

استقرار روش شناسی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در سیستم تقلیل فشار گاز

زیبا صالحیان*، علی جهان**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱ نوع مقاله: ترویجی

چکیده

هر چند امروزه روش های مختلف نگهداری و تعمیرات (نت) به ویژه نت پیشگیرانه در صنایع جاری است اما نگهداری و تعمیرات بر مبنای قابلیت اطمینان به عنوان یک روش مؤثر برای انتخاب صحیح راهبرد نگهداری و تعمیرات شناخته می شود که با توجه به حالت های خرابی ماشین آلات و اولویت بندی کردن آنها، روش هایی چون: کار تا خرابی، تصمیم گیری برای بهبود طراحی سیستم، نت مبتنی بر شرایط، نت مبتنی بر زمان، نت مبتنی بر کارکرد و بازدیدها با هدف عیب یابی را پیشنهاد می کند. در نتیجه، از انجام فعالیت های غیرضروری نت جلوگیری به عمل آورده است و موجب اثربخشی بیشتر فرایند نت و کاهش هزینه های عملیاتی می شود. در این مقاله، تلاش شده است تا علاوه بر تشریح سیستم نگهداری و تعمیرات بر مبنای قابلیت اطمینان، تجربیات اولیه اجرای سیستم در شرکت توزیع گاز استان سمنان به اشتراک گذاشته شود. انتخاب بحرانی ترین تجهیز برای پیاده سازی روش شناسی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بر مبنای سوابق داده های موجود در شرکت انجام گرفت و سپس با شناسایی کارکردها، شکست های کارکردی، حالات و اثرات شکست، فعالیت نگهداری و تعمیرات مناسب برای هر یک از حالت های خرابی تجهیز مورد نظر تعیین شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با کمتر شدن تعداد فعالیت های غیرضروری تعداد نیروی انسانی و زمان کمتری صرف انجام فعالیت های نت می شود و همین طور در روش به کار گرفته شده، به مسائل ایمنی و محیط زیستی توجه بسیاری شده و سعی شده است با به کارگیری فعالیت های نت مناسب، وضعیت ایمنی و آلودگی های زیست محیطی بهبود یابد.

واژگان کلیدی: نگهداشت، قابلیت اطمینان، تجهیز بحرانی، ایستگاه تقلیل فشار گاز.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، مؤسسه آموزش عالی ایوانکی، ایوانکی.

** دانشیار، مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنان، سمنان، ایران. a.jahan@semnaniau.ac.ir

مقدمه

تا دهه ۱۹۶۰ اغلب افراد بر این باور بودند که هر چیزی (کالا یا سیستم) زمان مناسبی برای انجام عملیات نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه دارد که عموماً شامل جایگزینی قطعه‌ها یا تعمیرات اساسی است. عقیده بسیاری از افراد بر این بود که با انجام عملیات نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه می‌توان تناوب خرابی یک کالا در حین انجام عملیات را کاهش داد (سلویک و آون^۱، ۲۰۱۱). در بیشتر موارد دیده می‌شد که نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه تأثیر مفیدی بر کارکرد سیستم ندارد و همچنین در بسیاری از موارد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه باعث بدتر شدن وضعیت کارکردی اشیاء می‌شد؛ چرا که باعث ایجاد فرصت بیشتری برای خرابی‌های احتمالی به واسطه انجام عملیات نگهداری و تعمیرات می‌شد (لوین و کالا^۲، ۲۰۰۳). در این دوران، گروه نگهداری و تعمیرات ناوگان هوایی ایالات متحده^۳ با توجه به این مشاهدات، موضوع نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه را مورد مطالعه قرار داد. نتایج مطالعه نشان می‌داد که نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه فقط برای اقلامی که الگوی معینی از خرابی‌ها را دارا هستند، مفید است (اسمیت و هینچلیف^۴، ۲۰۰۴). با توجه به کاستی‌های موجود آنها رویکردی منطقی برای تعیین اینکه آیا نوع مناسبی از نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برای یک کالای مورد نظر اثربخش است یا خیر ارائه کردند که عبارت «نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان» به آن اطلاق شد (موبری^۵، ۱۹۹۷). با توجه به اینکه در صنعت گازرسانی بسیاری از حوادث از قبیل آتش‌سوزی و انفجار یا حتی توقف‌های برخی از تجهیزات منجر به خسارت‌های عظیم می‌شود و این عموماً به علت خرابی قطعات ماشین‌آلات به‌کار رفته در فرایندهاست، شناخت چرایی و چگونگی این خرابی‌ها به منظور پیشگیری از وقوع آنها، در بالابردن قابلیت اطمینان کیفی سیستم، بهینه کردن عملکرد فرایند و سودآوری آن، مهم و حیاتی است. اجرای سیستم نت بر اساس این اهداف و سیاست کلی، احتیاج به راهبرد متمرکزی دارد که RCM^۶ پاسخگوی آن است. RCM یک فناوری اثبات‌شده برای بهینه‌سازی فرایندهای تعمیر و نگهداری و دیگر گام‌های منطقی در بهبود عملکرد کلی و قابلیت اطمینان امکانات بحرانی و در عین حال، کاهش هزینه کلی دارائی‌هاست (آرنو و همکاران^۷، ۲۰۱۵). این روش، بین نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی تعادل برقرار می‌کند که یک فعالیت نگهداری پیشگیرانه مناسب را

1. Selvik & Aven
2. Levin & Kalal
3. Maintenance Steering Group
4. A. M Smith & Hinchcliffe
5. J. Moubray
6. Reliability Centered Maintenance
7. Arno, Dowling, Fairfax, Schuerger, & Weber

برای تجهیزهای مناسب، در زمان مناسب و برای رسیدن به مقرون به صرفه‌ترین راه‌حل انتخاب می‌کند (کارلو و آرل^۱، ۲۰۱۳). این رویکرد در صنعت هواپیما متولد شد و بعد از آن در تمام بخش‌های دیگر گسترش یافته است (سعد و همکاران^۲، ۲۰۱۴). از جمله: در صنعت هسته‌ای (سلویک و اون^۳، ۲۰۱۱)، توربین‌های بادی (ایگبا و همکاران^۴، ۲۰۱۳ و فیشر و همکاران^۵، ۲۰۱۲)، سیستم ریلی (ماکی و همکاران^۶، ۲۰۱۲)، سیستم هوانوردی (جیانگ و همکاران^۷، ۲۰۱۵). در جدول ۱ به خلاصه‌ای از پیشینه تحقیق پرداخته شده است:

جدول ۱: خلاصه‌ای از پیشینه تحقیق

سال	حوزه پیاده سازی
۱۹۶۸	"برنامه ارزیابی نگهداری و توسعه" هواپیماهای بوئینگ ۷۴۷ (MSG1)
۱۹۷۰	نسخه اصلاح شده MSG1، هواپیماهای DC10 و L1011 (MSG2)
۱۹۷۵	راه آهن انگلیس
۱۹۷۶	وزارت دفاع آمریکا، هواپیماهای بوئینگ ۷۴۷، داگلاس DC10 و لاکهید ۱۰۱۱
۱۹۸۰	"برنامه‌ریزی عملیات نگهداری و تعمیرات سازمان هواپیمایی و سازنده" (MSG 3) و صنایع هسته‌ای
۱۹۸۰	در بخش معدن و ساخت و تولید
۱۹۹۰ تا ۱۹۸۳	نوشته جان موبری، ویرایشی متفاوت با هیپ و نولان
۱۹۹۱	اجرای RCM در سیستم تقویت فشار در صنعت نفت دریا
۱۹۹۲	برنامه کامل اجرای RCM در نیروگاه‌های هسته‌ای و حرارتی
۲۰۱۴	اجرای RCM به منظور ذخیره آب در سیستم پمپاژ آب شهری
۲۰۱۵	بهینه‌سازی طرح نگهداری پیشگویانه قابلیت اطمینان محور برای سیستم ناوبری ساکن
۲۰۱۵	یکپارچه‌سازی تعمیر و نگهداری قابلیت اطمینان محور با بهینه‌سازی هزینه و کاربرد آن در کارخانه کروم آبکاری سخت
۲۰۱۵	مدل ترکیبی RCM و AHP برای اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری شبکه راه‌آهن

1. F. De Carlo & Arleo
2. Yssaad, Khiat, & Chaker
3. Selvik & Aven
4. Igba, J., Alemzadeh, K., Anyanwu-Ebo, I., Gibbons, P., & Friis, J.
5. Fischer, K., Besnard, F., & Bertling, L.
6. Macchi, M., Garetti, M., Centrone, D., Fumagalli, L., & Piero Pavirani, G.
7. Jiang, X., Duan, F., Tian, H., & Wei, X.

در بسیاری از صنایع، تعداد زیادی از فعالیت‌های اجرایی نت پیشگیرانه نه تنها اثربخش نیست بلکه به دلیل باز و بسته کردن غیرضروری دستگاه‌ها موجب استهلاک آنها نیز شده است و چون به مرور زمان در حین اجرای این فعالیت‌ها از نظر پرسنل اجرایی بی‌فایده تلقی می‌شوند، اعتماد به برنامه‌های پیشگیرانه از سوی واحد طرح و برنامه کاسته و عملاً تعامل بین این دو واحد کم‌رنگ می‌شود که باعث می‌شود، فعالیت‌های تدوین‌شده نت در حد تیک زدن به چک‌لیست‌ها بدون انجام آنها در راستای سلب مسئولیت‌ها صورت گیرد که این امر به مرور زمان باعث تبدیل برنامه‌های نگهداری به نت اضطراری شده که برای صنایع توزیع و انتقال گاز به هیچ وجه مناسب نیست و ممکن است در درازمدت باعث بروز سوانح و حوادث جبران‌ناپذیری شود. در روش نت پیشگیرانه ما بر اساس برنامه‌هایی که قبلاً تدوین کرده‌ایم (بدون بازنگری در آنها) و بر اساس شرایط اولیه دستگاه (مطالعه کاتالوگ‌ها و شرایط نو بودن دستگاه) آنها را به اجرا می‌گذاریم؛ درحالی‌که پس از گذشت سال‌ها دیگر این برنامه‌ها اثربخش نیست؛ زیرا شرایط کارکرد دستگاه به مرور زمان تغییر می‌کند. ضمناً کیفیت قطعه‌هایی که استفاده می‌کنیم نیز با قبل متفاوت است. پس نمی‌توان فقط بر اساس دوره‌های زمانی ثابت و انجام حتی درست و نظارت دقیق بر حسن انجام فعالیت‌های تدوین‌شده از اثربخش بودن فعالیت‌های نت اطمینان حاصل کرد بلکه باید برای تجهیزهای متفاوت و حتی مشابه ولی در شرایط مختلف از روش‌های اجرایی متفاوت نظیر: کار تا خرابی^۱، تصمیم‌گیری برای بهبود طراحی سیستم^۲، نت مبتنی بر شرایط^۳، نت مبتنی بر زمان^۴ و بازدیدها با هدف عیب‌یابی^۵ بهره برد. در روش RCM برای تجهیزهای مشابه و در شرایط کاری مختلف، نیازهای متفاوتی تعیین و مشخص می‌شود که این برخلاف روشی است که در حال حاضر در بسیاری از کارخانه‌ها به کار گرفته می‌شود. در روش RCM2 به بررسی تک تک خرابی‌ها و علل و آثار آنها پرداخته می‌شود و این تکنیک در هیچ یک از نت‌های پیشین مشاهده نشده است. در جدول ۲ مقایسه بین روش RCM سنتی و صنعتی (RCM2) تشریح شده است که بر اساس تحقیقات آقای جان‌موبری در زمینه اصول اجرای موفق نت در ۵۰۰ شرکت واقع در ۲۷ کشور مختلف است. نویسنده براساس یافته‌های خود، مدیریت نگهداری و تعمیرات را بر ۱۵ اصل استوار ساخته و به مقایسه نگرش قدیم و جدید در زمینه ۱۵ اصل مذکور پرداخته است.

-
1. Run to failure
 2. Redesign
 3. Condition based maintenance
 4. Time based maintenance
 5. Failure finding maintenance

جدول ۲: مقایسه RCM سنتی و صنعتی (J. Moubray, 1997)

اصل	نگرش قدیم	نگرش جدید
۱.	هدف از اجرای نت، حفاظت و نگهداری از ماشین آلات و تجهیزات است.	هدف از اجرای نت، حفظ کارکرد و میزان دقت ماشین آلات و تجهیزات است.
۲.	نت روتین در زمینه پیشگیری از بروز خرابی‌ها است.	نت روتین در زمینه اجتناب، کاهش یا حذف اثرات خرابی‌هاست.
۳.	مهم‌ترین تأثیر اجرای صحیح نت، افزایش قابلیت دسترسی به ماشین آلات (به عبارت دیگر، کاهش توقفات) با کمترین هزینه ممکن است.	اثرات اجرای نت به افزایش قابلیت دسترسی به ماشین آلات و کاهش هزینه‌ها محدود نبوده بلکه مواردی همچون افزایش ارزش افزوده تولید، حفظ محیط زیست، بازده انرژی، کیفیت تولید، افزایش ایمنی در محیط کار و رضایت مشتریان را نیز در برمی‌گیرد.
۴.	احتمال وقوع خرابی‌ها در بیشتر ماشین آلات با افزایش طول عمر آنها افزایش می‌یابد.	احتمال وقوع بسیاری از خرابی‌ها ارتباطی با طول عمر ماشین‌ها ندارد.
۵.	برای اجرای یک برنامه نت موفق نیاز است که اطلاعات جامعی از نرخ خرابی ماشین آلات برای ارزیابی وضعیت در دسترس باشد.	تصمیم‌گیری‌ها برای کاهش خرابی‌های ماشین آلات و اجرای برنامه نت موفق برای آنها تقریباً در همه موارد بر اساس اطلاعات غیرکافی در زمینه نرخ خرابی انجام گرفته است.
۶.	انواع برنامه‌های نگهداری و تعمیرات: پیشگیرانه، پیش‌بینانه، اصلاحی	انواع برنامه‌های نگهداری و تعمیرات: پیشگیرانه، پیش‌بینانه، اصلاحی، اقتضائی، کشف شکست، بازطراحی
۷.	تناوب اجرای فعالیت‌های CBM بر اساس تناوب وقوع خرابی (و یا خرابی قطعات مهم) است.	تناوب اجرای فعالیت‌های CBM بر اساس منحنی PF تعیین می‌شود.
۸.	اگر برای یک فعالیت نت دو تکنیک مناسب وجود داشته باشد، برنامه اورهال در دوره‌های ثابت معمولاً ارزان‌تر و مؤثرتر از CBM است.	اگر برای یک فعالیت نت دو تکنیک مناسب وجود داشته باشد، تقریباً در همه موارد فعالیت‌های CBM ارزان‌تر و بسیار مؤثرتر از TBM در کل دوره عمر ماشین است.
۹.	حوادثی که خرابی‌های چندگانه بر ماشین آلات وارد می‌کنند، معمولاً نتیجه بدشانسی بوده و از این رو قابل کنترل نیستند.	در سیستم‌های تحت کنترل، احتمال اینکه یک خرابی با عوارض چندگانه رخ بدهد به عنوان یک متغیر قابل کنترل است.
۱۰.	یک راه سریع برای بهبود کارایی ماشین آلات، ارتقاء ^۱ دادن آنها است.	تقریباً در همه موارد تنها راه مؤثر و کم هزینه در بهبود کارایی ماشین آلات، بهبود روش‌های بهره‌برداری و نگهداری از آنها بوده است و ارتقاء دادن آنها زمانی که اقدامات مذکور نتواند کاری مورد نظر را تأمین کند، پیشنهاد می‌شود.

اصل	نگرش قدیم	نگرش جدید
۱۱.	تعیین خطمشی و برنامه‌های نت باید از سوی مدیر و برنامه‌ریزان نت و متخصصان واجد شرایط انجام گیرد.	خطمشی و برنامه‌های نت باید از سوی نزدیک‌ترین افراد به ماشین‌ها تعیین شود و وظیفه مدیریت نیز فراهم کردن شرایط و امکانات لازم برای تصمیم‌گیری درست آنهاست.
۱۲.	خطمشی‌های عمومی نت برای انواع دارایی‌های فیزیکی یکسان است.	خطمشی‌های عمومی نت بر اساس نوع کار و وظیفه ماشین‌آلات متفاوت است.
۱۳.	واحد نگهداری و تعمیرات می‌تواند یک برنامه نت موفق را تدارک ببیند.	واحد نت برای تهیه یک برنامه نت کامل باید از همکاری و همفکری مجریان نت و پرسنل تولید هر ماشین استفاده کند.
۱۴.	سازندگان ماشین‌ها در بهترین جایگاه برای تهیه برنامه‌های نت برای ماشین‌ها قرار دارند.	سازندگان ماشین‌ها می‌توانند فقط یک نقش محدود (اما مهم) در برنامه نت ماشین‌ها ایفا کنند.
۱۵.	امکان رفع سریع مشکلات نت وجود دارد.	مشکلات نت با انجام دو فعالیت اساسی رفع می‌شود: ۱. تغییر در نحوه تفکر پرسنل و ۲. تشویق آنان برای به کار بستن عقاید تغییر یافته برای رفع مشکلات.

با توجه به اینکه روش‌شناسی RCM2 جزء روش‌های نوین نت در نسل سوم سیستم‌های نت است و کمتر از ۲۰ سال در جهان از عمر آن می‌گذرد، در سال‌های اخیر در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته است. از آن جمله: شرکت‌های نفت و گاز و پتروشیمی، شرکت‌های خودروسازی به فکر استقرار این سیستم افتاده‌اند که تاکنون به طور کامل در هیچ شرکتی مستقر نشده است. بررسی‌های محقق در زمینه نت در بخش تقلیل فشار گاز در شرکت‌های گاز استانی نشان می‌دهد که تمامی مناطق ایران در بخش تقلیل فشار گاز، نه بر اساس سوابق خرابی‌ها بلکه با استفاده از تجربه، از روش نت پیشگیرانه و بر اساس زمان‌بندی و گاهی اوقات از نت اضطراری استفاده می‌کنند؛ چون روش‌های جاری سبب بازرسی‌های فنی بی‌مورد و باز و بسته کردن بیش از حد دستگاه‌ها سبب استهلاک آنها می‌شود. بنابراین، نت مبتنی بر قابلیت اطمینان که به انجام فعالیت‌های صحیح برای هر حالت از شکست می‌پردازد، باعث می‌شود تا با آگاهی بیشتر از شکست‌ها و اثراتی که بر سیستم مورد نظر می‌گذارند از حوادث و رخداد‌های ناگهانی جلوگیری شود.

ابتدا این مقاله به تشریح مراحل اجرای روش RCM2 پرداخته است و چون این روش باید روی تجهیز بحرانی انجام شود، با استفاده از نظر خبرگان شرکت، معیارهای اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی مشخص و با وزن‌دهی این معیارها، بحرانی‌ترین تجهیز انتخاب شده است. سپس مراحل اجرای روش RCM2 برای رسیدن به نت مناسب برای هر قطعه از تجهیز بحرانی بررسی شده است.

مراحل اجرای RCM

برای اجرای RCM باید با استفاده از یک قالب سازمان یافته در مورد تجهیزهای موجود و شرایط کاری آنها، سؤال‌های زیر بررسی و پاسخ داده شود:

۱. عملکردها^۱: عملکردها و استانداردهای اجرایی تجهیزها چه هستند؟
 ۲. خرابی‌های عملکردی^۲: کدام وجه یا وجوه عملکردی یک وسیله دچار خرابی می‌شود؟
 ۳. حالت‌های مختلف خرابی^۳: چه نوع خرابی‌های عملکردی اتفاق می‌افتد؟
 ۴. اثرات خرابی^۴: وقتی هر خرابی به وقوع می‌پیوندد، چه اتفاقی می‌افتد؟
- چهار سؤال فوق را می‌توان تحت عنوان تجزیه و تحلیل حالت‌های خرابی و آثار آن طرح کرد.
۵. پیامدها و نتایج خرابی^۵: هر خرابی از چه نظر اهمیت دارد؟
 ۶. عملیات پیشگیرانه^۶: برای جلوگیری از خرابی، چه اقداماتی باید انجام داد؟
 ۷. ناکارآمدی عملیات^۷: در صورتی که عملیات پیشگیرانه وجود نداشت، چه اقداماتی برای جلوگیری و حذف خرابی‌ها باید انجام داد؟
- دو سؤال اخیر را می‌توان تحت عنوان تجزیه و تحلیل عملیات مطرح کرد.

تجزیه و تحلیل حالت‌های خرابی و آثار آن (FMEA)^۸

در این بخش، موارد زیر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد:

عملکردها: این بخش شامل شناسایی تجهیزات و ماشین‌آلات، تعیین عملکردها و تهیه استانداردهای اجرایی تجهیزات در شرایط کاری مربوطه است. این شناسایی باید برای تمام بخش‌های مهم عملیاتی و قسمت‌ها انجام شود. RCM بر روی شناخت استانداردهای اجرایی مورد نیاز تجهیزات تأکید دارد.

خرابی‌های عملکردی: در این قسمت، کلیه حالت‌های خرابی‌های عملکردی برای کلیه تجهیزها و شرایط کاری مربوطه تعیین می‌شود. یک خرابی عملکردی به عنوان ناتوانی یک قسمت برای رسیدن به سطح استانداردهای مورد نیاز اجرایی و انجام عملکرد مربوطه در سطح مطلوب تعریف می‌شود.

1. Functions
2. Functional Failures
3. Failure Modes
4. Failure Effects
5. Consequences
6. Preventive Tasks
7. Default Tasks
8. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

حالت‌های مختلف خرابی: در این مرحله، حالت‌های مختلف خرابی که خرابی‌های عملکردی را به وجود می‌آورند، شناسایی می‌شوند. حالت‌های خرابی انواع صورت‌هایی هستند که ممکن است یک وسیله به آن شکل خراب شوند.

اثرات خرابی: در این مرحله، اثرات خرابی برای هر حالت خرابی ثبت می‌شود. اثرات خرابی ایجاد شده باید در فرم‌های مربوط به FMEA ثبت و در مدارک تجهیزات بایگانی شود.

تجزیه و تحلیل پیامدها و نتایج خرابی^۱

پیامدها و نتایج هر حالت خرابی با بازبینی و بررسی مقدار اهمیت خرابی، طبقه‌بندی و تقسیم‌بندی می‌شود. RCM پیامدهای خرابی را در چهار گروه طبقه‌بندی می‌کند:

پیامدهای شکست پنهان: شکست‌های پنهان دارای اثرهای مستقیم نیستند ولی ممکن است که سازمان را با شکست‌های چندگانه دارای پیامدهای خطرناک و اغلب فاجعه‌بار رو به رو کند.

پیامدهای ایمنی و محیط زیستی: یک شکست اگر فردی را کشته یا زخمی کند دارای پیامد ایمنی است. اگر منتهی به نقض استاندارد محیط زیستی در ابعاد شرکتی، منطقه‌ای، ملی یا بین‌المللی شود، شکست دارای پیامد زیست‌محیطی است.

پیامدهای عملیاتی: یک شکست دارای پیامد عملیاتی است؛ البته اگر بر روی نرخ خروج، کیفیت محصول، خدمت به مشتریان و یا هزینه‌های عملیات به علاوه هزینه‌های مستقیم تعمیر اثرگذار باشد.

پیامدهای غیر عملیاتی: شکست‌های آشکاری که در این دسته جای می‌گیرند، بر روی ایمنی یا تولید اثری ندارند و فقط هزینه‌های مستقیم تعمیر را موجب می‌شوند.

تجزیه و تحلیل عملیات^۲

هدف از تجزیه و تحلیل عملیات، شناسایی مناسب‌ترین روش نت برای رفع هر حالت خرابی است. برای این منظور با استفاده از دیاگرام تصمیم‌گیری RCM2 مناسب‌ترین عملیات از جمله عملیات پیش‌اقدام (آینده‌نگر^۳) و در صورت عدم وجود روش خاصی، عملیات پیش‌فرض^۴ انجام می‌شود.

-
1. Consequences Analysis
 2. Tasks Analysis
 3. Proactive Tasks
 4. Default Action

فعالیت‌های پیش‌اقدام: فعالیت‌هایی هستند که پیش از وقوع شکست و برای جلوگیری از وارد شدن به وضعیت شکست انجام می‌شوند. RCM فعالیت‌های پیش‌اقدام را به شرح زیر به سه دسته تقسیم می‌کند:

- ✓ فعالیت‌های بازسازی زمان‌بندی‌شده،
- ✓ فعالیت‌های از رده خارج کردن زمان‌بندی‌شده،
- ✓ فعالیت‌های اقتضایی زمان‌بندی‌شده.

فعالیت‌های بازسازی و از رده خارج کردن زمان‌بندی‌شده

بازسازی زمان‌بندی‌شده شامل بازسازی و ساخت مجدد قطعه و یا تعمیر اساسی یک مجموعه قبل و یا در زمان محدودیت سنی‌اش و بدون توجه به وضعیتش در آن زمان است. به طرز مشابهی، از رده خارج کردن زمان‌بندی‌شده شامل از رده خارج کردن اقلام قبل یا در زمان محدودیت سنی و بدون توجه به وضعیت‌شان است.

فعالیت اقتضایی

تکنیک‌هایی برای کشف شکست‌های بالقوه مورد استفاده قرار می‌گیرند تا بتوان از پیامدهایی اجتناب کرد که ممکن است در اثر ادامه وضعیت تا منتهی شدن به شکست کارکردی رخ بدهند؛ به این نوع تکنیک‌ها فعالیت‌های اقتضایی گفته می‌شود. (نگهداری و تعمیرات اقتضایی شامل: نت پیشگویانه^۱، نت اقتضایی مبتنی بر وضعیت^۲ و پایش وضعیت^۳ است).

فعالیت‌های پیش‌فرض

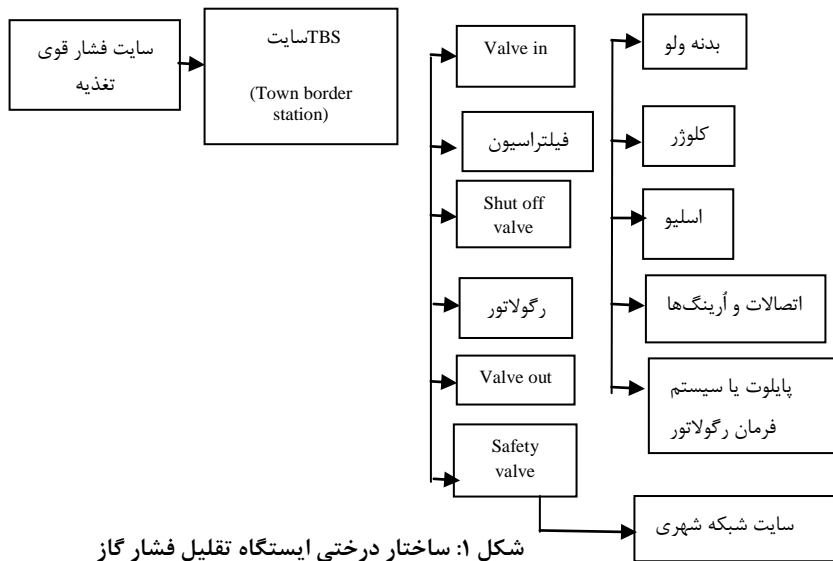
این اقدام‌ها با خود وضعیت شکست سر و کار دارند و در زمانی انتخاب می‌شوند که امکان شناسایی فعالیت پیش‌اقدام مؤثری وجود ندارد. اقدامات پیش‌فرض شامل جست و جوی شکست^۴، بازطراحی^۵، نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی‌نشده^۶ (کارکرد تا شکست) است.

-
1. One Condition Tasks
 2. Predictive maintenance
 3. Condition Monitoring
 4. Failure- Finding
 5. Redesign
 6. Run-to-Failure

مطالعه موردی

انتخاب سیستم

گاز پس از استخراج و طی فرایندهای ضروری و حذف مواد نامطلوب از طریق تجهیزها و شبکه گازرسانی به محل مصرف انتقال داده می‌شود. خطوط لوله انتقال عمدتاً زیرزمینی هستند. فشار گاز موجود در شبکه در بخش‌های گوناگون متفاوت است. برای انتقال در مسیرهای طولانی فشار آن بالاتر و در محل مصرف فشار گاز کمتر است. گاز استخراج‌شده در پالایشگاه‌ها و یا مراکز نم‌زدایی و فیلتراسیون، پالایش و تصفیه‌شده، به خطوط انتقال گاز تزریق‌شده و در میان راه پالایشگاه تا ورودی شهرها به وسیله ایستگاه‌های تقویت فشار، افت فشار ایجادشده رفع و گاز با فشار ۷۰۰ psi تا ۱۰۰۰ به ورودی شهرها و ایستگاه‌های CGS^۱ (ایستگاه تقلیل فشار و اندازه‌گیری گاز ورودی شهر) خواهد رسید. در ایستگاه‌های CGS فشار از ۲۵۰ psi^۲ تقلیل و در خطوط تغذیه شهری وارد و سپس به وسیله ایستگاه‌های تقلیل فشار شهری (TBS)^۳ به فشار ۶۰ psi^۴ تقلیل و به شبکه توزیع شهری منتقل و تا علمک درب منازل، صنایع و ... انتقال یافته و در آنجا نیز بستگی به نوع مصرف از فشار ۱/۴ تا ۲ psi کاهش و تحویل سیستم داخلی مصرف‌کنندگان خواهد شد. در این مقاله، اطلاعات به دست آمده از ایستگاه TBS تهیه شده است. نمای کلی ایستگاه TBS به صورت "شکل ۱" است:



1. City gate station
2. Town Border Station

انتخاب تجهیز بحرانی

بعد از مذاکره شفاهی با مسئولان شرکت، فرمتی برای تعیین تجهیزهای بحرانی طراحی شد که با استفاده از آن بحرانی‌ترین تجهیز از نظر این معیارهای منتخب برای انجام آنالیز RCM انتخاب شد. به طور کلی، تجهیزات به چهار دسته زیر قابل تقسیم خواهند بود که عبارت است از:

VITAL: به تجهیزهایی می‌گویند که حیاتی و بسیار بحرانی هستند؛

ESSENTIAL: به تجهیزاتی می‌گویند که از درجه بحرانی کمتری نسبت به VITAL

برخورد دارند ولی بحرانی هستند؛

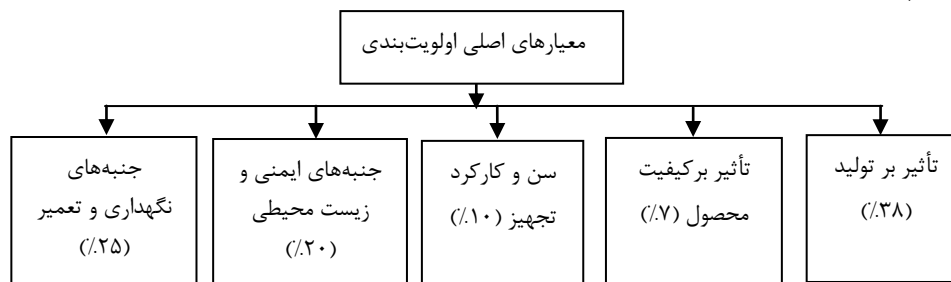
IMPORTANT: به تجهیزهایی می‌گویند که از درجه بحرانی کمتری نسبت به

ESSENTIAL برخوردارند ولی تجهیزهای مهمی هستند؛

NORMAL: به تجهیزهایی می‌گویند که از درجه بحرانی بودن بسیار کمی برخوردارند و

می‌توان گفت که اصلاً بحرانی نیستند.

در RCM که هر چه بحرانی بودن تجهیزها بیشتر باشد، باید نگهداری از آنها به سمت نت پیشگیرانه برود و هر چه بحرانی بودن کمتر باشد، به سمت نت اضطراری و بدون نیاز به پیشگیری خواهد رفت؛ البته آنالیز RCM که در مورد خرابی‌ها و اثرات آنها بحث می‌کند، به بحرانی بودن خود تجهیز از این منظر نمی‌نگرد ولی برای اینکه مشخص شود برای کدام تجهیزها بهتر است، ابتدا پیاده‌سازی روش شناسی RCM انجام شود، معیارهایی برای تعیین بحرانی بودن تجهیزها به صورت زیر تعیین می‌شود که خروجی آنها مشخص می‌کند، اولویت انجام تحقیق برای کدام تجهیز بیشتر است. بدین منظور معیارهای پنج‌گانه‌ای به شرح "شکل ۲" در نظر گرفته شده و با توجه به کم بودن تعداد معیارها، اهمیت آنها با کمک روش وزن‌دهی مستقیم خبرگان (جهان و همکاران^۱، ۲۰۱۲) به دست آمده است. خبرگان از شاغلان در سیستم تقلیل فشار شرکت گاز شهرهای دماوند و تهران انتخاب شدند.



شکل ۲: معیارهای اصلی اولویت‌بندی تجهیزها از نظر بحرانی بودن

برای انتخاب تجهیز بحرانی در شرکت توزیع گاز استان سمنان با الگوبرداری از روش تعیین تجهیزات بحرانی در سایر صنایع کشور، محقق به تهیه معیارهای تعیین تجهیز بحرانی پرداخته است. درصد اهمیت هر یک از معیارها در سازمان‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. با توجه به استقرار استانداردهای ISO14001 و OHSAS 18000 در شرکت، مسائل ایمنی و زیست‌محیطی نیز به عنوان یکی از معیارهای اصلی برای انتخاب تجهیز بحرانی مورد توجه قرار گرفته است. به کمک روش ساده وزنی، تجهیز رگولاتور به عنوان بحرانی‌ترین تجهیز برای انجام تحقیق و آنالیز RCM تعیین شد.

تجزیه و تحلیل حالت‌های خرابی و آثار آن

از آنجایی که کاهش و کنترل فشار از عملکردهای کلیدی تجهیز رگولاتور است، جدول تصمیم‌گیری RCM به صورت "جدول ۳" تکمیل شد:

جدول ۳: جدول تصمیم‌گیری RCM2 برای آنالیز حالات و اثرات شکست

سیستم: تقلیل فشار	زیرسیستم: رگولاتور	اثرهای شکست (چه اتفاقی می‌افتد وقتی یک شکست کارکردی رخ می‌دهد)	
شکست کارکردی (از دست دادن کارکرد)	حالت‌های شکست (علت خرابی)	ردیف کارکرد	شکست کارکردی
۱. کنترل و تنظیم فشار گاز متناسب با دبی جریان خروجی	شکستگی فنر	A	باعث کاهش فشار خروجی می‌شود و در این حالت افت فشار از سوی اپراتور و مصرف‌کننده اعلام می‌شود.
	گرفتگی مسیر لوله تخلیه	B	باعث کاهش فشار خروجی می‌شود. مدت زمان تعمیر در این حالت نیم ساعت است. مسیر لوله تخلیه از سوی اپراتور سرویس و نظافت می‌شود. در این حالت هم افت فشار از سوی اپراتور و مصرف‌کننده اعلام می‌شود.
B تنظیمی	پاره شدن اسلیو	۱	باعث عمل کردن safety valve می‌شود و اگر فشار ورودی بیشتر از ۲۰٪ فشار خروجی افزایش یابد shut off valve عمل می‌کند و گاز مازاد را به فضا آزاد می‌کند. در صورتی که قطع گاز خروجی و گاز مصرف‌کننده ایجاد شده باشد، مدت زمان تعمیر ۴۵ دقیقه است.
	خوردگی کلوزر	۲	قطع‌ه مورد نیاز اسلیو در ایستگاه تعویض می‌شود.
	خرابی پابلوت	۳	

سیستم: تقلیل فشار		زیرسیستم: رگولاتور
شکست کارکردی ردیف کارکرد (از دست دادن کارکرد)	حالت‌های شکست (علت خرابی)	اثرهای شکست (چه اتفاقی می افتد وقتی یک شکست کارکردی رخ می دهد)
C	۱ گرفتگی میکرو فیلتر	باعث کاهش فشار خروجی و اعلام افت فشار از سوی اپراتور و مصرف کننده می شود باعث نویز و از هم گسیختگی اتصال‌های می شود. در این حالت ممکن است نیاز به تعمیر رگولاتور، اسلیو، میکروفیلتر باشد.
	۲ تجمع بیش از حد ناخالصی در کلوزر کاهش دمای گاز در مسیر عبور گاز و ایجاد یخ زدگی و کاهش فشار گاز	تعمیر و نظافت و سرویس رگولاتور ۱ ساعت زمان می برد. اقدام‌هایی که باید در این حالت انجام شود: ۱. در سرویس قرار دادن خط رزرو؛ ۲. طراحی و پیش بینی افزایش ظرفیت ایستگاه؛ ۳. قطع گاز و کاهش مصرف در بخش مصارف غیر ضروری است.
	۳	
	۴ خرابی پیلوت	
	۵ گرفتگی مسیر پیلوت به رگولاتور	

تشکیل دیاگرام تصمیم‌گیری برای ارزیابی پیامدهای شکست

با بررسی‌های پیامدهای خرابی سه نوع پیامد آشکار در حالت‌های خرابی مربوط به کارکرد رگولاتور مشاهده می‌شود:

الف) پیامد عملیاتی

ب) پیامد ایمنی

ج) پیامد زیست‌محیطی

بنابراین، دیاگرام تصمیم‌گیری در این سه نوع پیامد ترسیم و سپس پیامدها ارزیابی شد. در انتها، نتیجه ارزیابی در "جدول ۴" درج شد. دیاگرام تصمیم‌گیری پیامدهای شکست در روش RCM2 به صورت "شکل ۳" است.

تجزیه و تحلیل اطلاعات

به طور خلاصه، فعالیت‌های پیشنهادی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای تجهیز بحرانی رگولاتور در قسمت تقلیل فشار گاز در "جدول ۴" جمع‌آوری شده است. با بررسی مطالعات انجام‌شده در تحقیق به این نتیجه رسیدیم که چون کنترل فشار ورودی و خروجی به رگولاتور دارای اهمیت زیادی در این سیستم است و بیشتر رفت و آمد و بازدیدهای روزانه برای کنترل فشار گاز انجام می‌شود، یک فعالیت پیشنهادی تأثیرگذار استفاده از سنسور فشار در این ایستگاه‌هاست که باعث

می‌شود، نیروی انسانی زمان کمتر و در نتیجه، هزینه‌های اضافی کمتری برای نگهداری و تعمیرات متحمل سازمان شود. همچنین تست لاک‌آپ برای رگولاتور در زمان‌های بیشتری از سال و به صورت دوره‌ای سبب می‌شود که بعدها نیازی به باز و بسته کردن زیاد رگولاتور نداشته باشیم و در نتیجه، خرابی‌های جانبی در دستگاه‌های دیگر را کمتر و ایمنی بیشتری را تضمین کنیم.

جدول ۴: تصمیم‌گیری در مورد پیامدهای خرابی و اقدامات پیشنهادی برای هر خرابی

همه‌نگ‌کننده ممیز	شماره سیستم شماره زیرسیستم	سیستم: تقلیل فشار			جدول تصمیم‌گیری RCM2						
		H3	H2	H1	ارزیابی پیامد			مرجع اطلاعات			
	اقدام‌های پیش فرض	S3	S2	S1	O	E	S	H	FM	FF	F
	S4 H5 H4	O3	O2	O1	عملیاتی	محیط زیستی	پنهان ایمنی	پنهان (خیر)	(حالت شکست)	(شکست کارکردی)	(کارکرد)
فعالیت پیشنهادی											
تعمیر دوره‌ای سالیانه با توجه به سوابق خرابی‌ها		Y			Y (بلی)	N	N	N	1.A.1		
بازدید دوره‌ای و تعویض میکروفیلتر مخصوصاً در فصول سرد سال		Y	Y		Y	N	N	N	1.A.2		1.A
کنترل فشار با استفاده از نصب سنسور فشار و همچنین تست لاک‌آپ رگولاتور و گاهی اوقات نیاز به بازطراحی است که نیاز به اضافه شدن خط جدید به شبکه است			Y	Y	Y	Y	Y	N	1.B.1		1.B
نظافت یا تعویض فیلتر و میکروفیلتر		Y			Y	Y	Y	N	1.B.2		1
تست لاک‌آپ در رگولاتور			Y	Y	Y	Y	Y	N	1.B.3		
نظافت یا تعویض میکروفیلتر		Y			Y	Y	Y	N	1.C.1		
نظافت یا تعویض فیلتر و میکروفیلتر و کنترل فشار ورودی		Y			Y	Y	Y	N	1.C.2		
استفاده از سنسور فشار و دما و بالا بردن دما در هیترها		Y			Y	Y	Y	N	1.C.3		1.C
تست فشار در رگولاتور			Y	Y	Y	Y	Y	N	1.C.4		
نظافت یا تعویض فیلتر و میکروفیلتر		Y			Y	Y	Y	N	1.C.5		

نتیجه گیری

گاز طبیعی در دنیا و به خصوص در کشور ما جزء شریان‌های حیاتی اقتصاد و صنعت است. در این میان، به دلیل مصارف خانگی و صنعتی زیاد گاز طبیعی، شبکه‌های توزیع گاز طبیعی بسیار گسترده و وسیع هستند و همین امر موجب شده است تا تعداد ایستگاه‌های TBS در کشور ما بسیار زیاد باشد. ماهیت کاری این ایستگاه‌ها بسیار حیاتی و در عین حال، بسیار خطرناک است. از این جهت، نیاز به مراقبت و نظارت دوچندان دارد. در صنعت گازرسانی بسیاری از حوادث از قبیل: آتش‌سوزی و انفجار یا حتی توقف‌های برخی از تجهیزات منجر به خسارت‌های عظیم می‌شود که این عموماً به علت خرابی قطعات به‌کاررفته در تجهیزات و فرایندهاست. شناخت و چگونگی این خرابی‌ها به منظور پیشگیری از وقوع آنها در بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم، بهینه کردن عملکرد فرایند و سودآوری آن، مهم و حیاتی است. بنابراین، در این مقاله، پیاده‌سازی فرایند RCM2 در تجهیز بحرانی "رگولاتور" در شرکت توزیع گاز استان سمنان مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که این شرکت و دیگر شرکت‌های گاز استانی دارای تعداد زیادی خطوط تقلیل فشار برون شهری و درون شهری هستند و قیمت هر رگولاتور بسیار بالاست و نگهداری و تعمیرات جاری در شرکت نیاز به رفت و آمد و بازدیدهای فراوانی داشته است و به‌کارگیری منابع انسانی و صرف وقت زیادی را در پی دارد، بهینه کردن نگهداری و تعمیرات مناسب می‌تواند، برگشت سرمایه عظیمی برای کشور باشد. با توجه به اینکه روش شناسی RCM2 یک روش صنعتی تعیین مناسب‌ترین راهبرد نت در جهان است، نتایج این تحقیق می‌تواند در سایر صنایع نیز مورد بهره‌برداری قرار گیرد. همچنین امروزه بحث مسائل زیست‌محیطی و آلودگی هوا اهمیت قابل توجهی دارد. با توجه به این موضوع چون در روش RCM2 صنعتی به بررسی خرابی‌ها از منظر آلودگی‌های محیط‌زیستی علاوه بر مسائل ایمنی پرداخته شده است، این تکنیک می‌تواند یکی از برتری‌های این روش نسبت به دیگر روش‌های نگهداری و تعمیرات در نظر گرفته شود. به طور خلاصه، استفاده از منابع انسانی کمتر، صرفه‌جویی در وقت و هزینه، اجتناب از باز و بسته کردن غیرضروری تجهیزات و در نتیجه، استهلاک کمتر و کاهش آلودگی‌های محیط زیستی ناشی از نشت گاز نتایج حاصل از این تحقیق است. پیشنهاد می‌شود که تحقیقات آتی در زمینه سازماندهی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات شرکت گاز و سپس بر مبنای خروجی RCM، بهینه‌سازی زمان تعویض/تعمیر قطعات انجام گیرد.

منابع

- A. M Smith, & Hinchcliffe, G. R. (2004). *RCM: Gateway to World Class Maintenance (1st ed.)*, . USA: Elsevier.
- Arno, R., Dowling, N., Fairfax, S., Schuerger, R. J., & Weber, J. (2015). What Is RCM and How Could It Be Applied to the Critical Loads? *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(3), 2045-2053. doi: 10.1109/tia.2014.2379951
- F. De Carlo, & Arleo, M. A. (2013). Maintenance cost optimization in condition based maintenance: a case study for critical facilities. *International Journal of Engineering and Technology*, 50 .
- 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), 1-12 .
- Igba, J., Alemzadeh, K ,Anyanwu-Ebo, I., Gibbons, P., & Friis, J. (2013). A Systems Approach Towards Reliability-Centred Maintenance (RCM) of Wind Turbines. *Procedia Computer Science*, 16, 814-823. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.01.085>
- J. Moubray. (1997). *Reliability Centered Maintenance*. Oxford: Elsevier.,
- Jahan, A., Mustapha, F., Sapuan, S. M., Ismail, M. Y., & Bahraminasab, M. (2012). A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58, 411–420. doi: 10.1007/s00170-011-3366-7
- Jiang, X., Duan, F., Tian, H., & Wei, X. (2015). Optimization of reliability centered predictive maintenance scheme for inertial navigation system. *Reliability Engineering & System Safety*, 140. 208-217 .doi: 10.1016/j.res. 2015.04.003
- Levin, M. A., & Kalal, T. (2003). *Improving Product Reliability: Strategies and Implementation*. (1st ed)California: John Wiley & Sons Ltd.
- Macchi, Garetti, M., Centrone, D., Fumagalli, L., & Pavirani, G. P. (2012). Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 104, 71-83 .
- Selvik, J. T., & Aven, T. (2011). A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(2), 324-331. doi: 10.1016/j.res.2010.08.001
- Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2014). Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 108-115 .doi: 10.1016/j.ijepes. 2013.08.025.