Choosing the optimal maintenance and repair strategy based on the reliability of electromotor equipment using the combined method of ideal planning and hierarchical analysis A case study in Pars Energy Special Economic Zone Organization

Majid Amini Khanapashtani[1]*
Pars Energy Special Economic Zone Organization, Asalouye, Iran

Roya Sultani[2]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Khatam University, Tehran, Iran

Jalal Safari[3]
Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran

Abstract
The purpose of this research is to provide a model to choose optimal strategies for maintenance and repair of electromotor equipment in the Pars Energy Special Economic Zone Organization. In this research, firstly, the maintenance and repair situation in Pars Energy Special Economic Zone organization is investigated and the history of failures as well as the state of machines and their life cycle are analyzed through repair reports of failures in the maintenance and repair units and equipment catalogs. By examining the work procedures and maintenance and repair instructions, the requirements for determining the strategy are determined and finally, the appropriate strategy for the maintenance and repair of the selected equipment is presented. In this research, maintenance and repair policies are determined based on the opinions of experts and field investigations and defects of the selected equipment. In the next step, the appropriate equipment is selected. The evaluation of the selected equipment is done in terms of reliability and cost, and using hierarchical analytical methods, the weight of the strategies is determined by a cost reduction approach. The preferences of the strategies are determined based on the criteria and considering their degree of importance. Then, using ideal planning, the optimal strategy is selected based on the set priorities and goals. As a result, in this research, the selected equipment has been evaluated in terms of reliability and cost, and using hierarchical analytical methods, the weight of strategies has been determined by a cost reduction approach. The preferences of the strategies were determined based on the criteria and considering their importance, and then the optimal strategy was selected using ideal planning based on the priorities and goals.

Keywords: reliability-based maintenance, strategy selection, electric motor, hierarchical analysis, ideal planning

[1] aminim44@yahoo.com, ORCID Code: 0009-0006-5322-1335
[2] r.soltani@khatam.ac.ir
[3] jalalsafari@yahoo.com

انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان تجهیزات الکتروموتور با استفاده از روش ترکیبی برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله مراتبی مورد مطالعه: منطقه ویژه انرژی پارس

مجید امینی خاناپشتانی[*1]
سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، عسلویه،ایران
رویا سلطانی[2]
گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خاتم، تهران، ایران
جلال صفری[3]
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

چکیده

هدف از این پژوهش ارائه مدلی جهت انتخاب استراتژی های بهینه نگهداری و تعمیرات تجهیزات الکتروموتور در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس می باشد. در این تحقیق ابتدا وضعیت نگهداری و تعمیرات در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس بررسی شده و تاریخچه خرابی‌ها و همچنین وضعیت ماشین‌آلات و چرخه عمر آنها از طریق گزارشات خرابی‌های موجود در واحد نگهداری و تعمیرات و کاتالوگ‌های تجهیزات، تجزیه و تحلیل می شود. با بررسی رویه‌های کاری و دستورالعمل‌های نگهداری و تعمیرات، ملزومات تعیین استراتژی مشخص شده و در نهایت استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات تجهیزات انتخابی ارائه می گردد. در این پژوهش ابتدا خط مشی‌های نگهداری و تعمیرات با استناد به نظرات خبرگان و بررسی های میدانی و عیوب تجهیزات انتخاب شده تعیین می گردد. در مرحله بعد تجهیزات مناسب انتخاب می شود. ارزیابی تجهیزات انتخاب شده از نظر قابلیت اطمینان و هزینه انجام شده و با استفاده از روش های تحلیلی سلسله مراتبی وزن استراتژی‌ها با رویکرد کاهش هزینه معین می شود. ترجیحات استراتژی‌ها بر اساس معیارها و با در نظر گرفتن درجه اهمیت آنها نیز مشخص می‌شود. سپس با استفاده از برنامه ریزی آرمانی بر اساس اولویت ها و اهداف معین شده استراتژی بهینه انتخاب می شود. در نتیجه در این پژوهش ارزیابی تجهیزات انتخاب شده از نظر قابلیت اطمینان و هزینه انجام شده و با استفاده از روش های تحلیلی سلسله مراتبی وزن استراتژی‌ها با رویکرد کاهش هزینه معین شده است. ترجیحات استراتژی‌ها بر اساس معیارها و با در نظر گرفتن درجه اهمیت آنها نیز مشخص و سپس با استفاده از برنامه ریزی آرمانی بر اساس اولویت ها و اهداف معین شده استراتژی بهینه انتخاب گردید.

کلمات کلیدی: تعمیرات و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان،انتخاب استراتژی، الکتروموتور، تحلیل سلسله مراتبی،برنامه ریزی آرمانی

۱-مقدمه

یکی از مسائل مهم مطرح در شرکتها، کارگاههای تولیدی، کارخانه‌ها و به طورکلی مراکز عمرانی، صنعتی و خدماتی، نحوه نگه داری و تعمیرات (نت) تجهیزات و به عبارت دیگر حفاظت فنی از دارایی‌های فیزیکی است. علم نگهداری و تعمیرات از سال ۱۹۳۰ تاکنون پیشرفت قابل توجهی نموده است و به ویژه در ۵۰ سال گذشته شاید بیش از هر رشته مدیریتی دیگر دستخوش تغییرات شده است. این تغییرات به علت افزایش قابل توجه تعداد و تنوع تجهیزات و دارایی‌های فیزیکی است که باید مورد نگهداری و تعمیرات قرار گیرند. افزایش طرح‌های پیچیده، روش‌های نوین نگهداری و تعمیرات و تغییر نگرش سازمان به مسئولیتهای نگهداری و تعمیرات نیز باعث این گسترش شده‌اند.

[1] aminim44@yahoo.com-ORCID Code: 0009-0006-5322-1335
[2] r.soltani@khatam.ac.ir
[3] jalalsafari@yahoo.com

این تغییرات همچنین شامل رشد سریع آگاهی از رابطه میان کیفیت محصول و نگهداری و تعمیرات برای رسیدن به ماشینهایی با دسترس‌پذیری بالا و کاهش هزینه است؛ بنابراین انواع روشهای نگهداری و تعمیرات در جهت تداوم عمر ماشین‌آلات و برآورده نمودن انتظارات صاحبان صنایع ابداع گردیده و هم اکنون به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پژوهش با هدف تمرکز بر روی افزایش قابلیت اطمینان و انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات با استفاده از ترکیب روشهای فرایند تحلیل سلسله مراتبی با برنامه ریزی آرمانی انجام شده است. ابتدا خط مشی های نگهداری و تعمیرات با استناد به نظرات خبرگان و بررسی های میدانی و عیوب تجهیزات انتخاب شده تعیین گردید. سپس با انتخاب تجهیزات مناسب ارزیابی تجهیزات انتخاب شده از نظر قابلیت اطمینان و هزینه انجام شده است. این کار با استفاده از جمع آوری نظرات خبرگان از طریق پرسشنامه به منظور وزن دهی قسمت های اصلی تجهیز انتخابی برای تعیین استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات مورد بررسی قرار گرفت.در روش های تحلیلی سلسله مراتبی وزن استراتژی ها با رویکرد کاهش هزینه معین و ترجیحات استراتژیها بر اساس معیارها و با در نظر گرفتن درجه اهمیت آنها نیزمشخص شده است. انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات در صنایع اغلب بر اساس تجربیات خبرگان صنعت انجام می‌شود. این پژوهش نیز با ارائه رویکرد علمی و بر پایه تجربیات خبرگان، اولویت بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات برای یک تجهیز مهم و پرکاربرد را ارائه می‌نماید. سپس با استفاده از برنامه ریزی آرمانی بر اساس اولویتها و اهداف معین شده، استراتژی بهینه انتخاب و معرفی می گردد. در این مدل شاخص‌های ریسک و هزینه به عنوان شاخص‌های تاثیرگذار در نظر گرفته می شوند و استراتژی بهینه بر اساس استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان انتخاب می گردند. امروزه شرکت‌های تولیدی برای افزایش سود و توسعه حوزه فعالیت‌های خود به دنبال کاهش هزینه‌های تولیدی هستند، از این‌رو برای کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، برنامه‌ریزی و انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات باید به گونه‌ای باشد تا از انجام فعالیت‌های غیر ضروری جلوگیری شود. یکی از واحدهای بحرانی صنایع، واحد نگهداری و تعمیرات (نت) می‌باشد. بر اساس نظامنامه راهبردی مدیریت دارایی های فیزیکی صنعت نفت و بر اساس استاندارد PAS55 که به تازگی به استاندارد ISO55000 در صنایع نفت، گاز و تبدیل شده و الزامات بهینه سازی مدیریت دارایی های فیزیکی را مشخص کرده در بند ۴-۶-۱ به نام پایش وضعیت و عملکرد، تاکید دارد که سازمان ملزم است فرایند اجرا، نظارت و نگهداری سوابق را به طور کامل اجرا کند.اما برای پیاده سازی این الزامات در هر سازمانی انتخاب و به کارگیری یک مدل معتبر و جامع تعالی نگهداری، تعمیرات و مدیریت دارایی فیزیکی ضروری است.

اهمیت نگهداری و تعمیرات صحیح و علمی بر هیچ یک از صاحبنظران پوشیده نیست. در این راستا توجه به تعیین استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات علی الخصوص تجهیزات ویژه باعث افزایش بهره وری و ایجاد ارزش افزوده، افزایش ایمنی کار، افزایش عمر دستگاهها و تجهیزات خواهد شد. در مدیریت عالی نگهداری و تعمیرات وجود یک خط مشی و استراتژی واضح و روشن و دقیق با رویکرد بهره وری، کارایی و پیشگیری از نقص و خطا ضروری است. یکی از مسائل مهم و مطرح در شرکت‌ها، سازمانها و مراکز صنعتی نحوه نگهداری و تعمیرات تجهیزات و به عبارت دیگر حفاظت فنی از دارایی های فیزیکی است. نگهداری و تعمیرات بر مبنای قابلیت اطمینان فرایندی است که نیازهای نگهداری و تعمیرات تجهیزات را در شرایط کاری تعیین می کند تا هریک از این تجهیزات به بهترین نحو وظایف اصلی خود را انجام دهند.

۲-مرور ادبیات

در حال حاضر در شرکت‌های تولیدی مسائلی مانند انتخاب تکنولوژی تولید، انتخاب استراتژی‌های نت و موقعیت ماشین آلات می‌توانند بر هزینه، کیفیت و زمان تحویل محصول به مشتری تاثیرگذار باشند. در این بین، فعالیت‌های نت یکی از عوامل مهم برای کاهش هزینه‌ها، کاهش خرابی‌ها، افزایش کیفیت و بهره‌وری قلمداد می‌گردند. در سال‌های اخیر استراتژی‌های متنوعی برای کنترل و مدیریت فعالیت‌های نت ارائه شده است که هر یک از آن‌ها با توجه به اهدافی که دنبال می‌کنند، فعالیت‌هایی را انجام و دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود می‌باشند. معمولا استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در دو سطح سیستم و اجزاء تعریف می‌شوند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به مواردی نظیر نگهداری و تعمیرات اصلاحی ، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه ، نگهداری و تعمیرات دوره‌ای و نگهداری و تعمیرات فرصتی اشاره کرد.انتخاب استراتژی‌های نت مناسب برای مدیریت دارائی‌های واحدهای صنعتی برای مدیران، به یک مسئله اساسی تبدیل گردیده است. همچنین توجه به این نکته ضروری است که بعضا " ریسک گریزی تصمیم‌گیرندگان در فرآیند تصمیم‌گیری به منظور انتخاب این استراتژی‌ها برای مدیریت تجهیزات، سبب انتخاب گزینه‌های پرهزینه و کم ارزش شده است. در حقیقت تحلیل ریسک به عنوان تلفیقی از قضاوت مهندسی و علم، امکان ارزیابی همسنگ شرایط نامطلوب را فراهم ساخته و از سوی دیگر بررسی عمیق‌تر و همه جانبه‌تر را میسر و در گستره وسیعی به تصمیم‌گیری کمک فراوانی می‌نماید. از آن جایی که تجهیزات و ماشین‌آلات به کار گرفته شده در هر واحد صنعتی نقش بسزایی در فرآیند تولید ایفا می‌کنند و ریسک‌پذیری واحدهای صنعتی را به ریسک‌پذیری هر یک از ماشین‌آلات و تجهیزات خود وابسته می‌نمایند، شناخت محدوده ریسک هر تجهیز و ماشین در جای خود از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود، که این مهم، الویت بندی تجهیزات براساس ریسک را درخور بررسی قرار داده است. از این رو داشتن استراتژی نت مناسب با در نظر گرفتن این مسئله برای مدیریت دارائی‌ها امری ضروری می‌باشد. در همین راستا در مطالعات مختلف مواردی نظیر استفاده از حداکثر عمر مفید دستگاه، جلوگیری از تعمیرات، باز و بسته کردن بی‌مورد قطعات دستگاه و کاهش نظارت مستمر بر وضعیت دستگاه به واسطه استفاده از تجهیزات

ایمنی و همچنین افزایش ایمنی کاربر و محیط را از مزایای طراحی و پیاده‌سازی برنامه نگهداری و تعمیرات کرده‌اند. با توجه به مطالب یاد شده انتخاب و تدوین استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد پیشگیرانه مناسب برای کاهش میزان بروز شدت و حوادث محسوب شود. برای دستیابی به این هدف لازم است در انتخاب استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات، ریسک‌های ایمنی به عنوان یکی از معیارهای ورود مهم در نظر گرفته شود (شفیع خانی و سلطانیان، ۲۰۱۴). سیاستهای نگهداری و تعمیرات در ابتدا به این مبنا بود که پس از ایجاد خرابی، تعمیر صورت می‌گرفت. خرابی هایی که برای سیستم رخ میدهند ممکن است ضربه‌های مالی شدیدی به سازمان وارد کنند که این هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید از دست رفته و تعمیرات اصلاحی هستند. برای جلوگیری از به وجود آمدن این خرابی‌های شدید و جلوگیری از ایجاد هزینه‌های بالا باید استراتژیهای بهینه نگهداری و تعمیراتی برای تجهیزات انتخاب گردد. استراتژیهای مهم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان به ۶ دسته تقسیم می‌شوند:

(استاندارد۱۰۱۲ JA، 35) این استراتژیها عبارت‌اند از:

- کار مبتنی بر شرایط
- بازیابی برنامه‌ریزی شده
- تعویض برنامه‌ریزی شده
- فعالیت‌های عیب یاب
- تداوم کار تا وقوع خرابی
- تغییرات یک‌باره

بسیاری از مطالعات آکادمیک در مورد انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری که با استفاده از روش های مختلف انجام شده برای کاهش خرابی تجهیزات و هزینه های تعمیر و نگهداری با تمرکز بر روش ها و زمینه های کاربردی تاکید داشته و در تعیین مدل بهینه سازی به قابلیت اطمینان، تجزیه و تحلیل ریسک وعدم قطعیت با استفاده ازروشهای گرافیکی،ریاضی،ابتکاری،هوش مصنوعی و مدلهای تصمیم‌گیری چند معیاره MCDM)) اشاره داشته است. مقایسه با پارامترهای اقتصادی بهبود کیفیت تعمیر و نگهداری از لحاظ ایمنی و قابلیت اطمینان بدون افزایش شدید هزینه با تعیین سیاست تعمیر و نگهداری، هدف اصلی این مدل ها است.

۲-۱-راهبردهای نگهداری و تعمیرات

راهبرد نگهداری و تعمیرات دربرگیرنده مجموعه‌ای از خط مشی‌ها و مفاهیم نگهداری و تعمیرات است علاوه بر آن مؤلفه‌های ساختاری دیگری مانند ظرفیت نگهداری و تعمیرات، تجهیزات و تسهیلات نگهداری و تعمیرات، تکنولوژی نگهداری و تعمیرات و یکپارچه‌سازی افقی نیز بر تعیین راهبرد نت تأثیرگذار می‌باشند (سرنیواز و همکاران[1]، ۲۰۰۶) در ادبیات این حوزه، راهبرد نگهداری و تعمیرات به‌عنوان یک الگوی منسجم و یکپارچه ساز تصمیم‌های مرتبط با واحد نگهداری و تعمیرات و هم راستا با سطوح دیگر مدیریت راهبردی اعم از راهبردهای تولیدی، بازاریابی و کسب‌وکار شرکت تعریف می‌شود (هاکس[2]، ۱۹۹۱).

برخی از راهبردهای مهم نگهداری و تعمیرات عبارت‌اند از:

- نگهداری و تعمیرات اصلاحی (پرهان و بهول[3]، ۲۰۰۷)
- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه
- نگهداری و تعمیرات پیشگویانه (کارنو ، ۲۰۰۴)
- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر شرایط (جاردین و همکاران، ۲۰۰۶)
- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر زمان
- نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان
- نگهداری و تعمیرات ناب (دیویدسن و لبیب[4]، ۲۰۰۴)
- نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر
- نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیرناب(دنیس[5]، ۲۰۰۴)
- نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ریسک (آرنواج و میتی[6]، ۲۰۰۷

[1] Srinivas
[2] Hax
[3] Pardhan and Bhol
[4] Davidson and Labib
[5] Dennis
[6] Arunraj and Maiti

- نگهداری و تعمیرات چابک
- نگهداری و تعمیرات مجازی

۲-۲-استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات

نگهداری و تعمیرات دارای استراتژی‌های مختلفی است که باگذشت زمان استراتژی‌ها گسترش‌یافته‌اند. سازمان‌ها و صنایع مختلف استراتژی‌های متناسب با خود را ارائه نموده‌اند اما استانداردهای SAE JA1011 و SAE JA1012 استراتژی‌هایی را مطرح کرده که برای افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات از آن‌ها استفاده می‌شود. استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان عبارت‌اند از: تداوم کار تا وقوع خرابی، بازیابی برنامه‌ریزی‌شده، تعویض برنامه‌ریزی‌شده، کار مبتنی بر شرایط، فعالیت‌های عیب‌یاب و تغییرات یک‌باره استاندارد SAE JA1011. هر یک از این استراتژی‌ها به‌عنوان یک آلترناتیو برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات در نظر گرفته می‌شود که در ادامه به تشریح آن‌ها می‌پردازیم.

- **تداوم کار تا وقوع خرابی(RTF)**

یک سیاست مدیریت خرابی است که به یک حالت خرابی خاص بدون هیچ تلاشی برای پیش‌بینی و پیشگیری اجازه وقوع می‌دهد. این همان سیاست سنتی نگهداری و تعمیر است که به تجهیز اجازه می‌دهد تا خراب و پس از رخداد خرابی، تجهیز تعمیر شود (استاندارد SAE JA1011):

- **بازیابی برنامه‌ریزی‌شده**

یک کار برنامه‌ریزی‌شده برای بازیابی توانایی یک تجهیز در دوره‌های تعیین‌شده بدون توجه به شرایط آن تجهیز تا حدی که احتمال قابل قبولی از کارکرد صحیح تجهیزات تا پایان یک دوره تعیین‌شده دیگر را فراهم کند (استاندارد SAE JA1011).

- **تعویض برنامه‌ریزی‌شده**

یک کار برنامه ریزی عادی شده جهت تعویض یک تجهیز با توجه به محدوده عمر تعیین‌شده آن که بدون توجه به شرایط تجهیز است.

- **کار مبتنی بر شرایط**

کار برنامه‌ریزی‌شده ای که برای یافتن خرابی‌های بالقوه استفاده می‌شود. به‌عبارت دیگر کار برنامه ریزی شده ای که بر اساس شرایط تجهیز است.

- **فعالیت‌های عیب‌یاب**

کار برنامه‌ریزی‌شده ای که جهت تشخیص خرابی به نام برای تجهیز انجام می‌شود (استاندارد SAE JA1011).

- **تغییرات یک‌باره**

به هر عملی شامل طراحی مجدد یا اصلاح جهت تغییر پیکربندی فیزیکی یک سیستم یا دارایی برای تغییر روش اجرای عمل خاصی که توسط اپراتور یا تعمیرکار صورت می‌پذیرد و همچنین تغییر زمینه عملیاتی سیستم یا قابلیت‌های اپراتور یا تعمیرکار گفته می‌شود (استاندارد SAE JA1011).

۲-۳-مبانی نظری نگهداری و تعمیرات

به‌کارگیری سیستم نگهداری و تعمیراتِ خاصِ یک سازمان، می‌تواند نقش بسیار زیادی را در کاهش قیمت تمام‌شده محصول نهایی ایفا نماید. اما این تأثیرات تنها محدود به هزینه نبوده و در سرعت ارائه محصول در کل زنجیره تأمین، کیفیت محصول، قابلیت اطمینان، چابکی سازمان و عواملی ازاین‌دست نیز تأثیرات خاص خود را خواهد داشت که هر یک از آن‌ها محلی از تأمل خواهد بود. ازاین‌رو می‌توان به نقش مهم و تأثیرگذار راهبردهای مختلف نگهداری و تعمیرات بر روی کسب‌وکار یک بنگاه اقتصادی پی برد. در ادامه چگونگی تعاملات بین راهبردهای نگهداری و تعمیرات و راهبردهای کسب‌وکار مطرح خواهد شد. کلیه بنگاه‌های اقتصادی، جهت رقابت در بازار بر اساس برخی اولویت‌های مرتبط با توانمندی‌هایشان با یکدیگر به رقابت می‌پردازند. نگهداری و تعمیرات بخش جدایی‌ناپذیر تولید است که می‌تواند این اولویت‌های رقابتی را تحت تأثیر قرار دهد و درنتیجه راهبردهای کسب‌وکار را به شکل مثبت یا منفی متأثر سازد. برای درک بهتر این ارتباط ابتدا تعریفی اجمالی از واژه استراتژی ذکر می‌شود و سپس راهبرد کسب‌وکار و نگهداری و تعمیرات تشریح می‌شوند و درنهایت تعاملات بین آن‌ها موردبررسی قرار خواهد گرفت. راهبرد یک الگوی منسجم است که تصمیمات را یکپارچه و متحد می‌سازد و اهداف سازمانی را آشکار ساخته و تعیین می‌کند و فعالیت‌هایی را که شرکت باید روی آن‌ها متمرکز شود را انتخاب می‌نماید و تلاش دارد تا شرکت یک مزیت بلندمدت و پایدار در هریک از فعالیت‌هایش به دست آورد و تمام سطوح سلسله مراتبی شرکت را وارد تصمیم می‌کند و طبیعت همکاری‌های اقتصادی و غیر آن را که شرکت دارد تعریف می‌کند

(هاکس ، ۱۹۹۱). بنابراین راهبرد کسب‌وکار، همان الگوی منسجم توصیف‌شده در قبل می‌باشد که محور تمام مباحث، کسب‌وکار سازمان خواهد بود که پورتر سه انتخاب کلی و عمومی را در استراتژی‌های سطح کسب‌وکار معرفی می‌نماید که شامل رهبری در هزینه، تمایز و تمرکز می‌باشد (پورتر[1]، ۱۹۸۵). عبارت راهبرد نگهداری و تعمیرات معمولاً به‌عنوان مجموعه خط مشی‌ها و مفاهیم نگهداری و تعمیرات تفسیر شده است اما از دیدگاه کلان‌تر این خط مشی‌های نگهداری و تعمیرات و مفاهیم، یکی از چند مؤلفه اصلی راهبرد نگهداری و تعمیرات را شکل می‌دهند. سایر مؤلفه‌های ساختاری در تعریف راهبرد نگهداری و تعمیرات عبارت است از ظرفیت نگهداری و تعمیرات، تجهیزات و تسهیلات نگهداری و تعمیرات، تکنولوژی نگهداری و تعمیرات و یکپارچه‌سازی افقی. در ادبیات این حوزه، راهبرد نگهداری و تعمیرات، به‌عنوان یک الگوی منسجم و جدانشدنی و یکپارچه ساز تصمیم‌ها در عناصر استراتژی‌های متفاوت در تجانس با تولید، شرکت و راهبردهای سطح کسب‌وکار معرفی می‌شود. راهبرد نگهداری و تعمیرات اهداف سازمان را آشکار می‌سازد و طبیعت کارکردهای اقتصادی و غیراقتصادی را که قصد دارد برای سازمان به شکل یکپارچه انجام دهد، تعریف می‌کند (هاکس، ۱۹۹۱).

با این تفاسیر ارتباط میان کسب‌وکار و راهبردهای نگهداری و تعمیرات را از طریق چارچوب زنجیره ارزشِ معروف پورتر به‌خوبی می‌توان درک نمود (پورتر، ۱۹۸۵). در این چارچوب کلیه وظایفی که به‌وسیله یک بنگاه اقتصادی انجام می‌گیرد، به ۵ فعالیت اولیه و ۴ فعالیت پشتیبانی دسته‌بندی شود. فعالیت‌های اولیه شامل تعیین حدود لجستیک داخلی، فرآیندها، لجستیک خارجی، بازاریابی، فروش و خدمات می‌شود. فعالیت‌های پشتیبانی شامل تدارکات، تکنولوژی، مدیریت منابع انسانی و زیرساخت‌های سازمان می‌شود. بعدها برخی از نویسندگان بر اساس درک و تحلیل‌های جدید، دسته‌بندی فوق را تغییر دادند. برای مثال درگذشته اغلب برای فرآیند نگهداری و تعمیرات به جهت این‌که به‌عنوان سربار تولید در نظر گرفته می‌شد، در زنجیره ارزش، جایگاهی برای آن در نظر گرفته نشد (هورا[2]،۱۹۸۷). این در حالی است که با در نظر گرفتن آن به‌عنوان یک فرآیند در زنجیره ارزش، مدیریت می‌تواند تأثیرات نگهداری و تعمیرات و راهبردهای مختلف آن را بر روی زنجیره ارزش و راهبرد کسب‌وکار خود تصور نماید. به‌هرحال، فرآیند نگهداری و تعمیرات در تعیین سطح شاخص رقابت‌پذیری یک سازمان از نقش حساس و غیرقابل‌انکاری برخوردار است و درمجموع می‌توان تحلیل‌های گوناگونی را در ارتباط با این فرآیند در چهار حوزه هزینه، کیفیت، انعطاف‌پذیری و قابلیت تحویل موردبررسی قرارداد (سوانسون[3]، ۱۹۹۷; پینتلون و همکاران[4]، ۲۰۰۰) بر این اساس ارائه مدل‌های تصمیم‌گیری برای انتخاب راهبردهای مختلف نگهداری و تعمیرات و یا انتخاب ترکیبی از آن‌ها، توسط برخی نویسندگان مدنظر قرارگرفته است.

۳-بیان مساله

سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس به نمایندگی از وزارت نفت وشرکت ملی نفت ایران وظیفه اداره و راهبری حوزه عملیاتی پشتیبانی پارس جنوبی، پارس کنگان و پارس شمالی را برعهده دارد. فعالیت‌های اصلی آن شامل تعریف، تصویب (طراحی، اجراء، بهره برداری و نگهداری) ایجاد و احداث زیر ساخت های عمومی مانند راه، راه آهن، بندر، فرودگاه، برق، آب و مدیریت و راهبری منطقه از وظایف و ماموریت های اصلی آن است. این سازمان شامل سه منطقه پارس یک (پارس جنوبی) منطقه پارس دو (پارس کنگان و منطقه پارس سه (پارس شمالی) با ۱۶ هزار هکتار مساحت با هدف پشتیبانی از طرح توسعه بزرگترین میدان گازی جهان درسال ۱۳۷۷ تاسیس شده است. سازمان منطقه ویژه انرژی اقتصادی پارس دارای شخصیت حقوقی و مستقل است که سرمایه آن متعلق به دولت می باشد. این سازمان از حیث حقوقی تابع قانون تشکیل و اداره مناطق ویژه اقتصادی جمهوری اسلامی ایران و در موارد پیش بینی نشده در قانون نامبرده و اساسنامه تابع قوانین و مقررات جاری کشور از جمله قانون تجارت می باشد.جهت ارائه خدمات بندری به شناورهای ورودی حامل کالاهای پروژه ای پالایشگاهها و پتروشیمی ها و سایر صنایع وابسته و محصولات تولیدی صادراتی وهمچنین شناورهای خدماتی مجتمع بندری پارس مجتمع بندری پارس به عنوان شاهرگ اصلی واردات و صادرات کالا در منطقه یکی از عوامل مهم جذب سرمایه گذاران داخلی و خارجی ، تاسیس شده است. در سازمان ها و شرکت های تولیدی هزینه نگهداری و تعمیرات بخش قابل توجهی از هزینه ها را شامل می شود. بنابراین انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات بر هزینه های آن تاثیر گذار بوده و باعث کاهش هزینه ها می شود. برخی از موارد بازرسی فنی الکتروموتورها به شرح زیر می‌باشد:

- بازرسی ترموگرافی،آنالیز ارتعاشات، بازرسی وضعیت غیر عادی و عملکرد موتور مانند گرما، لرزش، جریان و ...
- بازرسی دیداری از وضعیت تهویه الکتروموتور
- آنالیز اثرات الکتریک

[1] Porter
[2] Hora
[3] Swanson
[4] Pintelon

- بازرسی و کنترل وضعیت روان کاری و گریس کاری الکتروموتور و آنالیز روغن و ذرات فرسایشی که می توان به آنالیزهای متداول روغن نظیر آزمایش AES (اسپکتروسکوپی)،آزمایش PQ (سنجش ذرات آهنی)،آزمایش PC (شمارنده ذرات) اشاره نمود.
- بالانس مکانیکی در محل و بازدید و بررسی بلبرینگ های الکتروموتور
- عیب‌یابی آلتراسونیک
- کنترل وضعیت آب بندی جعبه اتصالات کابل الکتروموتور و بررسی سفتی کلیه اتصالات برقی و مکانیکی
- بازدید ظاهری از وضعیت بدنه الکتروموتور و اطمینان از عدم وجود هر نوع خوردگی،ترک خوردگی و پوسیدگی

۳-۱-اجزای مهم الکتروموتور

اجزای الکتروموتور شامل بخش ها مختلفی می باشد و هر کدام از این بخش ها از اهمیت بالایی برخوردار هستند بطوری که در صورت بروز مشکل در یکی از این اجزا روند کار الکتروموتور دچار اختلال می گردد. برخی از اجزای مهم الکتروموتور به شرح زیر می باشند:

روتور(ROTOR)

به بخش متحرک الکتروموتور روتور می گویند. روتور از قطعاتی جدا از هم و باریک که عموما جنس فولاد هستند تشکیل شده که در میان آن میله هایی از جنس مس و آلومنیوم قرار گرفته است. چرخش روتور بخاطر میدان مغناطیسی موجود بین روتور و استاتور است که در اطراف روتور موجب ایجاد گشتاور می شود.

استاتور(STATOR)

بخش ثابت الکتروموتور، استاتور می‌باشد که آن را بالشتک نیز می نامند. عموما استاتور از قطعات سبک ، باریک و کوچک آلومنیوم یا آهن ساخته می شود و وظیفه اصلی آن در الکتروموتور ها بوجود آوردن یک میدان مغناطیسی می باشد.

سیم پیچ(WINDINGS)

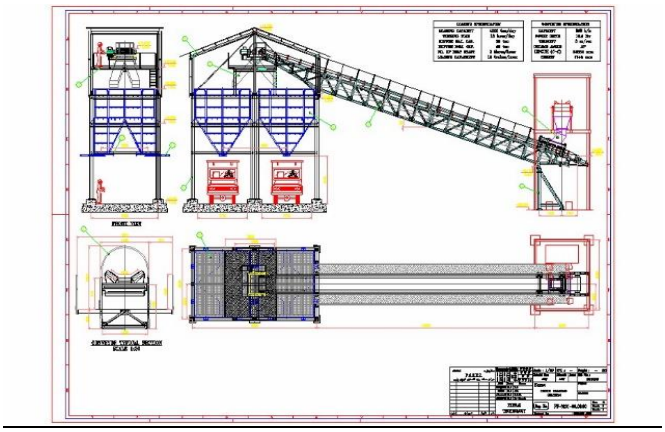
سیم پیچ از سیم هایی که درون یک چنبره قرار گرفته است تشکیل می شود. معمولاً سیم ها در اطراف یک هسته مغناطیسی آهن نرم لمینت پیچیده می شود تا هنگامی که انرژی و جریان از میان آن عبور می کند قطب های الکترومغناطیسی تولید شوند.

در این پژوهش نیز با توجه به اینکه در سازمان بیش از هر چیزی به مدیریت دارایی های فیزیکی و همچنین مهمترین قسمت آن یعنی انتخاب استراتژی مناسب برای نگهداری و تعمیرات آن دارایی فیزیکی مورد نیاز بوده تلاش کردیم تا الکتروموتور مورد استفاده در انبار مکانیزه گوگرد را به عنوان یک تجهیز مهم و پرکاربرد در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس مورد بررسی قرار دهیم. گوگرد(Sulphur)،یکی از فرآورده های ارزشمند صادراتی می باشد. بعد از جداسازی مایعات گازی از گاز طبیعی، دومین قسمت از فرآورش گاز، جداسازی دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن است که به آن " شیرین سازی گاز" نیز می گویند. این ماده که "سولفور پایه" نامیده می شود به شکل پودر زردرنگ بوده که می تواند پس از آماده سازی با توجه به نیاز بازار، به همان شکل و یا پس از فرآورش به بازارهای هدف صادر شود.

گوگرد تولیدی مجتمع پارس جنوبی بدلیل قرارداشتن آن در بندر عسلویه و نزدیکی آن به مبادی حمل و همچنین کیفیت بالای گوگرد و نیز گرانول بودن آن که موجب تسهیل در بارگیری، تخلیه و حمل آن می شود؛ از مزایای فراوانی در جذب مشتریان بین المللی برخوردار است و به همین علت اقدامات موثری را به منظور شناخت و حضور در بازارهای هدف، کاهش ریسک های زیست محیطی تولید گوگرد، و افزایش سهم ایران از بازار گوگرد منطقه خاورمیانه انجام شده است.

۳-۲-پروسه کار در انبار مکانیزه گوگرد

گوگرد که محصول ناخواسته صنایع پالایشی است. یکی از مهمترین عناصر مواد خام صنعتی می باشد که برای صنایع مختلف اهمیت بسزایی دارد . گوگرد تولیدی از پتروشیمی به انبارهای مکانیزه منتقل و از آنجا توسط سیستمهای خاص به کشتی انتقال می یابد. از سویی در حمل و نقل گوگرد همواره خطر آلودگی حاصل از پراکندگی ذرات گوگرد و همچنین اشتعالزایی گوگرد وجود دارد و لذا بارگیری و تخلیه آن از حساسیت ویژه ای برخوردار بوده و نیازمند بکارگیری تدابیر ایمنی خاص و حفاظت های ویژه می باشد. در بندر خدماتی پارس واقع در عسلویه ، انبارهای سرپوشیده متعددی ساخته شده و یا در دست توسعه می باشد که گوگرد ناخواسته ناشی ازفرآورده های صنایع منطقه را پس از خاتمه فازهای مختلف آن را جذب و از طریق نوار نقاله های افقی به برجپر کن تلسکوپی ثابت کنار اسکه انتقال و سپس به کشتی مورد نظر تحویل می گردد.



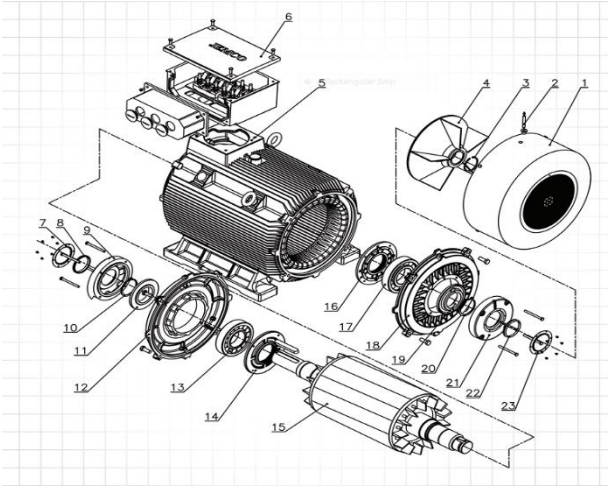
شکل (۱). شمای کلی تخلیه گوگرد در کامیون

در انبار های مکانیزه گوگرد پروسه کار در دو مرحله شارژ و دشارژ انجام می‌شود. در مرحله شارژ ابتدا گوگرد تولیدی پالایشگاهها از طریق کامیون های مخصوص وارد سایت گوگرد می‌شود. پس از انجام باسکول، توسط سیستم اسپری آب پاش که فشار آن با الکتروپمپ های مخصوص تامین می‌شود مرطوب و سپس در هاپر تخلیه شده و از طریق نوار نقاله هایی به داخل انبار ها هدایت می‌شود.در نهایت محموله گوگرد توسط دستگاه تریپر کار دپو می‌شوند. در مرحله آخر(تریپرکار) جهت از بین بردن غبار گوگرد مجددا توسط نازل هایی مورد پاشش آب قرار می‌گیرند. در مرحله دشارژ گوگرد دپو شده توسط دستگاه ریکلایمر جهت بارگیری کشتی شروع و از طریق نوار نقاله به سمت اسکله ارسال و پس از مرطوب شدن از طریق دستگاه لودر در کشتی بارگیری می‌شود.

۳-۳-موتور الکتریکی

الکتروموتور ها (موتورهای الکتریکی) نقش محوری در فرایندهای مختلف مربوط به تغییر انرژی الکتریکی به مکانیکی در واحدهای صنعتی مختلف را دارند. از این رو قابلیت اطمینان و آماده بودن آن‌ها اهمیت فراوانی برای صنعت برق دارد. در حالت کلی موتورهای الکتریکی قابل اطمینان هستند .ولی در نهایت پس از مدتی کارایی خود را از دست می‌دهند. در موارد اندکی حتی موتورهای جدید در همان ابتدای استفاده کارایی خود را به دلیل فقدان طراحی مناسب، شرایط نامناسب بهره‌برداری و یا نصب نادرست از دست می‌دهند. خطا و خرابی در موتورهای الکتریکی باعث زمان‌های از کار افتادگی فراوان و در نتیجه کم شدن بازده اقتصادی به دلیل هزینه تعمیرات می‌شود. برخی از خرابی‌ها می توانند منجر به اثرات فاجعه بار بر ایمنی کل تأسیسات شوند. از این رو بحث پایش وضعیت و مانیتورینگ الکتروموتور ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تا عیوب و ایرادات را شناسایی کرده و از خطاها و خرابی‌های بزرگ جلوگیری کند. در طراحی و اجرای سیستم کنترل و ایمنی مجموعه های انتقال گوگرد مواردی جهت تامین ایمنی تحت کنترل قرار گیرند. تعبیه سیستم اطفاء حریق در مسیر نوار نقاله و مخازن، سیستم اطفا حریق نیز به دلیل ایجاد ایمنی بیشتر در دوشکل دستی و اتوماتیک طراحی می گردد و امتداد نوار نقاله با نازلهایی جهت پاشش آب به منظور اطفا حریق مجهز می گردد.

در حالت اتوماتیک در صورت وجود دود و یا شعله حس کننده های مربوط حریق را شناسایی کرده و متعاقبا فرمان باز شدن شیر برقی انتقال آب به مسیر لوله ها را صادر کرده و اقدامات مربوط به بارگیری مخازن وکامیون متوقف می گردد. تامین فشار آب در مراحل آب پاشی و اسپری توسط الکتروپمپ ها انجام می‌شود. امروزه بحث پایش وضعیت و مانیتورینگ الکتروموتور ها و ماشین‌های الکتریکی از بخش‌های اساسی کارخانجات و کارگاه‌ها در کشورهای پیشرفته می‌باشد. با این حال در کشور ما این موضوع از اهمیت کمتری برخوردار است. خوشبختانه در سالیان اخیر با رشد روزافزون صنایع داخلی بحث تست و پایش نیز مورد توجه قرار گرفته است. الکتروموتورها که در واقع مبدل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی هستند، یکی از پرمصرف ترین و مهمترین تجهیزات مورد استفاده در صنایع مختلف نظیر پتروشیمی، پالایشگاه، نیروگاه، فولاد، سیمان و ... می باشند. الکتروموتور یا موتور الکتریکی دارای انواع متنوعی می باشد. از جمله کاربردهای بی شمار آن می توان به تأمین نیروی محرکه پمپ ها، کمپرسورها، فن های هوایی و... اشاره کرد. الکتروموتور انتخاب شده از دسته الکتروموتورهای پر قدرت هستند که مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است.



شکل (۲). اجزای مهم الکتروموتور

در شکل (۳) می توان قسمتهای مختلف یک الکتروموتور را مشاهده نمود.

1 - Outside Fan Housing
2 - Inlet Lubricating Channel
3 - Retaining Ring
4 - Fan
5 - Stator Frame with Core and Winding
6 - Terminal Box
7 - Cover Plate (front)
8 - V-ring
9 - Bearing Cover Outside (front)
10 - Retaining Ring
11 - Bearing Grease Cover (back)
12 - End Shield (front)
13 - Ball Bearing
14 - Bearing Cover inside (front)
15 - Rotor
16 - Bearing Cover Inside (back)
17 - Ball Bearing
18 - End Shield (back)
19 - Bearing Grease Cover (back)
20 - Retaining Ring
21 - Bearing Cover outside (back)
22 - V- ring
23 - Cover Plate (back)

شکل (۳). اجزای مهم الکتروموتور

همانطور که در شکل (۳) مشهود است، در قطعه انتخابی ۱۷ قسمت اصلی و آیتم های قابل نگهداشت برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات مورد بررسی قرار میگیرد.

جدول (۱). اجزای مهم الکترو موتور مورد مطالعه براساس استاندارد ISO۱۴۲۲۴

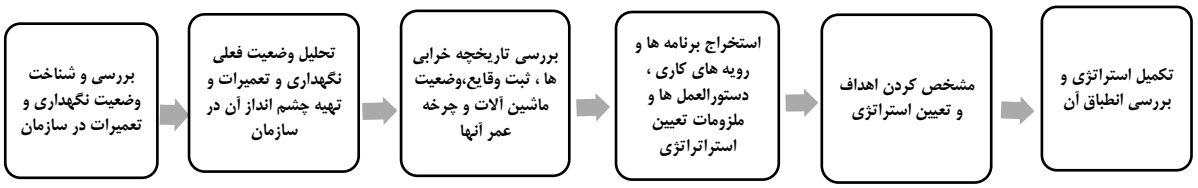
زیرواحد	**آیتم قابل نگهداشت/ قطعه**					
الکتروموتور	استاتور	روتور	یاتاقان محوری			
کنترل و مانیتورینگ	کنترل	سیمها	سنسورها	نمایش دهنده		
سیستم روان کننده	روغن	فیلتر روغن	پمپ روغن	لوله های روغن کاری	شیرهای روغن کاری	
سیستم خنک کننده	فیلتر هوا	فن داخلی	فن خارجی	مبدل حرارتی	شیر سیستم خنک کاری	

۴-روش تحقیق

نگهداری و تعمیرات نقش کلیدی در افزایش قابلیت اطمینان، کارایی، ایمنی، سطح دسترسی تجهیزات، کیفیت تولید و کاهش ریسک تجهیزات ایفا می کند. انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات بر هزینه های مستقیم نگهداری و تعمیرات سازمان ها تأثیرگذار است و باعث کاهش هزینه ها می گردد. سیاست های نگهداری و تعمیرات در ابتدا به این روش بود که پس از ایجاد خرابی، تعمیر صورت می گرفت، خرابی های که برای سیستم رخ می دهند ممکن است ضربه های مالی شدیدی به سازمان وارد کنند که این هزینه ها شامل هزینه های تولید از دست رفته و تعمیرات اصلاحی هستند. برای جلوگیری از به وجود آمدن این خرابی های شدید و جلوگیری از ایجاد هزینه های بالا باید استراتژی های بهینه نگهداری و تعمیراتی برای تجهیزات انتخاب گردد.

انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات به دو روش امکان‌پذیر است. اولین آن روش دقیق و دومی روش نمودار تصمیم‌گیری است (استاندارد۱۰۱۲ JA، 23). در روش دقیق از روش‌های ریاضی جهت انتخاب استراتژی‌های بهینه نگهداری و تعمیرات استفاده می‌گردد. روش دقیق کامل‌تر بوده و یک سیاست مدیریت خرابی کاملاً بهینه را برای مقابله با هر مد خرابی تجهیز تعیین می‌کند. در سالیان گذشته تحقیقات زیادی برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات صورت گرفته که هریک دارای مشکلاتی بوده‌اند. برخی غیرقابل پیاده‌سازی، برخی به دلیل غیر ریاضی بودن و برخی به دلیل محاسبات زیاد و پیچیده غیرقابل استفاده هستند. با توجه به اینکه در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات برای تجهیزات به صورت تجربی صورت می‌گیرد، این تحقیق با الهام از ادبیات مروری قبلی با ارائه یک مدل ترکیبی کمی و کیفی با حداقل محاسبات به دنبال حل مشکلات موجود می باشد. در این تحقیق از روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله مراتبی برای ارائه یک مدل جهت انتخاب استراتژی بهینه نگهداری تعمیرات استفاده شده است که این کار دقت و صحت کار را تا سطح قابل توجهی بالا می‌برد. استفاده از روش مدلهای تصمیم‌گیری چند معیاره اهداف انعطاف پذیری مانند حداکثر رساندن عملکرد سیستم و به حداقل رساندن هزینه ها را در فرآیند تصمیم گیری در نظر می گیرد. روش های مختلف MCDM مانند TOPSIS، فرایند شبکه تحلیلی (ANP)، DEMATEL، ELECTRE و ترکیبی ازآنها نیز برای بهینه سازی خط مشی تعمیر و نگهداری استفاده شده است. در تحقیق حاضر ما به دنبال ارائه یک مدل ریاضی برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات براساس قابلیت اطمینان هستیم.در این تحقیق از روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردیده است که این کار دقت و صحت نتیجه را تا سطح قابل توجهی بالا می‌برد. هدف مسئله انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات است، شاخص‌های تاثیرگذار در انتخاب استراتژی‌های بهینه نگهداری و تعمیرات هزینه و ریسک هستند و آلترناتیوهای مسئله کار مبتنی بر شرایط، بازیابی برنامه‌ریزی شده، تعویض برنامه‌ریزی شده، فعالیت‌های عیب یاب، تداوم کار تا وقوع خرابی و تغییرات یک‌باره هستند.

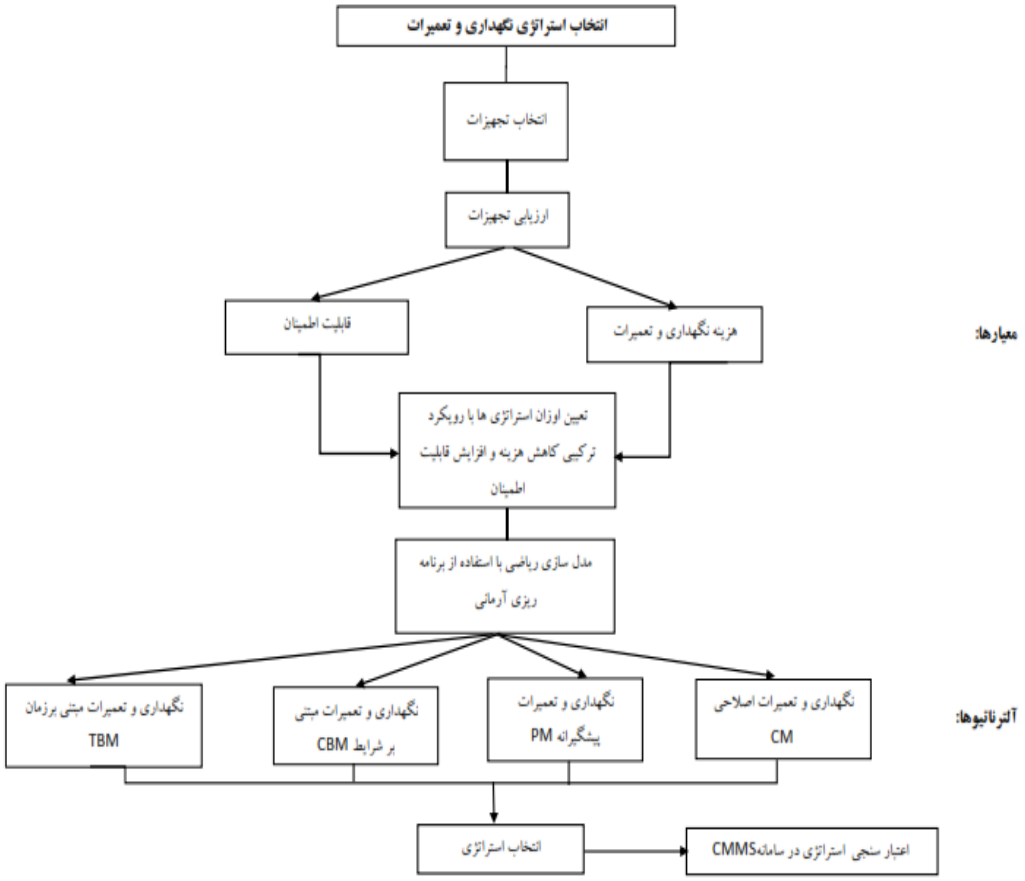
برنامه‌ریزی آرمانی کارآمدترین تکنیک برنامه‌ریزی چند معیاری و چند هدفی است. به همین علت برای رسیدن به جواب بهینه مسئله با استفاده از داده‌های حاصله از مقایسات زوجی تحلیل سلسله مراتبی از این روش استفاده می‌کنیم. در این تحقیق ابتدا وضعیت نگهداری و تعمیرات در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس بررسی می شود. تاریخچه خرابی ها و همچنین وضعیت ماشین آلات و چرخه عمر آنها از طریق گزارشات خرابی های موجود در واحد نگهداری و تعمیرات و کاتالوگ های تجهیزات تجزیه و تحلیل می گردد. با بررسی رویه های کاری و دستورالعمل های نگهداری و تعمیرات ملزومات تعیین استراتژی مشخص شده و در نهایت استراتژی مناسب برای تجهیزات انتخابی ارائه می شود. گردآوری اطلاعات به روش کتابخانه‌ای، اینترنتی و میدانی انجام شده است. در روش کتابخانه‌ای اطلاعات سوابق خرابی و دفترچه راهنمای تجهیزات سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس مورد استفاده قرار گرفته و همچنین در روش میدانی، نظرسنجی از خبرگان و متخصصان حوزه نگهداری و تعمیرات در شرکت مذکور انجام شده است. متدولوژی پیشنهادی برای تدوین استراتژی پروژه در (۴) نمایش داده شده است



شکل (۴). نمودار متدولوژی پیشنهادی جهت تدوین استراتژی

اطلاعات مورد نیاز این تحقیق از بین تجهیزات مهم سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس جمع آوری می شود .در این پروژه ابتدا خط مشی های نگهداری و تعمیرات با استناد به نظرات خبرگان و بررسی های میدانی و عیوب تجهیزات انتخاب شده تعیین می شود. درمرحله بعد تجهیزات

مناسب انتخاب می گردد.ارزیابی تجهیزات انتخاب شده از نظر قابلیت اطمینان و هزینه انجام شده و با استفاده از روش های تحلیلی سلسله مراتبی وزن استراتژی ها با رویکرد کاهش هزینه معین می گردد. ترجیحات استراتژی ها بر اساس معیارها و با در نظر گرفتن درجه اهمیت آنها نیزمشخص می شود. سپس با استفاده از برنامه ریزی آرمانی بر اساس اولویت ها و اهداف معین شده استراتژی بهینه انتخاب می گردد.در نهایت به منظور اعتبار سنجی، مدل پیشنهادی در سامانه CMMS سازمان پیاده سازی می گردد. شکل (۵) ساختار مدل پیشنهادی تحقیق را نشان می دهد.



شکل (۵). نمودار ساختار مدل پیشنهادی تحقیق

۴-۱-فرایند تحلیل سلسله مراتبی

یکی از کارآمد ترین تکنیک های تصمیم گیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی که اولین بار توسط توماس ال ساعتی در ۱۹۸۰ مطرح شد که بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را ارائه می‌دهد. هدف تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب بهترین گزینه براساس معیارهای مختلف از طریق مقایسه زوجی است. این تکنیک برای وزن دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود. چون افزایش تعداد عناصر هر خوشه مقایسه زوجی را دشوار می‌کند بنابراین معمولا معیارهای تصمیم گیری را به زیرمعیارهایی تقسیم می‌کنند.

جدول (۲). مقایسات زوجی

ارزش	وضعیت مقایسه iنسبت به j	توضیح
۱	ترجیح یکسان Equally Preferred	عنصر i و j اهمیت برابر دارند
۳	کمی مرجح Moderately Preferred	عنصر i از j کمی مهم تر است
۵	خیلی مرجح Strongly Preferred	عنصر i از j مهم تر است
۷	خیلی زیاد مرجح Very Strongly Preferred	عنصر i از j خیلی مهم تر است
۹	کاملا مرجح Extremely Preferred	عنصر i از j کاملا مهم تر است
۸-۶-۴-۲	بینابین	ارزش های بینابین را نشان می دهد

روش ارزیابی چند معیاره AHP با در نظر گرفتن اثر همزمان کلیه معیارهای دخیل و مقایســـه امتیازات آنها، به اولویت بندی گزینه‌ها پرداخته و با به کارگیری روابط معرفی شده گزینه مطلوب را تعیین می نماید .در این تکنیک ابتدا ساختار سلسله مراتبی مسئله ساخته می‌شود و سپس با مقایسه زوجی بین معیارها و شاخص‌های مورد مطالعه، وزن نسبی هریک از آن شاخص‌ها تعیین می‌گردد و سپس با توجه به وزن‌های بدست آمده ارزش هر یک از نمونه‌های مورد مطالعه محاسبه می‌گردد . جداول مقایس‌هایی دودویی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به صورت ماتریس معکوس هستند. به طور مثال اگر ضریب ریسک به هزینه در استاتور ۹ است، ضریب هزینه به ریسک در استاتور عکس آن یعنی یک (۱) است. پس از وارد کردن ضرایب در جداول، برای تعیین اولویت از مفهوم نرمال سازی که در بالا ذکر شد استفاده می شود.

۴-۲- برنامه‌ریزی آرمانی

برنامه‌ریزی آرمانی به عنوان فرمی از برنامه‌ریزی ریاضی جهت در نظر گرفتن هدفهای چندگانه در تصمیم‌گیری‌ها توسط چارز و کوپر در سال ۱۹۶۱ ارائه شد. در این مدل برای هر تابع هدف یک مقدار سطح تمایل توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می شود و با توجه به اولویت اهداف مسئله، در پی کمینه ساختن انحرافات نامطلوب از سطوح تمایل در نظر گرفته شده است. کنترل هرکدام از انحرافات مثبت یا منفی که برای برنامه‌ریز مهم باشد، متغیر مربوط به آن وارد تابع هدف میشود. درصورتی‌که هر دو انحراف برای برنامه‌ریز نامطلوب باشد، هر دو متغیر مربوط به انحرافات مثبت و منفی وارد تابع هدف می‌شوند. مدل زیر، یک مدل برنامه ریزی آرمانی را نشان می دهد.

$$\text{Min} \sum w_i(d_i^+ + d_i^-)$$

$$\text{s.t}$$

$$\begin{aligned} &\text{fi (X)- } d_i^+ + d_i^- = gi && i=1,2,\ldots,n \\ &d_i^+, d_i^- \geq 0, && i=1,2,\ldots,n \end{aligned} \qquad (1)$$

fi(X) تابع خطی i امین هدف، gi سطح تمایل iامین هدف، d_i^+ انحراف مثبت از سطح تمایل i امین هدف $|fi(X) - gi|$ و d_i^- انحراف منفی از سطح تمایل i امین هدف $|fi(X) - gi|$ هستند.

۴-۲-۱- برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی

در این روش تصمیم‌گیرنده برای هر تابع هدف چند مقدار را به عنوان سطوح تمایل در نظر می‌گیرد و با استفاده از متغیرهای صفر و یک بهترین سطح تمایل را برای هر هدف در پایان حل مدل ارائه می‌کند. این مدل اولین بار توسط چانگ، در سال ۲۰۰۷ ارائه شد. وقتی مقادیر کوچک‌تر مطلوب است: در این حالت برای هر تابع هدف چند مقدار به عنوان سطوح تمایل در نظر گرفته می‌شود که از بین سطوح تمایل در نظر گرفته شده، مقادیر کوچکتر مطلوب هستند.

$$\text{Min} \sum w_i(d_i^+ + d_i^-)$$

$$\text{s.t}$$

$$\begin{aligned} &\text{fi(X)- } d_i^+ + d_i^- = \sum_{j=1}^{m} g_{i,j} S_{i,j(B)}, && i=1,2,\ldots,n \\ &\frac{g_{max} - \sum_{j=1}^{m} g_{i,j} S_{i,j}(B)}{g_{max} - g_{min}} - d_i^+ + d_i^- = 1 \\ &d_i^+, d_i^- \geq 0, && i=1,2,\ldots,n \end{aligned} \qquad (2)$$

fi(X) تابع خطی i امین هدف، $g_{i,j}$ jامین سطح تمایل iامین هدف، d_i^+ انحراف مثبت از سطح تمایل i امین هدف و d_i^- انحراف منفی از سطح تمایل i امین هدف هستند. همچنین g_{max} کوچک‌ترین سطح تمایل هدف و $S_{i,j(B)}$ تابعی از متغیرهای صفر و یک است. وقتی مقادیر بزرگ‌تر مطلوب است: در این حالت برای هر تابع هدف چند مقدار به عنوان سطوح تمایل در نظر گرفته می‌شود که از بین سطوح تمایل در نظر گرفته شده، مقادیر بزرگتر مطلوب هستند.

$$\text{Min} \sum w_i(d_i^+ + d_i^-)$$

s.t

$$\begin{aligned} &\text{fi(X)-}\ \text{d}_\text{i}^+ + \text{d}_\text{i}^- = \sum_{j=1}^{m} \text{g}_{\text{i,j}} \text{S}_{\text{i,j(B)}}, \quad \text{i=1,2,…,n} \\ &\frac{\sum_{j=1}^{m} \text{g}_{\text{i,j}} \text{S}_{\text{i,j}}(\text{B}) - g_{min}}{g_{max} - g_{min}} - \ \text{d}_\text{i}^+ + \text{d}_\text{i}^- = 1 \\ &\text{d}_\text{i}^+, \text{d}_\text{i}^- \geq 0, \qquad \text{i=1,2,…,n} \end{aligned} \tag{3}$$

Fi(x) تابع خطی i امین هدف، $g_{i,j}$ jامین سطح تمایل iامین هدف، d_i^+ انحراف مثبت از سطح تمایل i امین هدف و d_i^- انحراف منفی از سطح تمایل i امین هدف هستند. همچنین g_{max} بزرگ‌ترین سطح تمایل هدف و $S_{i,j(B)}$ تابعی از متغیرهای صفر و یک است.

۴-۲-۲-برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی تجدید نظر شده

در برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی به دلیل وجود متغیرهای صفر و یک اضافی، زمان حل و درک مدل برای تصمیم‌گیرنده بسیار دشوار خواهد شد. لذا برای حل این مشکل با تعریف حدود بالا و پایین برای هر سطح تمایل و حذف متغیرهای صفر و یک، برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی تجدید نظر شده با استفاده از متغیرهای پیوسته، توسط چانگ، در سال ۲۰۰۸ ارائه گردید. وقتی مقادیر کوچک‌تر از مطلوب است: در این حالت برای هر تابع هدف چند مقدار به عنوان سطوح تمایل در نظر گرفته می‌شود که از بین سطوح تمایل در نظر گرفته شده، مقادیر کوچکتر مطلوب هستند.

$$Min \sum [w_i(d_i^+ + d_i^-) + \varphi(e_i^+ + e_i^-)]$$

s.t

$$\begin{aligned} &\text{f}_\text{i}\text{(X)-}\ \text{d}_\text{i}^+ + \text{d}_\text{i}^- = \text{y}_\text{i}, \qquad \text{i=1,2,…,n} \\ &\text{y}_\text{i}\text{-}e_i^+ + e_i^- = g_{i,max}, \text{i} = 1,2, \dots, \text{n} \\ &g_{i,min} \leq y_i \leq g_{i,max} \\ &\text{d}_\text{i}^+, \text{d}_\text{i}^-, e_i^+, e_i^- \geq 0, \qquad \text{i=1,2,…,n} \end{aligned} \tag{4}$$

$\text{f}_\text{i}\text{(X)}$ تابع خطی i امین هدف، d_i^+ انحراف مثبت از سطح تمایل i امین هدف $|f_i(X) - y_i|$ و d_i^- انحراف منفی از سطح تمایل i امین هدف $|f_i(X) - y_i|$، $g_{i,max}$ بزرگ‌ترین سطح تمایل i امین هدف، $g_{i,min}$ کوچک‌ترین سطح تمایل i امین هدف، e_i^- انحراف منفی مربوط به $|y_i - g_{i,min}|$ و e_i^+ انحراف مثبت مربوط به $|y_i - g_{i,min}|$ هستند. همچنین y_c متغیر پیوسته برای سطح تمایل هزینه، y_r متغیر پیوسته برای سطح تمایل ریسک و y_{ahp} متغیر پیوسته برای سطح تمایل کلی ریسک و هزینه هستند. وقتی مقادیر بزرگ‌تر از مطلوب است: در این حالت برای هر تابع هدف چند مقدار به عنوان سطوح تمایل در نظر گرفته می‌شود که از بین سطوح تمایل در نظر گرفته شده، مقادیر بزرگتر مطلوب هستند.

$$Min \sum [w_i(d_i^+ + d_i^-) + \varphi(e_i^+ + e_i^-)]$$

s.t

$$\begin{aligned} &\text{f}_\text{i}\text{(X)-}\ \text{d}_\text{i}^+ + \text{d}_\text{i}^- = \text{y}_\text{i}, \qquad \text{i=1,2,…,n} \\ &\text{y}_\text{i}\text{-}e_i^+ + e_i^- = g_{i,max}, \quad \text{i} = 1,2, \dots, \text{n} \\ &g_{i,min} \leq y_i \leq g_{i,max} \\ &\text{d}_\text{i}^+, \text{d}_\text{i}^-, e_i^+, e_i^- \geq 0, \qquad \text{i=1,2,…,n} \end{aligned} \tag{5}$$

$\text{f}_\text{i}\text{(X)}$ تابع خطی i امین هدف، d_i^+ انحراف مثبت از سطح تمایل i امین هدف $|f_i(X) - y_i|$ و d_i^- انحراف منفی از سطح تمایل i امین هدف $|f_i(X) - y_i|$، $g_{i,max}$ بزرگ‌ترین سطح تمایل i امین هدف، $g_{i,min}$ کوچک‌ترین سطح تمایل i امین هدف، e_i^- انحراف منفی

مربوط به $|y_i - g_{i,max}|$ و e_i^+ انحراف مثبت مربوط به $|y_i - g_{i,max}|$ هستند. همچنین y_c متغیر پیوسته برای سطح تمایل هزینه، y_r متغیر پیوسته برای سطح تمایل ریسک و y_{ahp} متغیر پیوسته برای سطح تمایل کلی ریسک و هزینه هستند.

۴-۳-پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی مطالعه موردی و تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش

طی مطالعات انجام شده الکتروموتور به دلیل کارکرد و حساسیت بالا به عنوان قطعه مورد بررسی انتخاب گردید . در این پژوهش،جهت اولویت بندی و انتخاب استراتژی های نگهداری و تعمیرات از دو شاخص هزینه و ریسک استفاده می شود. از نگاه قابلیت اطمینان این دو شاخص جزء اثرگذارترین و مهمترین شاخصها می باشند. برای اولویت بندی استراتژیهای نگهداری و تعمیرات براساس این دو شاخص بر روی قسمتهای مختلف الکتروموتور ابتدا باید اوزان محلی هریک از شاخص های ریسک و هزینه را برای هریک از اجزای الکترو موتور بدست آورد. سپس با ترکیب این اوزان محلی، اوزان کلی هریک از استراتژیهای نگهداری و تعمیرات بر روی قسمتهایی مختلف الکتروموتور براساس این دو شاخص محاسبه شود. در مرحله آخر این اوزان به عنوان ورودی برنامه ریزی آرمانی برای انتخاب استراتژی های بهینه نگهداری و تعمیرات استفاده می شوند. این استراتژیها به وسیله شاخص ها مورد مقایسه دودویی قرار میگیرند. هنگام مقایسه باید مقادیر عددی متناظر با هر استراتژی یا هر شاخص به صورت رتبه در جداول بیان شود.

۴-۳-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

در این بخش از روش تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت بندی استراتژی ها استفاده می شود. محاسبات با استفاده از نرم افزار اکسل انجام شده است. وزن های حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی در جدول های (۳) و (۴) بیان گردیده است:

جدول (۳). اوزان محلی نرمال شده استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص ریسک برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	ریسک					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه ریزی شده	تعویض برنامه ریزی شده	فعالیتهای عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	۰.۱۵۶	۰.۱۶۳	۰.۱۸۰	۰.۱۹۴	۰.۱۴۹	۰.۱۵۸
روتور	۰.۱۵۹	۰.۱۳۷	۰.۱۷۱	۰.۲۰۲	۰.۱۵۵	۰.۱۷۶
یاتاقان محوری	۰.۱۸۸	۰.۱۶۹	۰.۱۵۹	۰.۲۰۹	۰.۱۴۷	۰.۱۲۸
کنترل	۰.۱۸۶	۰.۱۵۱	۰.۱۶۲	۰.۱۹۵	۰.۱۶۲	۰.۱۴۵
نمایش دهنده	۰.۱۷۸	۰.۱۳۲	۰.۱۵۱	۰.۱۵۳	۰.۲۱۹	۰.۱۶۶
سنسورها	۰.۱۶۲	۰.۱۴۹	۰.۱۶۸	۰.۱۷۵	۰.۱۹۲	۰.۱۵۴
سیمها	۰.۱۸۴	۰.۱۵۰	۰.۱۶۰	۰.۱۶۲	۰.۱۸۱	۰.۱۶۳
روغن	۰.۱۹۰	۰.۱۴۸	۰.۱۹۴	۰.۱۷۶	۰.۱۳۵	۰.۱۵۷
فیلتر روغن	۰.۱۷۹	۰.۱۷۱	۰.۱۹۰	۰.۱۵۹	۰.۱۵۷	۰.۱۴۴
پمپ روغن	۰.۱۸۴	۰.۱۵۷	۰.۱۴۹	۰.۲۱۶	۰.۱۴۶	۰.۱۴۸
لولههای روغن کاری	۰.۱۶۳	۰.۱۹۸	۰.۱۶۸	۰.۱۸۰	۰.۱۵۹	۰.۱۳۳
فیلتر هوا	۰.۱۹۰	۰.۱۵۶	۰.۱۸۱	۰.۱۵۵	۰.۱۶۲	۰.۱۵۶
شیرهای روغن کاری	۰.۱۷۰	۰.۱۶۷	۰.۱۴۵	۰.۱۸۲	۰.۱۶۸	۰.۱۶۸
فن داخلی	۰.۱۵۱	۰.۱۸۰	۰.۱۷۱	۰.۲۰۲	۰.۱۵۵	۰.۱۴۱
فن خارجی	۰.۱۸۳	۰.۱۷۶	۰.۱۶۹	۰.۱۷۸	۰.۱۴۴	۰.۱۴۹

مبدل حرارتی	۰.۱۵۹	۰.۱۶۳	۰.۱۵۹	۰.۱۹۸	۰.۱۴۹	۰.۱۷۲
شیر سیستم خنک کاری	۰.۱۶۱	۰.۱۹۱	۰.۱۴۲	۰.۲۰۵	۰.۱۵۳	۰.۱۴۹

جدول (۴). اوزان محلی نرمال شده استراتژی های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص هزینه برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	هزینه					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه ریزی شده	تعویض برنامه ریزی شده	فعالیتهای عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	۰.۱۶۶	۰.۱۶۱	۰.۱۵۷	۰.۱۹۶	۰.۱۵۹	۰.۱۶۱
روتور	۰.۱۷۵	۰.۱۹۷	۰.۱۶۲	۰.۲۰۸	۰.۱۳۰	۰.۱۲۸
یاتاقان محوری	۰.۱۷۳	۰.۱۶۴	۰.۱۶۵	۰.۱۹۷	۰.۱۵۷	۰.۱۴۵
کنترل	۰.۱۷۵	۰.۱۴۷	۰.۱۶۸	۰.۱۵۹	۰.۱۹۵	۰.۱۵۵
نمایش دهنده	۰.۱۸۹	۰.۱۶۶	۰.۱۵۴	۰.۱۷۴	۰.۱۶۸	۰.۱۴۹
سنسورها	۰.۱۶۹	۰.۱۶۸	۰.۱۷۳	۰.۱۸۳	۰.۱۵۰	۰.۱۵۶
سیمها	۰.۱۵۴	۰.۱۷۵	۰.۱۸۲	۰.۱۶۲	۰.۱۹۱	۰.۱۳۶
روغن	۰.۱۷۶	۰.۱۴۰	۰.۱۹۸	۰.۱۷۱	۰.۱۶۰	۰.۱۵۶
فیلتر روغن	۰.۱۷۳	۰.۱۶۸	۰.۲۲۲	۰.۱۳۸	۰.۱۴۳	۰.۱۵۷
پمپ روغن	۰.۱۶۶	۰.۱۵۵	۰.۱۶۰	۰.۲۱۱	۰.۱۵۲	۰.۱۵۵
لوله های روغن کاری	۰.۱۶۷	۰.۱۸۱	۰.۱۷۰	۰.۱۵۳	۰.۱۸۰	۰.۱۵۰
فیلتر هوا	۰.۱۷۸	۰.۱۵۷	۰.۱۸۰	۰.۱۶۷	۰.۱۶۹	۰.۱۵۱
شیرهای روغن کاری	۰.۱۸۶	۰.۱۷۶	۰.۱۸۴	۰.۱۵۹	۰.۱۳۰	۰.۱۶۵
فن داخلی	۰.۱۸۶	۰.۱۷۵	۰.۱۷۲	۰.۱۶۷	۰.۱۵۴	۰.۱۴۵
فن خارجی	۰.۱۸۳	۰.۱۸۴	۰.۱۵۲	۰.۱۷۲	۰.۱۴۴	۰.۱۶۵
مبدل حرارتی	۰.۱۹۸	۰.۱۶۳	۰.۱۶۱	۰.۱۷۵	۰.۱۵۷	۰.۱۴۶
شیر سیستم خنک کاری	۰.۱۵۵	۰.۱۵۶	۰.۱۷۲	۰.۱۸۴	۰.۱۶۸	۰.۱۶۴

جدول (۵). اوزان کلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات برحسب شاخص های ریسک و هزینه برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	ریسک و هزینه					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه ریزی شده	تعویض برنامه ریزی شده	فعالیتهای عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	۰.۰۱۱	۰.۰۱۱	۰.۰۱۱	۰.۰۱۳	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰
روتور	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۲	۰.۰۰۹	۰.۰۱۰
یاتاقان محوری	۰.۰۱۵	۰.۰۱۴	۰.۰۱۴	۰.۰۱۷	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱
کنترل	۰.۰۱۴	۰.۰۱۲	۰.۰۱۳	۰.۰۱۴	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱

نمایش دهنده	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷
سنسورها	۰.۰۱۲	۰.۰۱۱	۰.۰۱۲	۰.۰۱۳	۰.۰۱۲	۰.۰۱۱
سیمها	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۱	۰.۰۱۰	۰.۰۱۲	۰.۰۰۹
روغن	۰.۰۱۴	۰.۰۱۱	۰.۰۱۴	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱	۰.۰۱۲
فیلتر روغن	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۲	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹
پمپ روغن	۰.۰۱۰	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۱۳	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹
لوله های روغن کاری	۰.۰۰۶	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶	۰.۰۰۵
فیلتر هوا	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶
شیرهای روغن کاری	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷
فن داخلی	۰.۰۰۸	۰.۰۰۹	۰.۰۰۸	۰.۰۰۹	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷
فن خارجی	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۸	۰.۰۰۹	۰.۰۰۷	۰.۰۰۸
مبدل حرارتی	۰.۰۱۱	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۱	۰.۰۰۹	۰.۰۱۰
شیر سیستم خنک کاری	۰.۰۱۱	۰.۰۱۲	۰.۰۱۱	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱	۰.۰۱۱

مقایسات زوجی شاخص های هزینه و ریسک برای هر یک از اجزای الکتروموتور

جهت تعیین وزن شاخص‌های ریسک و هزینه در ارتباط با هر یک از اجزای الکتروموتور مقایسات زوجی صورت می‌گیرد بدین صورت که تصمیم گیرنده باید مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌های ریسک و هزینه را نسبت به یکدیگر بررسی می کند. در این پژوهش با توجه به اینکه در انتخاب استراتژی از روش دقیق استفاده شده است، به همین منظور جهت انتخاب و تعیین یک استراتژی بهینه از نحوه ارزش‌گذاری بر اساس روش ال ساعتی به کار گرفته شده است . به عنوان نمونه مقایسات زوجی بین دو شاخص هزینه و ریسک بر مبنای نظر خبرگان در مورد استاتور الکتروموتور در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول(۶). اوزان شاخص‌های هزینه و ریسک برای استاتور

شاخصها	هزینه	ریسک
هزینه		۹
ریسک	۱	

جهت بدست آوردن اوزان نرمال شده به صورت زیر عمل می شود : ابتدا اوزان مربوط به هر قسمت با استفاده از میانگین هندسی بدست می آید سپس وزن هر قسمت مربوط به ریسک و هزینه هر کدام از اجزا بر مجموع اوزان تقسیم می شود. جدول (۷) نشان دهنده اوزان نرمال شده اجزای الکتروموتور در شاخص‌های ریسک و هزینه است.

جدول (۷). اوزان نرمال شده محلی اجزای الکتروموتور بر اساس شاخص‌های ریسک و هزینه

اجزای الکتروموتور	W_c	W_r
استاتور	۰.۰۴۱۵	۰.۰۲۳۶

روتور	۰.۰۲۱۵	۰.۰۳۹۷
یاتاقان محوری	۰.۰۲۷۶	۰.۰۵۶۷
کنترل	۰.۰۲	۰.۰۵۷۲
نمایش دهنده	۰.۰۲۲۷	۰.۰۲۰۷
سنسورها	۰.۰۳۰۶	۰.۰۴۰۸
سیمها	۰.۰۳۱۷	۰.۰۳۰۳
روغن	۰.۰۲۵۲	۰.۰۴۸۳
فیلتر روغن	۰.۰۲۵۲	۰.۰۳۱۷
پمپ روغن	۰.۰۲۶۷	۰.۰۳۲۵
لولههای روغن کاری	۰.۰۱۸۴	۰.۰۱۹۴
فیلتر هوا	۰.۰۱۵۵	۰.۰۲۰۷
شیرهای روغن کاری	۰.۰۲۰۴	۰.۰۲۳۱
فن داخلی	۰.۰۱۸۷	۰.۰۳۰۳
فن خارجی	۰.۰۲۰۷	۰.۰۳۰۱
مبدل حرارتی	۰.۰۲۷۹	۰.۰۳۲۲
شیر سیستم خنک کاری	۰.۰۳۳۹	۰.۰۳۴۲

- **مقایسات زوجی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات براساس شاخص هزینه و ریسک بر روی اجزای مختلف الکتروموتور**

این مقایسات بر اساس شاخص‌های هزینه و ریسک بر روی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان صورت می‌گیرد .در این مرحله هم مانند مرحله قبل، تصمیم گیرنده باید وزن هرکدام از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان را با توجه به دو شاخص هزینه و ریسک مشخص کند جدول (۷) اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات را برای هر کدام از اجزای الکتروموتور برحسب شاخص ریسک نشان می دهد. اوزان *محلی* استراتژی های نگهداری و تعمیرات برای هرکدام از اجزای الکتروموتور بر حسب شاخص هزینه، در جدول (۸) نشان داده شده است..

جدول (۸). اوزان محلی نرمال شده استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص ریسک برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	ریسک					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه ریزی شده	تعویض برنامه ریزی شده	فعالیتهای عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	۰.۱۵۶	۰.۱۶۳	۰.۱۸۰	۰.۱۹۴	۰.۱۴۹	۰.۱۵۸
روتور	۰.۱۵۹	۰.۱۳۷	۰.۱۷۱	۰.۲۰۲	۰.۱۵۵	۰.۱۷۶
یاتاقان محوری	۰.۱۸۸	۰.۱۶۹	۰.۱۵۹	۰.۲۰۹	۰.۱۴۷	۰.۱۲۸
کنترل	۰.۱۸۶	۰.۱۵۱	۰.۱۶۲	۰.۱۹۵	۰.۱۶۲	۰.۱۴۵
نمایش دهنده	۰.۱۷۸	۰.۱۳۲	۰.۱۵۱	۰.۱۵۳	۰.۲۱۹	۰.۱۶۶
سنسورها	۰.۱۶۲	۰.۱۴۹	۰.۱۶۸	۰.۱۷۵	۰.۱۹۲	۰.۱۵۴
سیمها	۰.۱۸۴	۰.۱۵۰	۰.۱۶۰	۰.۱۶۲	۰.۱۸۱	۰.۱۶۳

روغن	۰.۱۹۰	۰.۱۴۸	۰.۱۹۴	۰.۱۷۶	۰.۱۳۵	۰.۱۵۷
فیلتر روغن	۰.۱۷۹	۰.۱۷۱	۰.۱۹۰	۰.۱۵۹	۰.۱۵۷	۰.۱۴۴
پمپ روغن	۰.۱۸۴	۰.۱۵۷	۰.۱۴۹	۰.۲۱۶	۰.۱۴۶	۰.۱۴۸
لوله های روغن کاری	۰.۱۶۳	۰.۱۹۸	۰.۱۶۸	۰.۱۸۰	۰.۱۵۹	۰.۱۳۳
فیلتر هوا	۰.۱۹۰	۰.۱۵۶	۰.۱۸۱	۰.۱۵۵	۰.۱۶۲	۰.۱۵۶
شیرهای روغن کاری	۰.۱۷۰	۰.۱۶۷	۰.۱۴۵	۰.۱۸۲	۰.۱۶۸	۰.۱۶۸
فن داخلی	۰.۱۵۱	۰.۱۸۰	۰.۱۷۱	۰.۲۰۲	۰.۱۵۵	۰.۱۴۱
فن خارجی	۰.۱۸۳	۰.۱۷۶	۰.۱۶۹	۰.۱۷۸	۰.۱۴۴	۰.۱۴۹
مبدل حرارتی	۰.۱۵۹	۰.۱۶۳	۰.۱۵۹	۰.۱۹۸	۰.۱۴۹	۰.۱۷۲
شیر سیستم خنک کاری	۰.۱۶۱	۰.۱۹۱	۰.۱۴۲	۰.۲۰۵	۰.۱۵۳	۰.۱۴۹

جدول (۹). اوزان محلی نرمال شده استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص هزینه برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	هزینه					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه ریزی شده	تعویض برنامه ریزی شده	فعالیتهای عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	۰.۱۶۶	۰.۱۶۱	۰.۱۵۷	۰.۱۹۶	۰.۱۵۹	۰.۱۶۱
روتور	۰.۱۷۵	۰.۱۹۷	۰.۱۶۲	۰.۲۰۸	۰.۱۳۰	۰.۱۲۸
یاتاقان محوری	۰.۱۷۳	۰.۱۶۴	۰.۱۶۵	۰.۱۹۷	۰.۱۵۷	۰.۱۴۵
کنترل	۰.۱۷۵	۰.۱۴۷	۰.۱۶۸	۰.۱۵۹	۰.۱۹۵	۰.۱۵۵
نمایش دهنده	۰.۱۸۹	۰.۱۶۶	۰.۱۵۴	۰.۱۷۴	۰.۱۶۸	۰.۱۴۹
سنسورها	۰.۱۶۹	۰.۱۶۸	۰.۱۷۳	۰.۱۸۳	۰.۱۵۰	۰.۱۵۶
سیمها	۰.۱۵۴	۰.۱۷۵	۰.۱۸۲	۰.۱۶۲	۰.۱۹۱	۰.۱۳۶
روغن	۰.۱۷۶	۰.۱۴۰	۰.۱۹۸	۰.۱۷۱	۰.۱۶۰	۰.۱۵۶
فیلتر روغن	۰.۱۷۳	۰.۱۶۸	۰.۲۲۲	۰.۱۳۸	۰.۱۴۳	۰.۱۵۷
پمپ روغن	۰.۱۶۶	۰.۱۵۵	۰.۱۶۰	۰.۲۱۱	۰.۱۵۲	۰.۱۵۵
لوله های روغن کاری	۰.۱۶۷	۰.۱۸۱	۰.۱۷۰	۰.۱۵۳	۰.۱۸۰	۰.۱۵۰
فیلتر هوا	۰.۱۷۸	۰.۱۵۷	۰.۱۸۰	۰.۱۶۷	۰.۱۶۹	۰.۱۵۱
شیرهای روغن کاری	۰.۱۸۶	۰.۱۷۶	۰.۱۸۴	۰.۱۵۹	۰.۱۳۰	۰.۱۶۵
فن داخلی	۰.۱۸۶	۰.۱۷۵	۰.۱۷۲	۰.۱۶۷	۰.۱۵۴	۰.۱۴۵
فن خارجی	۰.۱۸۳	۰.۱۸۴	۰.۱۵۲	۰.۱۷۲	۰.۱۴۴	۰.۱۶۵
مبدل حرارتی	۰.۱۹۸	۰.۱۶۳	۰.۱۶۱	۰.۱۷۵	۰.۱۵۷	۰.۱۴۶
شیر سیستم خنک کاری	۰.۱۵۵	۰.۱۵۶	۰.۱۷۲	۰.۱۸۴	۰.۱۶۸	۰.۱۶۴

رتبه بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات

به منظور رتبه بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، باید وزن محلی هر استراتژی در وزن شاخص هزینه و ریسک ضرب شود تا وزن کلی بدست آید. مقدار وزن کلی در فرمول های (۶) و (۷) و رابطه بین اوزان محلی استراتژی نگهداری و تعمیرات در فرمول۳ آورده شده است.

$$\begin{aligned} S_{ahp,1}&=W_r \times S_{r,1}+W_c \times S_{c,1}\\ S_{ahp,2}&=W_r \times S_{r,2}+W_c \times S_{c,2}\\ S_{ahp,3}&=W_r \times S_{r,3}+W_c \times S_{c,3}\\ S_{ahp,4}&=W_r \times S_{r,4}+W_c \times S_{c,4}\\ S_{ahp,5}&=W_r \times S_{r,5}+W_c \times S_{c,5}\\ S_{ahp,6}&=W_r \times S_{r,6}+W_c \times S_{c,6} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} S_{c,1}+S_{c,2}+S_{c,3}+S_{c,4}+S_{c,5}+S_{c,6}&=1\\ S_{r,1}+S_{r,2}+S_{r,3}+S_{r,4}+S_{r,5}+S_{r,6}&=1 \end{aligned} \quad (7)$$

همانطور که مشاهده می شود در روابط بالا W_r وزن شاخص ریسک و Wc وزن شاخص هزینه است. همچنین Sc,i وزن محلی استراتژی نگهداری و تعمیرات iام بر اساس شاخص هزینه، Sr,i وزن محلی استراتژی نگهداری و تعمیرات iام بر اساس شاخص ریسک است. براساس اطلاعات جداول ۴ و ۵ اوزان کلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات براساس شاخصهای ریسک و هزینه مربوط به کلیه اجزای الکتروموتور محاسبه شده و در جدول (۱۰) بیان می‌گردد.

جدول (۱۰). اوزان کلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات برحسب شاخص های ریسک و هزینه برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	ریسک و هزینه					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه ریزی شده	تعویض برنامه ریزی شده	فعالیتهای عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	۰.۰۱۱	۰.۰۱۱	۰.۰۱۱	۰.۰۱۳	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰
روتور	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۲	۰.۰۰۹	۰.۰۱۰
یاتاقان محوری	۰.۰۱۵	۰.۰۱۴	۰.۰۱۴	۰.۰۱۷	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱
کنترل	۰.۰۱۴	۰.۰۱۲	۰.۰۱۳	۰.۰۱۴	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱
نمایش دهنده	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷
سنسورها	۰.۰۱۲	۰.۰۱۱	۰.۰۱۲	۰.۰۱۳	۰.۰۱۲	۰.۰۱۱
سیمها	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۱	۰.۰۱۰	۰.۰۱۲	۰.۰۰۹
روغن	۰.۰۱۴	۰.۰۱۱	۰.۰۱۴	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱	۰.۰۱۲
فیلتر روغن	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۲	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹
پمپ روغن	۰.۰۱۰	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۱۳	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹
لوله های روغن کاری	۰.۰۰۶	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶	۰.۰۰۵

فیلتر هوا	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶
شیرهای روغن کاری	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷
فن داخلی	۰.۰۰۸	۰.۰۰۹	۰.۰۰۸	۰.۰۰۹	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷
فن خارجی	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۸	۰.۰۰۹	۰.۰۰۷	۰.۰۰۸
مبدل حرارتی	۰.۰۱۱	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۱۱	۰.۰۰۹	۰.۰۱۰
شیر سیستم خنک کاری	۰.۰۱۱	۰.۰۱۲	۰.۰۱۱	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱	۰.۰۱۱

اطلاعات بدست آمده از جدول بالا به عنوان ورودی‌های مدل برنامه ریزی آرمانی استفاده می شوند. مدلی که برای هریک از اجزای الکتروموتور مطرح می شود ، استراتژی بهینه را انتخاب می نماید که در ادامه به آن می پردازیم.

- **سازگاری در قضاوت‌های تحلیل سلسله مراتبی**

در این روش علاوه بر ترکیب سطوح مختلف سلسله مراتب تصمیم با در نظر گرفتن عوامل مختلف نرخ ناسازگاری (CR) محاسبه می‌شود. نرخ ناسازگاری عاملی است که میزان سازگاری اطلاعات را مشخص می‌کند و نشان می‌دهد که تا چه میزان می‌توانیم به اولویت‌های حاصل از مقایسات زوجی اعتماد کنیم. تجربه نشان داده که اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰.۱ باشد میتوان سازگاری مقایسات را پذیرفت در غیر این صورت باید مقایسات مجدداً انجام شود. تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی می‌باشد، صورت می‌پذیرد و هرگونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین استراتژی ها و شاخص ها نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد.

مرحله اول: در جدولهای (۱۱) و (۱۲) به ترتیب بردار مجموع وزنی بر اساس شاخص ریسک و هزینه بیان شده است.

جدول (۱۱). بردار مجموع وزنی براساس شاخص ریسک

اجزای الکتروموتور	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه ریزی شده	تعویض برنامه ریزی شده	فعالیتهای عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	۳.۴۷۳	۱.۱۷۲	۰.۷۷۹	۰.۴۳۷	۰.۲۴۶	۰.۲۴۶
روتور	۳.۴۷۳	۱.۱۷۲	۰.۷۷۹	۰.۴۳۷	۰.۲۴۶	۰.۲۴۶
یاتاقان محوری	۳.۱۵۷	۱.۰۹۷	۱.۶۰۱	۰.۴۳۰	۰.۱۹۷	۰.۱۹۷
کنترل	۲.۳۹۸	۰.۸۶۵	۰.۶۹۱	۲.۶۳۷	۰.۱۶۸	۰.۱۶۸
نمایش دهنده	۱.۸۹۷	۰.۷۴۱	۰.۹۳۶	۲.۲۵۶	۰.۲۷۴	۰.۲۷۴
سنسورها	۲.۳۹۸	۰.۸۶۵	۰.۶۹۱	۲.۶۳۷	۰.۱۶۸	۰.۱۶۸
سیمها	۳.۳۶۲	۱.۳۷۱	۰.۷۳۲	۱.۱۱۱	۰.۱۷۷	۰.۱۷۷
روغن	۲.۴۹۳	۱.۰۹۳	۱.۶۵۵	۰.۷۹۷	۰.۱۹۹	۰.۱۹۹
فیلتر روغن	۲.۴۹۳	۱.۰۹۳	۱.۶۵۵	۰.۷۹۷	۰.۱۹۹	۰.۱۹۹
پمپ روغن	۳.۰۶۵	۱.۲۸۸	۱.۳۶۱	۰.۴۴۳	۰.۲۰۷	۰.۲۰۷

لوله های روغن کاری	۲.۹۴۹	۱.۵۹۹	۱.۰۰۸	۰.۸۰۱	۰.۲۱۴	۰.۲۱۴
فیلتر هوا	۲.۴۸۵	۱.۱۵۳	۱.۹۱۶	۰.۶۱۷	۰.۲۳۶	۰.۲۳۶
شیرهای روغن کاری	۲.۹۰۶	۱.۱۶۲	۱.۱۶۲	۰.۸۴۶	۰.۲۱۵	۰.۲۱۵
فن داخلی	۳.۴۹۵	۱.۷۰۰	۱.۱۳۶	۰.۳۱۰	۰.۲۱۱	۰.۲۱۱
فن خارجی	۳.۰۷۵	۱.۵۳۹	۱.۱۷۸	۰.۳۵۵	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱
مبدل حرارتی	۲.۹۴۹	۱.۵۹۹	۱.۰۰۸	۰.۸۰۱	۰.۲۱۴	۰.۲۱۴
شیر سیستم خنک کاری	۲.۹۰۶	۱.۱۶۲	۱.۱۶۲	۰.۸۴۶	۰.۲۱۵	۰.۲۱۵

جدول (۱۲). بردار مجموع وزنی براساس شاخص هزینه

اجزای الکتروموتور	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه ریزی شده	تعویض برنامه ریزی شده	فعالیتهای عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	۰.۵۴۸	۰.۲۴۲	۰.۴۰۱	۱.۰۹۱	۲.۰۲۲	۲.۰۲۲
روتور	۰.۵۸۸	۰.۲۳۶	۰.۴۰۰	۱.۱۰۸	۲.۰۳۷	۲.۰۳۷
یاتاقان محوری	۰.۵۷۱	۰.۲۶۶	۰.۳۶۷	۱.۰۹۹	۲.۰۴۷	۲.۰۴۷
کنترل	۰.۸۵۴	۰.۳۴۳	۰.۴۳۵	۰.۵۴۰	۲.۱۳۲	۲.۱۳۲
نمایش دهنده	۰.۶۸۲	۰.۳۴۳	۰.۴۳۹	۰.۵۴۲	۲.۰۷۱	۲.۰۷۱
سنسورها	۱.۰۲۵	۰.۴۹۷	۰.۶۳۱	۰.۳۴۸	۱.۹۱۱	۱.۹۱۱
سیمها	۰.۸۵۴	۰.۳۴۳	۰.۴۳۵	۰.۵۴۰	۲.۱۳۲	۲.۱۳۲
روغن	۰.۸۱۱	۰.۳۳۷	۰.۲۶۶	۱.۰۲۰	۱.۹۷۴	۱.۹۷۴
فیلتر روغن	۰.۸۱۱	۰.۳۳۷	۰.۲۶۶	۱.۰۲۰	۱.۹۷۴	۱.۹۷۴
پمپ روغن	۰.۸۱۱	۰.۳۳۷	۰.۲۶۶	۱.۰۲۰	۱.۹۷۴	۱.۹۷۴
لوله های روغن کاری	۰.۷۶۸	۰.۲۵۹	۰.۳۸۲	۱.۰۸۳	۱.۹۷۴	۱.۹۷۴
فیلتر هوا	۰.۸۱۱	۰.۳۳۷	۰.۲۶۶	۱.۰۲۰	۱.۹۴۷	۱.۹۷۴
شیرهای روغن کاری	۰.۷۶۸	۰.۲۵۹	۰.۳۸۲	۱.۰۸۳	۲.۰۳۷	۱.۹۷۴
فن داخلی	۰.۵۸۸	۰.۲۳۶	۰.۴۰۰	۱.۱۰۸	۱.۹۰۶	۲.۰۳۷
فن خارجی	۰.۵۹۱	۰.۲۷۳	۰.۴۵۱	۱.۰۵۰	۱.۹۴۷	۱.۹۰۶
مبدل حرارتی	۰.۷۶۸	۰.۲۵۹	۰.۳۸۲	۱.۰۸۳	۱.۹۴۷	۱.۹۴۷
شیر سیستم خنک کاری	۰.۷۶۸	۰.۲۵۹	۰.۳۸۲	۱.۰۸۳	۱.۹۴۷	۱.۹۴۷

با توجه به بردار وزنی بدست آمده در جداول (۱۱) و (۱۲) نرخ ناسازگاری براساس شاخص ریسک و هزینه در جدول (۱۳) بیان شده است.

جدول (۱۳). مقادیر λMAX و شاخص سازگاری و نرخ ناسازگاری بر اساس شاخص ریسک و هزینه

اجزای الکتروموتور	ریسک			هزینه		
	λMAX	CI	CR	λMAX	CI	CR
استاتور	۶.۱۷۴	۰.۰۳۵	۰.۰۲۸	۶.۲۶۲	۰.۰۵۲	۰.۰۴۲
روتور	۶.۱۷۴	۰.۰۳۵	۰.۰۲۸	۶.۳۲۵	۰.۰۶۵	۰.۰۵۲
یاتاقان محوری	۶.۴۰۶	۰.۰۸۱	۰.۰۶۵	۶.۳۲۱	۰.۰۶۴	۰.۰۵۲
کنترل	۶.۵۶۶	۰.۱۱۳	۰.۰۹۱	۶.۳۱۰	۰.۰۶۲	۰.۰۵۰
نمایش دهنده	۶.۲۶۰	۰.۰۵۲	۰.۰۴۲	۶.۱۰۸	۰.۰۲۲	۰.۰۱۷
سنسورها	۶.۵۶۶	۰.۱۱۳	۰.۰۹۱	۶.۲۷۳	۰.۰۵۵	۰.۰۴۴
سیمها	۶.۶۰۲	۰.۱۲۰	۰.۰۹۷	۶.۳۱۰	۰.۰۶۲	۰.۰۵۰
روغن	۶.۳۳۲	۰.۰۶۶	۰.۰۵۴	۶.۲۸۸	۰.۰۵۸	۰.۰۴۶
فیلتر روغن	۶.۳۳۲	۰.۰۶۶	۰.۰۵۴	۶.۲۸۸	۰.۰۵۸	۰.۰۴۶
پمپ روغن	۶.۳۴۰	۰.۰۶۸	۰.۰۵۵	۶.۲۸۸	۰.۰۵۸	۰.۰۴۶
لوله های روغن کاری	۶.۵۳۱	۰.۱۰۶	۰.۰۸۶	۶.۲۸۲	۰.۰۵۸	۰.۰۴۵
فیلتر هوا	۶.۴۵۰	۰.۰۹۰	۰.۰۷۳	۶.۲۸۸	۰.۰۵۶	۰.۰۴۶
شیرهای روغن کاری	۶.۳۴۷	۰.۰۶۹	۰.۰۵۶	۶.۲۸۲	۰.۰۵۸	۰.۰۴۵
فن داخلی	۶.۵۸۱	۰.۱۱۶	۰.۰۹۴	۶.۳۲۵	۰.۰۵۶	۰.۰۵۲
فن خارجی	۶.۳۶۹	۰.۰۷۴	۰.۰۶۰	۶.۱۴۴	۰.۰۶۵	۰.۰۲۳
مبدل حرارتی	۶.۵۳۱	۰.۱۰۶	۰.۰۸۶	۶.۲۸۲	۰.۰۲۹	۰.۰۴۵
شیر سیستم خنک کاری	۶.۳۴۷	۰.۰۶۹	۰.۰۵۶	۶.۲۸۲	۰.۰۵۶	۰.۰۴۵

- **۴-۳-۲-برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی تجدید نظر شده**

مدل برنامه ریزی آرمانی مجموع انحرافات نامطلوب از اهداف را تاحد ممکن به صفر نزدیک می‌سازد و کنترل هر یک از انحرافات مثبت یا منفی که برای برنامه‌ریز مهم باشد متغیر مربوط به آن وارد تابع هدف می‌شود. در این پژوهش هدف کاهش هزینه و ریسک های ناشی از خرابی بر روی اجزای الکترو موتور است. وزن مربوط به هر هدف از نتایج جداول ۴-۴، ۴-۵ و ۴-۶ که از روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده، استفاده شده است. مدل برنامه ریزی آرمانی در فرمول۴ بیان شده است.

$$Min\ [d^{+}_{c} + d^{-}_{c} + d^{+}_{r} + d^{-}_{r} + d^{+}_{ahp} + d^{-}_{ahp} + e^{+}_{c} + e^{-}_{c} + e^{+}_{r} + e^{-}_{r} + e^{+}_{ahp} + e^{-}_{ahp}]$$

s.t.

$$S_{c,1} * X_1 + S_{c,2} * X_2 + S_{c,3} * X_3 + S_{c,4} * X_4 + S_{c,5} * X_5 + S_{c,6} * X_6 - d^{+}_{c} + d^{-}_{c} = y_c$$
$$y_c - e^{+}_{c} + e^{-}_{c} = T_{c,max}$$
$$T_{c,min} \le y_c \le T_{c,max}$$
$$S_{r,1} * X_1 + S_{r,2} * X_2 + S_{r,3} * X_3 + S_{r,4} * X_4 + S_{r,5} * X_5 + S_{r,6} * X_6 - d^{+}_{r} + d^{-}_{r} = y_r$$
$$Y_r - e^{+}_{r} + e^{-}_{r} = T_{r,max}$$
$$T_{r,min} \le y_r \le T_{r,max}$$
$$S_{ahp,1} * X_1 + S_{ahp,2} * X_2 + S_{ahp,3} * X_3 + S_{ahp,4} * X_4 + S_{ahp,5} * X_5 + S_{ahp,6} * X_6 - d^{+}_{ahp} + d^{-}_{ahp} = y_{ahp}$$
$$Y_{ahp} - e^{+}_{ahp} + e^{-}_{ahp} = 1$$
$$T_{ahp,min} \le y_{ahp} \le 1$$
$$d^{+}_{c}, d^{-}_{c}, d^{+}_{r}, d^{-}_{r}, d^{+}_{ahp}, d^{-}_{ahp}, e^{+}_{c}, e^{-}_{c}, e^{+}_{r}, e^{-}_{r}, e^{+}_{ahp}, e^{-}_{ahp} \ge 0 \qquad (8)$$

X_i= { ۱ اگر استراتژی انتخاب شود ؛ ۰ در غیر این صورت }

i= {
۱: کار مبتنی بر شرایط
۲: بازیابی برنامه ریزی شده
۳: تعویض برنامه ریزی شده
٤: فعالیتهای عیب یاب
٥: تداوم کار تا وقوع خرابی
}

در فرمول بالا d^{+}_{i} نشان‌دهنده مقدار انحراف مثبت از سطح تمایل i امین هدف $|f_i(x) - y_i|$ و d_i^- مقدار انحراف منفی از سطح تمایل i امین هدف $|f_i(x) - y_i|$، $T_{i,max}$ بزرگ‌ترین مقدار سطح تمایل i امین هدف؛ که بر اساس مجموع سه وزن محلی بزرگ در شاخص‌های ریسک و هزینه بدست می‌آید. $T_{i,min}$ کوچکترین مقدار سطح تمایل i امین هدف، که بر اساس مجموع دو وزن محلی بزرگ در شاخص‌های ریسک و هزینه بدست می‌آید. e_i^- مقدار انحراف منفی مربوط به $|y_i - T_{i,min}|$ و e_i^+ مقدار انحراف مثبت مربوط به $|y_i - T_{i,min}|$ را نشان می‌دهد. X_i i امین استراتژی نگهداری و تعمیرات است. همچنین y_c متغیر پیوسته برای سطح تمایل هزینه، y_r متغیر پیوسته برای سطح تمایل ریسک و y_{ahp} متغیر پیوسته برای سطح تمایل کلی ریسک و هزینه هستند. در زیر یک نمونه مدل برنامه ریزی آرمانی با اعداد بدست آمده نشان داده شده است.

$$Min\ [d^{+}_{c} + d^{-}_{c} + d^{+}_{r} + d^{-}_{r} + d^{+}_{ahp} + d^{-}_{ahp} + e^{+}_{c} + e^{-}_{c} + e^{+}_{r} + e^{-}_{r} + e^{+}_{ahp} + e^{-}_{ahp}]$$

s.t.

$$0.17 * X_1 + 0.16 * X_2 + 0.16 * X_3 + 0.20 * X_4 + 0.16 * X_5 + 0.16 * X_6 - d^{+}_{c} + d^{-}_{c} = y_c$$
$$y_c - e^{+}_{c} + e^{-}_{c} = 0.523$$
$$0.362 \le y_c \le 0.523$$
$$0.16 * X_1 + 0.16 * X_2 + 0.18 * X_3 + 0.19 * X_4 + 0.15 * X_5 + 0.16 * X_6 - d^{+}_{r} + d^{-}_{r} = y_r$$
$$Y_r - e^{+}_{r} + e^{-}_{r} = 0.537$$
$$0.374 \le y_r \le 0.537$$
$$0.01 * X_1 + 0.01 * X_2 + 0.01 * X_3 + 0.02 * X_4 + 0.01 * X_5 + 0.01 * X_6 - d^{+}_{ahp} + d^{-}_{ahp} = y_{ahp}$$
$$Y_{ahp} - e^{+}_{ahp} + e^{-}_{ahp} = 1$$
$$0.03 \le y_{ahp} \le 1$$
$$d^{+}_{c}, d^{-}_{c}, d^{+}_{r}, d^{-}_{r}, d^{+}_{ahp}, d^{-}_{ahp}, e^{+}_{c}, e^{-}_{c}, e^{+}_{r}, e^{-}_{r}, e^{+}_{ahp}, e^{-}_{ahp} \ge 0 \qquad (9)$$

حل مدل برنامه ریزی آرمانی و انتخاب بهترین استراتژی

با استفاده از داده های بدست آمده از جداول مربوطه مدل برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی تجدید نظر شده را با استفاده از نرم افزار متلب حل می نماییم. نتایج بدست آمده از حل مدل در جدول (۱۴) بیان شده است.

جدول (۱۴). استراتژیهای نگهداری و تعمیرات بدست آمده از حل مدل آرمانی

اجزای الکتروموتور	استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات
استاتور	تداوم کار تا وقوع خرابی
روتور	بازیابی برنامه ریزی شده
یاتاقان محوری	تغییرات یکباره
کنترل	تغییرات یکباره
نمایش دهنده	بازیابی برنامه ریزی شده
سنسورها	بازیابی برنامه ریزی شده
سیم ها	بازیابی برنامه ریزی شده
روغن	تداوم کار تا وقوع خرابی
فیلتر روغن	تغییرات یکباره
پمپ روغن	فعالیتهای عیب یاب
لوله های روغن کاری	تعویض برنامه ریزی شده
فیلتر هوا	کار مبتنی بر شرایط
شیرهای روغن کاری	کار مبتنی بر شرایط
فن داخلی	کار مبتنی بر شرایط
فن خارجی	کار مبتنی بر شرایط
مبدل حرارتی	کار مبتنی بر شرایط
شیر سیستم خنک کاری	کار مبتنی بر شرایط

نتیجه گیری و پیشنهادات

سیکل های بازرسی و نظارت به نوع الکتروموتور و شرایط کارکردی آن بستگی دارد. موتور به منظور جلوگیری از خرابی و طولانی تر شدن طول عمر خود نیاز به تعمیر و نگهداری منظم دارد. معمولا گفته می شود که موتورها و قطعات آنها بایستی هر ۶ ماه تست و در صورت نیاز سرویس و تعمیر شوند. فقط در این صورت است که نگهداشتن طول عمر مفید و راندمان موتور ممکن می شود. موتور ها در سیستم های کنونی به عنوان بازوی اصلی و قلب تپنده هر کارخانه به شمار می روند و خرابی برنامه ریزی نشده الکتروموتورها یکی از علل تحمیل هزینه های بالا بر کارخانجات می باشد. در همین راستا برنامه های تعمیر و نگهداری قابل اعتماد به خوبی می توانند باعث طولانی شدن عمر عملکرد موتور و کاهش خسارات گردند. لازمه برنامه ریزی صحیح در خصوص تعمیرات پیشگیرانه شناخت عوامل موثر بر کارکرد یک تجهیز (الکتروموتور) میباشد. در مدیریت سنتی، مقوله نگهداری به عنوان ابزار پشتیبانی غیر بهره ور و کم اهمیت که مزیت ناچیزی را برای کارخانجات دربردارد، مدنظر قرار گرفته است؛ اما در نگرش نوین، نگهداری ماشین آلات و تجهیزات به عنوان بخش ضروری عملیات سازمان ها مورد توجه قرار می گیرد و بکارگیری استراتژی های اثربخش نگهداری، ارزش افزوده قابل توجهی را در فعالیت های تولیدی موجب می گردد. نظر به این که نگهداری و تعمیرات یکی از ارکان مهم و اصلی بهره وری است؛ بنابراین، می توان به آن به عنوان یک فرهنگ که سعی دربهبود شرایط موجود را دارد، نگاه کرد. فرهنگی که به نیروی انسانی می آموزد چه جهتی را انتخاب کند و چه مسیری را بپیماید تا بهترین و بیشترین بازدهی حاصل گردد. در یک سازمان ، نگهداری و تعمیرات نقش کلیدی در تمامی جنبه های فیزیکی، مالی و رقابتی محسوب می گردد و نقش اساسی آن در کسب و کار و تجارت می باشد. تاکید و توجه بر روی روشهای نگهداری و تعمیرات برای حفظ وظایفی است که برای هر دارایی تعریف می شود. دلیل اصلی انجام فعالیتهای تعمیراتی اعم از فعالیتهای

پیش بینی و برنامه ریزی شده ، تعمیرات پیش از وقوع حادثه و رفع اشکالات، جلوگیری از کاهش و یا حذف پیامدهای ناشی از اشکالات می باشد. پیامدهایی که بر روی کارآیی دارایی، کیفیت تولید، اقتصاد سازمان، عوامل ایمنی و زیست محیطی تاثیر می گذارند. این پیامدها اثراتی در کل سازمان دارند و برای کاهش و رفع هر کدام از این پیامدها بایستی زمان و هزینه صرف شود. این پژوهش با هدف ارائه مدلی برای انتخاب روشهای بهینه نگهداری و تعمیرات بر روی اجزای تجهیزات الکتروموتور در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس انجام شده است. در این تحقیق ابتدا وضعیت نگهداری و تعمیرات در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس بررسی شده است. تاریخچه خرابی‌ها و همچنین وضعیت ماشین‌آلات و چرخه عمر آنها از طریق گزارشات خرابی‌های موجود در واحد نگهداری و تعمیرات و کاتالوگ‌های تجهیزات، تجزیه و تحلیل شده است. با بررسی رویه‌های کاری و دستورالعمل‌های نگهداری و تعمیرات ملزومات تعیین استراتژی مشخص شده و در نهایت استراتژی مناسب برای تجهیزات انتخابی ارائه گردیده است. در این پژوهش ابتدا خط مشی‌های نگهداری و تعمیرات با استناد به نظرات خبرگان و بررسی های میدانی و عیوب تجهیزات انتخاب شده تعیین گردید. در مرحله بعد تجهیزات مناسب انتخاب شد. ارزیابی تجهیزات انتخاب شده از نظر قابلیت اطمینان و هزینه انجام شده و با استفاده از روش های تحلیلی سلسله مراتبی وزن استراتژی‌ها با رویکرد کاهش هزینه معین شده است. ترجیحات استراتژی‌ها بر اساس معیارها و با در نظر گرفتن درجه اهمیت آنها نیز مشخص می‌شود. سپس با استفاده از برنامه ریزی آرمانی بر اساس اولویت ها و اهداف معین شده استراتژی بهینه انتخاب شد. در این تحقیق با ارائه یک مدل ریاضی برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات براساس قابلیت اطمینان استفاده شده است. در همین راستا به دلیل بالا بردن دقت و صحت نتیجه تا سطح قابل توجهی از روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردیده است. شاخص‌های تاثیرگذار در انتخاب استراتژی‌های بهینه نگهداری و تعمیرات هزینه و ریسک هستند و آلترناتیوهای مسئله کار مبتنی بر شرایط، بازیابی برنامه‌ریزی شده، تعویض برنامه‌ریزی شده، فعالیت‌های عیب یاب، تداوم کار تا وقوع خرابی و تغییرات یک‌باره هستند.پس از یررسی ها و انجام محاسبات استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات به شرح استخراج گردید:

برای استاتور و روغن: استراتژی تداوم کار تا وقوع خرابی؛ برای روتور، نمایش دهنده، سنسورها و سیمها: استراتژی بازیابی برنامه ریزی شده؛ برای یاتاقان محوری، کنترل و فیلتر روغن:استراتژی تغییرات یکباره؛

برای پمپ روغن: استراتژی فعالیتهای عیب یاب؛

برای لوله های روغنکاری: استراتژی تعویض برنامه ریزی شده؛ برای فیلتر هوا، شیرهای روغن کاری، فن داخلی، فن خارجی، مبدل حرارتی و شیر سیستم خنک کاری:

استراتژی کار مبتنی بر شرایط انتخاب گردید.

چهت تحقیقات آتی، از آنجایی که به کار گیری و استفاده از نتایج این پژوهش از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است پیشنهاد می‌گردد: از روش مصاحبه برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز استفاده گردد تا دقت لازم برای دریافت اطلاعات بیشتر شود. همچنین از آنجایی که قطعات مختلف یک تجهیز ممکن است قابلیت اطمینان وابسته به یکدیگر داشته باشند می‌توان از دیگر مدل‌های تصمیم‌گیری نظیر به کارگیری روش ANP و تلفیق آن با برنامه ریزی آرمانی، استفاده نمود. انجام پژوهشی در خصوص تهیه مدل جامع نگهداری و تعمیرات الکتروموتورها به نحوی که قابلیت تعمیم به تمامی انواع الکتروموتورها را دارا باشد، به عنوان تحقیق آتی پیشنهاد می شود.

منابع

Arunraj, N.S. Maiti, J. (2010), Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming, Safety Science 48; 238–247.

Davidson, G. G., & Labib, A. W. (2003). Learning from Failures: Design Improvements Using a Multiple Criteria Decision-making Process, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers". Journal of Aerospace Engineering, 217(4), 207-216.

Dennis McCarthy and Dr Nick Rich. (2004), Lean TPM - A Blueprint for Change, Elsevier.

Hax, A.C., Majluf, N.S. (1991), The Strategy Concept and Process—A Pragmatic Approach. Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.

Hora, M., (1987). The unglamorous game of managing maintenance". Business Horizons (May–June).

Pardhan and M., Bhol, J. (2006) Trend and Perspective in Industrial in Maintenance management, Technical Proceedings of Natinal Symposium on recent Developments in Industriel Maintenance Management. 27- 35.

Pintelon, L., Gelders, L., VanPuyvelde, F, (2000). Maintenance Management, second ed. Acco Belgium, Leuven.

Porter, M. (1985). Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. The Free Press, New York.

Shafkhani A, Soltanian A. (2014). Evaluation of implementation an Integrated Safety and Preventive Maintenance System for Improving of Safety Indexes. Iranian Journal of Health, Safety and Environment. 1(2):74-82.

Swanson, L., (1997). An empirical study of the relationship between production technology and maintenance management. International Journal of Production Economics 53, 191–207.

Wang, L. (2006). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process", International Journal of Production Economics.