انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات بر روی اجزای الکتروموتور با استفاده از ترکیب فرایند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی

علی سلماس نیا*[1]، سید ابراهیم قاسمی[2]
[1]گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، ایران
[2]دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایوانکی، ایران
دریافت: 94/11/30 پذیرش: 95/3/25

چکیده

این مطالعه انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات بهینه برای هر یک از اجزای یک الکتروموتور از شرکت پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران را هدف‌گذاری می‌کند. در این ارتباط رویکردی بر مبنای برنامه‌ریزی آرمانی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی ارائه می‌شود. علی رغم آنکه امروزه افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات یک موضوع مهم محسوب می‌شود، اغلب مقالات ارائه شده در ادبیات از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات سنتی استفاده می‌کنند. از این رو در این مطالعه استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان و براساس استانداردهای SAE JA 1011 و SAE JA 1012 به عنوان گزینه‌های مورد بررسی در نظر گرفته شده اند. از طرف مقابل با توجه به آنکه هزینه نگهداری و تعمیرات بخش قابل ملاحظه ای از هزینه‌های تولید را شامل می‌شود و همچنین ریسک خرابی تجهیزات از عوامل مهمی است که بر ایمنی پرسنل تاثیر فراوانی دارد، دو عامل هزینه و ریسک خرابی تجهیز به عنوان شاخص‌های ارزیابی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات استفاده می‌شوند.

کلمات کلیدی: الکتروموتور، انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات، قابلیت اطمینان، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، برنامه‌ریزی آرمانی

مقدمه

در شرکت‌های تولیدی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بخش قابل ملاحظه ای از هزینه‌های تولید را تشکیل می‌دهند [1] بنابراین، انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات بر هزینه‌های نگهداری و تعمیرات

*a.salmasnia@qom.ac.ir

سازمان‌ها تاثیر گذار است و باعث کاهش قابل توجه هزینه‌ها می‌شود. سیاست‌های نگهداری و تعمیرات سنتی به این ترتیب بود که تجهیز پس از خرابی تعمیر می‌شد. در این حالت توقفات زیاد سیستم، ضربه‌های مالی شدیدی به سازمان وارد می‌کند که این هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید از دست رفته و تعمیرات هستند. برای پیشگیری از بروز خرابی‌های شدید و تحمیل هزینه‌های بالا به سازمان، باید استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مناسب برای تجهیزات انتخاب شود [2].

در دنیای امروزه شرکت‌های تولیدی برای افزایش سود و توسعه حوزه فعالیت‌های خود به دنبال کاهش هزینه‌های تولیدی هستند [3]. یکی از مهم ترین بخش‌های هزینه‌های تولید، هزینه نگهداری و تعمیرات است که بر اساس نوع صنایع 15% تا 70% از کل هزینه تولید را شامل می‌شود [4]. بر این اساس امروزه بسیاری از شرکت‌های دنیا هزینه نگهداری و تعمیرات را یک منبع اجتناب‌ناپذیر هزینه تولید می‌دانند. یک سوم از هزینه‌های نگهداری و تعمیرات به علت انجام فعالیت‌های غیرضروری نگهداری و تعمیرات است [1]. از این رو بایستی انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات به گونه‌ای باشد تا از انجام فعالیت‌های غیر ضروری جلوگیری به‌عمل آید.

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان[1] (RCM) جزء روش‌های نوین نگهداری و تعمیرات در نسل سوم سیستم‌های نگهداری و تعمیرات است که باعث کاهش ریسک و صرفه‌جویی در هزینه‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات می‌شود [5]. این روش که کمتر از 50 سال در جهان سابقه دارد یکی از کارامدترین روش‌های کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات و کاهش ریسک خرابی‌ها هست [6].

در این مطالعه به دنبال ارائه روشی جهت انتخاب استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات بر اساس استانداردهای SAE JA 1011[2] و SAE JA 1012[3] هستیم. در این مطالعه شاخص‌های ریسک و هزینه به عنوان عوامل تاثیرگذار برای انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات مورد بررسی قرار گرفتند تا تصمیم‌گیری در مدل ارائه شده بر مبنای افزایش قابلیت اطمینان صورت گیرد [7]. از طرفی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات از بین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان انتخاب شده اند که در استانداردهای SAE JA 1011 و SAE JA 1012 ذکر شده اند.

انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات به دو روش امکان پذیر است. یکی روش دقیق و دیگری روش نمودار تصمیم‌گیری است [8]. روش نمودار تصمیم‌گیری روش درخت تصمیم هست که با پرسش هفت سوال RCM استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات برای تجهیز مورد نظر انتخاب می‌شود. نمودارهای تصمیم‌گیری روش معمول‌تر هستند زیرا سریع‌تر بوده و به کار بردن آن‌ها ارزان‌تر از روش دقیق هست [8] ولی در روش دقیق از روش‌های ریاضی جهت انتخاب استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات استفاده می‌شود. روش دقیق کامل‌تر بوده و یک استراتژی نگهداری و تعمیرات بهینه را برای هر تجهیز تعیین

[1]Reliability-Centered Maintenance (RCM)
[2]Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes
[3]A Guide to the Reliability-Centered Maintenance Standard

می‌کند. در سالیان گذشته تحقیقات زیادی برای انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات صورت گرفته است.

با توجه به افزایش روز افزون هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، سازمان‌ها به دنبال کاهش هزینه‌ها هستند. بر این مبنا، در این مطالعه ما به دنبال ارائه یک مدل انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات بهینه بر روی اجزای تجهیزات مختلف با ترکیب فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1](AHP) و برنامه‌ریزی آرمانی[2] (GP) هستیم. در این مدل شاخص‌های ریسک و هزینه به عنوان شاخص‌های تاثیر گذار در نظر گرفته شده اند و استراتژی بهینه بر اساس استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان انتخاب شده اند.

در ادامه این تحقیق در بخش دوم پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار گرفته، پس از آن در بخش سوم استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان براساس استانداردهای SAE JA 1011 و SAE JA 1012 تشریح شده اند. در ادامه رویکرد پیشنهادی برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان که با ترکیب فرایند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی شکل گرفته در بخش چهارم تشریح شده است. در بخش پنجم مدل به صورت مطالعه موردی بر روی یک دستگاه الکتروموتور از شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران مورد بررسی قرار گرفته است و در پایان در قسمت نتیجه گیری نتایج حاصل از مطالعه آورده شده است.

پیشینه تحقیق

برای انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات در گذشته روش‌های مختلفی ارائه شده است. بویلاکوا[3] و براگلیا[4] در سال 2000 از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب استراتژی‌های بهینه نگهداری و تعمیرات استفاده کردند. در این مطالعه پنج استراتژی نگهداری و تعمیرات بر اساس تعدادی شاخص اولویت‌بندی و برای گروه‌های مختلف تجهیزات انتخاب شدند. در این مطالعه استراتژی‌ها به جای در نظر گرفتن هر تجهیز بر اساس گروه‌های مختلف تجهیزات انتخاب گردید به همین دلیل مطالعه از دقت بالایی برخوردار نیست [4]. برتولونی[5] و بویلاکوا مطالعه ای در این زمینه انجام دادند که در آن برنامه‌ریزی آرمانی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی را برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات ترکیب کردند. در این مطالعه که بر روی پمپ‌های گریز از مرکز انجام گرفت شاخص‌های به‌کار برده شده برای اولویت‌بندی فقط بر مبنای ریسک هست و جنبه‌های دیگر را شامل نمی‌شود [9]. جعفری و همکاران با استفاده از دلفی فازی روشی برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات بهینه معرفی کردند. در این مطالعه اهداف ملموس و اهداف غیرملموس با هم در نظر گرفته شده‌اند اما استراتژی‌های به کار رفته در این تحقیق کامل نیستند

[1]Analytic hierarchy process (AHP)
[2]Goal Programming (GP)
[3]M. Bevilacqua
[4]M. Braglia
[5]M. Bertolini

[10]. آرونراج[1] و مایتی[2] با ترکیب روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی مدلی برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات ارائه کردند. هزینه و ریسک خرابی به عنوان دو شاخص اصلی برای رتبه بندی استراتژی‌ها در این تحقیق استفاده شده است. در این تحقیق برای هزینه و ریسک نتایج جداگانه معرفی شده و جوابی با در نظر گرفتن هر دو شاخص ارائه نشده است [11]. فولادگر و همکاران با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری وتعمیرات مدلی ارائه کردند. در این تحقیق از چهار شاخص برای رتبه بندی پنج استراتژی استفاده شده است. در این مدل رتبه بندی فقط بر مبنای روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفته است [12]. پورجواد و شیرویزاد با استفاده از ANP[3] فازی مدلی برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات ارائه کردند که در این مدل در یک مطالعه موردی از سه شاخص و پنج استراتژی استفاده شده است که مبنای انتخاب آنها مشخص نیست [13]. کیروبکاران[4] و ایلانگ کوماران[5] تحقیقی برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات انجام دادند دادند که در آن با استفاده از ترکیب روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و GRA[6]-TOPSIS[7] برای برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات مدلی ارائه کردند. در این تحقیق از چهار استراتژی و چهار شاخص اصلی و تعدادی زیر شاخص برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات استفاده شده است که با استفاده از یک مطالعه موردی در صنعت کاغذ مدل تشریح شده است. در این تحقیق استراتژی‌های انتخاب شده جامع نیستند [14].

در این تحقیق با استفاده از ترکیب روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی با برنامه‌ریزی آرمانی به دنبال انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات با تمرکز بر روی افزایش قابلیت اطمینان هستیم. انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات در سطح اجزای مهم تجهیز بررسی می‌شود که این اجزای مهم براساس استاندارد ISO14224[8] انتخاب می‌شوند. علاوه بر آن با توجه به اینکه انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات در این تحقیق بر مبنای قابلیت اطمینان است به همین دلیل از شاخص‌ها و استراتژی‌های قابلیت اطمینان که در استانداردهای SAE JA 1011 و SAE JA 1012 ذکر شده اند استفاده شده است.

[1] N. Arunraj
[2] J. Maiti
[3] Analytic Network Process
[4] B. Kirubakaran
[5] M. Ilangkumaran
[6] Grey relation analysis
[7] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
[8] Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment

استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات

نگهداری و تعمیرات دارای استراتژی‌های مختلفی است که با گذشت زمان این استراتژی‌ها گسترش یافته اند. سازمان‌ها و صنایع مختلف استراتژی‌های متناسب با خود را ارائه نموده اند اما استانداردهای SAE JA 1011 و SAE JA 1012 استراتژی‌هایی را مطرح کرده که برای افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات از آن‌ها استفاده می‌شود. استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان عبارتند از: تداوم کار تا وقوع خرابی، بازیابی برنامه‌ریزی شده، تعویض برنامه‌ریزی شده، کار مبتنی بر شرایط، فعالیت‌های عیب یاب و تغییرات یکباره [15]. هر یک از این استراتژی‌ها به عنوان یک آلترناتیو برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات در نظر گرفته می‌شوند که در ادامه به تشریح آنها می‌پردازیم.

تداوم کار تا وقوع خرابی[1]

یک سیاست مدیریت خرابی است که به یک مد خرابی خاص بدون هیچ تلاشی برای پیش بینی یا پیشگیری اجازه وقوع می‌دهد. این همان سیاست سنتی نگهداری و تعمیرات است که به تجهیز اجازه می‌دهد تا خراب شود و پس از رخداد خرابی، تجهیز تعمیر شود [8].

بازیابی برنامه‌ریزی شده[2]

یک کار برنامه‌ریزی شده برای بازیابی توانایی یک تجهیز در دوره‌های تعیین شده بدون توجه به شرایط آن تجهیز تا حدی که احتمال قابل قبولی را از کارکرد صحیح تجهیز تا پایان یک دوره تعیین شده دیگر را فراهم کند [8].

تعویض برنامه‌ریزی شده[3]

یک کار برنامه‌ریزی شده جهت تعویض یک تجهیز با توجه به محدوده عمر تعیین شده آن، که بدون توجه به شرایط تجهیز است [8].

کار مبتنی بر شرایط[4]

کار برنامه‌ریزی شده‌ای که برای یافتن خرابی‌های بالقوه استفاده می‌شود. به عبارت دیگر کار برنامه‌ریزی شده که بر اساس شرایط تجهیز است [8].

فعالیت‌های عیب یاب[5]

یک کار برنامه‌ریزی شده برای تشخیص اینکه آیا خرابی پنهانی روی تجهیز روی داده است یا خیر [8].

[1] Run-to-failure
[2] Scheduled Restoration
[3] Scheduled Discard
[4] On-Condition Task
[5] Failure-Finding Task

تغییرات یکباره[1]

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 را تغییرات یکباره می‌نامند [8].

رویکرد پیشنهادی برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات بهینه اجزای الکتروموتور

یکی از مهم‌ترین بخش‌های هزینه تولید، هزینه نگهداری و تعمیرات است که بر اساس نوع صنایع 15% تا 70% از کل هزینه تولید را شامل می‌شود [4]. از طرفی دیگر ریسک خرابی تجهیزات یکی دیگر از عوامل مهمی است که بر ایمنی پرسنل تاثیر فراوانی دارد. از آنجایی که اغلب الکتروموتورها دوار هستند و با نیروی برق کار می‌کنند، خرابی‌هایی که بر روی آن رخ می‌دهد ممکن است صدمات شدیدی برای پرسنل به همراه داشته باشد. هر چه شدت خرابی بیشتر باشد ریسک خرابی بالاتر رفته و احتمال رخداد صدمات شدیدتری برای پرسنل به وجود می‌آید. برای کاهش این خطرات بایستی به دنبال کاهش ریسک خرابی برای تجهیزات باشیم. با توجه به مطالب ذکر شده در این مطالعه هزینه و ریسک خرابی به عنوان دو عامل مهم و تاثیرگذار در انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات اجزای الکتروموتور در نظر گرفته شده اند. در این ارتباط، فرایند تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یکی از معروفترین تکنیک‌ها برای تعیین وزن یا اهمیت نسبی معیارها در مسایل تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده می‌شود. این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی و همچنین در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمّی و کیفی را در مسئله فراهم می کند. فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر پایه مقایسه زوجی بنا نهاده شده است که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌کند و همچنین میزان سازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره است.

گام مهم بعد از محاسبه وزن معیارها، بهینه سازی همزمان آن‌ها است. برنامه‌ریزی آرمانی یکی از قویترین رویکردها برای تجمیع اهداف متضاد و بهینه سازی همزمان آن‌ها محسوب می‌شود. در این رویکرد برای هر تابع هدف یک مقدار سطح تمایل[2] توسط تصمیم گیرنده تعیین می‌شود. تفکر اصلی کمینه سازی مجموع انحرافات نامطلوب از سطوح تمایل در نظر گرفته شده است.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی

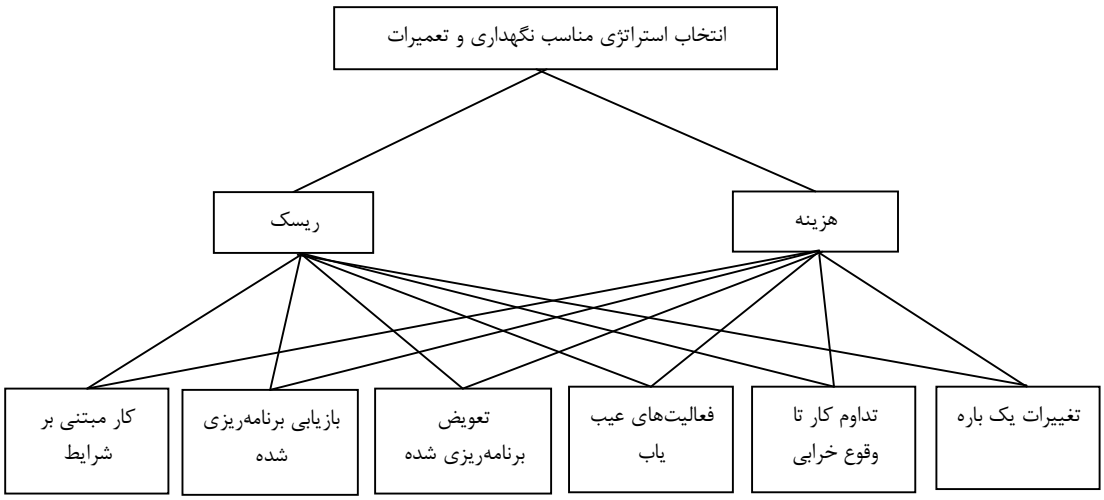
فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند منظوره است که اولین بار توسط توماس ال ساعتی[3] در دهه 1970 معرفی شد [16]. روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای حالاتی که چند گزینه رقیب تحت چند شاخص متفاوت با یگدیگر رقابت می‌کنند کاربرد فراوانی دارد که البته این شاخص‌ها

[1]One-Time Change
[2]Aspiration level
[3]Thomas L. Saaty

می‌توانند کمی یا کیفی باشند [17]. در این روش ابتدا درخت سلسله مراتب را تشکیل می‌دهیم که در آن ریسک و هزینه به عنوان شاخص و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان به عنوان آلترناتیو در شکل 1 نمایش داده شده اند. از آنجایی که اساس تصمیم‌گیری در این روش بر پایه مقایسات زوجی است یک سری مقایسسات زوجی بین ریسک و هزینه و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن ریسک و هزینه را در راستای استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان نشان می‌دهند و در نهایت، منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را به گونه‌ای با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل شود [18]. فرایند تحلیل سلسله مراتبی شامل چهار مرحله است که در ادامه این بخش به تشریح آن‌ها می‌پردازیم.

مدل سازی

در این مرحله مسأله و هدف تصمیم گیری به صورت سلسله مراتبی در سه سطح مشخص می‌شود [19]. سطح اول بیانگر هدف اصلی فرایند تصمیم گیری است که در این مطالعه انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات بر روی اجزای الکتروموتور است. سطح دوم نشان دهنده شاخص‌های تصمیم‌گیری است که همانطور که مطرح شد در این مسئله این شاخص‌ها ریسک و هزینه در نظر گرفته شده اند. سطح سوم نیز گزینه‌های رقیب را نشان می‌دهد که استراتژی‌های شش گانه نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان هستند.



شکل1. نمودار سلسله مراتبی

مقایسات زوجی

مقایسات بین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، بر اساس شاخص‌های ریسک و هزینه به وسیله انجام مقایسات زوجی بعد از طراحی سلسله مراتبی مسئله صورت می‌گیرد. تصمیم‌گیرنده

می‌بایست مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌های ریسک و هزینه را نسبت به یکدیگر و همچنین هر کدام از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان را با توجه به شاخص‌های ریسک و هزینه نسبت به سایر استراتژی‌ها مشخص می‌کند، ایجاد کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو استراتژی است، صورت می‌گیرد. برای انجام این کار معمولا از مقایسه استراتژی‌ها یا شاخص i ام نسبت به استراتژی‌ها یا شاخص j ام استفاده می‌شود که در جدول 1 نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌های ریسک و هزینه نسبت به هم بر اساس مدل ساعتی نشان داده شده است که در این مطالعه از آن استفاده شده است.

جدول 1. مقیاس‌های توماس ال ساعتی برای مقایسه دودویی معیارها [20]

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه i نسبت به j	توضیح
1	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
3	نسبتاً مهمتر	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهمتر است.
5	مهمتر	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهمتر است.
7	خیلی مهمتر	گزینه یا شاخص i دارای ارجحیت خیلی بیشتری از j است.
9	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص i مطلقاً از j مهمتر و قابل مقایسه با j نیست.

محاسبات وزن‌های نسبی

تعیین وزن استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان نسبت به هم از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی صورت می‌گیرد. قدم بعدی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی است.

مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسات زوجی را محاسبه کرده، سپس هر عنصر ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌کنیم، ماتریس جدیدی که بدین صورت بدست می‌آید «ماتریس مقایسات نرمال شده» نامیده می‌شود، سپس میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسات نرمال شده را محاسبه می‌کنیم. این میانگین وزن محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان را ارائه می‌کند. فرمول 1 نحوه محاسبه عناصر ماتریس مقایسات نرمال شده را نمایش می‌دهد.

$$r_{i,j}=\frac{a_{i,j}}{\sum_{i=1}^{m} a_{i,j}} \qquad (1)$$

در رابطه بالا $a_{i,j}$ عناصر ماتریس‌های مقایسات زوجی و $r_{i,j}$ مولفه نرمال شده این عناصر را نشان می‌دهند [21]. به منظور رتبه‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، بایستی وزن محلی

هر استراتژی در وزن شاخص هزینه و ریسک ضرب شود تا وزن کلی آن بدست آید. با انجام این مرحله برای هر استراتژی مقدار وزن کلی بدست می‌آید که در فرمول 2 آورده شده است. رابطه بین اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات نیز در فرمول 3 آورده شده است.

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

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

در روابط بالا W_r وزن شاخص ریسک، W_c وزن شاخص هزینه، $S_{c,i}$ وزن محلی استراتژی نگهداری و تعمیرات iام بر اساس شاخص هزینه، $S_{r,i}$ وزن محلی استراتژی نگهداری و تعمیرات iام بر اساس شاخص ریسک و $S_{ahp,i}$ وزن کلی استراتژی نگهداری و تعمیرات iام را نشان می‌دهند.

سازگاری در قضاوت‌ها

روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی علاوه بر ترکیب سطوح مختلف سلسله مراتب تصمیم با در نظر گرفتن عوامل مختلف می‌تواند نرخ سازگاری[1] (CR) را نیز محاسبه کند. نرخ سازگاری وسیله‌ای است که میزان سازگاری اطلاعات را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسات زوجی اعتماد کرد [22]. تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری کمتر از 0.1 باشد می‌توان سازگاری مقایسات را پذیرفت در غیر اینصورت 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 ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین استراتژی‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد.

برای مقایسه نرخ سازگاری روش‌های متعددی وجود دارد که بهترین روش آن استفاده از بردارهای ویژه است که در این مطالعه استفاده شده است. قدم‌های زیر برای محاسبه نرخ سازگاری با استفاده از روش بردارهای ویژه به کار گرفته می‌شود:

[1]Consistency Ratio

گام 1. محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسات زوجی را در بردار ستونی وزن نسبی ضرب کنید بردار جدیدی را که به این طریق بدست می‌آید، بردار مجموع وزنی نامیده می‌شود.

گام 2. محاسبه بردار سازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار اولویت نسبی تقسیم کنید. بردار حاصل بردار سازگاری نامیده می‌شود.

گام 3. به‌دست آوردن $\lambda_{\max}$: میانگین عناصر بردار سازگاری $\lambda_{\max}$ را به دست می‌آورد.

گام 4. محاسبه شاخص سازگاری[1] (CI): شاخص سازگاری بر اساس رابطه ساعتی که در فرمول 4 نمایش داده شده است بدست می‌آید:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (4)$$

در فرمول 4 تعداد استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان با n نشان داده شده است.

گام 5. محاسبه نرخ سازگاری (CR): برای تعیین معناداری سازگاری، شاخص سازگاری محاسبه شده باید با یک معیار عددی به نام شاخص تصادفی (ACI) که در جدول 2 آورده شده است، مقایسه شود. نسبت سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص تصادفی بدست می‌آید که در فرمول 5 آورده شده لست.

$$CR = \frac{CI}{ACI} \quad (5)$$

جدول 2. شاخص تصادفی بودن (ACI) [20]

تعداد گزینه‌های رقیب	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
شاخص تصادفی بودن	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

در جدول 3 نرخ سازگاری قابل پذیرش بر اساس تعداد استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان آمده است.

جدول 3. محدوده پذیرش نرخ سازگاری (CR) [20]

تعداد گزینه‌های رقیب	3	4	5<
نرخ سازگاری قابل پذیرش	0.05	0.08	0.1

برنامه‌ریزی آرمانی

برنامه‌ریزی آرمانی به عنوان فرمی از برنامه‌ریزی ریاضی جهت در نظر گرفتن هدف‌های چندگانه در تصمیم‌گیری‌ها توسط چارز[2] و کوپر[3] در سال 1961 ارائه شد [23]. در این مدل برای هر تابع هدف یک مقدار سطح تمایل توسط تصمیم گیرنده تعیین می‌شود و با توجه به اولویت اهداف مختلف مسئله در پی کمینه ساختن انحرافات نامطلوب از سطوح تمایل در نظر گرفته شده است [24]. این روش امکان

[1]Consistency Index
[2]Abraham Charnes
[3]William Wager Cooper

اولویت‌بندی و وزن دهی به اهداف را فراهم می‌آورد و به برنامه ریز این امکان را می‌دهد که در مورد هدف‌ها با آزادی و انعطاف بیشتری عمل کند.

مدل برنامه‌ریزی آرمانی به طور کلی از چهار بخش متغیرهای تصمیم، محدودیت‌های سیستمی، محدودیت‌های آرمانی و تابع هدف تشکیل شده است [25]. متغیرهای تصمیم و محدودیت‌های سیستمی، همان محدودیت‌های به کار برده شده در برنامه‌ریزی خطی هستند که هیچ نوع انعطافی ندارند و حتما باید به کار برده شوند. محدودیت‌های آرمانی دارای متغیرهای انحرافی مثبت d^+ و d^- هستند که هدف حداقل کردن این انحراف‌ها نامطلوب از سطح تمایل مورد نظر است [26] انعطاف پذیری برنامه‌ریزی آرمانی به دلیل وجود این محدودیت‌ها هست.

مدل برنامه‌ریزی آرمانی مجموع انحرافات نامطلوب از اهداف را تا حد ممکن به صفر نزدیک می‌سازد و اگر کنترل انحرافات مثبت یا منفی برای برنامه‌ریز مهم باشد متغیر مربوط به آن وارد تابع هدف می‌شود [27]. در صورتی که هر دو انحراف برای برنامه ریز نامطلوب باشد، هر دو متغیر مربوط به انحرافات مثبت و منفی وارد تابع هدف می‌شوند. در مطالعه حاضر هدف حداقل کردن هزینه و ریسک ناشی از خرابی‌های ایجاد شده بر روی اجزای الکتروموتور است. از این رو مدل برنامه‌ریزی آرمانی مسئله به صورت فرمول 6 طراحی شده است که وزن مربوط به هر هدف با استفاده از نتایج تحلیل فرایند تحلیل سلسله مراتبی تعیین می‌شود.

$$\min Z = d_c^- + d_c^+ + d_r^- + d_r^+ + d_{ahp}^- + d_{ahp}^+ \quad (6)$$

s.t.

$$S_{c,1}\times X_1 + S_{c,2}\times X_2 + S_{c,3}\times X_3 + S_{c,4}\times X_4$$
$$+ S_{c,5}\times X_5 + S_{c,6}\times X_6 + d_c^- - d_c^+ = T_c$$
$$d_c^+, d_c^- \geq 0$$
$$S_{r,1}\times X_1 + S_{r,2}\times X_2 + S_{r,3}\times X_3 + S_{r,4}\times X_4$$
$$+ S_{r,5}\times X_5 + S_{r,6}\times X_6 + d_r^- - d_r^+ = T_r$$
$$d_r^+, d_r^- \geq 0$$
$$S_{ahp,1}\times X_1 + S_{ahp,2}\times X_2 + S_{ahp,3}\times X_3 + S_{ahp,4}\times X_4$$
$$+ S_{ahp,5}\times X_5 + S_{ahp,6}\times X_6 + d_{ahp}^- - d_{ahp}^+ = 1$$
$$d_{ahp}^+, d_{ahp}^- \geq 0$$

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{اگر استراتژی انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$i: \begin{cases} 1: \text{تداوم کار تا وقوع خرابی} \\ 2: \text{بازیابی برنامه ریزی شده} \\ 3: \text{تعویض برنامه ریزی شده} \\ 4: \text{کار مبتنی بر شرایط} \\ 5: \text{فعالیت عیب‌های یاب} \\ 6: \text{تغییرات یکباره} \end{cases}$$

در رابطه بالا مقدار T_c سطح تمایل هزینه مورد انتظار، T_r سطح تمایل ریسک مورد انتظار، d_c^+ و d_c^- انحرافات مثبت و منفی از سطح تمایل هزینه مورد انتظار، d_r^+ و d_r^- انحرافات مثبت و منفی از سطح تمایل ریسک مورد انتظار و d_{ahp}^+ و d_{ahp}^- انحرافات مثبت و منفی از سطح تمایل کلی مورد انتظار را بیان می‌کنند [28]. مقادیر T_c و T_r از مجموع دو وزن محلی بزرگتر استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان بر اساس شاخص‌های هزینه و ریسک بدست می‌آیند [29].

مطالعه موردی

در این مطالعه سعی بر این شده تا یک تجهیز مهم و پر کاربرد از شرکت ملی پالایش و پخش مورد بررسی قرار گیرد چرا که در شرایط کنونی صنعت نفت با توجه به تحریم‌ها و هزینه‌های بالای نگهداری و تعمیرات تجهیزات، بیش از هر چیزی به مدیریت دارایی‌های فیزیکی[1] نیاز دارد که انتخاب مناسب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات یکی از قسمت‌های مهم آن هست به همین دلیل یک دستگاه الکتروموتور از شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

الکتروموتور یکی از تجهیزات پر کاربرد در صنعت نفت و سایر صنایع است. تامین نیروی محرکه پمپ‌ها، کمپرسورها، فن‌های هوایی و ... از جمله کاربردهای بیشمار این تجهیز مهم هستند. الکتروموتور انتخاب شده از شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران از دسته الکتروموتورهای پرقدرت است که مشخصات آن در جدول 4 آمده است.

جدول 4. مشخصات عمومی الکتروموتور مورد مطالعه

آمپر(Am)	ولتاژ(KV)	دور موتور	قدرت(KW)
365	6	6048	3425

الکتروموتورها دارای قسمت‌های مختلفی هستند که در این مطالعه بر اساس استاندارد ISO14224 این اجزای مهم مشخص و در جدول 5 آورده شده اند. جدول 5 از دو قسمت زیر واحد و آیتم قابل نگهداشت /

[1]Physical Asset Management

قطعه، تشکیل شده است. زیر واحد نمایش دهنده اجزای اصلی الکتروموتور هست و آیتم قابل نگهداشت / قطعه، شامل قطعات و قسمت‌های مختلف زیر واحدهای الکتروموتور هستند [30].

جدول 5. اجزای مهم الکتروموتور مورد مطالعه بر اساس استاندارد ISO14224

زیر واحد	آیتم قابل نگهداشت / قطعه				
الکتروموتور	استاتور	روتور	یاتاقان محوری		
کنترل و مانیتورینگ	کنترل	نمایش‌دهنده	سنسورها	سیم‌ها	
سیستم روان‌کاری	روغن	فیلتر روغن	پمپ روغن	لوله‌های روغن‌کاری	شیرهای روغن‌کاری
سیستم خنک‌کننده	فیلتر هوا	فن داخلی	فن خارجی	مبدل حرارتی	شیر سیستم خنک‌کاری

در این مطالعه برای اولین بار به دنبال انتخاب استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات بر روی اجزای یک تجهیز هستیم. با این روش می‌توان برای تجهیزات مهم و پرهزینه به خوبی برنامه‌ریزی کرد تا هزینه‌های نگهداری و تعمیرات کاهش یابد. همانطور که در قسمت‌های قبل بیان شد در این مطالعه از دو شاخص هزینه و ریسک برای اولویت‌بندی و انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات استفاده می‌شود. این دو شاخص از منظر قابلیت اطمینان دو شاخص مهم و اثر گذار هستند به همین دلیل ما از این دو شاخص را در این مطالعه مورد استفاده کردیم. برای اولویت‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس شاخص‌های هزینه و ریسک بر روی قسمت‌های مختلف الکتروموتور ابتدا باید اوزان محلی هر یک از شاخص‌های ریسک و هزینه را برای هر یک از اجزای الکتروموتور به‌دست آورد، سپس با ترکیب این اوزن محلی، اوزان کلی هر یک از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر روی قسمت‌های مختلف الکتروموتور بر اساس شاخص‌های هزینه و ریسک محاسبه می‌شود. این اوزان به عنوان مقادیر ورودی مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای انتخاب استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات استفاده می‌شود.

استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات به‌وسیله شاخص‌ها مورد مقایسه دودویی قرار می‌گیرند. هنگام مقایسه دودویی باید مقادیر عددی متناظر با هر استراتژی یا هر شاخص به صورت رتبه در جداولی درج می‌شوند. جداول مقایسه ای در فرایند تحلیل سلسله مراتبی به صورت ماتریس معکوس هستند به طور مثال وقتی ضریب ریسک به هزینه در استاتور 5 است، ضریب هزینه به ریسک در استاتور عکس آن یعنی 0.2 است. پس از وارد کردن ضرایب در جداول مربوطه، برای تعیین اولویت از مفهوم نرمال سازی که در بالا مطرح شد استفاده می‌شود.

در جدول 6 اوزان نرمال شده شاخص‌های ریسک و هزینه برای استاتور آورده شده اند.

جدول 6. اوزان نرمال شده شاخص‌های هزینه و ریسک برای استاتور

شاخص‌ها	ریسک	هزینه	اوزان نرمال شده
ریسک	1	5	$W_c = 0.8333$
هزینه	0.2	1	$W_r = 0.1666$

به ازای تمامی قسمت‌های الکتروموتور اوزان ریسک و هزینه را به‌دست می‌آوریم. در جدول 7 این مقادیر به صورت نرمال شده نمایش داده شده‌اند.

جدول 7. اوزان محلی اجزای الکتروموتور بر اساس هزینه و ریسک

اجزای الکتروموتور	W_c	W_r
استاتور	0.8333	0.1666
روتور	0.8	0.2
یاتاقان محوری	0.6666	0.3333
کنترل	0.2	0.8
نمایش دهنده	0.2	0.8
سنسورها	0.2	0.8
سیم‌ها	0.1428	0.8571
روغن	0.3	0.6666
فیلتر روغن	0.3	0.6666
پمپ روغن	0.125	0.875
لوله‌های روغنکاری	0.3	0.6666
فیلتر هوا	0.3	0.6666
شیرهای روغنکاری	0.3	0.6666
فن داخلی	0.75	0.25
فن خارجی	0.3	0.6666
مبدل حرارتی	0.3	0.6666
شیر سیستم خنک کاری	0.3	0.6666

در جدول 8 اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس شاخص ریسک مربوط به قسمت استاتور از الکتروموتور آورده شده است.

جدول 8. اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص ریسک برای استاتور

استراتژی‌های نگهداری وتعمیرات	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه‌ریزی شده	تعویض برنامه‌ریزی شده	فعالیت‌های عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره	اوزان نرمال شده
کار مبتنی بر شرایط	1	5	6	7	9	9	0.5311
بازیابی برنامه‌ریزی شده	0.2	1	2	3	5	5	0.1871
تعویض برنامه‌ریزی شده	0.1666	0.5	1	2	4	4	0.1286
فعالیت‌های عیب یاب	0.1428	0.3	0.5	1	2	2	0.072
تداوم کار تا وقوع خرابی	0.1	0.2	0.25	0.5	1	1	0.0406
تغییرات یکباره	0.1	0.2	0.25	0.5	1	1	0.0406

در جدول 9 اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس شاخص هزینه مربوط به قسمت استاتور از الکتروموتور آورده شده است.

جدول 9. اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص هزینه برای استاتور

استراتژی‌های نگهداری وتعمیرات	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه‌ریزی شده	تعویض برنامه‌ریزی شده	فعالیت‌های عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره	اوزان نرمال شده
کار مبتنی بر شرایط	1	4	2	0.25	0.2	0.2	0.0886
بازیابی برنامه‌ریزی شده	0.25	1	0.5	0.33	0.1428	0.1428	0.0397
تعویض برنامه‌ریزی شده	0.5	2	1	0.5	0.2	0.2	0.0655
فعالیت‌های عیب یاب	4	3	2	1	0.5	0.5	0.1668
تداوم کار تا وقوع خرابی	5	7	5	2	1	1	0.3196
تغییرات یکباره	5	7	5	2	1	1	0.3196

در جدول 10 اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس شاخص ریسک مربوط به تمامی اجزای الکتروموتور آورده شده است.

جدول 10. اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص ریسک برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	ریسک					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه‌ریزی شده	تعویض برنامه‌ریزی شده	فعالیت‌های عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	0.5311	0.1871	0.1286	0.072	0.0406	0.0406
روتور	0.5311	0.1871	0.1286	0.072	0.0406	0.0406
یاتاقان محوری	0.4582	0.1747	0.2326	0.0705	0.032	0.032
کنترل	0.3405	0.1286	0.1104	0.3652	0.0276	0.0276
نمایش دهنده	0.2957	0.1214	0.1466	0.346	0.0451	0.0451
سنسورها	0.3405	0.1286	0.1104	0.3652	0.0276	0.0276
سیم‌ها	0.4668	0.194	0.119	0.1629	0.0286	0.0286
روغن	0.3858	0.165	0.254	0.1306	0.0323	0.0323
فیلتر روغن	0.3858	0.165	0.254	0.1306	0.0323	0.0323
پمپ روغن	0.4505	0.1994	0.2094	0.073	0.0339	0.0339
لوله‌های روغن‌کاری	0.4194	0.2273	0.1549	0.1294	0.0345	0.0345
فیلتر هوا	0.3737	0.1727	0.2759	0.1013	0.0382	0.0382
شیرهای روغنکاری	0.4348	0.179	0.179	0.1368	0.0351	0.0351
فن داخلی	0.4658	0.2368	0.1778	0.0511	0.0342	0.0342
فن خارجی	0.4458	0.2306	0.1862	0.0587	0.0393	0.0393
مبدل حرارتی	0.4194	0.2273	0.1549	0.1294	0.0345	0.0345
شیر سیستم خنک کاری	0.4348	0.179	0.179	0.1368	0.0351	0.0351

در جدول 11 اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس شاخص هزینه مربوط به تمامی اجزای الکتروموتور آورده شده است.

جدول 11. اوزان محلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص هزینه برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	هزینه					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه‌ریزی شده	تعویض برنامه‌ریزی شده	فعالیت‌های عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	0.0886	0.0397	0.0655	0.1668	0.3196	0.3196
روتور	0.0942	0.0389	0.065	0.1661	0.3178	0.3178
یاتاقان محوری	0.0903	0.0434	0.0604	0.1667	0.3195	0.3195
کنترل	0.1342	0.0558	0.072	0.0865	0.3257	0.3257
نمایش دهنده	0.1059	0.0584	0.0746	0.0886	0.3362	0.3362
سنسورها	0.1602	0.082	0.103	0.0551	0.2999	0.2999
سیم‌ها	0.1342	0.0558	0.072	0.0865	0.3257	0.3257
روغن	0.1301	0.0558	0.0435	0.1581	0.3062	0.3062
فیلتر روغن	0.1301	0.0558	0.0435	0.1581	0.3062	0.3062
پمپ روغن	0.1301	0.0558	0.0435	0.1581	0.3062	0.3062
لوله‌های روغنکاری	0.1241	0.0426	0.063	0.1697	0.3003	0.3003
فیلتر هوا	0.1301	0.0558	0.0435	0.1581	0.3062	0.3062
شیرهای روغنکاری	0.1241	0.0426	0.063	0.1697	0.3003	0.3003
فن داخلی	0.0942	0.0389	0.065	0.1661	0.3178	0.3178
فن خارجی	0.0968	0.045	0.0745	0.1671	0.3083	0.3083
مبدل حرارتی	0.1241	0.0426	0.063	0.1697	0.3003	0.3003
شیر سیستم خنک کاری	0.1241	0.0426	0.063	0.1697	0.3003	0.3003

بر اساس اطلاعات جداول 10 و 11 و بر طبق فرمول شماره 2 اوزان کلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس شاخص‌های ریسک و هزینه مربوط به تمامی اجزای الکتروموتور محاسبه شده و در جدول 12 آورده شده اند.

جدول 12. اوزان کلی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر حسب شاخص‌های ریسک و هزینه برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	ریسک و هزینه					
	کار مبتنی بر شرایط	بازیابی برنامه‌ریزی شده	تعویض برنامه‌ریزی شده	فعالیت‌های عیب یاب	تداوم کار تا وقوع خرابی	تغییرات یکباره
استاتور	0.46	0.16	0.12	0.09	0.09	0.09
روتور	0.44	0.16	0.12	0.09	0.1	0.1
یاتاقان محوری	0.34	0.13	0.18	0.1	0.13	0.13
کنترل	0.18	0.07	0.08	0.14	0.27	0.27
نمایش دهنده	0.14	0.07	0.09	0.14	0.28	0.28
سنسورها	0.2	0.09	0.1	0.12	0.25	0.25
سیم‌ها	0.18	0.08	0.08	0.1	0.28	0.28
روغن	0.22	0.09	0.11	0.15	0.21	0.21
فیلتر روغن	0.22	0.09	0.11	0.15	0.21	0.21
پمپ روغن	0.17	0.07	0.06	0.15	0.27	0.27
لوله‌های روغنکاری	0.22	0.1	0.09	0.16	0.21	0.21
فیلترهوا	0.21	0.09	0.12	0.14	0.22	0.22
شیرهای روغنکاری	0.23	0.09	0.1	0.16	0.21	0.21
فن داخلی	0.37	0.19	0.15	0.08	0.11	0.11
فن خارجی	0.21	0.11	0.11	0.13	0.22	0.22
مبدل حرارتی	0.22	0.1	0.09	0.16	0.21	0.21
شیر سیستم خنک کاری	0.23	0.09	0.1	0.16	0.21	0.21

داده‌های به‌دست آمده در جدول 12 به عنوان ورودی‌های مدل برنامه‌ریزی آرمانی استفاده می‌شوند که این مدل در فرمول 6 بیان شده است. مدل مطرح شده در مطالعه برای هر یک از اجزای الکتروموتور مورد نظر استراتژی بهینه را انتخاب نموده که در جدول 13 این نتایج نمایش داده شده‌اند.

جدول 13. استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مناسب بر حسب شاخص‌های ریسک و هزینه برای اجزای الکتروموتور

اجزای الکتروموتور	استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات
استاتور	تعویض برنامه‌ریزی شده
روتور	تعویض برنامه‌ریزی شده
یاتاقان محوری	کار مبتنی بر شرایط
کنترل	تعویض برنامه‌ریزی شده
نمایش دهنده	کار مبتنی بر شرایط
سنسورها	تعویض برنامه‌ریزی شده
سیم‌ها	تعویض برنامه‌ریزی شده
روغن	کار مبتنی بر شرایط
فیلتر روغن	کار مبتنی بر شرایط
پمپ روغن	فعالیت‌های عیب یاب
لوله‌های روغنکاری	تعویض برنامه‌ریزی شده
فیلتر هوا	کار مبتنی بر شرایط
شیرهای روغنکاری	کار مبتنی بر شرایط
فن داخلی	تعویض برنامه‌ریزی شده
فن خارجی	فعالیت‌های عیب یاب
مبدل حرارتی	تعویض برنامه‌ریزی شده
شیر سیستم خنک کاری	کار مبتنی بر شرایط

نتیجه‌گیری

این مطالعه انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات بر مبنای دو شاخص هزینه و ریسک روی اجزای یک مورد الکتروموتور از شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران را هدفگذاری کرد. در این ارتباط، استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات از استانداردهای SAE JA 1012 و SAE JA 1011 که مراجع اصلی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان هستند انتخاب شد. همچنین تجهیزات حساس و مهم الکتروموتور شامل 17 قطعه بر مبنای استاندارد ISO14224 به عنوان استاندارد مرجع جمع آوری اطلاعات در حوزه‌های نفت و گاز و پتروشیمی شناسایی شدند. در ادامه یک رویکرد بهینه سازی از ترکیب روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی ارائه شد. در این رویکرد، فرایند تحلیل سلسله مراتبی به عنوان شیوه ای نظامند و کارآمد برای تعیین وزن شاخص‌های مورد نظر بر مبنای مقایسات زوجی مورد

استفاده قرار گرفت. در ادامه برای هر یک از دو تابع هدف هزینه و ریسک یک مقدار سطح تمایل توسط تصمیم‌گیرنده تعیین شد و با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی به کمینه سازی مجموع موزون انحرافات نامطلوب از سطوح تمایل پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که استراتژی‌های کار مبتنی بر شرایط و تعویض برنامه‌ریزی شده برای عمده تجهیزات مناسب هستند.

تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران جهت در اختیار قرار دادن داده‌ها و همچنین همکاری‌های لازم و حمایت‌های مالی صورت گرفته در انجام این پروژه کمال تشکر و قدر دانی را داریم.

فهرست علائم و نشانه‌ها

عناصر ماتریس‌های مقایسات زوجی	$a_{i,j}$
مولفه نرمال شده	$r_{i,j}$
وزن شاخص ریسک	W_r
وزن شاخص هزینه	W_c
وزن محلی استراتژی نگهداری و تعمیرات i ام بر اساس شاخص هزینه	$S_{c,i}$
وزن محلی استراتژی نگهداری و تعمیرات i ام بر اساس شاخص ریسک	$S_{r,i}$
وزن کلی استراتژی نگهداری و تعمیرات i ام	$S_{ahp,i}$
میانگین عناصر بردار سازگاری	$\lambda_{\max}$
شاخص سازگاری	CI
نرخ سازگاری	CR
شاخص تصادفی	ACI
سطح تمایل هزینه مورد انتظار	T_c
سطح تمایل ریسک مورد انتظار	T_r
انحرافات مثبت از سطح تمایل هزینه مورد انتظار	d_c^+
انحرافات منفی از سطح تمایل هزینه مورد انتظار	d_c^-
انحرافات مثبت از سطح تمایل ریسک مورد انتظار	d_r^+
انحرافات منفی از سطح تمایل ریسک مورد انتظار	d_r^-
انحرافات مثبت از سطح تمایل کلی مورد انتظار	d_{ahp}^+
انحرافات منفی از سطح تمایل کلی مورد انتظار	d_{ahp}^-

منابع

1. Mobley R. K., *An introduction to predictive maintenance*, Butterworth-Heinemann, 2002.
2. Wang L., Chu J. and Wu J., Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process, *International Journal of Production Economics*, vol. 107, pp. 151-163, 2007.
3. Mousavi S. S., Nezami F. G., Heydar M. and Aryanejad M. B., A hybrid fuzzy group decision making and factor analysis for selecting maintenance strategy, *Computers & Industrial Engineering, International Conference on CIE 2009*, pp. 1204-1209, 2009.
4. Bevilacqua M. and Braglia M., The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 70, pp. 71-83, 2000.
5. Johnston D. C., Measuring RCM implementation, *Reliability and Maintainability Symposium, 2002. Proceedings. Annual*, pp. 511-515, 2002.
6. Selvik J. T. and Aven T., A framework for reliability and risk centered maintenance, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 96, pp. 324-331, 2011.
7. Yssaad B., Khiat M. and Chaker A., Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 55, pp. 108-115, 2014.
8. JA1012, S. A. E. A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard, *issued in January*, 2002.
9. Bertolini M., and Bevilacqua M., A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 91, pp. 839-848, 2006.
10. Jafari A., Jafarian M., Zareei A. and Zaerpour F., Using fuzzy Delphi method in maintenance strategy selection problem, *Journal of Uncertain Systems*, vol. 2, pp. 289-298, 2008.
11. Arunraj N. and Maiti J., Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming, *Safety science*, vol. 48, pp. 238-247, 2010.
12. Fouladgar M. M., Yazdani-Chamzini A., Lashgari A., Zavadskas E. K. and Turskis Z., Maintenance strategy selection using AHP and COPRAS under fuzzy environment, *International journal of strategic property management*, vol. 16, pp. 85-104, 2012.
13. Pourjavad E. and Shirouyehzad H., Analysing maintenance strategies by FANP considering RAM criteria: a case study, *International Journal of Logistics Systems and Management*, vol. 18, pp. 302-321, 2014.
14. Kirubakaran B. and Ilangkumaran M., The selection of optimum maintenance strategy based on ANP integrated with GRA–TOPSIS, *Journal for Global Business Advancement*, vol. 8, pp. 190-215, 2015.
15. JA1011, S. A. E. Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes, *Society for Automotive Engineers. Agosto*, 1999.
16. Zahedi F., The analytic hierarchy process-a survey of the method and its applications, *interfaces*, vol. 16, pp. 96-108, 1986.
17. Ho W., Integrated analytic hierarchy process and its applications–A literature review, *European Journal of operational research*, vol. 186, pp. 211-228, 2008.
18. Vaidya O. S. and Kumar S., Analytic hierarchy process: An overview of applications, *European Journal of operational research*, vol. 169, pp. 1-29, 2006.

19. عادل آذر، عزیزا... ،معماریانی،AHP تکنیکی نوین برای تصمیم‌گیری گروهی، فصلنامه دانش مدیریت، شماره 27و 28، صفحات 22 تا 32، 1373.

20. Satty T., The Analytical Hierarchical Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

21. فرشاد محمدیان، ناصر شاهنوشی، محمد قربانی، حسن عاقل، انتخاب الگوی کشت بالقوه محصولات زراعی بر اساس روش و فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) (مطالعه موردی: دشت تربت جام) ، دانش کشاورزی و تولید پایدار، شماره 19، صفحات 171 تا 187، 1388.

22. اسفندیار زبردست، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه ای، هنرهای زیبا، شماره 10، صفحات 13 تا 21، 1380.

23. Tamiz M., Jones D. and El-Darzi E., A review of goal programming and its applications, *Annals of Operations Research*, vol. 58, pp. 39-53, 1995.

24. Chang C. T., Multi-choice goal programming, *Omega*, vol. 35, pp. 389-396, 2007.

25. سارا ملک نیا، محمد رضا کهنسال، آرش دور اندیش، تعیین الگوی بهینه کشت با هدف تولید محصولات زراعی ارگانیک به کمک رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی ترتیبی توسعه یافته (ELGP)، (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)، دومین کنگره ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم،1392.

26. جمشید صالحی صدقیانی، مقصود امیری، سید حسین رضوی، سیده سادات هاشمی، اصحاب حبیب زاده، ارائه مدل برنامه‌ریزی آرمانی خطی برای محاسبه اوزان مشترک در مسائل تحلیل پوششی داده‌ها، نشریه مدیریت صنعتی(دانشگاه تهران)، شماره 2، صفحات 89 تا 104، 1388.

27. Chang C. T., Revised multi-choice goal programming, *Applied Mathematical Modelling*, vol. 32, pp. 2587-2595, 2008.

28. Ignizio J. P., *Goal programming and extensions*, Lexington Books, 1976.

29. Badri M. A., A combined AHP–GP model for quality control systems, *International Journal of Production Economics*, vol. 72, pp. 27-40, 2001.

30. ISO, TC, and N. SC. Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 2003.