



## تعیین راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات با در نظر گرفتن ریسک خرابی تجهیزات در پالایشگاه چهارم پارس جنوبی؛ ص ۸۱-۱۰۹

محمد مهدی مهتدی<sup>۱</sup>، مونا شیخ ربیعی<sup>۲</sup>

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱

### چکیده

**زمینه و هدف:** هدف از این پژوهش، ارزیابی عوامل حائز اهمیت در یک راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات و انتخاب راهبرد مطلوب از بین راهبردهای پیشنهادی بر مبنای عوامل مزبور و با در نظر گرفتن سطح ریسک تجهیزات در پالایشگاه چهارم پارس جنوبی است.

**روش:** مرحله اول این پژوهش با استفاده از مدل سازی معادلات ساختاری و مرحله دوم با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است. جامعه آماری پژوهش، کارشناسان و مدیران نت پالایشگاه چهارم پارس جنوبی به تعداد ۷۵ نفر است. جهت انجام پژوهش، در مرحله نخست پرسشنامه‌ای بین گروه نمونه به تعداد ۶۰ نفر توزیع و از طریق معادلات ساختاری، اهمیت عوامل مورد مطالعه ارزیابی شد. بعد از تأیید این عوامل، سطوح مختلف ریسک تجهیزات مشخص شد. در مرحله بعد با توزیع پرسشنامه‌های مقایسات زوجی عوامل و معیارها بین ۱۵ نفر فرد خبره در بین جامعه آماری، وزن هر معیار در هر سطح ریسک و ضریب اهمیت هر راهبرد در هر معیار مشخص و بر مبنای آن راهبرد بهینه نت در سطوح مختلف ریسک تعیین شد.

**یافته‌ها:** اهمیت معیارهای مورد مطالعه در یک راهبرد مطلوب نت تأیید شده و نتیجه گرفته شد که در تجهیزات با ریسک بالای محتوی مواد سمی، نت پیشگیرانه و در تجهیزات با ریسک بالا و محتوی مواد غیر سمی، نت مبتنی بر قابلیت اطمینان و در تجهیزات با ریسک متوسط و کم نت اصلاحی بهترین راهبردهای نت می‌باشند.

**نتیجه گیری:** از آنجاکه بیشتر تجهیزات شرکت مورد مطالعه در ناحیه ریسک و متوسط قرار دارند می‌توان نتیجه گرفت که برای ۸۴ درصد تجهیزات شرکت باید از نت اصلاحی بهره برد. در خصوص مابقی تجهیزات نیز با ملاحظه سمی یا غیر سمی بودن تجهیزات، نت پیشگیرانه و یا نت مبتنی بر قابلیت اطمینان مناسب خواهد بود.

**کلمات کلیدی:** نگهداری و تعمیرات، راهبرد نت، بازرسی بر مبنای ریسک، تحلیل سلسله مراتبی

## مقدمه و بیان مسئله

مدیریت و صیانت دارایی‌های فیزیکی و به‌طور خاص نگهداری و تعمیرات مناسب تجهیزات و ماشین‌آلات، یکی از مسائلی است که به‌رغم اهمیت بسیار بالا در سازمان‌های تجهیزم‌محور، پیامدهای کم‌توجهی به آن لاقلاً در کوتاه‌مدت نسبتاً ناملموس است و به همین دلیل دیرتر از آنچه باید مورد توجه مدیران صنایع قرار می‌گیرد. با این وجود، ضرورت توجه به موضوع نت امروزه تقریباً بر همه مدیران واحدهای صنعتی آشکار شده و آن را جزء برنامه‌های خود قرار داده‌اند. نکته قابل توجه آن است که تجارب مختلفی در حوزه نت شکل گرفته و گزارش شده است که هر یک از آن‌ها از منظری خاص و برخاسته از شرایط صنعتی و زیست‌بومی اجتماعی ویژه‌ای به موضوع نگریسته‌اند. به همین دلیل راهبردهای نگهداری و تعمیرات<sup>۱</sup> مختلفی در منابع دانشگاهی و تجارب مستند شده قابل مشاهده است و یکی از اقدامات اصلی در طرح‌ریزی برنامه نگهداری و تعمیرات هر کارخانه‌ای، انتخاب یک راهبرد مناسب از بین راهبردهای مختلف پیشنهادی است. اهمیت موضوع انتخاب راهبرد نت به اندازه‌ای است که خود به دغدغه‌ای مهم هم از منظر تجربی و هم از منظر نظری تبدیل گردیده است. سؤالات مهمی که این تلاش‌ها به دنبال پاسخ به آن هستند آن است که از میان انواع سیاست‌ها و راهبردهای موجود با اتخاذ کدام الگوی تصمیم‌گیری و بر اساس چه معیارها و ملاحظاتی، راهبرد مطلوب نت انتخاب می‌شود و شرایط محیط صنعت مورد مطالعه چه تأثیری در انتخاب این راهبرد دارا است؟ پاسخ‌های مختلف به این سؤالات، مسئله انتخاب راهبرد نت را به موضوعی جذاب، پرچالش و کاربردی تبدیل کرده است. در همین راستا هدف از پژوهش حاضر نیز ارزیابی معیارهای مؤثر در انتخاب راهبرد مطلوب نت و انتخاب یک راهبرد از میان راهبردهای مختلف پیشنهادی بر اساس معیارهای تأییدشده مزبور در پالایشگاه چهارم پارس جنوبی به‌عنوان شرکت مورد مطالعه این پژوهش است.

پالایشگاه چهارم پارس جنوبی که راهبرد نت آن در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته است در سه مرحله با ظرفیت برداشت و فرآوری ۱۱۰ میلیون مترمکعب طراحی شده و شامل دو بخش دریایی و خشکی است. بخش دریایی این پالایشگاه متشکل از سه سکوی مستقل سرچاهی شامل ده چاه برای هر سکو است که توسط سه خط لوله دریایی به طول ۱۰۵ کیلومتر، گاز ترش و میعانات گازی را به پالایشگاه ساحلی انتقال می‌دهند. تأسیسات بخش خشکی، یکی از پالایشگاه‌های بزرگ گاز منطقه غرب آسیا محسوب شده و شامل چند سری تجهیزات به‌منظور نهم‌زدایی و تنظیم نقطه شبنم، تثبیت میعانات گازی و تولید پروپان و بوتان به همراه تأسیسات

1 Maintenance strategy selection (MSS)

جانبی است. کنترل پالایشگاه نیز از طریق سیستم کنترل پیشرفته صورت می‌گیرد. اهداف اصلی این پالایشگاه شیرین سازی و انتقال گاز از چاه به مقاصد تعریف شده است. در این پالایشگاه مشابه هر واحد پالایشگاهی دیگر، سرمایه‌گذاری بالایی بر روی تجهیزات انجام شده و بروز خرابی ضمن ایجاد اختلال در تحویل گاز (که باید به صورت پیوسته انجام شود) هزینه بالایی نیز ایجاد می‌کند. ضمن آن که تبعات ناشی از مسائل ایمنی و زیست‌محیطی را نیز باید به عنوان ریسک خرابی تجهیزات در آن در نظر گرفت.

بنا بر آنچه گفته شد موضوع نگهداری و تعمیرات مسئله‌ای کلیدی در پالایشگاه مورد مطالعه است و پژوهش پیش رو به دنبال آن است که نخست معیارهایی را که باید در انتخاب راهبرد نت این مجموعه مورد توجه قرار گیرد ارزیابی نموده و سپس با استفاده از یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره، از میان راهبردهای پیشنهادی، راهبرد مناسب برای نت تجهیزات پالایشگاه را شناسایی نماید. موضوعی که باید در این میان به آن توجه کرد درجات مختلف ریسک خرابی هر یک از تجهیزات است که در قالب مباحث بازرسی بر مبنای ریسک<sup>۱</sup> قابل ساختاردهی است. آنچه موضوع مزبور را به انتخاب راهبرد نت در قالب یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره مرتبط می‌کند این واقعیت است که میزان اهمیت هر یک از عوامل و معیارهای کلیدی مورد توجه در انتخاب راهبرد نت در سطوح مختلف ریسک متفاوت خواهد بود پژوهش حاضر نیز با مبنا قرار دادن همین واقعیت به دنبال پاسخگویی به این سؤال اصلی است که در هر یک از سطوح مختلف ریسک، کدام یک از راهبردهای نت مناسب استفاده در شرکت مورد مطالعه است. برای آن که به این سؤال پاسخ مناسبی داده شود نخست معیارهای مؤثر در ارزیابی راهبرد مطلوب نت یا به عبارت دیگر عواملی که یک راهبرد مطلوب نت باید از آن‌ها پشتیبانی کند مورد ارزیابی قرار داده شده‌اند. بدین منظور معیارهایی که از ادبیات نظری استخراج شده ارزیابی شده و بعد از اطمینان از اعتبار آن‌ها در قالب روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> به عنوان یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۳</sup> از میان راهبردهای نت پیشگیرانه<sup>۴</sup>، نت مبتنی بر وضعیت<sup>۵</sup>، نت اصلاحی<sup>۶</sup> و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان<sup>۷</sup> که برای محیط مورد مطالعه پیشنهاد شده‌اند راهبرد مطلوب برای سطوح مختلف

1 Risk Based Inspection (RBI)

2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

3 Multi Criteria Decision Making (MCDM)

4 Preventive Maintenance (PM)

5 Condition Based Maintenance (CBM)

6 Corrective Maintenance (CM)

7 Reliability Centered Maintenance (RCM)



ریسک، تعیین گردیده است.

### مبانی نظری

واحدهای صنعتی و تولیدی در رشد و توسعه هر کشوری نقشی مهم ایفا می‌کنند؛ اما آنچه در این میان حائز اهمیت کلیدی است مواجهه این واحدها با فشارهای رقابتی سنگین است. تلاش برای کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری، جزو مهم‌ترین مسائل و ضرورت‌هایی است که برای غلبه بر چنین فشارهایی مورد توجه مدیران صنعتی قرار گیرد (هونگ، کمرودین و عبدالعزید<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲). یکی از واقعیت‌هایی که در این شرایط در بنگاه‌های صنعتی به چشم می‌خورد حجم بالای سرمایه‌گذاری آن‌ها در ماشین‌آلات و تجهیزات فیزیکی به‌منظور توسعه فناوری و خودکارسازی صنعتی خطوط تولید خود است (بوپلاسکو و براگلیا<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰)؛ بنابراین بهره‌وری تجهیزات و خط تولید یکی از زمینه‌های مهم در کاهش هزینه‌ها است (هونگ، کمرودین و عبدالعزید<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲). موضوع نگهداری و تعمیرات مناسب یکی از مواردی است که توجه به آن علاوه بر تضمین عرضه محصول و حفظ جریان درآمدزایی صنایع، از کارکرد مناسب تجهیزات پشتیبانی کرده و خرابی آن‌ها را به حداقل می‌رساند. باین‌حال هزینه نگهداری و تعمیرات به‌طورمعمول به دلایلی از قبیل بالا بودن هزینه بازیابی تجهیزات، آسیب‌های ثانویه و خطرات ایمنی و بهداشتی حاصل از وقوع خطا بالاست (شیجیتس، ایلانگوماران و کومانان<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸). به همین دلیل بعضی از بنگاه‌ها ترجیح می‌دهند. صرفاً در زمان مواجهه با خرابی نسبت به انجام تعمیرات اضطراری اقدام کنند؛ اما این نوع تفکر به دلایل مهمی مانند کیفیت تولید، ایمنی واحد و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات دیگر قابل‌قبول نیست (بوپلاسکو و براگلیا، ۲۰۰۰).

نگهداری و تعمیرات ناکافی می‌تواند به خطاهای برنامه‌ریزی‌شده بیشتری بیانجامد و هزینه‌های زیادی از قبیل دوباره‌کاری، دستمزد بیشتر، جریمه دیرکرد و نارضایتی مشتریان به شرکت تحمیل کند (موری و استار<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶). واقعیت آن است که موضوعات بهره‌وری و هزینه تولید از نگهداری و تعمیرات جدا نیستند و بدون توجه به نگهداری و تعمیرات مناسب در یک سیستم تولیدی، دستیابی به بهره‌وری ممکن نیست (هونگ و کمرودین<sup>۶</sup>، ۲۰۱۲). به همین دلیل بسیاری از شرکت‌ها به اهمیت موضوع نگهداری و تعمیرات واقف شده و پذیرفته‌اند که سرمایه‌گذاری بر

1 Hong, Kamaruddin & Abdul Azid

2 Bevilacqua & Braglia

3 Shyjith, Ilangkumaran & Kumanan

4 Moore & Starr

5 Hong & kamaruddin

روی این موضوع یک نشانه تجاری سودآور است (شرما، یاداوا و دشموخ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲). در این شرایط سیستم‌های نت، نقشی مهم در دستیابی به اهداف سازمانی، بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و کاهش زمان توقف تجهیزات، کیفیت تولیدات، کاهش ریسک و افزایش بهره‌وری و ایمنی تجهیزات ایفا می‌کنند (پری آذر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

به دلیل اهمیت موضوع نگهداری و تعمیرات، هم از منظر کاربرد عملی و هم از منظر دانشگاهی، توجهات زیادی به این موضوع صورت پذیرفته و راهبردهای مختلفی برای انجام مطلوب نت در شرایط مختلف توسعه داده شده است. راهبرد نگهداری و تعمیرات برنامه آگاهانه‌ای از فعالیت‌ها به منظور راهنمایی مدیریت نت در برنامه‌ریزی‌های مربوط به این موضوع است (گوپتا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). راهبردهای متفاوتی برای نگهداری و تعمیرات بیان شده است که بسته به صنعت مربوط، هر کدام از مزایا و معایبی برخوردارند. از این میان می‌توان به راهبردهایی از قبیل نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان، نگهداری و تعمیرات اصلاحی، نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه<sup>۴</sup>، نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر<sup>۵</sup> و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر زمان<sup>۶</sup> اشاره کرد (حاج شیرمحمدی، ۱۳۹۰: ۷۸).

انتخاب راهبرد نت متناسب با شرایط و اوضاع و احوال هر کارخانه تولیدی اهمیت بسیاری داشته و از پیچیدگی‌های بالایی نیز برخوردار است؛ زیرا ارزیابی و کمی کردن خروجی سیستم نگهداری و تعمیرات کار مشکلی است (میچفسکی و ونگ<sup>۷</sup>، ۲۰۰۴). انتخاب یک راهبرد مناسب در زمینه نت، یکی از ضرورت‌های مهم برای تحقق مطلوب نت در سازمان است. چراکه یک تصمیم اشتباه نه تنها منجر به افزایش نرخ وقوع خطا می‌شود، بلکه بر بهره‌وری نیز اثر دارد (هونگ و کمرودین، ۲۰۱۲). این راهبردها تأثیر زیادی بر کیفیت تولیدات و هزینه‌های مربوط به قابلیت اطمینان سیستم‌های تولیدی دارند (موسوی و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۹). مدیران باید بهترین راهبردهای نگهداری و تعمیرات را برای هر تجهیز و یا سیستم از بین گزینه‌های در دسترس انتخاب کنند

1 Sharma, Yadava & Deshmukh

2 Pariazar

3 Gupta

4 Predictive Maintenance (PM)

5 Total Productive Maintenance (TPM)

6 Time Based Maintenance (TBM)

7 Mechefske & Wang

8 Mousavi



(بویلاسکوا و براگلیا، ۲۰۰۰).

انتخاب راهبرد نگهداری و تعمیرات، به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است و معیارها و رویکردهای تصمیم‌گیری متنوعی برای آن پیشنهاد شده است. موضوع انتخاب راهبرد مطلوب نت به‌نوبه خود با چالش‌های متعددی مواجه است. چراکه فرآیند تصمیم‌گیری و قضاوت در مورد انتخاب راهبرد معمولاً ناپیوسته، پیچیده و غیر ساختاریافته است (حاج شیرمحمدی و ودلی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴). در این فرآیند، عوامل متعددی باید مورد توجه قرار گیرند که بعضی از آن‌ها غیرملموس هستند (بویلاسکوا و براگلیا، ۲۰۰۰). معیارهای متعددی در این فرآیند باید مدنظر قرار گیرند. در حقیقت موضوع انتخاب راهبرد مطلوب نت یک موضوع تصمیم‌گیری چند معیاره است که مدیریت نگهداری و تعمیرات باید به آن توجه کند (قندهاری و آکارت<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲).

به‌صورت خاص با توجه به اهمیت موضوع نت در پالایشگاه‌ها، با توجه به اینکه خط تولید این صنعت پیوسته است از کارافتادن یک واحد موجب قطع کل تولید می‌گردد؛ بنابراین داشتن یک برنامه مناسب نگهداری و تعمیرات می‌تواند کمک بسیار زیادی در جهت عدم کاهش تولید و افزایش بهره‌وری داشته باشد. به دلیل همین اهمیت راهبردهای مختلفی برای انجام تعمیرات و سرویس‌های نگهداری در پالایشگاه‌ها پیاده‌سازی شده و یا توسط محققان پیشنهاد شده است (قندهاری و آکارت<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲).

یکی از موضوعاتی که در موضوع نت و انتخاب راهبرد مناسب در این خصوص باید مورد توجه قرار گیرد تنوع در ریسک خرابی انواع تجهیزات موجود در آن‌ها است. به همین دلیل یک تمایل جدید به استفاده از ریسک به‌عنوان یک معیار برای برنامه‌ریزی اقدامات نگهداری و تعمیرات وجود دارد (قندهاری و آکارت<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲). یکی از رویکردهای مرتبط با این موضوع، بازرسی بر مبنای ریسک است که می‌توان آن را یک ابزار مدیریتی برای تشخیص و اولویت‌بندی ریسک‌های مربوط به تجهیزات تحت‌فشار، دمابالا و بحرانی و ارائه برنامه بازرسی بر اساس ریسک‌های محاسبه‌شده به‌حساب آورد. در این روش میزان احتمال خرابی تجهیزات و شدت پیامدهای ناشی از این خرابی‌ها به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود و بر مبنای این دو عامل، سطح ریسک خرابی تجهیز به دست می‌آید. در گام بعد نیز بر اساس اندازه ریسک برآورد شده هر یک از تجهیزات، برنامه بازرسی جداگانه‌ای برای آن‌ها تعریف می‌شود این موضوع طی سال‌های اخیر در نگهداری و تعمیرات به‌خوبی مورد توجه قرار گرفته و با توجه به تأثیرات مثبت آن، به شکلی فراگیر در حال

1 Hajshirmohammadi & Wedley

2 Gandhare & akarte

اجرا و پیگیری است (ژائویانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱).

### پیشینه پژوهش

ایرج پور و سلیمی (۱۳۸۵) مدلی به منظور تعیین سیاست نگهداری اثربخش با رویکرد پویایی سیستم ارائه دادند. روش به کار گرفته شده در این پژوهش مبتنی بر پیش‌بینی خرابی‌های آینده با استفاده از متوسط فرصت‌های ازدست‌رفته تجمعی بود و مدل این پژوهش، چارچوب ارزیابی و تصمیم‌گیری در سطوح سه‌گانه مدیریت عملیاتی، میانی و عالی به منظور انتخاب سیاست اثربخش نگهداری را مشخص می‌سازد.

کریمی و فقیه (۱۳۹۰) با تأکید بر اهمیت بازرسی و نگهداری در پیشگیری از خرابی، هزینه-سازي تواتر بازرسی نگهداری ماشین‌آلات را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله از شبکه عصبی به منظور بهینه‌سازی شرایط نت با هدف حداقل کردن زمان توقف ماشین و حداکثر کردن قابلیت اطمینان، استفاده شد.

مردانی (۱۳۹۰) پژوهشی در خصوص انتخاب راهبرد نگهداری و تعمیرات مناسب در کارخانه سیمان سپاهان انجام داد. در این تحقیق از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس مرحله‌ی<sup>۲</sup> برای انتخاب راهبرد برتر استفاده شد. همچنین ماشین‌آلات به سه گروه ماشین‌های حیاتی، مهم و عادی تفکیک شده و برای هر گروه، به صورت جداگانه راهبرد بهینه مشخص شد.

بابایی و مکتوبیان (۱۳۹۱) یک مدل مفهومی جهت عارضه‌یابی و رتبه‌بندی مشکلات پیاده-سازي سیستم جامع مکانیزه مدیریت نگهداری و تعمیرات<sup>۳</sup> با محوریت تحقق راهبردهای نت بر مبنای استاندارد بین‌المللی IEC06366-3-11 ارائه دادند. این پژوهش از طریق مصاحبه با خبرگان مدیریت نگهداری و تعمیرات و مدیریت فناوری اطلاعات در صنایع با زمینه‌های کاری مختلف از قبیل نفت، گاز، پتروشیمی، فولاد، صنایع نظامی، صنایع ریلی، سیمان و کاشی‌سازی انجام شد و یافته‌های آن نشان می‌دهد، عدم هم‌خوانی اهداف نت با اهداف و راهبردهای بلندمدت و حمایت مدیران و انتخاب نادرست تأمین‌کننده نرم‌افزار، بالاترین تأثیر را در عدم موفقیت پیاده‌سازی سیستم جامع مکانیزه مدیریت نگهداری و تعمیرات دارا می‌باشند.

حسینی (۱۳۹۲) رتبه‌بندی واحدهای بخش نگهداری و تعمیرات شرکت پتروشیمی اراک را از

1 Zhoayang

2 fuzzy topsis

3 Computerized maintenance management system (CMMS)

منظر کارایی به کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد بررسی قرار دادند. باقری (۱۳۹۴) یک مدل تعالی نگهداری و تعمیرات برای سازمان‌های ایرانی ارائه داد. در این پژوهش سعی شده با الگوبرداری از مدل‌های مختلف تعالی نگهداری و تعمیرات معیارهای تعالی نگهداری و تعمیرات متناسب با فرهنگ و ساختار سازمان‌های ایرانی تدوین شود و سپس با الگوبرداری از مدل تعالی سازمانی ایران و همچنین منطق ارزیابی رادار، معیارهای تعالی نگهداری و تعمیرات تدوین و در قالب دو بخش توانمندسازها و نتایج بخش‌بندی شوند. نهایتاً به‌منظور بررسی روایی مدل، سه شرکت ایرانی بر اساس این مدل مورد ارزیابی قرار گرفتند.

پارسایی (۱۳۹۴) پژوهشی به‌منظور انتخاب بهترین راهبرد نگهداری و تعمیرات در شرکت میلاد قم انجام داد. در این تحقیق با مرور اسناد و انجام مصاحبه خبرگی، معیارهای مؤثر بر انتخاب راهبرد مطلوب نت مشخص شد. سپس روابط درونی این معیارها با استفاده از تکنیک دیمتل تبیین و وزن آن‌ها با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای مشخص شد. در نهایت از طریق روش کپراس<sup>۱</sup>، راهبردها رتبه‌بندی و راهبرد نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه برای شرکت مورد مطالعه پیشنهاد شد.

بهنامیان فر و همکاران (۱۳۹۵) یک مدل ریاضی برای تعیین و ارزیابی قابلیت اطمینان انسان در نگهداری و تعمیرات هواپیما ارائه دادند. در این مقاله انواع خطای انسانی و علت‌های بروز آن بررسی و شناسایی شده است و سپس یک مدل ریاضی به‌منظور تعیین و ارزیابی قابلیت اطمینان انسان در نگهداری و تعمیرات قطعات هواپیما در محیط‌های مختلف کاری عادی و پرتنش ارائه شده است. مدل ریاضی پیشنهادی بر اساس معادلات به‌دست‌آمده از روش مارکوف جهت تعیین قابلیت اطمینان و نیز عدم قابلیت اطمینان انسان بر اساس نرخ خطای انسانی به‌دست‌آمده در محیط‌های مختلف کاری که در آن‌ها خطا هم به‌صورت ایمن و هم با حادثه رخ می‌دهد، ارائه شده است.

میچفسکی و ونگ (۲۰۰۴) ضرورت توجه به معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری طی فرآیند انتخاب راهبرد نت را مورد تأکید قرار دادند. آن‌ها با اشاره به این نکته که چالش اساسی، نامشهود بودن بسیاری از معیارهای این تصمیم‌گیری است لزوم یکپارچگی معیارهای فوق با اهداف کلی سازمان را مورد بحث قرار دادند. این محققان منطق مرحله‌ی را برای تبدیل معیارهای مزبور از متغیرهای زبانی به مقادیر ریاضی مورد استفاده قرار دادند.



لریک و کوالیر<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) با اشاره به اهمیت موضوع نگهداری و تعمیرات به عنوان یک فرصت تجاری، مسئله انتخاب راهبرد نگهداری را با استفاده از منطق مرحله‌ای و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها یک نمونه واقعی انتخاب راهبرد نت را در قالب یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره به صورت جداگانه با هر یک از دو مدل فوق مورد بررسی قرار داده و نتایج آن را با یکدیگر مقایسه نمودند.

ژائویانگ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل شبکه‌ای، بر اساس چهار معیار هزینه، انجام‌پذیری، قابلیت دسترسی و ایمنی، روش‌های تعمیرات و نگهداری را در یک واحد صنعتی اولویت‌بندی کرده و نتیجه‌گیری کردند که مناسب‌ترین روش‌های نت به ترتیب نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و نگهداری و تعمیرات اصلاحی است.

بوخس، سعی و استیپانویک<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) یک رویکرد یادگیری ماشینی برای پیش‌بینی نگهداری و تعمیرات دارایی‌های راه‌آهن ارائه دادند. در این مقاله با استفاده از داده‌های موجود در سامانه‌های نرم‌افزاری شرکت مورد مطالعه، ماشین‌آلات موجود به گونه‌های دسته‌بندی شدند که به مدیران مربوطه در تصمیم‌گیری‌های مربوط به نگهداری و تعمیرات در آینده کمک کنند.

رزیک، اچور و رزگ<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) استفاده از روش‌های داده‌کاوی برای پیش‌بینی متوالی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را مورد بررسی قرار دادند. هدف از این پژوهش پیش‌بینی وقوع فعالیت نگهداری و تعمیرات بعدی با استفاده از اطلاعات مربوط به قطعات یدکی مصرف‌شده است.

برجعلیلو و قمبری<sup>۴</sup> (۲۰۱۸) مسئله انتخاب راهبرد بهینه تعمیر و نگهداری را بر اساس فرآیند شبکه تحلیلی مرحله‌ای<sup>۵</sup> در یک نیروگاه پنج مگاواتی مورد بررسی قرار دادند. این مقاله با رویکرد یکپارچگی عوامل مختلف از قبیل ایمنی، کارکنان، اهداف سازمانی، سرپرستی و نیازمندی‌های فناورانه به عنوان معیارهای بررسی مسئله، انتخاب کرده و بر اساس آن‌ها راهبردهای نت مبتنی بر زمان، نت اصلاحی، نت پیشگیرانه، نت مبتنی بر وضعیت و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان با

1 Ierace & Cavalier

2 Bukhsh, Saaed & Stipanovic

3 Rezig, Achour & Rezg

4 Borjalilu & Ghambari

5 Fuzzy Analytic Network Process (FANP)



یکدیگر مقایسه شده و نتیجه گرفته شد بهترین راهبرد در نیروگاه مورد مطالعه، نت پیشگیرانه است.

مارتین<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) از روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی مجموع ثابت<sup>۲</sup> برای انتخاب راهبرد نت با عملکرد بهینه استفاده کردند. این محققان عواملی از قبیل به حداکثر رساندن بهره‌وری و افزایش خروجی‌های سیستم نت برحسب ورودی آن، به حداقل رساندن هزینه و بهبود رقابت‌پذیری را مورد توجه قرار داده و مدل خود را برای انتخاب راهبرد نت یک شرکت ساختمانی فعال در حوزه سازه‌های فولادی باهدف بهبود کارایی کلی آن شرکت مورد استفاده قرار دادند.

مصطفی و فهمی<sup>۳</sup> (۲۰۲۰) نحوه انتخاب راهبرد نگهداری و تعمیرات را با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی مورد بررسی قرار دادند. صنعت مورد مطالعه آن‌ها نفت و گاز و معیارهای مورد توجه مشتمل بر کاهش هزینه، افزایش در دسترس بودن، کاهش خرابی برنامه‌ریزی نشده و برآورده ساختن الزامات ایمنی و محیطی بود. راهبرد مورد استفاده کارخانه مورد مطالعه در آن زمان، نت پیشگیرانه بود و پژوهش مزبور نشان داد که لازم است این واحد تغییراتی اساسی در راهبرد خود ایجاد نماید.

### روش شناسی پژوهش

این پژوهش در دو مرحله صورت پذیرفت. در مرحله نخست به ارزیابی عوامل حائز اهمیت که باید یک راهبرد نت مطلوب آن‌ها را مورد پشتیبانی قرار دهد پرداخته شده و در مرحله دوم بر مبنای این عوامل، راهبرد نت حائز اولویت در شرکت مورد مطالعه تعیین گردید.

با مبنا قرار دادن عوامل مندرج در مدل ژائویانگ<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) مبنی بر حائز اهمیت بودن معیارهای هزینه، ایمنی، قابلیت اجرا، ابزار، تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز در راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات، فرضیات پژوهش به صورت زیر است.

۱- معیار هزینه در راهبرد مطلوب نت حائز اهمیت است.

۲- معیار ایمنی در راهبرد مطلوب نت حائز اهمیت است.

۳- معیار قابلیت اجرا در راهبرد مطلوب نت حائز اهمیت است.

1 Martin

2 The Analytic Hierarchy Constant Sum Method (AHCSM)

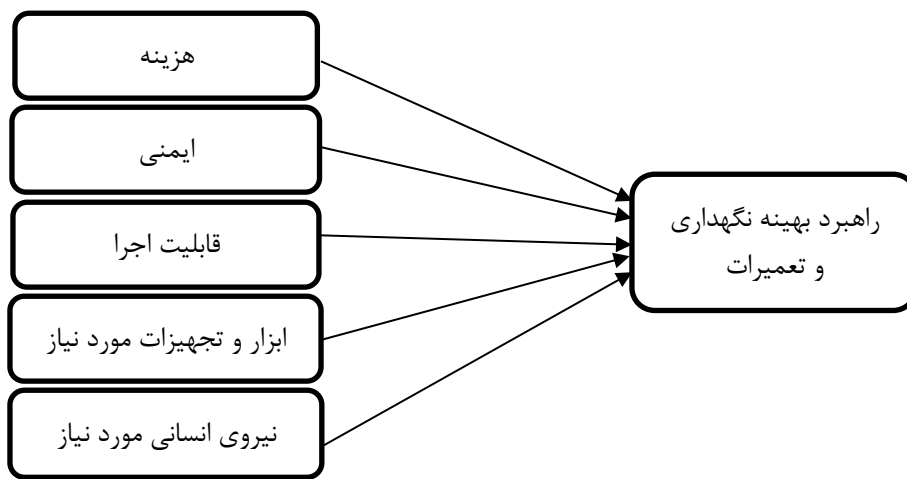
3 Mostafa & Fahmy

4 Zhaoyang

۴- معیار ابزار و تجهیزات موردنیاز در راهبرد مطلوب نت حائز اهمیت است.

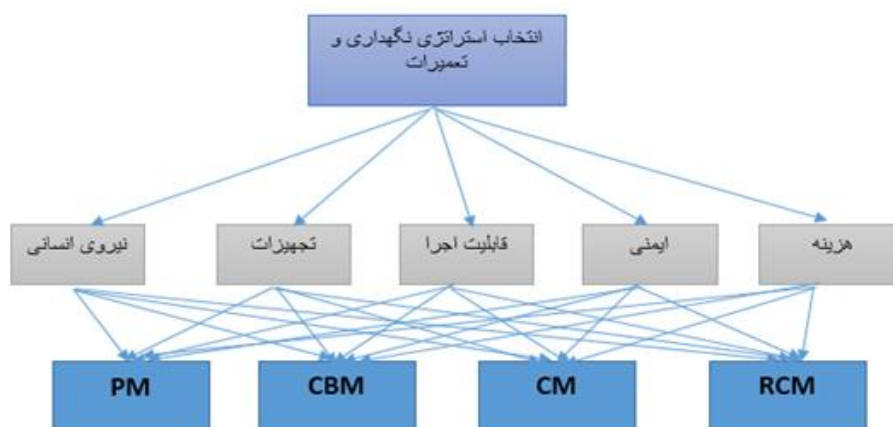
۵- معیار نیروی انسانی موردنیاز از لحاظ کیفی و کمی در راهبرد مطلوب نت حائز اهمیت است.

مدل مفهومی تحقیق در مرحله اول، در شکل شماره یک ارائه شده است.



شکل ۱ مدل مفهومی تحقیق

مرحله دوم پژوهش، به انتخاب راهبرد بهینه شرکت مورد مطالعه با استفاده از روش ای اچ پی<sup>۱</sup> اختصاص دارد که در این مرحله بر مبنای عوامل بررسی شده مرحله قبلی، راهبردهای پیشنهادی شامل نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت (CBM)، نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM) و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) با یکدیگر مقایسه می‌شوند؛ بنابراین مدل تصمیم‌گیری این پژوهش در قالب شکل شماره دو ارائه شده است.



شکل ۲) مدل تصمیم‌گیری پژوهش

تحقیق حاضر از نوع تحقیق کاربردی و از نظر نوع داده‌ها از نوع تحقیقات کمی است. در این پژوهش ابتدا عوامل حائز اهمیت در یک راهبرد مطلوب نت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و سپس با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره، راهبردهای مختلف نت که کاندیدای استفاده در محل پالایشگاه مورد مطالعه بوده‌اند با یکدیگر مقایسه شده و راهبرد بهینه انتخاب شد. هدف از پژوهش حاضر، تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب یکی از راهبردهای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت (CBM)، نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM)، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) است. جامعه آماری، کلیه کارشناسان نت، بازرسین و مدیران ارشد پالایشگاه چهارم پارس جنوبی به تعداد ۷۵ نفر بود. در این تحقیق تمام افراد جامعه به‌عنوان نمونه در نظر گرفته شدند و به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل ۶۰ نفر از کارشناسان و بازرسین نت به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر ارزیابی راهبرد

بهینه نت و گروه دوم شامل ۱۵ نفر از خبرگان این حرفه به منظور رتبه‌بندی راهبردهای نت بودند.

بعد از مطالعه ادبیات تحقیق و بر پایه شاخص‌ها یا سؤالات اصلی تحقیق، سؤالات پرسشنامه طراحی شد. این پرسشنامه مدل بومی شده پرسشنامه استاندارد تائویانگ و همکاران (۲۰۱۱) و مشتمل بر بیست‌ویک سؤال بسته است که ساختار آن در جدول شماره یک مشخص شده است. در این پرسشنامه برای اندازه‌گیری از طیف لیکرت پنج عاملی استفاده شده و روایی آن مجدداً توسط خبرگان مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱) ترکیب سؤالات پرسشنامه

متغیر	شماره سؤالات	جمع سؤالات
هزینه	۱-۵	۵
ایمنی	۶-۹	۴
قابلیت اجرا	۱۰-۱۳	۴
ابزار و تجهیزات موردنیاز	۱۴-۱۷	۴
نیروی انسانی موردنیاز	۱۷-۲۱	۴

با کمک شاخص میانگین واریانس استخراج شده مشخص شد که تمام سازه‌های مورد مطالعه دارای میانگین واریانس استخراج شده بالاتر از ۰.۵ هستند. شاخص‌های پایایی ترکیبی (CR) و آلفای کرونباخ جهت بررسی پایایی پرسشنامه استفاده می‌شوند و لازمه تأیید پایایی بالاتر بودن این شاخص‌ها از مقدار ۰.۷ است. تمامی این ضرایب بالاتر از ۰.۷ می‌باشند و نشان از پایا بودن ابزار اندازه‌گیری می‌باشند. نتایج مربوطه در جدول شماره دو ارائه شده است.

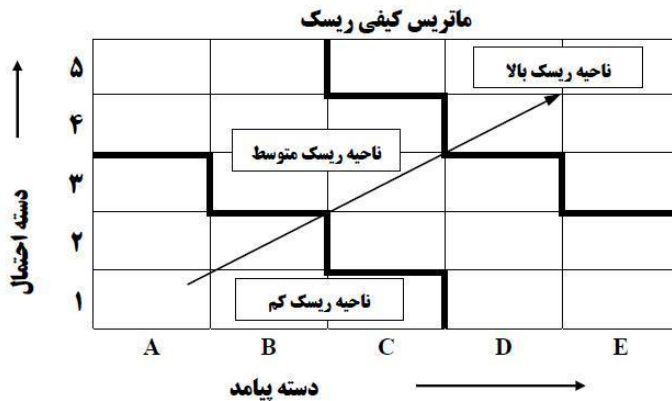
جدول ۲) ضرایب پایایی

مؤلفه	AVE	CR	آلفای کرونباخ
ابزار و تجهیزات	۰,۶۷۹	۰,۸۹۴	۰,۸۴۱
ایمنی	۰,۷۰۵	۰,۹۰۵	۰,۸۵۹
نیروی انسانی	۰,۶۸۱	۰,۸۹۴	۰,۸۳۹
قابلیت اجرا	۰,۶۳۰	۰,۸۷۲	۰,۸۰۳
هزینه	۰,۶۲۰	۰,۸۸۹	۰,۸۴۴

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا نرمال بوده آن‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-

اسمیرنف مورد بررسی قرار گرفت. سپس روایی سازه هر پنج متغیر و شاخص‌های منتج از آن‌ها با استفاده از آزمون تحلیل عاملی تأییدی مورد بررسی قرار داده شده و با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری به بررسی فرضیه‌های تحقیق پرداخته شد. روشی که در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آن استفاده شده روش مبتنی بر واریانس است و معادلات با روش حداقل مربعات جزئی<sup>۱</sup> شدند. برای اجرای این روش از نرم‌افزار اسمارت پی ال اس<sup>۲</sup> استفاده گردید. در نهایت با استفاده از آزمون تی تک نمونه‌ای به بررسی فرضیات تحقیق پرداخته شد.

گام بعدی پژوهش به مقایسه راهبردهای نگهداری و تعمیرات به منظور انتخاب راهبرد مناسب در سطوح مختلف ریسک اختصاص داشت، بدین منظور ابتدا ریسک مربوط به هر تجهیز به صورت کیفی محاسبه شده و سطوح مختلف ریسک تجهیزات مشخص شدند. در این تحقیق به منظور برآورد ریسک خرابی تجهیزات از روش بازرسی بر مبنای ریسک استفاده گردید. در روش مزبور میزان احتمال و شدت پیامد از کارافتادگی هر یک از تجهیزات به صورت جداگانه محاسبه شده و با در نظر گرفتن هم‌زمان این دو عامل میزان ریسک تجهیز مشخص گردید. محاسبات مزبور از طریق نرم‌افزار آر بی آی<sup>۳</sup> صورت می‌پذیرد که در این پژوهش از نتایج آن در شرکت مورد مطالعه استفاده شده است. بر اساس این نتایج، پس از محاسبه پیامد و احتمال خرابی تجهیز، ریسک خرابی آن تعیین می‌شود. نحوه تعیین ریسک خرابی بر اساس احتمال خرابی و شدت پیامدها در شکل سه مشخص شده است.



شکل ۳) ماتریس کیفی ریسک RBI

1 Partial Least Squares (PLS)

2 Smart PLS

3 RBI

با تشکیل این ماتریس، ریسک خرابی هر یک از تجهیزات پالایشگاه مشخص شد. در ادامه از روش تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب راهبرد مطلوب استفاده شده است. بدین منظور با تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اعتبارسنجی شده در گام قبلی پژوهش و محاسبه میانگین و نرمال سازی داده‌ها، وزن معیارها تعیین شد. از آنجاکه هر یک از این معیارها در سطوح مختلف ریسک از اهمیت متفاوتی برخوردار می‌باشند این محاسبات برای هر یک از نواحی مشخص شده به صورت جداگانه انجام شد. برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از مقیاس نه درجه ساعتی استفاده شد. در ادامه ماتریس مقایسه زوجی راهبردهایی که نامزد انتخاب بودند نیز با استفاده از مقایسه نه درجه ساعتی تشکیل شده و بر اساس مقادیر مندرج در پرسشنامه‌هایی که به همین منظور توزیع شده بود امتیاز هر یک از آلترناتیوها به صورت جداگانه برای هر معیار محاسبه شد. با استفاده از مقادیر مزبور مطلوبیت هر راهبرد در هر یک از سطوح مختلف نواحی ریسک محاسبه و نهایتاً راهبرد مناسب هر یک از نواحی ریسک تعیین شد. این محاسبات با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت‌چویس<sup>۱</sup> انجام شد.

#### یافته‌ها

در جدول شماره سه، توزیع درصد فراوانی ویژگی‌های جمعیت شناختی عمومی پاسخ-دهندگان (سن، میزان تحصیلات و جنسیت) و در جدول شماره چهار، توزیع درصد فراوانی جمعیت شناختی عوامل شغلی (سابقه کار، سابقه در مسئولیت فعلی، محل خدمت و عنوان شغلی) درج شده است.

جدول ۳) توزیع درصد فراوانی سن، میزان تحصیلات و جنسیت پاسخ‌دهندگان

جنسیت		میزان تحصیلات		سن	
فراوانی	طبقه	فراوانی	طبقه	فراوانی	طبقه
۸۱,۳	مرد	۸	دکتری	۱,۳	کمتر از ۲۰
۱۸,۷	زن	۳۷,۳	کارشناسی ارشد	۶,۶	۲۰-۳۰
		۴۸	کارشناسی	۳۶	۳۱-۴۰
		۲,۶	کاردانی	۴۵,۳	۴۱-۵۰
		۴	دیپلم	۸	۵۱-۶۰
				۲,۶	بیش از ۶۰

جدول ۴) توزیع درصد فراوانی شغل، سابقه کار، سابقه در مسئولیت فعلی و محل خدمت پاسخ‌دهندگان

عنوان شغلی		سابقه کار		محل خدمت		سابقه در مسئولیت فعلی	
طبقه	فراوانی	طبقه	فراوانی	طبقه	فراوانی	طبقه	فراوانی
کارشناس	۴۶,۶	کمتر از ۵ سال	۱۰,۶	تهران	۱۳,۳	کمتر از ۱ سال	۶,۶
بازرس	۲۴	۵-۱۰	۳۷,۳	ماهشهر	۱۶	۱-۳	۱۴,۶
مدیر	۹,۳	۱۱-۲۰	۴۱,۳	عسلویه	۶۴	۴ سال به بالا	۷۸,۶
مدیر ارشد	۶,۷	۲۱-۳۰	۸	سایر موارد	۶,۶		
سایر موارد	۱۳,۴	بیش از ۳۰ سال	۲,۶				

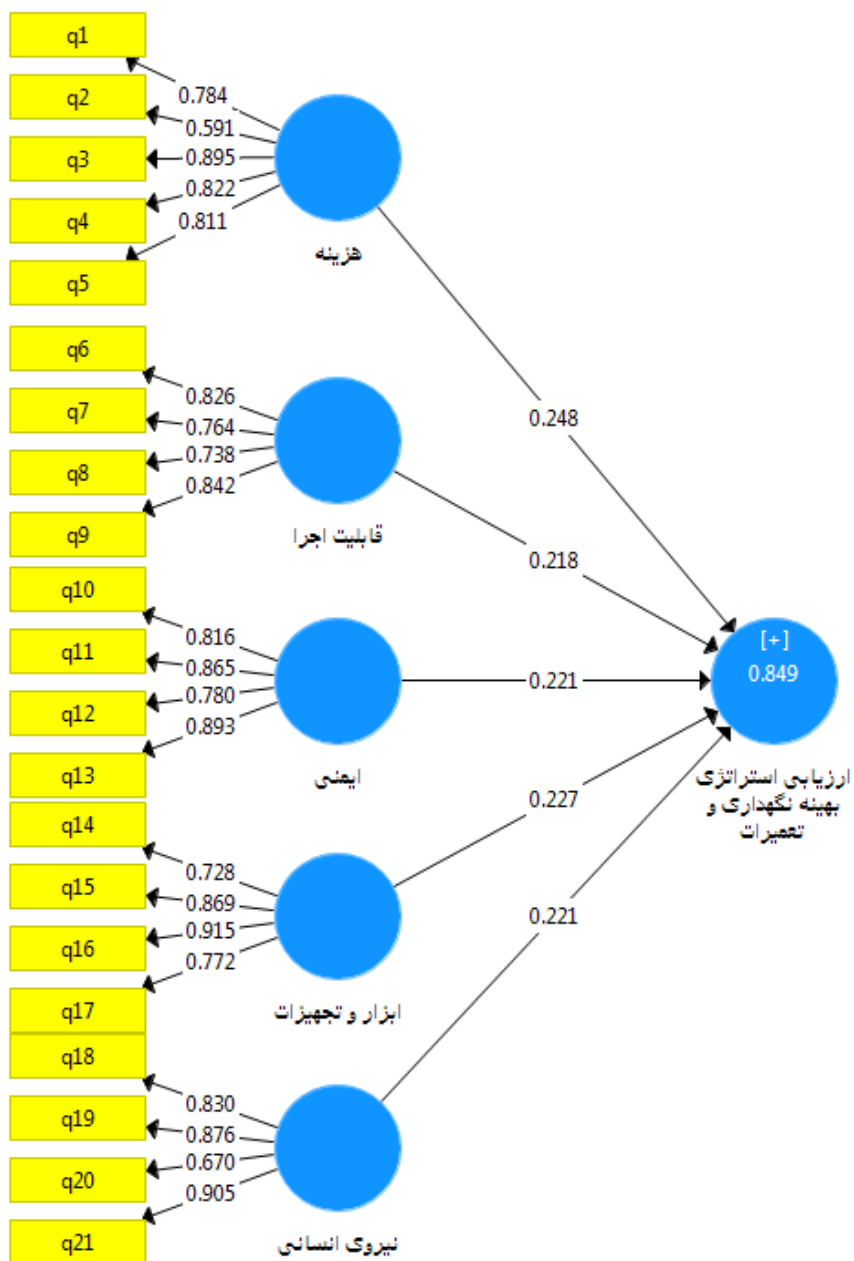
در جدول شماره پنج، نتایج مربوط به آزمون کولموگروف-اسمیرنوف به‌منظور سنجش نرمال بودن داده‌ها گزارش شده است. با توجه به اینکه سطح معناداری در این آزمون برای کلیه متغیرهای تحقیق بزرگ‌تر از ۰,۰۵ است. بر این اساس نتیجه گرفته می‌شود که داده‌های جمع‌آوری شده برای متغیرهای تحقیق، نرمال است.

جدول ۵) آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای متغیرهای تحقیق

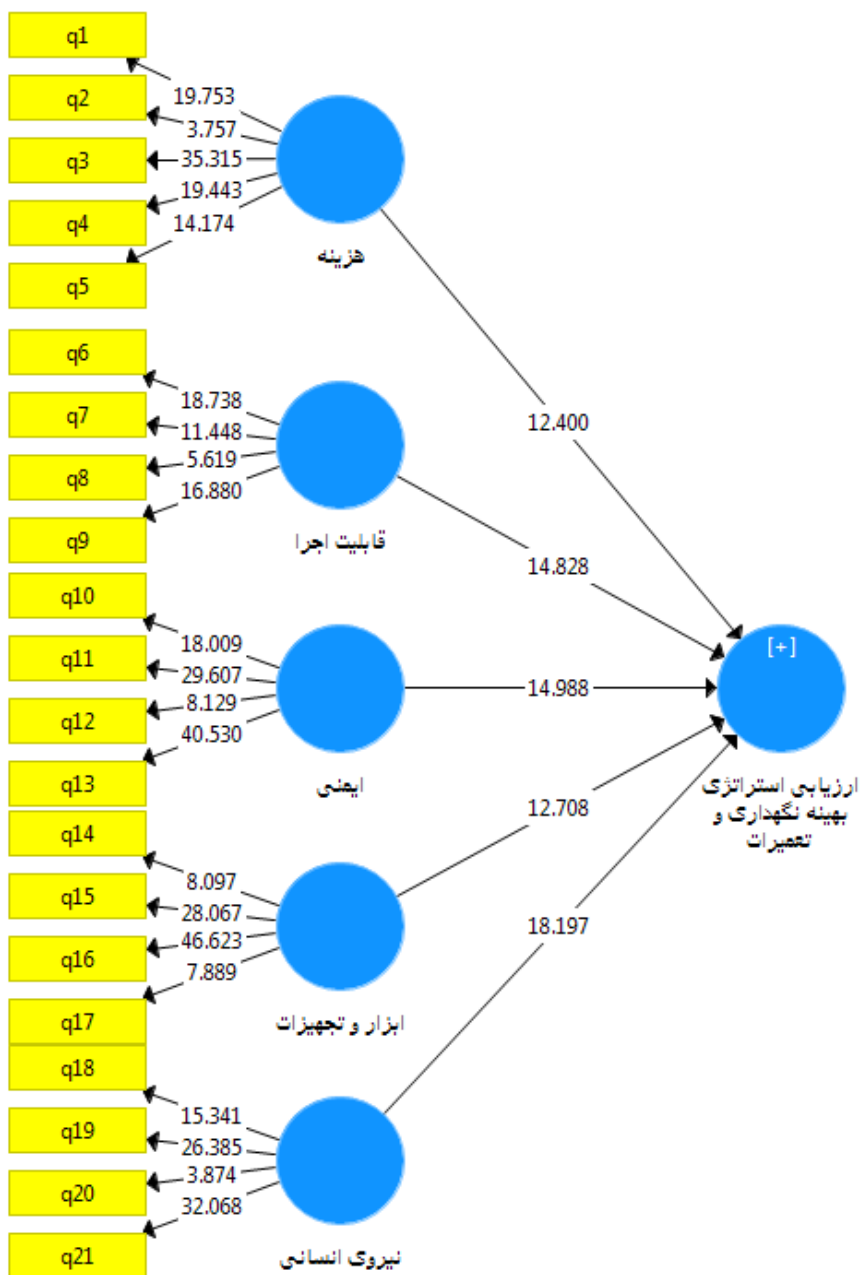
متغیر	Sig (سطح معناداری)
هزینه	۰,۱۲۰
قابلیت اجرا	۰,۲۵۵
ایمنی	۰,۵۹۸
ابزار و تجهیزات	۰,۲۳۲
نیروی انسانی	۰,۱۲۲

در شکل چهار، مدل معادلات ساختاری در حالت تخمین ضرایب مسیر و در شکل شماره پنج، مدل معادلات ساختاری در حالت معناداری ضرایب (t-value) ارائه شده است.





شکل ۴) مدل معادلات ساختاری در حالت تخمین ضرایب مسیر



شکل ۵) مدل معادلات ساختاری در حالت معناداری ضرایب (t-value)

نتایج بارهای عاملی سؤالات پرسشنامه در جدول شماره شش خلاصه شده‌اند. تمامی مقادیر بارهای عاملی از ۰,۴ بیشتر شده‌اند و همچنین مقادیر محاسبه‌شده تی برای هر یک از بارهای عاملی هر نشانگر با سازه یا متغیر پنهان خود بالای ۱,۹۶ است (سطح معناداری کمتر از ۰,۰۵ شده است). لذا می‌توان همسویی سؤالات پرسشنامه برای اندازه‌گیری مفاهیم را در این مرحله معتبر نشان داد.

جدول ۶) نتایج بارهای عاملی سؤالات پرسشنامه

اعتبار	آماره تی	بار عاملی	متغیر آشکار	متغیر پنهان
تائید	۱۹,۷۵۳	۰,۷۸۴	Q1	هزینه
تائید	۳,۷۵۷	۰,۵۹۱	Q2	
تائید	۳۵,۳۱۵	۰,۸۹۵	Q3	
تائید	۱۹,۴۴۳	۰,۸۲۲	Q4	
تائید	۱۴,۱۷۴	۰,۸۱۱	Q5	
تائید	۱۸,۷۳۸	۰,۸۲۶	Q6	قابلیت اجرا
تائید	۱۱,۴۸	۰,۷۶۴	Q7	
تائید	۵,۶۱۹	۰,۷۳۸	Q8	
تائید	۱۶,۸۸۰	۰,۸۴۲	Q9	
تائید	۱۸,۰۰۹	۰,۸۱۶	Q10	ایمنی
تائید	۲۹,۶۰۷	۰,۸۶۵	Q11	
تائید	۸,۱۲۹	۰,۷۸۰	Q12	
تائید	۴۰,۵۳۰	۰,۸۹۳	Q13	
تائید	۸,۰۹۷	۰,۷۲۸	Q14	ابزار و تجهیزات
تائید	۲۸,۰۶۷	۰,۸۶۹	Q15	
تائید	۴۶,۶۲۳	۰,۹۱۵	Q16	
تائید	۷,۸۸۹	۰,۷۷۲	Q17	
تائید	۱۵,۳۴۱	۰,۸۳۰	Q18	نیروی انسانی
تائید	۲۶,۳۸۵	۰,۸۷۶	Q19	
تائید	۳,۸۷۴	۰,۶۷۰	Q20	
تائید	۳۲,۰۶۸	۰,۹۰۵	Q21	

شایان ذکر است مقدار معیار R2 در این مدل برابر با ۰,۸۴۹ به دست آمده است. این معیار برای بررسی برازش مدل ساختاری در یک پژوهش و مربوط به متغیرهای پنهان درون‌زای مدل است. از آنجا که مقدار محاسبه شده بیش از ۰,۶۷ است می‌توان نتیجه گرفت که شاخص محاسبه شده مقداری قوی محسوب می‌شود. همچنین مقدار معیار افزونگی<sup>۱</sup> نیز برابر ۰,۴۳۲ است که مقداری مطلوب محسوب می‌شود. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، نشان از برازش مناسب‌تر بخش ساختاری مدل دارد. نیکویی برازش (GOF) نیز برابر با ۰,۷۳۵ است. از آنجا که این شاخص بیش از مقدار ۰,۳۶ است مقداری قوی محسوب می‌شود.

با توجه به نرمال بودن داده‌ها برای تحلیل فرضیات آماری، از آزمون پارامتری تی تک نمونه‌ای<sup>۲</sup> استفاده شده است. مبنای مقایسه عدد سه در نظر گرفته شده و بازه اطمینان نیز بر مبنای اختلاف نودوپنج درصدی محاسبه شده است. فرضیه آماری مربوط به هر سطر تأثیر معیار مندرج بر ارزیابی راهبرد بهینه نت است. نتایج مربوط به آزمون فرضیات آماری در جدول شماره هفت درج شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود کلیه فرضیات آماری تأیید شده و بنابراین می‌توان اهمیت کلیه این عوامل را در یک راهبرد مطلوب نت در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تأیید قرار داد.

جدول ۷) نتایج آزمون تی تک نمونه‌ای

معیار فرضیه آماری	آماره t	درجه آزادی	عدد معناداری (sig)	تفاوت میانگین	
				پایین	بالا
هزینه	۸,۹۸۶	۶۱	۰,۰۰۰	۰,۷۴۸۳۹	۰,۵۸۱۸
ایمنی	۴,۱۸۱	۶۱	۰,۰۰۰	۰,۴۰۳۲۳	۰,۲۱۰۴
قابلیت اجرا	۹,۴۲۷	۶۱	۰,۰۰۰	۰,۸۰۶۴۵	۰,۶۳۵۴
ابزار و تجهیزات	۶,۴۵۸	۶۱	۰,۰۰۰	۰,۵۹۶۷۷	۰,۴۱۲۰
نیروی انسانی	۸,۶۳۹	۶۱	۰,۰۰۰	۰,۷۶۲۱۰	۰,۵۸۵۷

قدم بعدی در تکمیل مدل، محاسبه اوزان مربوطه به هر شاخه از طریق محاسبات ماتریس‌های مقایسات زوجی است. نکته مهم آن است که این اوزان در سطوح مختلف ریسک با

1 Redundancy

2 One- Sample T Test

یکدیگر متفاوت هستند و مدل تصمیم‌گیری بایستی این موضوع را مدنظر قرار دهد. تحلیل ریسک تجهیزات بر اساس احتمال بروز ریسک مربوط به خرابی تجهیزات و پیامدهای آن برای اقلام اصلی تجهیزات به شرح جدول شماره هشت است.

جدول ۸) تحلیل ریسک تجهیزات بر اساس ماتریس احتمال بروز ریسک و شدت پیامد آن

تجهیزات	تعداد	احتمال ریسک	پیامد ریسک	ناحیه ریسک	سمیت مواد
مخازن <sup>۱</sup> (بشکه <sup>۲</sup> ، ستون <sup>۳</sup> ، فیلتر <sup>۴</sup> )	۲۰۴	کم	کم	ریسک کم	غیر سمی
منابع ذخیره‌سازی <sup>۵</sup>	۵	متوسط	متوسط	ریسک متوسط	غیر سمی
مبدل حرارتی <sup>۶</sup>	۱۱۴	زیاد	متوسط	ریسک بالا	غیر سمی
تجهیزات کاهنده فشار <sup>۷</sup>	۳۶۸	زیاد	زیاد	ریسک بالا	غیر سمی
لوله‌کشی <sup>۸</sup>	۲۲۱۲	متوسط	متوسط	ریسک متوسط	غیر سمی
گرم‌کننده <sup>۹</sup> و دیگ بخار <sup>۱۰</sup>	۳	متوسط	بالا	ریسک بالا	سمی

همان‌گونه که در جدول فوق مشاهده می‌شود بر اساس خروجی ماتریس RBI سه ناحیه ریسک بالا، ریسک متوسط و ریسک کم را می‌توان برای دسته‌بندی تجهیزات مورد مطالعه مدنظر قرار داد. ضمناً تجهیزات با ریسک بالا برحسب اینکه حاوی مواد سمی و خطرناک یا غیر سمی باشند به دو گروه تقسیم شده‌اند؛ زیرا در چنین شرایطی نسبت و درجه اهمیت هر کدام از معیارها برحسب سمی یا غیر سمی بودن متفاوت خواهند بود. از آنجاکه در هر ناحیه درجه اهمیت معیارها با دیگر نواحی متفاوت است لازم است ماتریس مقایسات زوجی در هر یک از چهار ناحیه زیر

- 1 Vessel
- 2 Dru
- 3 Column
- 4 Filter
- 5 Storage Tank
- 6 Heat Exchanger
- 7 Pressure Relief Device
- 8 Piping
- 9 Heater
- 10 Boiler

به صورت جداگانه محاسبه شود.

- ناحیه با ریسک بالا و حاوی مواد غیر سمی
- ناحیه با ریسک بالا و حاوی مواد سمی
- ناحیه با ریسک متوسط
- ناحیه با ریسک کم

با تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و تکمیل آن در قالب پرسشنامه‌های توزیع شده بین خبرگان مربوطه در جامعه آماری، وزن هر یک از معیارها در نواحی ریسک چهارگانه مزبور محاسبه شد که نتایج آن در جدول شماره نه گزارش شده است. لازم به ذکر است نرخ ناسازگاری در محاسبات مربوطه کمتر از ۰٫۱ بود. به عبارت دیگر ناسازگاری خاصی در داده‌ها مشاهده نشد.

جدول ۹) وزن معیارها در سطوح مختلف ریسک

ناحیه ریسک				معیار
پایین	متوسط	بالا، غیر سمی	بالا و سمی	
۰٫۲۱۳۶	۰٫۲۳۶۹	۰٫۲۳۳۹	۰٫۲۳۶۸	هزینه
۰٫۲۳۶۵	۰٫۴۲۳۶	۰٫۴۱۲۳	۰٫۱۶۳۹	ایمنی
۰٫۱۲۵۴	۰٫۲۶۵۴	۰٫۲۴۶۶	۰٫۱۶۶۵	قابلیت اجرا
۰٫۳۹۸۵	۰٫۳۱۴۶	۰٫۱۲۳۶	۰٫۱۲۶۵	ابزار و تجهیزات موردنیاز
۰٫۴۱۳۲	۰٫۱۲۵۶	۰٫۰۳۶۶	۰٫۴۵۶۳	نیروی انسانی موردنیاز

در گام بعد، هر یک از چهار راهبرد مدنظر به صورت جداگانه برحسب معیارهای شناسایی شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این مقایسه نیز از طریق توزیع پرسشنامه مقایسات زوجی بین نخبگان انجام گردید. بعد از میانگین‌گیری و نرمال‌سازی داده‌ها، امتیاز هر راهبرد در هر معیار مشخص شد که نتایج آن در جداول شماره ۱۰ ارائه گردیده است.

جدول ۱۰) امتیاز راهبردها از منظر معیارها

راهبرد	ایمنی	قابلیت اجرا	ابزار و تجهیزات	نیروی انسانی
نت پیشگیرانه	۰٫۴۳۰۴	۰٫۰۸۷۶	۰٫۰۶۹۴	۰٫۲۲۵۹
نت مبتنی بر وضعیت	۰٫۱۲۹۴	۰٫۱۵۷۵	۰٫۲۰۵۶	۰٫۴۶۵۸
نت اصلاحی	۰٫۱۵۷	۰٫۳۸۹۷	۰٫۵۱۹۱	۰٫۱۶۱
نت مبتنی بر قابلیت اطمینان	۰٫۲۸۲۷	۰٫۳۶۵۵	۰٫۲۰۵۹	۰٫۱۵۷

درنهایت بر مبنای اوزان و امتیازان محاسبه شده، میزان مطلوبیت هر یک از راهبردها در هر یک از نواحی سطح ریسک محاسبه گردید که نتایج آن در جدول شماره ۱۱ مشخص شده است.

جدول (۱۱) نمره نهایی راهبردهای نت

ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک بالا		ناحیه ریسک راهبرد نت
		سمی	غیر سمی	
۰,۲۱۲۴	۰,۲۴۸۳	۰,۲۹۰۵	۰,۲۶۷۸	نت پیشگیرانه
۰,۱۵۹۰	۰,۱۵۶۱	۰,۱۵۳۱	۰,۱۵۴۶	نت مبتنی بر وضعیت
۰,۳۲۹۴	۰,۳۰۳۲	۰,۲۷۴۰	۰,۲۸۹۱	نت اصلاحی
۰,۳۰۲۳	۰,۲۹۶۵	۰,۲۸۷۷	۰,۲۹۳۲	نت مبتنی بر قابلیت اطمینان

بر اساس نتایج فوق می توان راهبرد بهینه در هر یک از سطوح ریسک را مشخص کرد که این موضوع در جدول شماره ۱۲ مشخص شده است.

جدول (۱۲) راهبردهای نت متناسب با هر یک از نواحی ریسک

اقدام نت	ناحیه ریسک	تجهیزات
نت پیشگیرانه	ریسک بالا محتوی مواد سمی	گرم کننده، دیگ بخار
نت مبتنی بر قابلیت اطمینان	ریسک بالا محتوی مواد غیر سمی	مبدل حرارتی، تجهیزات کاهنده فشار
نت اصلاحی	ریسک متوسط	منابع ذخیره سازی، لوله کشی
نت اصلاحی	ریسک کم	مخازن (بشکه، ستون، فیلتر)

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یک راهبرد مطلوب نگهداری و تعمیرات قابلیت دسترسی و بازده یک تجهیز را به حداکثر می‌رساند؛ زوال و خرابی تجهیز را کنترل می‌کند، یک عملیات ایمن و هماهنگ با محیط را ایجاد می‌کند و هزینه کل عملیات را حداقل می‌کند. تحقیق چنین امری یک موضوع حیاتی و ضروری در صنایع است. به کارگیری سیستم نگهداری و تعمیرات خاص 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 از این دست نیز تأثیرات خاص خود را خواهد داشت که هر یک از آنها محلی از تأمل خواهد بود. بنا بر آنچه گفته شد می‌توان به نقش مهم و تأثیرگذار راهبردهای مختلف نگهداری و تعمیرات بر روی کسب‌وکار یک بنگاه اقتصادی پی برد. از این رو تحقیق حاضر به دنبال شناخت مناسب‌ترین راهبرد نگهداری و تعمیرات برای پالایشگاه چهارم پارس جنوبی و انتخاب راهبرد بهینه از بین گزینه‌های موجود بود

در گام اول پژوهش، اهمیت پشتیبانی راهبرد مطلوب نت از معیارهای هزینه، ایمنی، ابزار و تجهیزات، نیروی انسانی و قابلیت اجرا از نقطه‌نظر خبرگان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مؤلفه‌هایی برای توصیف و تبیین جنبه‌های مختلف هر یک از این معیارها در قالب یک پرسشنامه تدوین و بین تعدادی از کارشناسان نت پالایشگاه مورد مطالعه توزیع گردید. در این پرسشنامه از آنها خواسته شد نظر خود را در خصوص اهمیت هر یک از مؤلفه‌های مزبور بیان کنند. این داده‌ها با استفاده از معادلات ساختاری مدل‌سازی شده و نشان داده شد که به لحاظ آماری این عوامل جزء مواردی هستند که باید یک راهبرد نت به آنها توجه کند؛ بنابراین مدل پیشنهادی این تحقیق در پالایشگاه چهارم پارس جنوبی مورد تأیید قرار گرفته است و در نتیجه می‌توان از نتایج آن برای تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب راهبرد مناسب نگهداری و تعمیرات در پالایشگاه چهارم پارس جنوبی استفاده کرد.

این نتایج با بعضی از تحقیقات پیشین نیز هم‌راستا است. به‌عنوان مثال ژائویانگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که سه معیار هزینه، ایمنی و قابلیت اجرا، به‌عنوان معیارهایی تأثیرگذار در انتخاب راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات شناخته می‌شوند. همچنین شهبازی (۱۳۹۵) نیز معیار ابزار و تجهیزات مورد نیاز را در انتخاب راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات مؤثر شناخت.

در گام بعدی پژوهش با پذیرش این واقعیت که معیارهای شناسایی شده در گام قبل می‌توانند در سطوح مختلف ریسک خرابی تجهیزات، اهمیت متفاوتی داشته باشند میزان ریسک هر یک از تجهیزات اصلی پالایشگاه با استفاده از داده‌های موجود در سامانه‌های نرم‌افزار بر اساس دو پارامتر



احتمال خرابی و پیامدهای خرابی تعیین گردیده و بر اساس نتایج آن ریسک تجهیزات به چهار دسته ریسک کم، ریسک متوسط، ریسک بالای محتوی مواد سمی و ریسک بالای محتوی مواد غیر سمی تقسیم شد. در گام بعد تکنیک تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین راهبرد مطلوب نت در پالایشگاه چهارم پارس جنوبی انجام شد. بدین منظور از طریق پرسشنامه‌ای مقایسه زوجی اهمیت هر یک از پنج عامل هزینه، ایمنی، قابلیت اجرا، نیروی انسانی و ابزار و تجهیزات از منظر خبرگان حوزه نت پالایشگاه انجام شده و بر اساس این نتایج، وزن هر یک از معیارهای مزبور در به‌صورت جداگانه برای هر یک از سطوح ریسک تعیین شد. با استفاده از پرسشنامه دیگری مقایسات زوجی بین چهار راهبرد نت پیشگیرانه، نت مبتنی بر قابلیت اطمینان، نت اصلاحی و نت مبتنی بر وضعیت، در هر معیار انجام شده و بر اساس نتایج آن مطلوبیت هر راهبرد در هر معیار تعیین شد. بر اساس این داده‌ها امتیازات نهایی هر یک از راهبردهای نت پیشنهادی محاسبه شده و بر اساس آن برای هر یک از سطوح مختلف ریسک راهبرد مناسب مشخص شده است.

بر اساس نتایج مزبور، نت پیشگیرانه را باید بهترین راهبرد در تجهیزات با ریسک بالا محتوی مواد سمی یعنی گرم‌کننده‌ها و دیگ‌های بخار دانست. این راهبرد ماهیتاً ریسک‌گریز بوده و با نگرشی محافظه‌کارانه، سرویس‌های لازم را به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌کند که احتمال هرگونه خرابی به حداقل برسد که همین موضوع آن را برای تجهیزات با ریسک بالای محتوی مواد سمی متناسب ساخته است.

راهبرد مناسب در تجهیزاتی از قبیل مبدل‌های حرارتی و تجهیزات کاهنده فشار که ریسک آن‌ها بالا بوده و درعین حال فاقد محتوای سمی می‌باشند نت مبتنی بر قابلیت اطمینان است. این راهبرد را نیز می‌توان جزو راهبردهای ریسک‌گریز دانست که درعین حال از حساسیت نت پیشگیرانه برخوردار نیست. به همین دلیل می‌تواند برای تجهیزات برخوردار از ریسک سطح بالا اما فاقد محتوای سمی، راهبرد نت مناسبی به حساب آید.

در مخازن ذخیره‌سازی و لوله‌کشی‌ها که ریسک خرابی متوسطی دارند نیز بهترین راهبرد نت اصلاحی است. همین راهبرد برای مخازن که ریسک خرابی کمی دارند نیز مناسب است. خرابی‌های جزئی این‌گونه تجهیزات باعث اختلال در خط تولید نشده و به همین دلیل اکتفا به انجام فعالیت‌های اصلاحی می‌تواند راهبرد مناسبی برای این‌گونه تجهیزات محسوب شود.

از آنجاکه در زمان انجام این مطالعه، بین راهبرد نت مورد استفاده در پالایشگاه مورد مطالعه با نتایج پژوهش حاضر مغایرت‌هایی وجود داشت لذا به مدیران آن توصیه شد با ملاحظه این نتایج راهبرد نت خود را تغییر دهند. با توجه به آن که بر مبنای داده‌های نرم‌افزار RBI می‌توان گفت ۵۸ درصد تجهیزات شرکت مورد مطالعه در محدوده ریسک کم، ۲۶ درصد در ناحیه ریسک

متوسط و ۱۶ درصد آن‌ها در محدوده ریسک بالا قرار دارند لذا می‌توان نتیجه گرفت که برای ۸۴ درصد تجهیزات شرکت، باید از راهبرد نگهداری و تعمیرات اصلاحی بهره برد. در خصوص مابقی تجهیزات نیز با ملاحظه سمی یا غیر سمی بودن تجهیزات، راهبرد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و یا نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان مناسب خواهد بود. این بدان معناست که نت اصلاحی، راهبرد مرسوم در سازمان خواهد بود. لیکن این راهبرد در خصوص ریسک‌های بالا مورد استفاده قرار نخواهد گرفت. در واقع علی‌رغم سهم کم تجهیزات با ریسک بالا اما به دلیل تبعات سنگین خرابی آن‌ها این حوزه باید مورد توجه جدی مدیران قرار داده شود.

اگرچه نتایج این پژوهش محدود به شرکت مورد مطالعه است اما به مدیران سایر پالایشگاه‌ها و صنایع مشابه پیشنهاد می‌شود ریسک تجهیزات مختلف خود را با به‌کارگیری سیستم بازرسی بر مبنای ریسک محاسبه نموده و از نتایج آن در جهت بهبود فرایندهای بازرسی و نگهداری و تعمیرات بهره بگیرند. البته از آنجاکه در هر سازمانی معیارهای متفاوتی در انتخاب راهبرد بهینه نگهداری و تعمیرات تأثیرگذار خواهند بود، ضروری است که قبل از انتخاب مناسب‌ترین راهبرد ابتدا به بررسی و شناخت معیارهای مؤثر پرداخته شود.

## منابع

- ایرج پور، علیرضا؛ و سلیمی، محمدحسین. (۱۳۸۵). *ارائه مدلی به منظور تعیین سیاست نگهداری اثربخش با رویکرد پویایی سیستم*. دانش مدیریت، ۷۴، ۱۹-۴۶.
- بابائی، محمدرضا؛ مکتوبیان، آتنا؛ و حمزه‌یی، محمدرضا. (۱۳۹۴). *ارائه مدل مفهومی جهت عارضه‌یابی و رتبه‌بندی مشکلات پیاده‌سازی سیستم جامع مکانیزه مدیریت نگهداری و تعمیرات CMMS*. مقاله منتشرشده در کنفرانس بین‌المللی پژوهش در مهندسی، علوم و تکنولوژی. تهران، از <https://civilica.com/doc/398270/>
- باقری، مجید. (۱۳۹۴). *ارائه مدل تعالی نگهداری و تعمیرات برای سازمان‌های ایرانی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه آموزش عالی امام جواد (ع)، دانشکده مهندسی صنایع.
- بهنامیان فر، سعید؛ خیام باشی، بیژن؛ کرباسیان، مهدی؛ و نیلی پور طباطبایی، سید اکبر. (۱۳۹۲). *ارائه مدل ریاضی برای تعیین و ارزیابی قابلیت اطمینان انسان در نگهداری و تعمیرات هواپیما*، مقاله منتشرشده در دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران، از <https://civilica.com/doc/284099>
- پارسایی؛ محمد. (۱۳۹۴). *انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات با به‌کارگیری رویکرد ترکیبی ANP و COPRAS (مطالعه موردی شرکت میلاد قم)*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه قم، دانشکده مدیریت و اقتصاد، گروه مدیریت صنعتی.
- حاج شیرمحمدی، علی. (۱۳۹۰). *برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات*، تهران، انتشارات غزل
- فقیه، نظام‌الدین؛ و کریمی، داود. (۱۳۸۰). *بهینه‌سازی تواتر بازرسی نگهداری ماشین‌آلات به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی*، دانش مدیریت، ۵۲، ۹۳-۱۰۶.
- مردانی، نسا. (۱۳۸۷). *انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات مناسب با روش مرحله‌ای (مطالعه موردی کارخانه سیمان سپاهان)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبایی، دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی.
- Bevilacqua, M. & Braglia, M. (2000). *The analytical hierarchy process applied to maintenance strategy selection*. *Reliability engineering and system safety*, 70, 71-83.
- Borjalilu, N. & Ghambari, M. (2018). *Optimal maintenance strategy*



**selection based on a fuzzy analytical network process: A case study on a 5-MW powerhouse.** *International Journal of Engineering Business Management*, 10(1), 1-10.

Bukhsh, Z. A. Saaed, A. & Stipanovic, I. (2018, April). **A machine learning approach for maintenance prediction of railway assets.** Paper presented at the Proceedings of the 7th Transport Research Arena (pp. 16-19). Austria: Vienna

Gandhare, B. S. & Akarte, M. (2012, January). **Maintenance strategy selection.** Paper presented at the Proceedings of the 9th AIMS International Conference on Management (pp. 1-4). Maharashtra: AIMS International.

Gupta. S. Maiti, J. Kumar, R. & Kumar, U. (2009). **A control chart guided maintenance policy selection,** *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 23(3), 212-226.

HajShirmohammadi, A. & Wedley, W.C. (2004). **Maintenance management – an AHP application for centralization/decentralization.** *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10(1), 16-25

Hong, S. D. Kamaruddin, S. & Abdul Azid. I. (2012). **Maintenance policy selection: a review towards building proper selection model.** *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10(3), 355-375.

Hong, S. D. & Kamaruddin, S. (2012, July). **Selection of Optimal Maintenance Policy by Using Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method.** Paper presented at the Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (pp. 435-443). Turkey, Istanbul.

Ierace. S. & Cavalier, S. (2008). **Maintenance Strategy Selection: a comparison between Fuzzy Logic and Analytic Hierarchy Process.** *IFAC Proceedings Volumes*, 41(3), 228-233.

Martin, H., Mohammed, F., Lal, K., & Ramoutar, S. (2020). **Maintenance strategy selection for optimum efficiency – application of AHP constant sum.** *Facilities*, 38 (5/6), 421-444.

Mechefske, C. K. & Wang, Z. (2003). **Using fuzzy linguistics to select**

***optimum maintenance and condition onitoring strategies. Mechanical Systems and Signal Processing, 17(2), 305-316***

Moore, W. J. & Starr, A. G. (2006). ***An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities. Computers in Industry, 57(6), 595-606.***

Mostafa, M. F. & Fahmy, S. A. (2020, April). ***Maintenance Strategy Selection Using AHP: A Case Study in the Oil and Gas Industry.*** Paper presented at the Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (pp. 1049-1053). Bangkok: IEEE.

Mousavi, S. S. Ghazi Nezami, F. Heydar, M. & Aryanejad, M. B. (2009, July). ***A hybrid fuzzy group decision making and factor analysis for selecting maintenance strategy.*** Paper presented at the Proceedings of the 2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering (pp. 1204-1209). Troyes: IEEE.

Pariazar, M. Shahrabi, J. Zaeri, M. S. & Parhizi, S. (2008). ***A combined approach for maintenance strategy selection, Journal of Applied Sciences, 8(23), 4321-4329.***

Rezig, S. Achour, Z. Rezg, N. (2018). ***Using Data Mining Methods for Predicting Sequential Maintenance Activities. Appl. Sci. 8, 2184.***

Sharma, A., Yadava, G. S. & Deshmukh, S. G. (2011). ***A literature review and future perspectives on maintenance optimization. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 17 (1), 5-25***

Shyjith, K. Ilangkumaran, M. & Kumanan, S. (2008). ***Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 14(4), 375-386.***

Zhaoyang, T. Jianfeng, L. Zongzhi, W. Jianhu, Z. & Weifeng, H. (2011). ***An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection. Safety Science, 49(6), 852-860***