بررسی سیستم‌های پشتیبانی تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات پروژه‌های راهسازی و ساختمانی

محمد صفی‌پور[۱،*]، محسن محمدی‌زاده[۲]
[۱]مربی، گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، بافت، ایران(عهده دار مکاتبات)
[۲]استادیار، گروه عمران، واحد سیرجان ، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران
تاریخ دریافت: فروردین۱۳۹۷، اصلاحیه: تیر ۱۳۹۷ ، پذیرش: آبان ۱۳۹۷

چکیده

ماشین‌آلات راهسازی و ساختمانی اهمیت قابل توجهی در پروژه‌های عمرانی دارند. در بین مسائل مرتبط با ماشین‌آلات، نگهداری و تعمیرات آنها بسیار مهم است. زیرا نگهداری و تعمیرات (نت) ماشین‌آلات رابطه مستقیمی با هزینه آنها و همچنین هزینه کلی پروژه دارد. روش تعمیر بعد از خرابی جای خود را به روش‌های دیگر نگهداری و تعمیرات داده است که هم اکنون در بسیاری از سازمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) فرآیندی است که نیازهای نگهداری و تعمیرات تجهیزات و ماشین‌آلات را در شرایط کاری تعیین می‌کند تا هر یک از این تجهیزات به بهترین نحو وظایف اصلی خود را انجام دهند. این روش به جای تمرکز روی کاهش هزینه‌ها، بر افزایش قابلیت اطمینان متمرکز شده است یعنی می‌توان با بهبود قابلیت اطمینان، هزینه‌ها راکاهش داد. کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، نتیجه نگهداری مناسب و به موقع می‌باشد. در این تحقیق به طور موردی به بررسی این روش در یک دوره یکساله در شرکت جهاد نصر سیرجان پرداخته شده است و با یک نمونه کار اجرا شده در شرکت مس سرچشمه مقایسه شده که نتایج حاصل قابل قبول می‌باشد.

کلمات کلیدی: قابلیت اطمینان، تجزیه و تحلیل حالات خرابی، تعمیر و نگهداری، بهره وری، نرخ خرابی

۱- مقدمه

استراتژی‌های نگهداری و تعمیزات ماشین‌آلات راهسازی و ساختمانی از اهمیت حیاتی برخوردار بوده و برای داشتن یک تعادل بین هزینه های نگهداری و قابلیت اطمینان اجرا می شوند. همچنین می‌تواند منجر به اجتناب از هزینه‌های گزاف در اجرای پروژه‌های مختلف شود. یکی از چارچوب‌های تحلیل و آنالیز عملکرد و پتانسیل استراتژی نگهداری و تعمیرات با تاکید بر قابلیت اطمینان سیستم، تکنیک RCM[۱] می‌باشد [۱۰]. استراتژی فعلی دنیای پیشرفته صنعتی بر پایه تولید و نت با عیوب صفر[۲]، از کارافتادگی صفر[۳] و حوادث صفر[۴] می‌باشد. برای رسیدن به این اهداف، دو استراتژی عمده نت وجود دارد. یکی از این روش‌ها، بکارگیری استراتژی نت بهره‌ور فراگیر (TPM[۵]) می‌باشد که برای رسیدن به هدف مذکور از استراتژی RCM استفاده می‌شود [۱]. استراتژی RCM نتایج و دستاوردهای مختلفی به دنبال خود دارد که با اجراء و دستیابی به نتایج آن می‌توان در راستای اهداف و سیاست‌های کلی شرکت، حرکت نمود. خط مشی و سیاست کلی در صنعت ریلی جابه‌جایی حداکثر مسافر و بار، بالا بردن ایمنی، افزایش قابلیت دسترسی و آماده به کار ماشین‌آلات، کاهش تأخیرات، افزایش سرعت، بهبود کیفیت خدمات و کاهش هزینه‌ها می‌باشد [۸]. اجرای سیستم نت براساس این اهداف و سیاست کلی، احتیاج به استراتژی متمرکزی دارد که RCM پاسخگوی آن می‌باشد. RCM مقدار نت مناسب برای رسیدن به حداکثر توانایی و قابلیت اطمینان ذاتی تجهیزات را بر اساس شرایط کاری مربوطه مشخص می‌کند. به عبارت دیگر برای تجهیزات مشابه و در شرایط کاری مختلف نیازهای متفاوتی تعیین و مشخص می‌نماید، که این برخلاف روشی است که در حال حاضر در بسیاری از پروژه‌ها بکار گرفته می‌شود [۱۳]. موانع اصلی اجراء و بکارگیری موفق RCM، زمان و تلاش مورد نیاز، طرز فکر نفرات نت و دیدگاه سنت گرایی آنها می‌باشد [۱۰]. اتوماسیون تجهیزات و دستگاه‌های جدید مستلزم سرمایه‌گذاری هنگفتی می‌باشد و لذا توقفات ناگهانی بسیار پرهزینه خواهند بود و باید به منظور حصول اطمینان از قابلیت آمادگی دستگاه‌ها، نگهداری و تعمیرات به شکل منظم به اجرا درآید. به خاطر تکنولوژی‌های پیشرفته فعلی و هزینه هنگفت خرید تجهیزات جدید، واحد نگهداری و تعمیرات به عنوان قسمت تفکیک ناپذیری از واحد عملیات تلقی می‌گردد و بخش‌های عملیاتی بیش از پیش به مهارت‌ها و ساختار سازمانی واحد نگهداری و تعمیرات وابسته می‌گردند [۱۱]. یکی از بنیان‌های اساسی در اجرای پروژه‌های راهسازی و عمرانی، ماشین‌آلات و تجهیزات راهسازی و راهداری است، مبحث

1. Reliability centered maintenance
2. Zero Defect
3. Zero Breakdowns
4. Zero Accident
5.Total productive maintenance
*mohammadsp84@gmail.com

نگهداری و تعمیرات یکی از مباحث مهم در ماشین‌آلات و تجهیزات پروژه است که از طرق مختلف منجر به افزایش بهره‌وری، رشد، توسعه اجتماعی و کارآیی سیستم‌ها می‌گردد [۱۳]. طی سال‌هایی که انواع ماشین‌آلات و تجهیزات مکانیکی توسعه پیدا کرده و تعمیرات آنها پیوسته به عنوان یکی از مهمترین مسائل بهره‌برداری مورد توجه بوده و در این رابطه تلاش برای دستیابی به روش‌هایی جهت افزایش هر چه بیشتر کارآیی و ایمنی کار و کاهش نیازمندی‌های تعمیراتی از اهمیت خاصی برخوردار بوده است [۹]. همچنین این سیستم نمی‌تواند تجهیزات فرسوده و اسقاط را به تجهیزات جدید و با کارآیی بالا تبدیل نماید. اگر چه این حقیقت را که برنامه‌ریزی سیستماتیک و سودمند نگهداری و تعمیرات منافع زیادی را در بر خواهد داشت، نمی‌توان انکار نمود. مزیت اصلی سیستم برنامه‌ریزی شده نت، بهینه‌سازی بهره‌وری از منابع (نیروی انسانی، پول، ماشین) می‌باشد [۳]. در مدیریت سنتی، نگهداری و تعمیرات به عنوان ابزار پشتیبانی، غیر بهره‌ور و کم اهمیت که مزیت ناچیزی را برای مؤسسات در پی داشت، مد نظر قرار می گرفت، اما در نگرش نوین نگهداری و تعمیرات، تأسیسات و ماشین‌آلات به عنوان بخش ضروری عملیات مرکز تولیدی مورد توجه قرار می‌گیرد و بکارگیری استراتژی‌های اثر بخش نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه موجب افزایش ارزش افزوده قابل توجهی در فعالیت‌های تولیدی می‌گردد، به همین دلیل نگهداری به عنوان یک اصل در مقیاس جهانی در مؤسسات تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲]. ژاپنی‌ها با درک اهمیت ویژه‌ای که در مدیریت فرآیند نگهداری و تعمیرات در سیستم‌های تولیدی احساس می‌کردند، اقدام به طراحی سیستم‌های مختلف نگهداری و تعمیرات، از جمله (TPM) نمودند و آن را به عنوان یکی از زیر سیستم‌های سه گانه تولید ناب به جهان معرفی نمودند [۵]. یکی از اساسی‌ترین عوامل برای تغییر کسب بازده دارایی توجه به امور نگهداری و تعمیرات در سازمان‌ها می‌باشد و این خلاء به جد مشاهده می‌شود. ضرورت بررسی پیاده سازی RCM که هدف آن دستیابی به تولید اقتصادی و تحلیل کلیه حالات خرابی و محاسبه سطح ریسک تحمیلی ناشی از تبعات احتمالی می‌باشد، RCM ضمن جستجوی ریشه اصلی نوسانات در شاخص‌های مؤثر بر ایمنی، محیط زیست و هزینه های تولید کلیه فرآیندهای سازمان را به شکل مطلوب به چالش می‌کشد که این مهم در سایر فرآیندهای موجود نگهداری و تعمیرات محقق نمی-گردد [۲].

هدف کلی این تحقیق بررسی سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین‌آلات پروژه‌های راهسازی با شناسایی و ثبت چالش‌ها و راهکارهای ممکن و قابل کاربرد است. برای رسیدن به هدف کلی، اهداف ویژه‌ای مد نظر می‌باشند که عبارتند از انجام ممیزی فنی، عارضه یابی، آموزش، مشاوره و راهبری RCM (طراحی و پیاده سازی)، بسترسازی RCM، بهینه سازی، طراحی و تدوین و اجرای فعالیت‌های پیش اقدام، تأمین مواد و قطعات، برنامه ریزی و اجرای فعالیت‌های اصلاحی مبتنی بر عمر (تعمیرات اساسی و نوسازی).

۲- روش پژوهش

بر اساس کتاب تکنیک‌های بومی‌سازی RCM درصنعت ایران که توسط مجموعه شرکت‌های OPTIM تهیه گردیده است برای طراحی و استقرار RCM، یازده مرحله درنظرگرفته شده است :

۱. ممیزی فنی، ۲. عارضه یابی، ۳. آموزش، ۴. مشاوره و راهبری RCM - طراحی وپیاده سازی، ۵. بسترسازی RCM، ۶. بهینه سازی، ۷. طراحی و تدوین واجرای فعالیت‌های پیش اقدام، ۸. تأمین مواد و قطعات، ۹. برنامه ریزی و اجرای فعالیتهای اصلاحی مبتنی بر عمر، ۱۰. طراحی مجدد و افزایش ظرفیت (RCA PROJECTS مدیریت فنی بر پروژه‌های بهبود) و ۱۱. ارزیابی مجدد

ماشین آلات مورد استفاده در این تحقیق ماشین آلات راه و ساختمانی موجود درشرکت جهاد نصر سیرجان شامل جدول ۱ می‌باشد.

تعداد کارکنان موجود در واحد تعمیرات موتوری۱۵۰ نفر و رانندگان ماشین آلات و عملیاتی ۵۰۰ نفر می‌باشند لیست ماشین آلات در جدول (۱) در انتهای مقاله آمده است. برای جایگزینی یک ماشین، باید آن را اجاره کرد. بنابراین هزینه جایگزینی برابر اجاره آن ماشین می‌باشد. قیمت فعلی و هزینه جایگزینی در تاریخ مرداد ماه ۱۳۹۳ براساس قیمت بازار و تقریبی می‌باشد. امکان جایگزینی براساس وزن دهی توسط کارشناس تعمیرات و اجرا بر اساس ۵ وزن به عبارت: بسیار راحت (۱)، راحت (۲)، متوسط (۳)، مشکل (۴)، بسیار مشکل (۵) و با توجه به اوضاع بازار است.

شاخص‌های کلیدی عملکرد (Key Performance Indicators) KPI[۶] که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت:

الف - نرخ خرابی: تعداد توقفات اضطراری در یک بازه زمانی مشخص [۵].

$$\lambda = r / T \qquad (۱)$$

λ: نرخ خرابی، r: تعداد خرابی و T: کل زمان فعالیت ماشین (شامل مدت زمان کار و خرابی)

ب - متوسط زمان بین دو خرابی اضطراری(مدت زمان کارکرد پیوسته تجهیزات) (Mean time between failures(MTBF[۷])) [۵].

$$MTBF = T / r \qquad (۲)$$

ج - متوسط زمان هر بار تعمیر اضطراری (شاخص تعمیر پذیری) (Mean Time To Repair (MTTR[۸])) [۵].

$$MTTR = Total\ Repair\ Time / r \qquad (۳)$$

د - هزینه فرصت کار: هزینه از دست رفته به دلیل خرابی تجهیز که برابر است با حاصلضرب زمان تعمیر تجهیز در هزینه روزانه به دلیل عدم کارکرد تجهیز.

ه- قابلیت اطمینان دستگاه:

شاخص دیگری که برای بررسی وضعیت فعلی ماشین‌آلات می توان بررسی کرد قابلیت اطمینان دستگاه با توجه به کارکرد پیوسته و بدون توقف اضطراری می‌باشد [۵].

6. Key Performance Indicators
7. Mean time between failures
8. Mean Time To Repair

$$R(t) = e - \lambda t \qquad (۴)$$

کارکرد پیوسته و λ: نرخ خرابی

R(t): قابلیت اطمینان تجهیز برای مدت مشخص، t: مدت مورد نظر برای

$$\text{درصد افزایش قابلیت اطمینان} = \frac{\text{قابلیت اطمینان قبل از اجرای } RCM - \text{ قابلیت اطمینان هدف}}{\text{قابلیت اطمینان قبل از اجرای } RCM} \times 100 \qquad (۵)$$

جدول (۱): مشخصات ماشین‌آلات مورد استفاده در این تحقیق

نوع تجهیز	تعداد	سال بکارگیری	قیمت فعلی	هزینه جایگزینی (روزانه)	امکان جایگزینی
گریدر KOMATSU	٤	۱۳٦٥	۷۵میلیون تومان	۲۵۰۰۰۰ تومان	۳
گریدر O&K	۲	۱۳۷۱	۷۰ میلیون تومان	۲۰۰۰۰۰ تومان	۲
شاول برقی P&H	۷	۱۳٦۹	۳میلیارد تومان	۷۰۰۰۰۰ تومان	۵
شاول برقی LIEBHERR	۱	۱۳٦۹	۳ میلیارد تومان	۷۰۰۰۰۰ تومان	۵
شاول دیزلیLIEBHERR	۲	۱۳۹۰	۳ میلیارد تومان	۷۰۰۰۰۰ تومان	۵
دریل(INGERSOLRAND(DMH	۳	۱۳۹۲	۸۰۰ میلیون تومان	٦۰۰۰۰۰ تومان	٤
دریل اطلس	۱	۱۳۹۳	۷۰۰ میلیون تومان	٦۰۰۰۰۰ تومان	٤
دامپتراک۱۰۰تنیTEREXT	۵۱	۱۳۹۲	۱.۲ میلیارد تومان	۷۰۰۰۰۰ تومان	۵
دامپتراک ۳۵تنیKOMATSUHD325	۲٤	۱۳۸۵	۷۰۰ میلیون تومان	٤۵۰۰۰۰ تومان	٤
بولدوزر KOMATSU155	۸	۱۳۸۸	۷۰۰ میلیون تومان	۵۰۰۰۰۰ تومان	٤
بولدوزرKOMATSU 375	٤	۱۳۸۹	٤۰۰ میلیون تومان	٦۰۰۰۰۰ تومان	٤
چکش O&K	۱	۱۳۹۲	۲۰۰ میلیون تومان	۳۵۰۰۰۰ تومان	۳
بیل مکانیکیKOMATSU PC800	۹	۱۳۸٤	٦۰۰ میلیون تومان	٤۰۰۰۰۰ تومان	٤
بیل مکانیکی KATERPILAR385	۱٤	۱۳۹۲	۲.٤ میلیارد تومان	٦۰۰۰۰۰ تومان	۵
لودر KOMATSU W90	۱	۱۳۸۰	٦۰ میلیون تومان	۲۰۰۰۰۰ تومان	۲
لودر KOMATSU WA470	۱	۱۳۹۱	۱۷۰ میلیون تومان	۳۵۰۰۰۰ تومان	۳
آنفوتراک BENZ AXOR	٤	۱۳۸۲	۲۵۰ میلیون تومان	۳۰۰۰۰۰ تومان	۳
ژل تراک FM	۲	۱۳۸۰	۱۰۰ میلیون تومان	۲۵۰۰۰۰ تومان	۳
لیفتراک TD100	۳	۱۳۸۲	۸۰ میلیون تومان	۲۰۰۰۰۰ تومان	۳
لیفتراک FD50	٦	۱۳٦۵	۷۵ میلیون تومان	۱۵۰۰۰۰ تومان	۳
کمپرسی ٦ چرخ BENZ 1924	۱	۱۳٦۸	۷۰ میلیون تومان	۲۵۰۰۰۰ تومان	۳
تانکر سوخت BENZ 1924	۱	۱۳۷٤	۸۵ میلیون تومان	۲۵۰۰۰۰ تومان	۳
خاور سرویسکاری BENZ 808	۲	۱۳٦۰	۲۵ میلیون تومان	۱۰۰۰۰۰ تومان	۲
خاور جوشکاری BENZ 808	٤	۱۳٦۰	۲۲ میلیون تومان	۱۰۰۰۰۰ تومان	۲
خاور جرثقیل BENZ 808	۲	۱۳٦۰	٤۰ میلیون تومان	۱۵۰۰۰۰ تومان	۲
تراکتور ROMANI	۳	۱۳٦۰	۱۵ میلیون تومان	۱۰۰۰۰۰ تومان	۲
تانکر آبپاش BENZ 2624	٤	۱۳٦۸	۷۰ میلیون تومان	۲۰۰۰۰۰ تومان	۲

برای هر یک از دستگاهها کاربرگ اطلاعات و همچنین کاربرگ تصمیم گیری بر اساس نمودار موبری تهیه و تنظیم شد که در جداول ۲ و ۳ یک نمونه کاربرگ اطلاعات و همچنین کاربرگ تصمیم گیری مربوط به گریدر به عنوان نمونه آورده شده است.

جدول (۲): نمونه کاربرگ اطلاعات گریدر

کاربرگ اطلاعات RCM II شرکت جهادنصر سیرجان		سیستم : گریدر		شماره سیستم : ۱۰۲		هماهنگ کننده : صفی پور	تاریخ :
		زیر سیستم :		شماره زیر سیستم :		ممیز :	شماره برگ : ۱
کارکرد		شکست کارکردی		حالت شکست		اثرات شکست	
۱	تسطیح، شیب بندی و حفر کانالهای کوچک	A	پنچر شدن دستگاه	۱	فرورفتگی مواد زائد	خالی شدن باد تایر بر اثر سوراخ شدن لاستیک و تیوپ. ۲ساعت	
				۲	فرسودگی لاستیک	سوراخ شدن لاستیک و تیوپ و خالی شدن باد تایر. ۲ساعت	
				۳	فرسودگی تیوپ	سوراخ شدن تیوپ و خالی شدن باد تایر. ۲ساعت	
				٤	فرسودگی نوار	ایجاد سوراخ در تیوپ و خالی شدن باد تایر و ایجاد ترک در لاستیک. ۲ساعت	
				٥	کنده شدن وصله	تخلیه باد تایر و ایجاد ترک در لاستیک . ۲ ساعت	
				٦	بی اثر شدن چسب	جدا شدن وصله و تخلیه باد تایر. ۲ساعت	
				۷	نازک شدن تیوپ	گرمای زیاد اتو در هنگام وصله کردن و نازک شدن تیوپ و سوراخ شدن آن. ۲ ساعت	
		B	کندی یا عدم انتقال نیرو	۱	شل شدن نشیمنگاه لوله هیدرولیک	کثیف شدن دستگاه، نشتی و هدر رفتن روغن و شل شدن یا پارگی اورینگ و خاری نشیمنگاه.۲ساعت	
				۲	شل شدن پرس اتصال شلنگ	نشتی و هدر رفتن روغن و کثیف شدن دستگاه، خرابی شلنگ یا رابط شلنگ.۲ساعت	
				۳	ترک در قسمت تاشدگی	نشتی روغن از قسمت تاشدگی و هدر رفتن روغن. ٤ ساعت	
				٤	روغن نامناسب	گرم شدن و اصطکاک بالای پمپ و اتصالات آن .٦ساعت	
				٥	نشتی از لوازم جک	هدر رفتن روغن و کثیف شدن دستگاه، خرابی جک.۸ساعت	
				٦	کیپ نبودن پمپ	با فشار زیاد به پمپ و داغ کردن آن کسه نمد داخل پمپ خراب شده و باعث نشتی از پمپ می گردد.۱روز	

جدول (۳): نمونه کاربرگ تصمیم گیری گریدر

کاربرگ تصمیم گیری RCM II شرکت جهاد نصر سیرجان		سیستم : گریدر				شماره سیستم : ۱۰۲			هماهنگ کننده :صفی پور			تاریخ :					
		زیر سیستم :				شماره زیر سیستم :			ممیز :			صفحه : ۱					
مرجع اطلاعات			ارزیابی پیامدها				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	اقدامات پیش فرض			فعالیت پیشنهادی	فاصله زمانی اولیه	افراد انجام دهنده			
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4						
۱	A	۱	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	عدم نت					
۱	A	۲	Y	N	N	Y	Y						بازدید	۳ ماه	تولید			

۱	A	۳	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	تعویض	۱ سال	تعمیرات
۱	A	٤	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	تعویض	۱ سال	تعمیرات
۱	A	٥	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	وصله مناسب		تعمیرات
۱	A	٦	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	چسب مناسب		تعمیرات
۱	A	۷	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	اتو اتوماتیک		تعمیرات
۱	B	۱	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	بازدید	۳ ماه	تعمیرات
۱	B	۲	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	بازدید	۱ هفته	تولید
۱	B	۳	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	بازدید	۱ هفته	تولید
۱	B	٤	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	تست روغن		تولید
۱	B	٥	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	بازدید	۳ ماه	تعمیرات
۱	B	٦	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	بازدید	۳ ماه	تعمیرات
۱	B	۷	Y	N	N	Y	N	Y	N	N	N	N	سرویسکاری	۲ سال	تعمیرات
۱	B	۸	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	بازدید	۱ سال	برقکار
۱	B	۹	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	بازدید	۱ سال	برقکار
۱	B	۱۰	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	بازدید	۱ هفته	تولید

۳- نتایج پژوهش

روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) در مجتمع مس سرچشمه بر روی کرن (Crane) مسقف پالایشگاه انجام شد و به مدت یکسال از اجرای آن می‌گذرد و برنامه‌های نگهداری و تعمیرات استخراج شده در پروژه RCM، در سیستم CMMS (سیستم مکانیزه نگهداری و تعمیرات) اعمال شد که پس از گذشت ۶ ماه از پروژه مذکور، آمار مربوط به خرابی کرن جمع آوری گردید.

با استفاده از نرم افزار Minitab قابلیت اطمینان ۶ ماهه دوم سال ۹۱ (قبل از اجرای RCM) و ۶ ماهه دوم سال ۹۲ (بعد از اجرای RCM) مورد ارزیابی قرار گرفته است، نتایج نشان می‌دهد قابلیت اطمینان کرن سقفی برای روز$t = 5$، در ۶ ماهه دوم سال ۹۱، به میزان ۰.۸۶ بوده است که برای ۶ ماهه دوم سال ۹۲ به میزان ۳/۲۵ رسیده است. یعنی خرابی به میزان ۱/۷۵ روز در شش ماهه دوم سال ۹۱ کاهش یافته است که برای یک دستگاه که تقریبا کارهای اصلی را انجام می‌دهد و خرابی آن تعطیلی سایر دستگاهها را به دنبال دارد یک عدد عالی و بسیار خوب می‌باشد. روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) بر روی ماشین‌آلات شرکت جهاد نصر سیرجان انجام گرفت به عنوان نمونه قابلیت اطمینان گریدر به شرح ذیل است :

پس از مقایسه قابلیت اطمینان R(t) دو دستگاه (کرن و گریدر) از روش RCM، مدت زمان خرابی کرن از ۸ روز به ۶/۵ روزکاهش و R (t) به اندازه ۲.۷۸ درصد افزایش و مدت زمان خرابی گریدر از ۱۲ روز به ۵ روز کاهش و R(t) به اندازه ۱/۱ درصد افزایش داشته است. در نهایت شاخص‌های تعداد خرابی، MTBF، MTTR، R(t) و هزینه قبل از اجرای RCM و هدف برای تمامی ماشین‌آلات موجود در شرکت انجام گرفت که نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

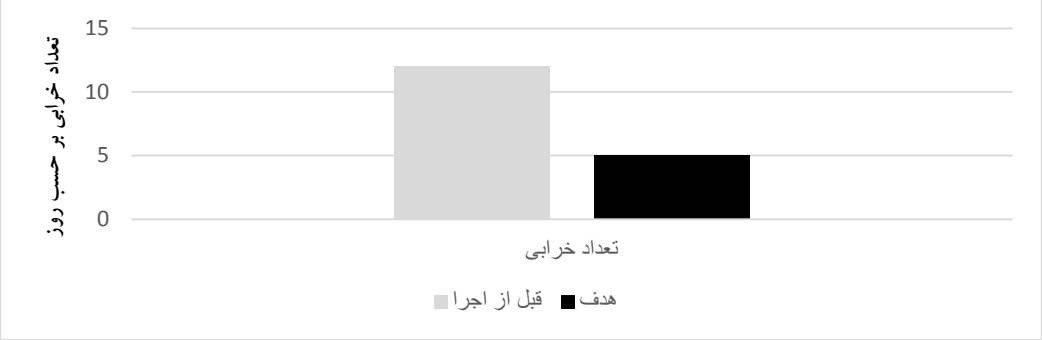
جدول (٤): تعداد خرابی؛ MTBF؛ MTTR؛ R(t) و هزینه قبل از اجرای RCM و هدف

شماره	دستگاه	تعدادخرابی قبل از اجرای RCM (روز)	تعداد خرابی هدف (روز)	MTBF قبل از اجرای RCM (روز)	MTBF هدف (روز)	MTTR قبل از اجرای RCM (روز)	MTTR هدف (روز)	R(t) قبل از اجرای RCM	R(t) هدف	هزینه فرصت کار قبل از اجرای RCM	هزینه فرصت کار هدف (هزار تومان)
١	گریدر KOMATSU	١٢	٥	٢٣/٣٣	٥٥	٢	٢	٠/٢٨	٠/٥٧	٥٠٠	٢٥٠
٢	گریدر O&K	٨	٤	٣٢/٢٥	٦٥	٢	٢	٠/٤٠	٠/٦٢	٤٠٠	٢٢٠
٣	شاول برقی P&H	٧	٣	٤٠/١٤	٩٥	٢	٢/٥	٠/٤٧	٠/٧٢	١٤٠٠	٨٥٠
٤	شاول برقی LIEBHERR	٧	٣	٣٩/٢٨	٩٠	١/٨٦	٢/٥	٠/٤٦	٠/٧٢	١٣٠٢	٧٦٠
٥	شاول دیزلیLIEBHERR	٦	٣	٤٤/١٦	١٤٥	١/٥٠	٢	٠/٥٠	٠/٧٠	١٠٥٠	٦٧٠
٦	دریل INGERSOLRAND(DH)	٥	٢	٥٧/٨٠	١٤٥	١/٦٠	٢	٠/٦٠	٠/٨١	٩٦٠	٤١٠
٧	دریل اطلس	٤	٢	٧٢/٥٠	١٤٥	١/٥٠	١/٥	٠/٦٦	٠/٨١	٩٠٠	٣٥٠
٨	دامپتراک١٠٠تنیTEREXT	٣	٢	٩٥/٦٦	١٤٥	٢/٣٣	١/٥	٠/٧٤	٠/٨١	١٦٣١	٩٦٠
٩	دامپتراک ٣٥تنی KOMATSUHD325	٨	٤	٣٠/٢٥	٦٠	٢/٢٥	١/٥	٠/٣٧	٠/٦٠	١٠١٣	٧٢٠
١٠	بولدوزر KOMATSU155	١٠	٤	٢٨	٧٠	٢/٢	١/٥	٠/٣٤	٠/٦٤	١١٠٠	٦٤٠
١١	بولدوزر375 KOMATSU	٨	٤	٣٠	٦٠	٢/٢٥	١/٥	٠/٣٧	٠/٥٨	١٣٥٠	٦٨٠
١٢	چکش O&K	٤	٢	٦٩/٧٥	١٤٠	١	١/٥	٠/٦٦	٠/٨١	٣٥٠	١٤٨
١٣	بیل مکانیکی KOMATSU PC800	٩	٣	٢٦/٣٣	٧٥	٢/٧٨	١/٥	٠/٣٣	٠/٦٦	١١١٢	٥٦٢
١٤	بیل مکانیکی KATERPILAR385	٣	٢	٩٦/٣٣	٦٠	٢	١/٥	٠/٧٤	٠/٨١	١٢٠٠	٥٤٠
١٥	لودر KOMATSU W90	١١	٥	٢٢	٤٥	٢/٩١	١/٥	٠/٢٦	٠/٥٠	٥٨٢	٢٦٥
١٦	لودر KOMATSU WA470	٦	٣	٤٧/١٦	٩٥	٢/٥	٢	٠/٥٣	٠/٧٢	٨٧٥	٣٨٠
١٧	آنفوتراک BENZ AXOR	٧	٣	٣٤	٧٥	٣/١٤	٢	٠/٤٢	٠/٦٦	٩٤٢	٤٢٠
١٨	ژل تراک FM	٩	٣	٢٦/٦٦	٧٥	٢/٦٧	٢	٠/٦٦	٠/٦٦	٦٦٨	٢٥٠
١٩	لیفتراک TD100	١٠	٤	٢٣/٩٠	٦٠	٢/٥٠	٢	٠/٢٨	٠/٥٨	٥٠٠	٣٠٠
٢٠	لیفتراک FD50	١٢	٤	٢٠/٦٦	٥٥	٣/١٧	٢	٠/٢٤	٠/٥٧	٤٧٦	٢٨٠
٢١	کمپرسی ٦چرخ BENZ 1924	١٤	٥	١٩/٠٧	٥٠	٢/٦٤	٢	٠/٢١	٠/٥٣	٦٦٠	٣١٠
٢٢	تانکر سوخت BENZ 1924	١٢	٣	٢١/٦٦	٨٠	٢/٣٣	٢	٠/٢٥	٠/٦٨	٥٨٣	٢٦٠
٢٣	خاور سرویسکاری BENZ 808	١٠	٣	٢٧/٥٠	٨٥	٣	٢	٠/٣٤	٠/٧٠	٣٠٠	١٤٠
٢٤	خاور جوشکاری BENZ 808	١٥	٥	١٨/١٣	٥٠	٢/١٣	٢	٠/١٩	٠/٥٥	٢١٣	١٢٠
٢٥	خاور جرثقیل BENZ 808	١٠	٣	٢٧/٧٠	٨٥	٢/٦٠	٢	٠/٣٤	٠/٧٠	٣٩٠	١٤٥
٢٦	تراکتور ROMANI	١٤	٥	١٩	٥٠	٢/٥٧	٢	٠/٢٠	٠/٥٣	٢٥٧	١٢٥
٢٧	تانکر آبپاش BENZ 2624	١٠	٤	٢٦/٢٠	٨٥	١/٨٠	٢	٠/٣٢	٠/٧٠	٣٦٠	١٧٠
								جمع هزینه		٢١٠٧٤	١٠٩٥٢

در نهایت شاخصهای مورد مطالعه در این پژوهش هر کدام جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج زیر به عنوان نمونه در مورد گریدر KOMATSU می‌باشد که نشان از تاثیر مثبت RCM اجرا شده در شرکت جهاد نصر سیرجان دارد.

٣-١- تعداد خرابی

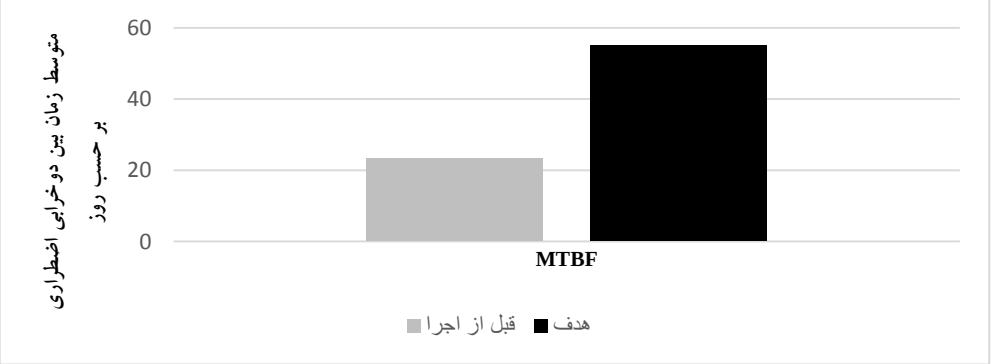
با توجه به اجرای RCM اطلاعات میزان خرابی قبل از اجرا و بعد از آن جمع‌آوری شد. همانطور که در شکل ١ مشاهده می‌گردد مقدار این شاخص قبل از اجرای RCM و بعد از آن تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد که اجرای RCM موجب کاهش خرابی شد.



شکل (۱): مقایسه نرخ خرابی قبل و بعد از اجرای RCM که بر اساس ضابطه (۱) محاسبه شد است

۳-۲- شاخص *MTBF*

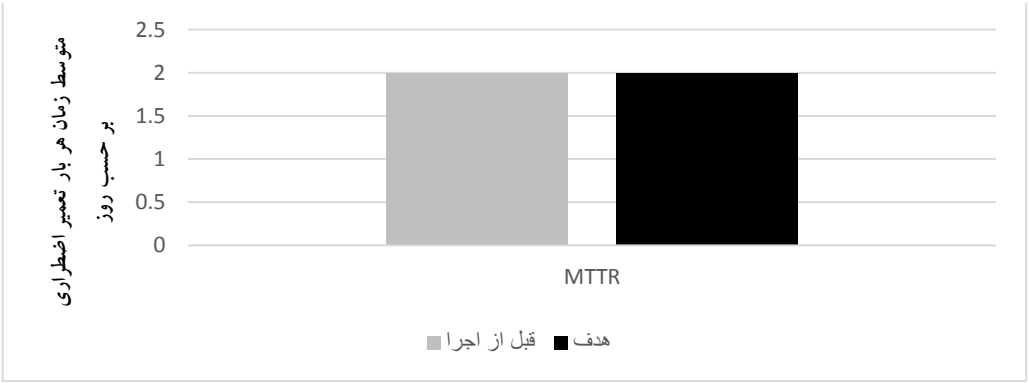
شاخص فوق ابزاری ساده اما بسیار کارآمد بوده که تحلیل آن نتایج چشمگیری را از روند مطلوبیت وضعیت تجهیزات نشان می‌دهد از جمله: تحت کنترل بودن و همچنین بررسی روند تعداد خرابی اضطراری تجهیزات و یا پروژه و افزایش و یا کاهش عمر مفید تجهیزات (زیر تجهیزات) [۵]. با توجه به روند MTBF اطلاعات جمع‌آوری شده نشان از افزایش شاخص فوق بعد از اجرای RCM در این پروژه دارد.



شکل (۲): متوسط زمان بین دو خرابی اضطراری بر حسب روز که بر اساس ضابطه (۲) محاسبه شده است

۳-۳- شاخص *MTTR*

یک سیستم ممکن است هر چندگاه یک بار دچار خرابی اضطراری شود که در این صورت لازم است تعمیرات اضطراری بر روی آن اعمال شود. بدیهی است تعمیرات انجام شده مستلزم مصرف منابع گوناگون می‌باشد و یکی از آن منابع، مدت زمانی است که تعمیر تجهیز طول می‌کشد و مجددا وارد چرخه‌ی بهره‌برداری می‌گردد. لذا جهت کنترل قابلیت تعمیر یا تعمیرپذیری یک دستگاه، شاخص MTTR تعریف شده است [۵]. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده مقدار این شاخص بعد از اجرای RCM تغییر چندانی را نشان نداد.



شکل (۳): متوسط زمان هر بار تعمیر اضطراری بر اساس ضابطه (۳)

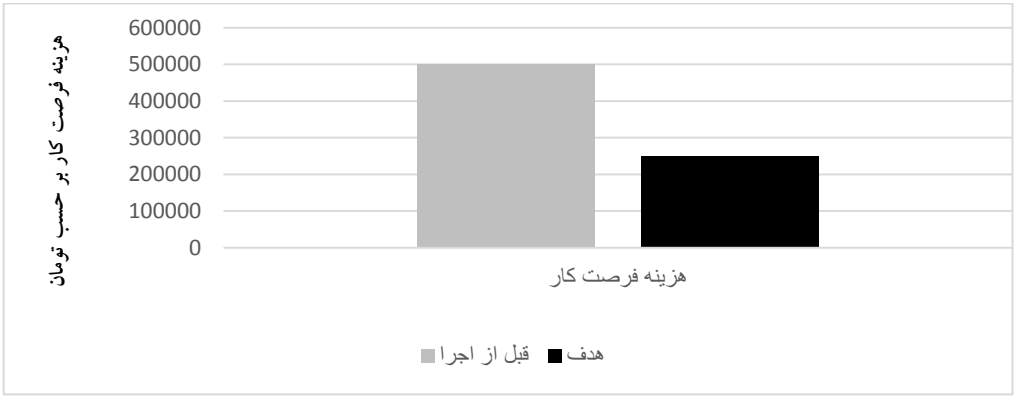
۳-۴- شاخص R

قابلیت اطمینان (Reliability) در واقع همان احتمال کارکرد سالم و بدون توقف دستگاهها در پروسه‌ی بهره برداری در بازه‌های زمانی تعریف شده، شرایط مشخص و در نظر گرفتن کلیه پارامترها تاثیرگذار می‌باشد. در صورت محاسبه‌ی دقیق و صحیح R می‌توان تا حد امکان توقفات اضطراری تجهیزات خود را تحت کنترل درآورده و در نتیجه کارایی و اثربخشی آنها را به نحو چشمگیری ارتقا داد. R می‌تواند شاخص بسیار مناسبی جهت پیش بینی خرابی‌ها و درنتیجـه تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مدیریت نت درخصوص وضعیت تجهیزات باشد. زیرا در این شاخص دو پارامتر ساعت کارکرد مفید و تعداد خرابی‌های اضطراری (پیش بینی نشده و ناگهانی) در بازه‌های زمانی مشخص و شرایط یکسان که موجب ایجاد اختلال در عملیات تخلیه و بارگیری می‌شود مورد بررسی قرار می‌گیرد [۴]. نتایج این پژوهش نشان از افزایش این شاخص بعد از اجرای RCM داشت.

شکل ٤- شاخص قابلیت اطمینان بر اساس ضابطه (٤)

۳-۵- شاخص هزینه فرصت کار

با اجرای RCM هزینه از دست رفته به دلیل خرابی تجهیز به شکلی کاملا معنی دار کاهش یافت که می‌توان دلیل آن را نتیجه عملیات نگهداری مناسب و به موقع دانست [۷].



شکل (۵): هزینه فرصت کار که بر حسب تومان می‌باشد

۴- نتیجه‌گیری

پس از مقایسه قابلیت اطمینان R(t) دو دستگاه (کرن و گریدر) از روش RCM ، مدت زمان خرابی کرن از ۸ روز به ۶/۵ روزکاهش و R(t) به اندازه ۲/۷۸ درصد افزایش و مدت زمان خرابی گریدر از ۱۲ روز به ۵ روز کاهش و R (t) به اندازه ۱/۱ درصد افزایش داشته است. برآورد کلی هزینه نیز با توجه به جدول ۴ برای قبل از اجرا حدودا ۲۱ میلیون تومان بوده است و بعد از اجرا به عدد تقریبا ۱۱ میلیون تومان رسید که نزدیک به ۵۰ درصد کاهش هزینه را نشان داد که مقدار قابل توجهی می‌باشد بنابراین نشان از اجرای موفق پروژه داشت. پس به این نتیجه می‌رسیم که

روش RCM برای دستیابی به اهداف قابل قبول می‌باشد. در این روش به جای تمرکز برای کاهش هزینه‌ها، بر افزایش قابلیت اطمینان متمرکز شده‌ایم زیرا با بهبود قابلیت اطمینان، هزینه‌ها کاهش یافت. تجهیزات، تحت مسؤلیت مشترک بهره برداران و پرسنل نگهداری و تعمیرات قرار دارند، ارتقاء قابلیت اطمینان در یک روند آهسته، حجم کارهای تعمیراتی را به حجم کارهای نگهداری تبدیل نمود. شروع عملیات طراحی و پیاده سازی RCM بسیار کند و آرام می‌باشد و کاهش هزینه‌های فرصت کار، نتیجه عملیات نگهداری مناسب و به موقع بوده است. استقرار RCM یک پایگاه جامع اطلاعات در مورد ماشین‌آلات، نگهداری و تعمیرات آنها در یک مجموعه علاوه بر آن باعث کارآمدی کارهای محوله به هر دستگاه شده و همکاری و هماهنگی بین مجموعه نیز حفظ می‌شود. از دیگر دستاوردهای RCM می‌توان به کیفیت بهتر، افزایش راندمان و کارایی، افزایش عمر تجهیزات و ایجاد انگیزه و کار گروهی اشاره کرد. تحقیقاتی که توسط واحد نگهداری و تعمیرات مجتمع مس سرچشمه (سال۱۳۹۲) بر روی کرن مسقف پالایشگاه انجام شد، درصد افزایش قابلیت اطمینان در این مجتمع ۲/۷۸ درصد بوده است که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

منابع و مأخذ

[1] Ahuja, P., (2009), **Total Productive Maintenance,** Handbook of Maintenance Management and Engineering, 417-459.

[2] Anderson, R. T., Neri, L, (2012), **Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods**, Springer Science & Business Media.

[3] Dehghanian, P., Fotuhi-Firuzabad, M., Aminifar, F., Billinton, R., (2013), **A Comprehensive Scheme for Reliability-centered Maintenance in Power Distribution Systems—Part II: Numerical Analysis**. IEEE Transactions on Power Delivery, 28(2), 771-778.

[4] Fischer, K., Besnard, F., Bertling, L., (2012), **Reliability-centered Maintenance for Wind Turbines Based on Statistical Analysis and Practical Experience**, IEEE Transactions on Energy Conversion, 27(1), 184-195.

[5] Gupta, P., Gupta, S., Gandhi, O., (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.

[6] Latif, K., (2018), **Total Productive Maintenance** .

[7] Marr, B., (2012), **Key Performance Indicators (KPI): The 75 Measures Every Manager Keeds to know**, Pearson UK.

[8] Niu, G., Yang, B.-S., Pecht, M., (2010), **Development of an Optimized Condition-based Maintenance System by Data Fusion and Reliability-centered Maintenance**, Reliability Engineering & System Safety, 95(7), 786-796.

[9] Rausand, M., Vatn, J., (2008), **Reliability Centred Maintenance**, In Complex system maintenance handbook .79-108.

[10] Sheu, S.-H., Chang, C.-C., Chen, Y.-L., Zhang, Z. G., (2015), **Optimal Preventive Maintenance and Repair Policies for Multi-state Systems**, Reliability Engineering & System Safety, 140, 78-87.

[11] Smith, R., Mobley, R. K., (2011), **Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers: Butterworth-Heinemann**.

[12] Wheeler,P.,(2007),**Reliability-centered Maintenance**, Buildings, 101.40-38.

[13] Zadhoosh, M., Fatahi, A.A., (2015), **Simultaneous Effect of RCM Key Indicators, Related to Equipment Lifecycle for Maintenance Strategies (In Production Systems)**, International Journal of Engineering & Technology, 4(3), 439.