فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج - سال هشتم / شماره ۲۵ / پاییز ۱۳۹۲

اولویت بندی استراتژی های پایش وضعیت برای افزایش قابلیت دسترسی تجهیزات با استفاده از رویکرد ترکیبی AHP-QFD با مطالعه موردی در شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

آرش شاهین
دانشیار گروه مدیریت دانشگاه اصفهان
هادی بالوئی جام خانه (نویسنده مسؤول)
دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه اصفهان
E-Mail: hadibalouei@yahoo.com
پژمان سلیمانپور
دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۵ * تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۲

چکیده

امروزه مدیریت دارایی های فیزیکی یکی از شاخه های مهم دانش و فناوری به شمار می رود. کاهش خرابی های اتفاقی و تعمیرات ناخواسته یکی از مهم ترین اهداف استفاده کنندگان از تجهیزات و ماشین آلات پیشرفته می باشد. در این میان تعمیرات مبتنی بر پایش وضعیت به عنوان راهکاری چاره ساز در مهار مشکلات فنی، اقتصادی و مدیریت راهبردی ماشین آلات و تجهیزات به کار برده می شود.در این تحقیق ضمن تشریح مبانی پایش وضعیت (CM) و استانداردهای موجود در این زمینه، روند تأثیرگذاری شاخص های موثر پایش وضعیت بر افزایش "قابلیت دسترسی تجهیزات" در سطح شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان مورد بررسی قرارگرفته است و با استفاده از روش ترکیبی AHP - QFD، استراتژی های پایش وضعیت به منظور افزایش قابلیت دسترسی تجهیزات اولویت بندی شود. بدین صورت که اطلاعات مربوط به ماتریس خانه کیفیت را از طریق توزیع پرسشنامه طیف لیکرت بین مدیران و متخصصان بخش نگهداری و تعمیرات شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان جمع آوری شد. یافته ها نشان دهنده آن است که استراتژی های تحلیل فرکانس و کل سطح ارتعاش با وزن۰/۲۸۱۰ و استراتژی کلیدهای مغناطیسی و فیلترها با وزن ۰/۱۰۲۶ به ترتیب بیشترین تاثیر را در افزایش قابلیت دسترسی تجهیزات دارند.

کلمات کلیدی: شبکه تصمیم گیری(DMG)،پایش وضعیت(CM،AHP،QFD).

۱- مقدمه

ضرورت طراحی و استقرار سیستم های نگهداری و تعمیرات[1] در کارخانجات، یکی از مسایل مبرم و حیاتی امروز صنایع کشور است. حفظ سرمایه های کشور از یک سو و ارز بری بالای خرید ماشین آلات و تجهیزات از سوی دیگر، استفاده عقلایی و برنامه ریزی شده و نگهداری و تعمیر به موقع ماشین آلات و تجهیزات را الزامی می سازد. قوت و ضعف این بخش مستقیما در بهره وری و سود دهی تولید اثر می گذارد. در یک سیستم تولیدی هزینه گزافی جهت خرید، نصب، استقرار و راه اندازی دستگاه ها و ماشین آلات و تجهیز کارگاه های مختلف صورت می گیرد. گاهی، خرید دستگاه ها به خاطر قیمت بالا و یا تکنولوژی تولید منحصر به فرد آن، بسیار مشکل به نظر می آید؛ به نحوی که نگهداری و تعمیر صحیح دستگاه به مراتب ارزان تر، راحت تر و به طور کلی مقرون به صرفه تر خواهد بود. خرابی دستگاه ها علاوه بر تحمیل هزینه تعمیر و تعویض قطعات و دستگاه های خراب و فرسوده، موجب توقف تولید، از دست دادن مشتری، کاهش سهم بازار، بیکاری پرسنل و بسیاری هزینه های دیگر می گردد. بنابراین نگهداری ضعیف می تواند منتج به خروجی ناقص، شرایط کاری غیر ایمن و افزایش هزینه های تولید به ازای تعمیرات بیش از حد گردد. در نتیجه، درک صحیح از یک برنامه نگهداری و تعمیرات مناسب و پیاده سازی دقیق آن، جزء لاینفک هر واحد تولیدی به شمار می رود (Tavakkoli Moghaddam, et al., 2009). در هر نوع برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات، می بایست به این واقعیت توجه داشت که خرابی و از کار افتادگی ماشین آلات و تاسیسات صنعتی مسئله ای نیست که بتوان به طور مطلق از آن جلوگیری و ممانعت نمود بلکه می توان با بهره گیری درست از فنون برنامه ریزی، قابلیت اطمینان[2] و قابلیت برنامه ریزی دستگاه ها را اعتلا بخشید (Faqih, 1989).

این تحقیق سعی دارد تا با تبیین شاخص های موثر پایش وضعیت (CM) در نظام نگهداری و تعمیرات با استفاده از روش ترکیبی AHP- QFD به اولویت بندی استراتژی های پایش وضعیت در افزایش قابلیت دسترسی تجهیزات بپردازد. نگهداری و تعمیرات در شرکت هایی که به طور مستمر و پیوسته فعالیت می کنند از جمله شرکت های مادر در ایران به خصوص صنعت آهن و فولاد بسیار حائز اهمیت می باشد و هر گونه توقف در خط تولید، بسته به شدت خرابی ماشین آلات و تجهیزات و استراتژیک بودن و اهمیت آن، می تواند خسارت های زیادی را بر شرکت و جامعه تحمیل کند. از طرفی با توجه به تحریم هایی که از طرف برخی از کشورهای صاحب تکنولوژی وجود دارد خرید بسیاری از ماشین آلات و تجهیزاتی که نقشی استراتژیک در بخش صنایع و شرکت های مادر دارند به راحتی امکان پذیر نمی باشد. از این رو یک مدیر نت بایستی با بهره گیری از علوم مهندسی و مدیریت بتواند برترین نوع استراتژی های سرمایه گذاری یا پروژه را با توجه به محدودیت های منابع، شناسایی و انتخاب کند که در این راه شبکه تصمیم گیری به مدیران در انتخاب مطلوب کمک می کند(Faqih, 1989). شرکت سهامی ذوب آهن چه از نظر تعداد متخصصین، چه از نظر تعداد و نوع ماشین آلات وتجهیزات به عنوان یکی از شرکت های مادر در ایران دارای بیشترین امکانات می باشد. در این تحقیق از آن جهت این شرکت انتخاب شد تا بتواند تمام معیارهایی که برای تحقیق، تعیین شده را پوشش دهد.

اسلام زینوالدین و لبیب[3] قابلیت بکار گیری و میزان کاربردی بودن تصمیم گیری ماتریسی (DMG) را در حوزه نگهداری و تعمیرات قطعات گردان در صنایع ریلی مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش آنان برای تشریح کاربرد DMG ، ۳۱۹ ناوگان حمل و نقلی مورد بررسی قرار گرفت. آنها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بکارگیری مفهوم DMG در فرآیند تصمیم گیری برای اولویت بندی سیستم های نگهداری و تعمیرات ارزشمند است. در واقع در این مطالعه ادعا شد که چنین کاری حتما بایستی انجام بگیرد تا مسئولان نت سازمان از این موضوع اطمینان پیدا کنند که خط مشی نگهداری و تعمیرات عملکرد واحد های مورد مطالعه را در برابر مهمترین معیار FCC به حساب می آورد(Ashraf-zainudeen & Labib , 2011). فریرا و همکاران[4] مدلی چند ضابطه ای را برای تعیین دوره های بازرسی نظارت بر وضعیت بر مبنای تحلیلی از زمان تاخیر توسعه داده اند. آنها

---

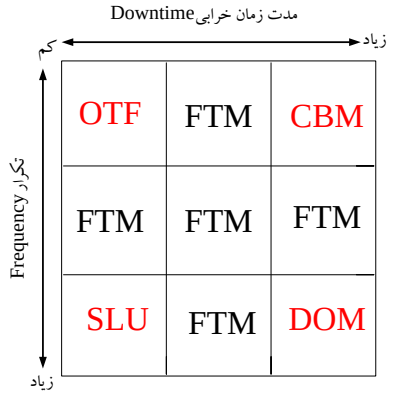
[1] Maintenance
[2] Reliability
[3] Aslam-zainudeen and Labib
[4] Ferriera et al

استدلال کردند که در نظارت بر وضعیت ماشین آلات مشکل اصلی تعیین دوره بازرسی و نظارت است. برای حل این مشکل یک متغیر تصمیم با توجه به زمان نظارت بعدی معرفی گردید. در این مطالعه یک مدل تصمیم گیری ارائه شد که بصورت همزمان دوره های بازرسی را برای نظارت بر وضعیت با توجه به رفتار خرابی ماشین آلاتی که باید مورد بررسی قرار گیرند، ویژگی های نگهداشت پذیری این ماشین آلات و اولویت های خود تصمیم گیرنده در ارتباط با هزینه و زمان های هر خرابی ارائه دادند(Ferriera, et al., 2008).

گارسیا و همکاران[5] برای کاربرد نظارت بر وضعیت سلامتی در گیربکس یک توربین بادی سیستم هوشمندانه را برای اهداف نگهداری و تعمیرات ارائه دادند، این سیستم نرم افزاری را شامل می شود که این قابلیت را دارد تا زمان واقعی خطا فرآیند های صنعتی را تشخیص دهد. چنین سیستمی اطلاعات بدست آمده را در زمان حقیقی از طریق حسگر های مختلف بدست آورده و تلاش میکند تا انحرافات محتمل بر عملکرد نرمال را به غیر از مولفه های صنعتی تشخیص دهد (Garcia, et al., 2006).

النجار و الیوسف[6] با استفاده از روش MCDM فازی کاراترین رویکرد نگهداری و تعمیرات را انتخاب کردند. آنها رویکرد های ممکن نت مانند خط مشی ها، استراتژی ها و طرز تفکر ها را با استفاده از مدل MCDM فازی مورد ارزیابی قرار دادند و در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از این روش می تواند کاراترین سیستم نگهداری و تعمیرات را انتخاب کند و در نتیجه منجر به کاهش هزینه های مربوط به جایگزینی ها برنامه ریزی شده خواهد شد و خرابی ها را می توان تا چیزی نزدیک به صفر تقلیل داد و استفاده بالاتری از عمر دستگاه ها داشت(Al-najjarand Al-syouf, 2002). بویلاسکوا و براگلیا[7] از روش AHP برای انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات استفاده کردند تا بهترین سیاست نگهداری و تعمیرات را برای یکی از مهمترین صنایع پالایشگاهی ایتالیا اتخاذ کنند. آنها در مطالعه خود، پنج گزینه را در نظر گرفتند که عبارت بودند از: نت پیشگویانه، نت پیشگیرانه، نت اصلاحی، نت مبتنی بر وضعیت و نت مبتنی بر فرصت و برای هر کدام از تسهیلات این پالایشگاه که مجموعا ۲۰۰ عدد بودند یک سیاست مشخص نت را در نظر گرفتند(Bevilacqua & Braglia, 2000).

شبکه تصمیم گیری: یک ابزار ترسیمی برای پشتیبانی از تصمیم گیری نظام نگهداری و تعمیرات است (Fernandz, et al.,2003). لبیب در سال ۱۹۸۸ مدلی برای انتخاب استراتژی نگهداری تعمیرات ارائه داد که به مدل DMG لبیب معروف است. در مدل ارائه شده، پنج استراتژی نگهداری و تعمیرات مورد مقایسه قرار گرفت و ماتریسی به صورت شکل ۱ ارائه شده است. برای تعیین استراتژی نگهداری تعمیرات مناسب با کمک مدل DMG در ابتدا برای هر تجهیز تعداد خرابی‌ها و زمان خرابی‌ها برای یک پریود زمانی مشخص محاسبه می شود، بطور مثال برای یک سال کاری. سپس ماشین‌آلات بر اساس تعداد خرابی‌ها و زمان خرابی‌ها مرتب می‌شوند و هر رتبه بندی به ۳ دسته کم، متوسط، زیاد تقسیم می‌شود.



شکل شماره (۱): شبکه تصمیم گیری (Ashraf-zainudeen & Labib , 2011)

[5] Garcia et al.
[6] Alnajjar and Alsyouf
[7] Berilacqua and Braglia

روش کارکرد تا خرابی[۸]: مطابق با روش فوق ماشین به ندرت با خرابی مواجه می گردد و رفع خرابی با مدت خرابی کمی همراه می باشد.

روش نگهداری وتعمیرات با زمان ثابت[۹]: خرابی با توالی مشخص رخ می دهدواغلب مدت توقف کم می باشد.

تعدیل سطح مهارت[۱۰]: ماشین همیشه خراب است ولی بواسطه وجود داشتن تخصص و مهارت در سیستم به سرعت تعمیر می گردند.

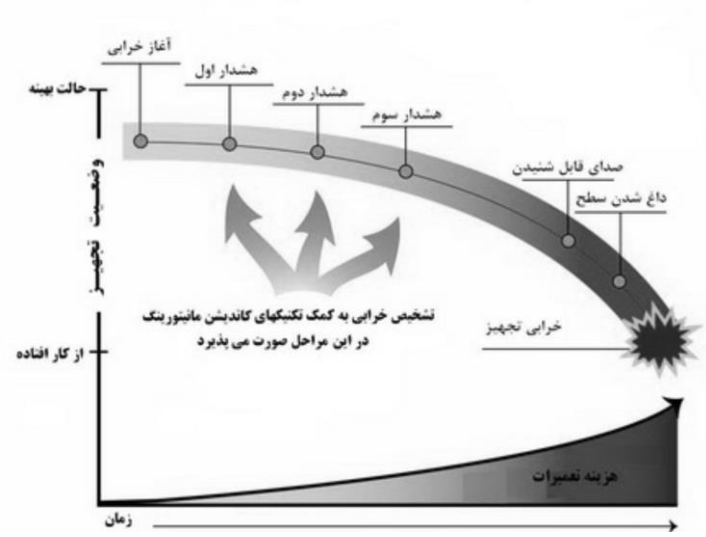
نگهداری وتعمیرات بر اساس وضعیت[۱۱]: ماشین به ندرت خراب می گردد ودر صورت خرابی وقت زیادی جهت برگشت به حالت نرمال صرف می گردد.

طراحی بدون در نظر گرفتن امکان تعمیر[۱۲](غیر قابل تعمیر): ماشین همیشه خراب است وقتی خراب می گردد برگشت به حالت نرمال بسیار وقتگیر است.

متوسط فاصله زمانی خرابی تجهیزات (MTBF[۱۳]) شاخصی است که می توان از طریق آن، متوسط زمانی که سیستم بدون از کار افتادگی کار کند را مشخص کرد. همچنین، متوسط زمان تا رفع خرابی(MTTR[۱۴]) نشان دهنده زمان متوسط تعمیر است. هرچه میزان آن کمتر باشد، نشان دهنده تعمیر پذیری تجهیزات است (Rahmani, 2005).

پایش وضعیت یا نظارت بر وضعیت روشی در ارتباط با فراهم کردن اطلاعاتی در باره وضعیت ماشین آلات است به گونه ای که بتوان از آن به طرز صحیحی استفاده کرد.با کسب چنین دانشی در ارتباط با وضعیت یک ماشین می توان خرابی های اولیه را پیش بینی و مرتفع کرد؛ در نتیجه کمترین میزان هدر رفت خروجی سیستم انجام شده و فرآیند نگهداری و تعمیرات می تواند به اندازه کافی کارا باشد(Williams, et al., 1994).

با توجه به مطالب بالا، منحنیP-F یک مفهوم اساسی را در پایش وضعیت تداعی می کند. این منحنی که نمونه ای از آن را در شکل ۲ می بینید، وضعیت تجهیز در حال خرابی را بر حسب زمان نشان می دهد. خرابی بالقوه[۱۵]، مرحله ای از خرابی ماشین است که در آن، اولین نشانه های خرابی قابل اندازه گیری وتشخیص هستند.



شکل شماره (۲): منحنی P-F (Varani Farahani, 2007).

[8] Operate To Failure (OTF)
[9] Fixed Time Maintenance (FTM)
[10] Skill Levels Upgrade (SLU)
[11] Condition-based maintenance (CBM)
[12] Design Out Maintenance (DOM)
[13] Mean Time Between Failures
[14] Mean Time To Repair
[15] Potential failure

همانطور که از منحنی فوق پیداست، هزینه تعمیرات با رشد روند خرابی به صورت فزاینده بالا می رود. تشخیص خرابی در مراحل اولیه، از طریق تکنیکهای پایش وضعیت صورت پذیرفته و این تکنیکها روند رو به رشد خرابی و نیز نرخ خرابی را نشان می دهند. لذا می توان در اولین فرصت و قبل از رسیدن به مراحل بحرانی فعالیت تعمیراتی را انجام داد و از خرابی کلی جلوگیری نمود(Varani Farahani, 2007).

مفهوم مراقبت وضعیت در دهه ۷۰ پا به عرصه وجود گذاشت زمانی که مفید بودن فرآیند ثبت پیوسته داده های عملیاتی برای بدست آوردن اطلاعاتی در ارتباط با کلیه ماشین آلات در حال کار احراز گردید. تکنیک هایی که بصورت گسترده ای برای نظارت سیستم های مکانیکی مورد استفاده قرار می گرفت به صورت زیر طبقه بندی شدند: نظارت بصری،نظارت بر عملکرد،نظارت بر اختلالات و صداها،نظارت بر قطعات مستهلک و نظارت بر حرارت. علاوه بر تکنیک های فوق، دو تکنیک نیز بصورت گسترده تری در صنعت مورد استفاده قرار گرفته اند که عبارت اند از: نظارت بر ارتعاشات و بالا تر از همه آنها نظارت بر روغن های روان ساز (Kelly ,2006). خلاصه ای از مفاهیم این تکنیک ها در پیوست آمده است.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نخستین بار توسط توماس .ال .ساعتی[16](۱۹۸۰) مطرح شد. این تکنیک نظرات و ارزیابی های کارشناسان را ترکیب نموده و سیستم تصمیم گیری پیچیده را به یک سیستم سلسله مراتبی ساده تبدیل می نماید. سپس روش ارزیابی بر حسب مقیاس به منظور بررسی اهمیت نسبی مقایسات زوجی در بین هر یک از معیارها،مورد استفاده قرار می گیرد. این تکنیک شاخص های کمی و همچنین شاخص های کیفی را، بطور کارآمدی مورد بررسی قرار می دهد (Rao & 2008 Davim,).در این روش پرسشنامه ها با توجه به مفهوم روش سلسله مراتبی طراحی شده است و هدف پرسشنامه، مقایسه زوجی معیارها در هر سطح با توجه به معیار موجود در یک سطح بالاتر می باشد. اعداد فازی در نظر گرفته شده برای مقایسه زوجی معیارها در جدول (۱) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که برای پر کردن ماتریس مقایسات زوجی، از مقیاس ۱ تا ۹ استفاده می شود تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عناصر دیگر،در رابطه با آن خصوصیت،مشخص شود. جدول (۱) مقیاس انجام مقایسات زوجی نشان می دهد.

جدول شماره (۱): مقیاس AHP(Momeni, 2006)

شرح	درجه اهمیت	تعریف
دو عنصر اهمیت یکسانی داشته باشند.	۱	اهمیت یکسان
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر نسبتا ترجیح داده می شود.	۳	نسبتا مرجح
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر،زیاد ترجیح داده می شود.	۵	ترجیح زیاد
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر،بسیار زیاد ترجیح داده می شود.	۷	ترجیح بسیار زیاد
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر،ترجیح فوق العاده زیادی دارد.	۹	ترجیح فوق العاده زیاد

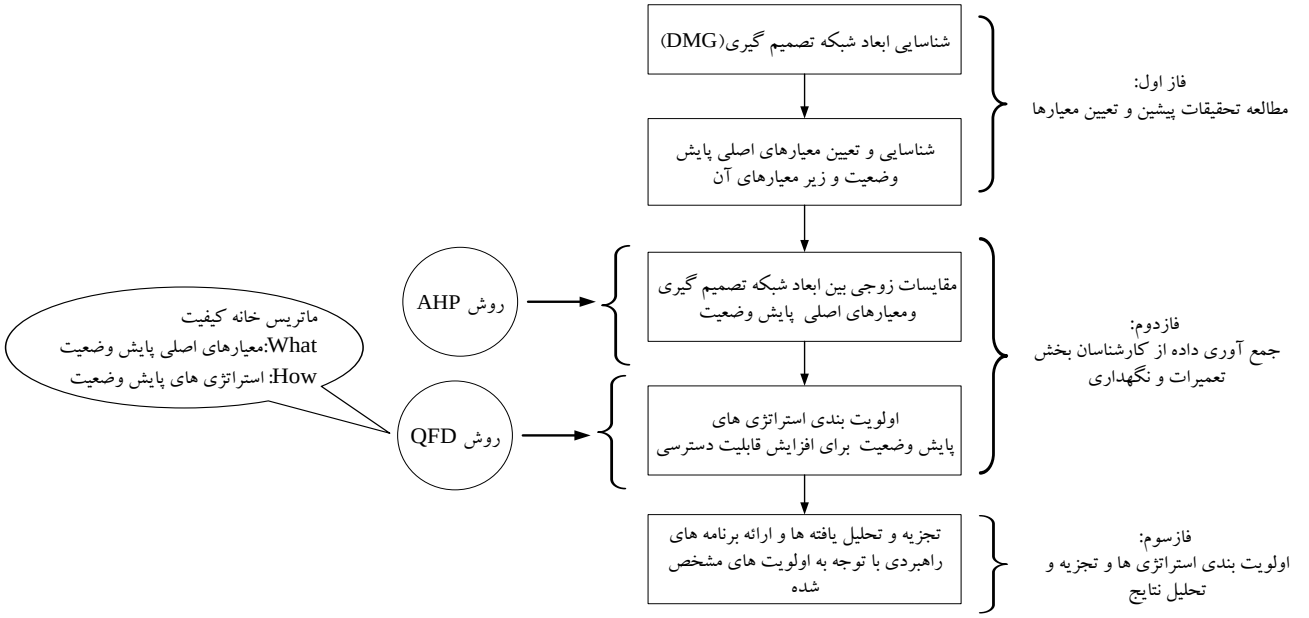
گسترش کارکرد کیفیت(QFD) یکی از تکنیکی هایی است که برای طراحی محصولات و خدمات به منظور منعکس کردن نیازهای مشتریان مورد استفاده قرار می گیرد(Shahin, et al., 2011).این مدل، شامل توسعه چهار ماتریس و یا به اصطلاح فاز می باشد که به ترتیب عبارتند از: ماتریس طرح ریزی محصول (خانه کیفیت)، ماتریس طراحی محصول (آماده سازی اجرا)،ماتریس طرح ریزی فرایند و ماتریس کنترل فرایند(Hauser & Clausing, 1998). خانه کیفیت به عنوان عمومی ترین قسمت مورد استفاده در QFD است. این خانه،شامل اتاق هایی است که کیفیت های مورد نظر و مشخص شده مشتریان را که«چه چیزها» نامیده می شوند با ویژگی های فنی که «چگونه ها» نامیده می شوند،مرتبط می سازد. خانه کیفیت برخلاف ظاهر پیچیده اش،حاوی مطالب بسیار مهم و مفیدی است که در صورت تهیه و تنظیم دقیق و مناسب آن،ضمن ارائه اطلاعاتی با

[16] Saaty

ارزش در مورد محصول،به واسطه گستردگی و تنوع مفاهیم استخراج شده از آن،نقطه پایانی بسیاری از پروژه هایQFD می باشد(Martins & Aspinwall, 2001).

۲- مواد و روشها

این تحقیق از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی پیمایشی است. جامعه آماری تحقیق، کلیه مدیران و متخصصان بخش نگهداری و تعمیرات شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان می باشند. بخشی از فرایند جمع آوری اطلاعات مربوط به تعیین معیار ها و ابعاد و استانداردهای پایش وضعیت می باشد که برای جمع آوری آن از روش کتابخانه ای،مطالب کتب، مقالات، پایان نامه ها استفاده می شود و بخشی هم مربوط به مقایسات زوجی معیارهای شبکه تصمیم گیری(DMG) و ابعاد پایش وضعیت یا مراقبت وضعیت می باشد و همچنین اطلاعات مربوط به ماتریس خانه کیفیت را نیز از طریق توزیع پرسشنامه بسته طیف لیکرت بین ۲۰ نفر از مدیران و متخصصان بخش نگهداری و تعمیرات شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان که نسبت به این شاخص ها شناخت کامل دارند جمع آوری می شود. طراحی مدل در این پژوهش به منظور تعیین و شناسایی معیارهای استاندارد پایش وضعیت و انتخاب مناسب ترین استراتژی پایش وضعیت برای افزایش قابلیت دسترسی تجهیزات می باشد.که لازم است در فرایند بهبود بهره وری و عملکرد سیستم مورد توجه و تمرکز قرار گیرند. این متدولوژی را می توان به سه فاز اصلی تقسیم کرد: فاز نخست شناسایی و تعیین استانداردها و استراتژی های پایش وضعیت می باشد و فاز دوم، فاز عملیاتی تحقیق می باشد که با استفاده از پرسشنامه های استاندارد طراحی شده از مدیران و متخصصین بخش نت،اطلاعات مورد نیاز جمع آوری می شود بدین صورت که با استفاده از رویکردAHP ، وزن هر یک از شاخص ها محاسبه می شود سپس با استفاده از رویکرد QFD استراتژی های پایش وضعیت را بر مبنای شاخص های استاندارد پایش وضعیت، اولویت بندی و میزان تاثیر هر یک از استراتژی ها بر افزایش قابلیت دسترسی تجهیزات محاسبه می گردد.شکل (۳) چارچوب کلی مدل پیشنهادی را نشان می دهد و توالی آن به ترتیب زیر است:



شکل شماره (۳):چارچوب کلی تحقیق

فاز اول. شناسایی و تعیین معیارها و استراتژی ها: در چند سال اخیر تلاش های زیادی برای آشنایی صنعت با مفهوم پایش وضعیت انجام شده است. از جمله برگزاری کنفرانس های سالانه پایش وضعیت و عیب یابی و تحقیقات و پژوهش های زیادی که به بحث پایش وضعیت در نظام نگهداری و تعمیرات برای افزایش قابلیت دسترسی تجهیزات پرداختند،از این رو با استفاده از بعد

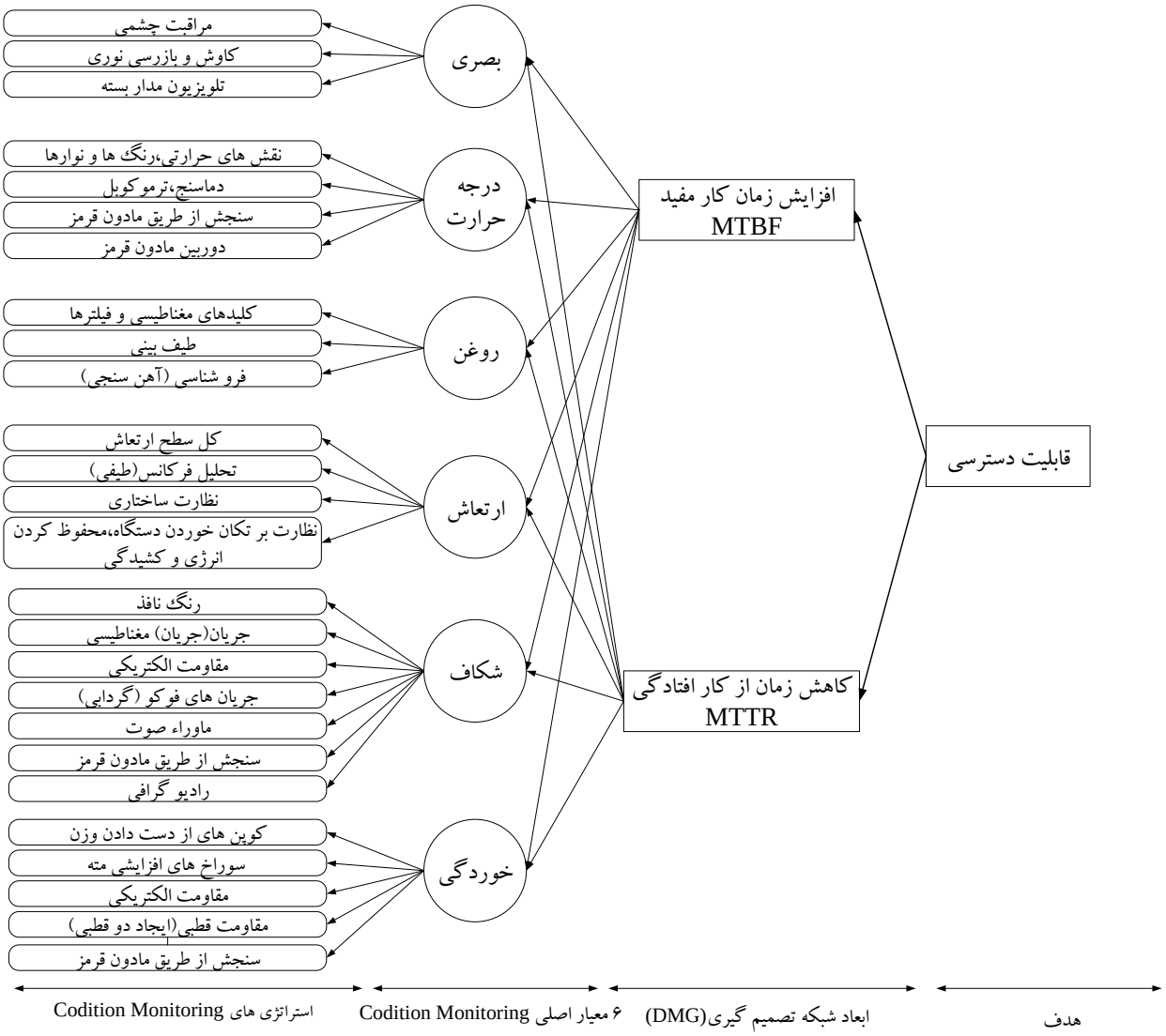
هایی که کلی[۱۷] برای پایش وضعیت در نت معرفی کرد(Kelly ,2006) و بعدهای دیگری از پایش وضعیت که در حوزه نت مورد بررسی قرار گرفته اند،شش بعد اصلی از استانداردها یا روش های پایش وضعیت به شرح جدول(۲) تعیین شده است.توضیحات بیشتر در مورد هر یک از این روش ها در پیوست آمده است.

جدول شماره (۲):خلاصه ای از استانداردهای پایش وضعیت (Kelly ,2006)

نوع	روش	On/off line	اتوماتیک/دستی	سطح مهارت اپراتور
بصری	مراقبت چشمی	On/off	دستی	متوسط/پایین
	جستجو و بازرسی نوری	Off	دستی	متوسط
	تلویزیون مدار بسته	Off	دستی	بالا
درجه حرارت	نقش های حرارتی، رنگ ها و نوارها	On	دستی	پایین
	دماسنج و ترموکوبل	On	دستی/اتوماتیک	متوسط
	سنجش از طریق مادون قرمز	On	دستی	بالا
	دوربین مادون قرمز	On	دستی	بالا
روغن	کلیدهای مغناطیسی و فیلترها	N/A	دستی	بالا
	فروشناسی(آهن سنجی)	N/A	دستی	بالا
	طیف بینی	N/A	دستی/اتوماتیک	بالا
ارتعاش	کل سطح ارتعاش	On	اتوماتیک	متخصص
	تحلیل فرکانس(طیفی)	On	دستی/اتوماتیک	متخصص
	نظارت بر تکان های دستگاه، محفوظ کردن انرژی	On	دستی/اتوماتیک	بالا
	نظارت ساختاری	Off	دستی	متخصص
شکاف	رنگ نافذ	On/Off	دستی	متوسط
	شار مغناطیسی	On/Off	دستی	متوسط
	جریانهای فوکو(گردابی)	On/Off	دستی	متخصص
	ماورا صوت	On/Off	دستی	متخصص
	رادیو گرافی	Off	–	متخصص
	مقاومت الکتریکی	On/Off	دستی	دستی
	سنجش از طریق مادون قرمز	On	دستی	بالا
خوردگی	کوپن های از دست دادن وزن	Off	دستی	پایین
	مقاومت قطبی	On		متوسط
	سوراخ های افزایشی مته	On	دستی	
	مقاومت الکتریکی	On	دستی/اتوماتیک	متوسط
	سنجش از طریق مادون قرمز	On	دستی	بالا

فاز دوم. طراحی مدل تحقیق و جمع آوری داده ازکارشناسان و متخصصین بخش نت: در این مرحله ابتدا با توجه به معیارهای استاندارد و استراتژی های پایش وضعیت تعیین شده در مرحله قبل و با درنظرگرفتن دو بعد شبکه تصمیم گیری،نمودار درختی تحقیق همانطورکه در شکل(۴) نشان داده شده ترسیم می شود. در این مرحله با استفاده از پرسشنامه مقایسات زوجی که بین دو بعد شبکه تصمیم گیری و شش معیار پایش وضعیت توسط مدیران و متخصصین بخش نت شرکت ذوب آهن اصفهان انجام می شود اطلاعات مورد نیاز بدست می آید سپس بر مبنای رویکردAHP با استفاده از نرم افزار Expert Choice وزن های هر معیار محاسبه می شود.

[17] Kelly



شکل شماره (۴):نمودار درختی معیار ها و استراتژی های تحقیق

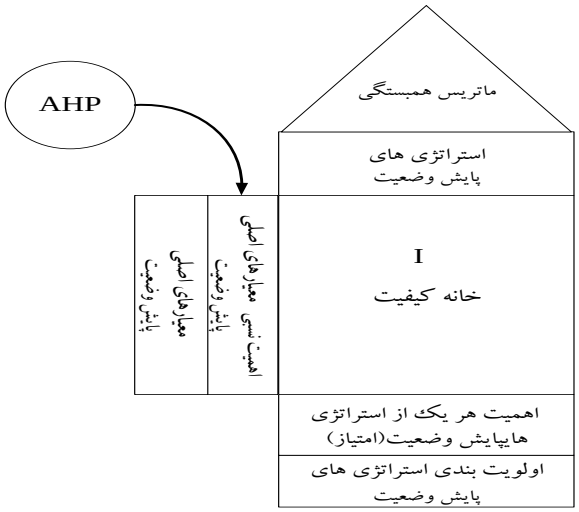
نتایج این محاسبات به صورت خلاصه در جدول (۴)نشان داده شده است.

جدول شماره (۴):خلاصه ای از وزن های ابعاد شبکه تصمیم گیری و پایش وضعیت

		ابعادDMG		
		MTBF	MTTR	
وزن	⟸	۰/۱۰	۰/۹۰	**وزن نهایی**
معیارهای پایش وضعیت Condition Monitoring	بصری	۰/۰۲۸	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱
	درجه حرارت	۰/۰۳۲	۰/۰۷۲	۰/۰۶۸
	روغن	۰/۲۴۱	۰/۱۷۷	۰/۱۸۳
	ارتعاش	۰/۵۳۲	۰/۴۹۷	۰/۵۰۱
	شکاف	۰/۰۸۴	۰/۱۶۹	۰/۱۶۱
	خوردگی	۰/۰۸۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۶

وزن نهایی هر یک از معیارها،از مجموع اوزان معیارها که یک بار نسبت به MTBF و یک بارنسبت به MTTR محاسبه شده اند بدست می آید. همانطور که در شکل(۴) نشان داده شده است با استفاده از وزن های بدست آمده از روش AHP(جدول۴) برای هر یک از معیارها، از روشQFD برای اولویت بندی استراتژی های پایش وضعیت استفاده می شود. در این روش با استفاده از طیف استاندارد لیکرت (۱= کم ۳=متوسط ۹= زیاد) اطلاعات مربوطه از مدیران و متخصصین بخش نت جمع آوری

شده و با استفاده از نرم افزارExcel 2010 محاسبات مربوط به آن انجام شده است. نکته قابل توجه این است برای بالا بردن اثربخشی، نظراتی که بالاترین فراوانی را در پرسشنامه داشته اند در نظر گرفته شده است که نتایج بکارگیری آن در روشQFD در جدول(۵) خلاصه نشان شده است.



شکل شماره (۵):مدل مفهومی تحقیق

جدول زیر نتایج استفاده از رویکرد تلفیقی AHP-QFD در اولویت بندی استراتژی های پایش وضعیت بر اساس ابعاد شبکه تصمیم گیری برای افزایش دسترسی تجهیزات را نشان می دهد.

	ماوراء صوت	جریان های فوکو(گردابی)	مقاومت الکتریکی	جریان مغناطیسی	رنگ نافذ	دستگاه،محفوظ کردن انرژی و	نظارت ساختاری	تحلیل فرکانس	کل سطح ارتعاش	فرو شناسی	طیف بینی	کلیدهای مغناطیسی و فیلترها	دوربین مادون قرمز	سنجش از طریق مادون قرمز	دماسنج،ترموکوپل	نقش های حرارتی،رنگ ها و نوار ها	تلویزیون مدار بسته	کاوش و بازرسی نوری	مراقبت چشمی
																		۳	۱ ۹
														۱	۳	۹	۱		
													۹	۱	۳				
										۹	۹	۳	۱						
	۱	۳	۱	۳															
	۰/۱۶۱	۰/۴۸۳	۰/۱۶۱	۰/۴۸۳		۰/۵۰۱	۱/۵۰۳	۴/۵۰۹	۴/۵۰۹	۰/۵۴۹	۰/۱۸۳	۱/۶۴۷	۰/۰۶۸	۰/۲۰۴	۰/۶۱۲	۰/۰۶۸	۰/۰۶۳	۰/۰۲۱	۰/۱۸۹
	۰/۰۳۰۱۰/۰۱۰۰۰/۰۳۰۱۰/۰۱۰۰					۰/۰۹۳۶۰/۰۳۱۲		۰/۲۸۱۰۰/۲۸۱۰۰		۰/۰۳۴۲۰/۰۱۱۴۰		۰/۱۰۲۶۰/۰۰۴۲۰		۰/۰۱۲۷۰/۰۳۸۱۰	۰/۰۰۴۲۰/۰۰۳۹۰		۰/۰۰۱۳۰/۰۱۱۷۰		
	۱۱	۷	۱۱	۷		۶	۳	۱	۱	۵	۱۰	۲	۱۲	۸	۴	۱۳	۱۵	۱۶	۹

۳- نتایج و بحث

یافته ها نشان می‌دهد که توجه پایش وضعیت به طور چشمگیری در حال رشد می باشد و این نشان دهنده ی به روز بودن آگاهی مدیران فعال در این حوزه می باشد. با توجه به جدول(۴) از بین معیارهای اصلی پایش وضعیت مشاهد ه می شود که معیار ارتعاش با وزن ۰/۵۰۱ ومعیار روغن با وزن ۰/۱۸۳ وهمچنین معیار شکاف با وزن۰/۱۶۱ بالاترین اهمیت را در شرکت ذوب آهن دارا می باشند و معیار بصری با وزن ۰/۰۲۱ از پایین ترین اهمیت برخوردار می باشد.از لحاظ تاثیر گذاری هریک از استراتژی های پایش وضعیت نیز با توجه به جدول(۵)،استراتژی های تحلیل فرکانس و کل سطح ارتعاش با وزن۰/۲۸۱ و استراتژی کلیدهای مغناطیسی و فیلترها با وزن ۰/۱۰۲۶ به ترتیب بیشترین تاثیر را در افزایش قابلیت دسترسی تجهیزات دارند و که در این بین استراتژی های تلویزیون های مدار بسته و کاوش و بازرسی نوری کمترین تاثیر را دارا می باشند البته در جدول(۵) استراتژی هایی از پایش وضعیت، مانند رنگ نافذ، رادیو گرافی و مقاومت قطبی وجود دارد که تاثیر آنها سنجیده نشده است که این امر می تواند دلایلی مختلفی از جمله عدم آشنایی مختصصین این حوزه با این استراتژی ها می باشد که این موضوع مستلزم آموزش تخصصی برای متخصصین در حوزه نت اعم از کلاس یا جزوات آموزشی و... می باشد و عدم نیاز به کارگیری این استراتژی ها با توجه به تجهیزات و ماشین آلات خاصی که در شرکت ذوب آهن وجود دارد می تواند دلیل دیگری باشد.

در بین تکنیک ها و معیارهای پایش وضعیت، آنالیز ارتعاشات، بیشترین کارایی را جهت عیب یابی ماشین آلات دارد، زیرا رایج ترین عیوب ماشین آلات از جمله نابالانسی، ناهم محوری، لقی های مکانیکی وخمیدگی های شفت، فقط از طریق آنالیز ارتعاشات قابل شناسایی و تعمیر هستند و تکنیک های دیگر اکثراً به صورت مکمل این روش برای عیب یابی های اولیه استفاده می شوند. بعد از آنالیز ارتعاشات، آنالیز روغن پرکاربرد ترین و مؤثرترین روش برای عیب یابی ماشین آلات بوده و عیوبی همچون وجود آلاینده های مختلف در روغن سیستم و فرسودگی بعضی قطعات فقط و فقط از طریق این تکنیک قابل شناسایی هستند که نتایج این تحقیق نیز تا حدودی این مطلب را تایید می کند و در راستای آن بوده است. البته به جز تکنیک هایی که در اینجا به صورت کلی به آنها اشاره شد، تکنیک های خاص و متنوع دیگری نیز در صنایع مختلف به منظور عیب یابی و کنترل وضعیت ماشین آلات کاربرد دارند.نوری خاجوی در تحقیقی به بررسی اهمیت پایش وضعیت در سیستم های صنعتی، صنایع و کارخانجات پرداخت. یافته های این تحقیق نشان می دهد که با توجه به نیاز مبرم صنعت و نقش مهم مهندسین که بتوانند در صنایع به امر مهم پایش وضعیت و مهندسی تشخیص عیب بپردازند، تشکیل دوره آموزشی میان رشته ای در سطح کارشناسی ارشد برای سیستم آموزش عالی کشور ضروری به نظر میرسد(Nouri Khajavi,2003). هاشمی و همکاران،به بررسی چگونگی افزایش کارآیی و میزان موثر بودن تکنولوژی های پایش وضعیت، زمانی که به شیوه ای مناسب با آنالیز پیشرفتهRCMترکیب شود، پرداختند (Hashemi, et al., 2007). به طور کلی می توان به این نکته اشاره کرد که تاکنون بیشتر بررسی های انجام شده در زمینه پایش وضعیت از نوع کاربردی بوده است بدین صورت که هر کدام از این تحقیقات،تکنیکی خاص از پایش وضعیت را در شرکتی به اجرا درآوردند یا اینکه برای پیاده سازی آن امکان سنجی کردند، اما تحقیق حاضر از این جهت با دیگر تحقیقات انجام شده در این حوزه متفاوت است که با دیدی کلی به بررسی تکنیک های پایش وضعیت پرداخته است و نتایج این بررسی می تواند با توجه به استراتژی های نظام نت و اهمیت هر یک از تکنیک های پایش وضعیت در شرکت مورد نظر، بر روی آنها سرمایه گذاری شود و نقاط قوت و ضعف این تکنیک ها را تقویت نمود.

اگرچه بیش از ۲۰ سال است که استفاده از تکنیکهای مختلف پایش وضعیت، در کارخانجات صنعتی ایران آغاز شده، اما عدم استقرار سیستم نت مبتنی بر وضعیت (CBM) و عدم انسجام و یکپارچگی در برنامه های موجود پایش وضعیت، منجر به کاهش اثربخشی این برنامه ها در اغلب موارد شده است.با توجه به اینکهMTBF یکی از مهم ترین و ساده ترین شاخص های تعیین و تأثیرCM بر RCM می باشد لذا تلاش برای داشتن یکMTBF بهبود یافته یکی از مهمترین اهداف سازمان می باشد.MTBF سرنخی برای بهبود و تسهیل در عملیات و شرایط کاری و کلید واقعی ارزیابی هزینه های پیش بینی نشده است.در واقع این هزینه های پیش بینی نشده هستند که کمک می کنند با برنامه ریزی صحیح هزینه های کلی را کاهش داد. در واقع داشتن بهترینMTBF در بین تمام صنایع مهم نیست بلکه داشتنMTBF ایی که بتواند به طور مستمر بهبود یابد هدف اصلی سازمان در راستای کاهش خرابی های پیش بینی نشده و کاهش هزینه های ناخواسته آن خواهد بود. اجرای

استراتژی های پایش وضعیت باعث کاهش نرخ خرابی , افزایش متوسط زمان بین خرابی ها , کاهش هزینه ها و در نهایت افزایش قابلیت اطمینان به عنوان ابزاری قوی جهت تصمیم گیری و پیش بینی در مورد آینده سیستم و همچنین افزایش قدرت تصمیم گیری مدیران در جهت تعویض یا تعمیر سیستم در بازه های زمانی مورد نظرشان خواهد بود.

موارد زیر بعنوان پیشنهاداتی به منظور انجام تحقیقات آتی در ارتباط با موضوع مقاله حاضر می تواند ارائه گردد:

- ارائه راهکارهایی برای بهبود فرآیند آنالیز روغن و آنالیز ارتعاشات به عنوان مهم ترین تکنیک های موثر بر قابلیت دسترسی تجهیزات.
- ارائه راهکارهایی برای برگزاری دوره های آموزشی لازم و اثربخش در حوزه آشنایی با تکنیک های پایش وضعیت برای افزایش آگاهی متخصصین حوزه نت

یکی از مشکلات عمده در زمینه پایش وضعیت و تشخیص عیب این است که افراد آموزش دیده کافی وجود ندارد. همچنین در زمینه های تکنولوژی مدیریت نگهداری، مدیریت حوادث و ریسک، مدیریت ایمنی تکنولوژی، مدیریت محیط زیست و تکنولوژی مدیریت حفظ انرژی نیز کمبود افراد متخصص مشهود است که این امر هزینه سنگینی را برای صنایع در بردارد. مدیریت پایش وضعیت و مهندسی تشخیص عیب اکنون به عنوان یک علم میان رشته ای در نظر گرفته می شود که بعضی از زمینه های فوق الذکر را در بر می گیرد.

٤- منابع

1- Alnajjar, B., & Alyousef, I. (2002). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision-making. International journal of production economics, 84(1), 85-98.
2- Aslam Zainudeen, N & Labib, A.(2011). Practical application of the decision making grid.Journal of quality in maintenance engineering, 17(2), 138-149.
3- Bevilacqua, M & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. Reliability engineering and system safety, 70(2), 71-83.
4- Fernandz, O. Labib, W. Walmsley, R & Petty, D. (2003). A decision support maintenance management system developing and implementation. International Journal of Quality & Reliability Management, 20(8), 965-979.
5- Ferriera, A. Dealmeyda, D.Cavalcante, C.(2008). A multi-criteria model to determine inspection intervals of condition monitoring based on delay time analysis. Reliability engineering and systems safety, 94(1), 905-912.
6- Garcia, M.Sanzi-bobi, M. & Delpico, J. (2006). Intelligent system for predictive maintenance application to the health condition monitoring of a wind turbin gearbox. Computer in industry, 57(1), 552-568.
7- Hauser, J.R. Clausing, D. (1988). The house of quality: Harvard Business Review, 96: 63–73.
8- Kelly, A. (2006). Strategic Maintenance Planning: Butterworth-Heinemann, http:www.amazon.com
9- Martins, A. & Aspinwall, E. M. (2001). Quality Function Deployment: An Empirical Study in the UK. Total Quality Management, 12(5), 575-588.
10- Rao, R.V.& Davim, J. P. (2008). A decision-making framework model for material selection using combined multiple attribute decision-making method. Journal of Adv Manufacturing Technology, 35(1), 751 – 760.
11- Williams, J.H. Davies, A. Drake, P.R. (1994). Condition-based maintenance and machine diagnostic.
12- Faqih, N. (1989). Maintenance engineering, printing. Shiraz: Navid Publications.
13- Hashemi, S.J. Javadpoor, S. Mojaradian, A. (2007). Complementary role reliability techniques based maintenance (RCM) of condition monitoring (CM). Second Technical Conference and troubleshooting machinery condition monitoring, Tehran, Sharif University of Technology.
14- Momeni, M. (2006). Topics modern operational research. Tehran: Tehran University Business

School Press.
15- Nouri Khajavi, M. (2003). Technology, engineering and condition monitoring, fault diagnosis requires the industry. Fourth National Energy Congress, Tehran.
16- Rahmani, K. (2005). Maintenance Engineer (practical approach), first edition, first printing. Tabriz Sahand publications.
17- Shahin, A. Salehzadeh, M. R. Ghandahary, M. (2011). Integrated Model of QFD and clustering methods to improve the quality of customer services based on case studies in Qom Saman. Journal of Industrial Management Science Humanities, Islamic Azad University, 4(16),83-96.
18- Tavakkoli-Moghaddam, R. Mirzapur, H. Hosseini, A.(2009). Introduction to maintenance planning, Mashhad: publisher Sanabad.
19- Varani Farahani, H. (2007). Fundamentals of designing and implementing condition-based maintenance in industrial units - Case Study: Shazand thermal power plant. Second Technical Conference and troubleshooting machinery condition monitoring, Tehran, Sharif University of Technology.

1- Alnajjar, B., & Alyousef, I. (2002). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision-making. International journal of production economics, 84(1), 85-98.
2- Aslam Zainudeen, N & Labib, A.(2011). Practical application of the decision making grid.Journal of quality in maintenance engineering, 17(2), 138-149.
3- Bevilacqua, M & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. Reliability engineering and system safety, 70(2), 71-83.
4- Fernandz, O. Labib, W. Walmsley, R & Petty, D. (2003). A decision support maintenance management system developing and implementation. International Journal of Quality & Reliability Management, 20(8), 965-979.
5- Ferriera, A. Dealmeyda, D.Cavalcante, C.(2008). A multi-criteria model to determine inspection intervals of condition monitoring based on delay time analysis. Reliability engineering and systems safety, 94(1), 905-912.
6- Garcia, M.Sanzi-bobi, M. & Delpico, J. (2006). Intelligent system for predictive maintenance application to the health condition monitoring of a wind turbin gearbox. Computer in industry, 57(1), 552-568.
7- Hauser, J.R. Clausing, D. (1988). The house of quality: Harvard Business Review, 96: 63–73.
8- Kelly, A. (2006). Strategic Maintenance Planning: Butterworth-Heinemann, http:www.amazon.com
9- Martins, A. & Aspinwall, E. M. (2001). Quality Function Deployment: An Empirical Study in the UK. Total Quality Management, 12(5), 575-588.
10- Rao, R.V.& Davim, J. P. (2008). A decision-making framework model for material selection using combined multiple attribute decision-making method. Journal of Adv Manufacturing Technology, 35(1), 751 – 760.
11- Williams, J.H. Davies, A. Drake, P.R. (1994). Condition-based maintenance and machine diagnostic.
12- Faqih, N. (1989). Maintenance engineering, printing. Shiraz: Navid Publications.

13- Hashemi, S.J. Javadpoor, S. Mojaradian, A. (2007). Complementary role reliability techniques based maintenance (RCM) of condition monitoring (CM). Second Technical Conference and troubleshooting machinery condition monitoring, Tehran, Sharif University of Technology.
14- Momeni, M. (2006). Topics modern operational research. Tehran: Tehran University Business School Press.
15- Nouri Khajavi, M. (2003). Technology, engineering and condition monitoring, fault diagnosis requires the industry. Fourth National Energy Congress, Tehran.
16- Rahmani, K. (2005). Maintenance Engineer (practical approach), first edition, first printing. Tabriz Sahand publications.
17- Shahin, A. Salehzadeh, M. R. Ghandahary, M. (2011). Integrated Model of QFD and clustering methods to improve the quality of customer services based on case studies in Qom Saman. Journal of Industrial Management Science Humanities, Islamic Azad University, 4(16),83-96.
18- Tavakkoli-Moghaddam, R. Mirzapur, H. Hosseini, A.(2009). Introduction to maintenance planning, Mashhad: publisher Sanabad.
19- Varani Farahani, H. (2007). Fundamentals of designing and implementing condition-based maintenance in industrial units - Case Study: Shazand thermal power plant. Second Technical Conference and troubleshooting machinery condition monitoring, Tehran, Sharif University of Technology.

پیوست شماره ۱

	پیوست.خلاصه ای از مفاهیم استراتژی های پایش وضعیت(Kelly,2006)
روش	توضیح
مراقبت چشمی	ین روش طیف گسترده ای از روش های بازرسی سطحی و بررسی وضعیت را با اثر بخشی بالایی پوشش می دهد
جستجو و بازرسی نوری	ین روش در بازرسی داخلی ماشن آلات مورد استفاده قرار می گیرد و برای تشخیص خوردگی سطحی، فرسودگی و عیوب با شدت بالا مانند شکاف ها مناسب می باشد.
تلویزیون مدار بسته	ین روش در بازرسی با جزئیات قطعاتی که قابل دسترس نیستند و خطرناک نیز هستند مورد استفاده قرار می گیرد.همچنین قابلیت ضبط تصویر و تجزیه وتحلیل با شفافیت بالا را دارد و در عین حال روش پس فرآیند است
نقش های حرارتی، رنگ ها و نوارها	کاربرد این روش کمک به بازرسی چشمی است و می تواند چند درجه، درجه حرارت بدنه ماشین آلات را کاهش بدهد و امکان مشاهده و نظارت وضعیت دستگاه را به صورت آنی از یک فاصله مشخص فراهم می کند.
دماسنج و ترموکوبل	ین روش دامنه وسیعی از ترمومترهای قابل نصب روی دستگاه تا سنسورهای ترموکوبل را در بر می گیرد. در خواندن میزان دمای دستگاه به کار می رود همچنین ورودی الکتریکی لازم را برای یک سیستم سخت افزاری نظارت بر تجهیزات فراهم می کند.
سنجش از طریق مادون قرمز	یک دستگاه غیر تماسی است که بوسیله آن می توان پرتوهای حرارتی بدنه دستگاه را برای تخمین دمای سطحی اندازه گرفت.معمولا دامنه گسترده ای از دما را اندازه می گیرد ولی در یک سطح کوچک قابل اجرا است.
دوربین مادون قرمز	همانند دستگاه سنجش مادون قرمز است ولی برای سطوح وسیع تری استفاده می شود. از این دوربین برای تصویر برداری با جزئیات سطوح با آنالیز حرارتی استفاده می شود به نحوی که قابل تنظیم بوده و امکان اندازه گیری کمی(عددی) را فراهم می کند.
کلیدهای مغناطیسی و فیلترها	از این دستگاه برای تجزیه و تحلیل خرده فلزاتی استفاده می شود که توسط دو شاخ یا فیلترها در یک سیستم تصفیه روغن استفاده می شود. حجم خرده فلزاتی که به این روش جزم می شود به طول ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر می باشد.
فروشناسی(آهن سنجی)	یک تکنیک تحلیلی است که برای جداسازی ذرات آهن از نظر اندازه مورد استفاده قرار می گیرد تا بتوان بر روی آنها آزمون های میکروسکوپی را انجام داد. با این روش حتی می توان ذرات غیر آهنی را هم جداسازی نمود ولی نمی توان آنها را درجه بندی کرد.
طیف بینی	یک تکنیک تحلیلی است که برای تعیین ترکیب شیمیایی روغن و ذرات فلزی مورد استفاده قرار می گیرد عموما این روش برای ذرات فلزی کوچک با اندازه ۰ تا ۱۰ میکرومتر به کار می رود.
کل سطح ارتعاش	ین روش ارتعاش ماشین های دوار یا متحرک را مشخص می کند و با برآورد الگو و روند این ارتعاش ها، خرابی های رایج و معمول ماشین ها تشخیص داده شده ولی تعیین علت خرابی به این روش امکان پذیر نیست و بدین ترتیب توانایی تشخیص خطای این روش در سطح بالایی نیست.
تحلیل فرکانس(طیفی)	بوسیله این روش میزان ارتعاش یک ماشین دوار یا متحرک با درنظر گرفتن طیفی از فرکانس، مورد بررسی قرار می گیرد که در آن میزان فراوانی ارتعاش به صورت گسسته می باشد. این روش برای تشخیص خرابی تعیین تفضیلی علت خطا و ارزیابی شدت اثرگذاری خطاها مورد استفاده قرار می دهد.
نظارت بر تکان های دستگاه، محفوظ کردن انرژی و کشیدگی	این تکنیک ها برای ارتعاشات با فرکانس های بالا مورد استفاده قرار می گیرند تا بدین وسیله تشخیص و علت یابی دامنه ای از خرابی ها نظیر آسیب بلبرینگ ها، نقص در روغن کاری و تشخیص نشتی ها استفاده می شود.
نظارت ساختاری	طیف وسیعی از تکنیک های تحلیل ارتعاش وجود دارد که برای تشخیص و موقعیت یابی خرابی یا خطاهای ساختاری مورد استفاده قرار می گیرد. در اکثر این روش ها یک ارتعاش شناخته شده به ساختار وارد می شود و نتایج آن مورد تحلیل قرار می گیرد.
رنگ نافذ	از این روش برای تشخیص شکاف هایی که می تواند موجب شکستگی سطح اقلام گردد استفاده می شود.
شار مغناطیسی	از این روش برای تشخیص شکاف های سطوح فلزات آهنی استفاده می شود.
جریانهای فوکو(گردابی)	از این روش برای تشخیص شکاف های نزدیک به سطح استفاده می شود همچنین تشخیص تغییرات حجم و سختی استفاده می شود.
ماورا صوت	برای تشخیص شکاف ها در هر جایی از یک قطعه مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش ممکن است انحراف با دلیل تاثیر گذار باشد لذا برخی اوقات تجزیه و تحلیل ممکن است زمانبر باشد.
رادیو گرافی	از این روش برای تشخیص شکاف ها در هر جای قطعه استفاده می شود. اگرچه در این روش دسترسی به هر دو طرف قطعه ضروری ست. در این روش خطر ناشی از رادیو اکتیو وجود دارد.
مقاومت الکتریکی	ین روش برای تشخیص شکاف های نزدیک به سطح مورد استفاده قرار می گیرد و بیشتر برای تخمین عمق شکاف استفاده می شود.
سنجش از طریق مادون قرمز	در این روش سنجه هایی برای تعیین حد اندازه وزن از دست داده شده تعیین می شود و سپس میزان سنجه ها با میزان کاهش ضخامت اقلام که ناشی از خوردگی است مقایسه می شود.
کوپن های از دست دادن وزن	ین روش کاربرد خوبی در تشخیص خوردگی دارد ولی خیلی قابل اطمینان نیست چراکه وسیله ای برای برآورد نرخ از بین رفتن مواد ست.

مقاومت قطبی	ستفاده از مجموعه ای از حفره گیرها که برای سوراخ های ریزی استفاده می شوند که به مرور عمق آنها زیاد می شوند، به صورت دوره ای این حفره گیرها را بر می دارند و دلایل نشتی بررسی می شوند.
سوراخ های افزایشی مته	یک المنت برقی و پتانسیل سنج برای ارزیابی تغییر مقاومت ناشی از بین رفتن مواد استفاده می شود. در این روش امکان تشخیص کاهش ضخامت اقلام تا حد ۱ نانومتر وجود دارد.
مقاومت الکتریکی	ین روش طیف گسترده ای از روش های بازرسی سطحی و بررسی وضعیت را با اثر بخشی بالایی پوشش می دهد
سنجش از طریق مادون قرمز	ین روش در بازرسی داخلی ماشن آلات مورد استفاده قرار می گیرد و برای تشخیص خوردگی سطحی، فرسودگی و عیوب با شدت بالا مانند شکاف ها مناسب می باشد.