مطالعه همین نکته را تایید می کند. استراتژی نت ترکیبی موجب می شود تا کاهش خرابی تجهیزات بسیار بسیار کمتر از حالات قبلی گردد و در شاخص میانگین زمان تعمیر اجرای این استراتژی موجب می گردد تا خط تولید متوقف شده بتواند سریعتر به سیکل تولید باز گردد و راندمان بالاتری داشته باشد. توجه به شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری همواره مورد توجه تحقیقات بسیاری (چونگ[۱]، ۲۰۱۴. گاوو و چن[۲]، ۲۰۱۳. دای و لی[۳]،۲۰۱۳. پوواناسواران و همکاران[۴]،۲۰۱۴. کان و همکاران[۵] ۲۰۱۵، براگلیا و همکاران[۶] ،۲۰۱۲. وو و همکارن[۷]، ۲۰۱۳، آلتوو و همکاران[۸]،۲۰۱۵. آلتوو و همکاران[۹]، ۲۰۱۶. لویا و همکاران۱۰ ،۲۰۱۴. هوتا و همکاران[۱۱]، ۲۰۱۴. گاپوتا[۱۲] ۲۰۱۳، دونگ و همکارن[۱۳]، ۲۰۱۴. دونگ و همکاران[۱۴]، ۲۰۱۴)بوده است زیرا سازمان ها

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 مؤلفهٔ 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 هزینه‌های 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 بخش‌های پیچیده‌تر تجهیزات مورد بهره برداری قرار گرد و در کنار آن نت بهره فراگیر برای کل تجهیز توأما 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 روش‌های 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 Neutral 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 Mnagement, 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 Tabatabaii, 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.

Puvanasvaran, 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.