

## بکارگیری رویکرد ترکیبی FA، AHP و TOPSIS برای انتخاب و رتبه بندی استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات

محسن شفیعی نیک آبادی\*، حبیب فرج پور خاناپشتانی،\*\* حسین افتخاری\*\*\*

علی اصغر سعد آبادی\*\*\*\*

تاریخ دریافت (۹۳/۱۱/۲۲) تاریخ پذیرش (۹۴/۲/۲۹)

### چکیده

امروزه شرکت‌ها پذیرفته‌اند که نگهداری و تعمیرات یک عنصر تجاری سودآور است و بنابراین، نقش نگهداری و تعمیرات در سیستم‌ها تولیدی مدرن مهم‌تر شده است. سیستم نگهداری و تعمیرات نقش مهمی در دستیابی به اهداف سازمانی و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، کاهش زمان توقف تجهیزات، کیفیت تولیدات، افزایش بهره‌وری، ایمنی تجهیزات و غیره ایفا می‌کند. در همین راستا، نگهداری و تعمیرات استراتژی‌های آن از اهمیت ویژه‌ای در صنعت برخوردار هستند. در نتیجه هدف اصلی این پژوهش انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی (FA)، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش ترجیح براساس تشابه با راه حل ایده آل (TOPSIS) در پالایشگاه نفت شهر ری می‌باشد. با توجه به اینکه متغیرهای بسیاری از قبیل ایمنی، هزینه، ارزش افزوده و ... در انتخاب یک استراتژی نگهداری و تعمیرات موثرند، در پژوهش حاضر ابتدا به کمک مرور ادبیات و نظرات کارشناسان نگهداری و تعمیرات، این متغیرها شناسایی و سپس توسط تکنیک AHP و TOPSIS به انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات پرداخته شده است و سعی در ارائه پیشنهادهایی جهت بهبود سیستم نگهداری و تعمیرات پالایشگاه منتخب شده است.

**واژه‌های کلیدی:** استراتژی نگهداری و تعمیرات، تحلیل عاملی (FA)، رتبه‌بندی، AHP، TOPSIS

\* استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه سمنان

\*\* کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول) habibsanaye@yahoo.com

\*\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت تکنولوژی دانشگاه تهران

\*\*\*\* دانشجوی دکتری سیاستگذاری علم و فناوری دانشگاه تهران

## مقدمه

امروزه با افزایش توسعه تکنولوژی و اتوماسیون صنعتی و افزایش تعداد ماشین‌های صنعتی، حجم سرمایه‌گذاری سازمان‌ها در سرمایه‌های فیزیکی و ماشین‌آلات افزایش یافته است (بویلاسکوا و براگلیا، ۲۰۰۰). از آنجا که صنایع تولیدی در فضای جهانی فعلی با فشار رقابتی شدیدی روبرو هستند، داشتن خط تولید با بهره‌وری بالا برای کاهش هزینه‌ها امری بسیار مهم است (هونگ و کمرودین، ۲۰۱۲). سیستم‌های تولیدی برای دستیابی و تضمین بقای طولانی مدت باید کارتر، موثرتر و اقتصادی‌تر عمل کنند و برای دستیابی به این موضوع به نگهداری و تعمیرات مناسب نیاز دارند. بعضی از شرکت‌ها، نگهداری و تعمیرات را به عنوان منبع هزینه غیر قابل اجتناب در نظر می‌گیرند. برای این شرکت‌ها فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات نقش فرساینده‌ای دارد و فقط در شرایط اضطراری انجام می‌شود. اما این نوع تفکر به دلایل مهمی مانند کیفیت در تولید، ایمنی واحد و کاهش هزینه‌های واحد نگهداری و تعمیرات (که بر حسب صنعت می‌تواند از ۱۵٪ تا ۷۵٪ هزینه کل تولید را شامل شود) دیگر قابل قبول نیست (بویلاسکوا و براگلیا، ۲۰۰۰). انواع استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات که بیشترین کاربرد را در ادبیات موضوعی ما دارند عبارتند از: نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM<sup>۱</sup>)، نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت (CBM<sup>۲</sup>)، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه (PDM<sup>۳</sup>)، نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM<sup>۴</sup>)، نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM<sup>۵</sup>)، نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان (RCM<sup>۶</sup>). در این میان، نگهداری و تعمیرات اصلاحی، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت، رایج‌ترین رویکردهای مورد استفاده در مدیریت موثر نگهداری و تعمیرات بوده‌اند (قندهاری و آکارته، ۲۰۱۲).

- 
1. Preventive Maintenance.
  2. Condition Based Maintenance.
  3. Predictive Maintenance System.
  4. Total Productive Maintenance.
  5. Corrective Maintenance
  6. Reliability Centered Maintenance.

در این تحقیق از آنجا که فرآیند تصمیم‌گیری و قضاوت در مورد انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات معمولاً پیچیده و غیر ساختار یافته است و با محدودیت‌ها و دیدگاه‌های چند گانه‌ای مواجه است، برای تصمیم‌گیری در باره این موضوع به کمک تحلیل عاملی تاییدی مرتبه اول و دوم، مهم‌ترین زیر معیارها شناسایی می‌شود و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند AHP و TOPSIS، برای رتبه‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات منتخب اقدام خواهد شد.

در این پژوهش تلاش خواهد شد تا با توجه به اهداف سازمان و نیز محدودیت‌ها و معیارهایی که تصمیم‌گیرندگان سازمان در فرایند انتخاب باید در نظر بگیرند و همچنین با استفاده از ترکیب روش‌هایی که سهولت و کارایی و نوآوری لازم را در این راستا داشته باشند به این مسئله اساسی تحقیق که استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مناسب در صنعت مورد مطالعه کدامند و چگونه انتخاب و رتبه‌بندی شوند پاسخ داده شود.

#### پیشینه پژوهش

ونگ، چو و وو (۲۰۰۷)، استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات CM, PM, CBM, PDM را برای تجهیزات مختلف با استفاده از روش AHP فازی ارزیابی کردند. معیارهایی که آن‌ها برای مسئله انتخاب در نظر گرفته بودند شامل ایمنی، هزینه، ارزش افزوده، قابلیت امکان بود. آن‌ها نتیجه گرفتند که ترکیبی از استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات، مناسب‌ترین نتیجه را به همراه دارد و با انجام یک مطالعه موردی فرضیات خود را تایید کردند.

زائری، شهرابی، پری‌آذر و مربی (۲۰۰۷) انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات را با استفاده از ترکیبی از دو تکنیک تحلیل عاملی و AHP انجام دادند. نویسندگان ابتدا سعی کردند تا با کمک تحلیل عاملی عوامل کلیدی را از میان عامل‌های اثر گذار شناسایی کنند و سپس ساختار سلسله مراتبی را ایجاد کرده و ارزیابی استراتژی‌ها را انجام دادند. آن‌ها استراتژی نگهداری و تعمیرات PDM, CBM, CM, PM و OM را به عنوان گزینه‌ها و عوامل ایمنی، هزینه، ارزش افزوده، قابلیت اجرا به عنوان معیارهای اصلی انتخاب در نظر

گرفتند. آن‌ها با انجام یک مطالعه موردی بهترین استراتژی را استراتژی CBM معرفی کردند و نتیجه گرفتند ترکیب روش تحلیل عاملی و روش AHP، مدل مناسبی برای انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات است.

### استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات

#### نگهداری و تعمیرات اصلاحی (CM)

در این رویکرد فعالیت‌ها فقط بعد از خرابی اعمال می‌گردد و هیچ مداخله‌ای تا قبل از زمان وقوع یک خرابی صورت نمی‌گیرد (ربانی، زارع و بهنیا، ۱۳۹۲).

#### نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)

این رویکرد قبل از خرابی سیستم‌ها به منظور حفظ تجهیزات در شرایط خاص با فراهم نمودن بازرسی‌های سیستماتیک اجرا می‌شود (ربانی، زارع و بهنیا، ۱۳۹۲).

#### نگهداری و تعمیرات براساس وضعیت (CBM)

در این استراتژی تصمیمات نگهداری و تعمیرات بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده اتخاذ می‌شوند. لازمه پیاده‌سازی نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت، وجود سیستمی برای جمع‌آوری داده‌ها و مجموعه‌ای از وسایل اندازه‌گیری برای نظارت بر عملکرد ماشین در زمان کار است. با نظارت مستمر بر شرایط کاری ماشین می‌توان به آسانی و به وضوح شرایط غیر طبیعی را مشخص نمود و کنترل‌های لازم را به موقع انجام داد و در صورت لزوم ماشین را قبل از وقوع خطا متوقف نمود (بویلاسکوا و براگلیا، ۲۰۰۰).

#### نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه (PDM)

در این راهبرد با پیش‌بینی این که چه وقت مقدار یک کمیت کنترلی از میزان آستانه و سرحد خود تجاوز خواهد کرد، به اقدامات نگهداری لازم پرداخته می‌شود (ربانی، زارع و بهنیا، ۱۳۹۲).

### نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM)

هدف اصلی نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر، حداکثر کردن اثر بخشی تجهیزات و بهره‌وری آن‌ها (ناکازیما، ۱۹۸۸) و حذف همه تلفات ماشین، ایجاد حس مالکیت تجهیزات در کاربران از طریق آموزش و درگیر کردن آن‌ها، ترویج بهبود مستمر از طریق فعالیت‌های گروه‌های کوچک شامل کارکنان تولید، مهندسی و نگهداری و تعمیرات است. هر سازمانی تعریف و دیدگاه منحصر به فرد خود از TPM را دارد (کمپل و پیکنل، ۱۹۹۵). اما در بیشتر موارد زمینه‌ها و عناصر مشترکی در آن‌ها وجود دارد که عبارتند از: استراتژی دارایی، توانمند سازی، برنامه‌ریزی و برنامه زمان‌بندی منابع، سیستم‌ها و رویه‌ها، تیم‌های بهبود مستمر و فرایندها (قندهاری و آکارته، ۲۰۱۲). این استراتژی اصول نگهداری و تعمیرات و کیفیت را از طریق بازدیدهای روزانه توسط کاربران آموزش دیده ادغام می‌کند تا تلفات اصلی که در اثر توقف‌ها، زمان‌های راه اندازی و تولید به وجود می‌آیند، را حذف کند. پیاده‌سازی موفق این استراتژی به سطح بالایی از مشارکت کارکنان نیاز دارد. برای پیاده‌سازی استراتژی TPM نیاز به تغییر فرهنگ سازمانی است و این کار بسیار زمان‌بر بوده و احتمال شکست آن وجود دارد (شرما، کومار و کومار، ۲۰۰۵). اصول اصلی تکنیک TPM عبارتند از: نگهداری و تعمیرات توسط خود کاربران، نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده، کارایی تجهیزات، افزایش در دسترس بودن تجهیزات، افزایش کارایی عملکرد و افزایش کیفیت (مبلی، هیگینز و ویکف، ۲۰۰۸).

### نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان (RCM)

این استراتژی توسط موبرای (۱۹۹۷) تعریف شد و روشی است که الزامات حصول اطمینان از اینکه تجهیز کارکرد مورد انتظار را در وضعیت فعلی‌اش برآورد می‌کند، مشخص می‌نماید. هدف اصلی استراتژی RCM افزایش زمان در دسترس بودن ماشین و بهبود سطح قابلیت اطمینان ماشین به جای بازگرداندن آن به وضعیت ایده‌آل است (شرما، کومار و کومار،

۲۰۰۵). RCM روشی برای حفظ عملکرد کامل ارائه می‌کند و با موازنه هزینه‌های بالای نگهداری و تعمیرات اصلاحی و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه طوری طراحی شده است که هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را کمینه نمایند (هونگ و کمرودین، ۲۰۱۲). با توجه به این نکته که همه اجزای یک تجهیز از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند و اجزای مختلف نرخ خطای متفاوتی دارند، RCM قادر است تا بجای تمرکز روی بازگرداندن تجهیزات به شرایط ایده آل، بر عملکرد سیستم نگهداری و تعمیرات تمرکز نماید که به افزایش در دسترس بودن تجهیزات و مقرون به صرفه شدن فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات می‌انجامد (سالیوان، ۲۰۰۴).

انتخاب هر کدام از این استراتژی‌ها به عوامل و فاکتورهای بسیاری در سازمان وابسته است. این تصمیم به طور ویژه بر روی نحوه تخصیص منابع، انتخاب تکنولوژی، مدیریت و فرایند سازماندهی و ... اثر گذار خواهد بود. لذا برای انتخاب صحیح از بین این استراتژی‌ها، نیازمند تصمیم‌گیری مبتنی بر واقعیت خواهیم بود.

#### معیارهای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات

با مرور ادبیات (زائری، شهرابی، پری‌آذر و مربی، ۲۰۰۷. ونگ، چاوو و وو، ۲۰۰۷. زیم، ترکیلماز، آکار، ترکی و دمیرل، ۲۰۱۲) و استفاده از نظر کارشناسان و متخصصان نگهداری و تعمیرات چهار عامل اصلی در مسئله تصمیم‌گیری در مورد انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات به عنوان معیارهای اصلی انتخاب شدند که عبارتند از: هزینه (C)، ارزش افزوده (A)، ایمنی (S)، قابلیت اجرا (E).

در ادامه نیز با مرور این مقالات و استفاده از نظر کارشناسان و متخصصان نگهداری و تعمیرات، همه زیر معیارهای ممکن برای هر یک از معیارهای اصلی شناسایی شدند. جمعاً ۳۷ زیر معیار شناسایی گردید. دوازده زیر معیار برای معیار هزینه، نه زیر معیار برای ارزش افزوده، هفت زیر معیار برای معیار ایمنی و نه زیر معیار برای معیار قابلیت اجرا در نظر گرفته شد. معیارها و زیر معیارهای شناسایی شده در جدول ۱ آمده است.

جدول (۱): معیارها و زیر معیارهای شناسایی شده موثر در انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات

هزینه (C)	ارزش افزوده (A)	ایمنی (S)	قابلیت اجرا (E)
۱- استهلاك تجهیزات	۱- کیفیت تولیدات	۱- ایمنی تجهیزات	۱- پذیرش توسط مدیریت
۲- هزینه مصرف انرژی	۲- بازدهی تجهیزات و پرسنل	۲- اثرات محیطی و آسیب-های محیطی زیست	۲- وجود قطعات یدکی
۳- هزینه های تحقیق و توسعه	۳- رضایت مشتریان	۳- ایمنی پرسنل	۳- پذیرش توسط کارکنان
۴- هزینه سخت افزار	۴- خلاقیت	۴- استانداردهای اجتماعی	۴- پذیرش توسط سهام داران
۵- دستمزد پرسنل	۵- افزایش رقابت	۵- استانداردهای محیط انسانی	۵- توانمندی های نیروی
۶- هزینه نرم افزار	۶- بهره وری زمانی	۶- قوانین حکومتی	۶- امکانات نرم افزاری لازم
۷- هزینه تلفات تولید	۷- بازگشت سرمایه	۷- انتشار سموم به هوا، خاک، آب	۷- امکانات سخت افزاری لازم
۸- هزینه آموزش	۸- سود آوری		۸- پیچیدگی تکنولوژی
۹- زمان نصب و راه اندازی تجهیزات	۹- توسعه تجارب مدیریت و مهندسان		۹- عملی بودن از نظر تکنیکی
۱۰- هزینه قطعات یدکی			
۱۱- هزینه پاک سازی ضایعات			
۱۲- هزینه مصرف مواد خام			

برای تصمیم گیری مناسب و دقیق که جوابگوی نیازمندی های سازمان باشد توجه به معیارهای ذکر شده امری حیاتی و ضروری است.

### روش شناسی پژوهش

در این بخش به بررسی اجمالی تحلیل عاملی<sup>۱</sup> (FA)، AHP و TOPSIS پرداخته می شود.

### تحلیل عاملی (FA)

تحلیل عاملی نام عمومی دسته ای از روش های آماری است. هدف اصلی تحلیل عاملی، کاهش تعداد متغیرها به تعداد کمتری از آنها و کاهش ابعاد ماتریس متغیرها از طریق یافتن ساختار روابط پنهان بین متغیرها و ارائه مجموعه ای از عوامل مشترک است و برای این کار، روش بسیار موثری است (لاتین، کارول و گرین، ۲۰۰۳). مفهوم عامل های پنهان نخستین بار

توسط گالتن در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شد و سپس توسط گارنت و دیگران توسعه پیدا کرد. تحلیل عاملی ساختار وابسته داده‌ها را پردازش می‌کند و متغیرهای زیاد را در چند عامل خلاصه می‌کند و این در حالی است که کم‌ترین از دست رفتن داده‌ها رخ می‌دهد. هر متغیر توسط عوامل زیرین تحت تاثیر است. اثر یک عامل مشخص ممکن است در یک متغیر بیش از اثر سایر عوامل در آن متغیر باشد. این اثر توسط قدرت همبستگی مشخص می‌شود ( فروچر، ۱۹۵۴). این ابزار به محققین کمک می‌کنند تا به جای درگیر شدن با کلیه متغیرها، با تعداد کمتری متغیر که در قالب چند عامل (خانواده متغیر) بیان شده‌اند، مدل خود را توصیف نمایند. تحلیل عاملی به یکی از دو روش اکتشافی و تاییدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش اکتشافی محقق هیچ پیش زمینه‌ای در مورد ساختار پنهان موجود میان متغیرها ندارد و هدف او از انجام این تحلیل کشف ساختار موجود احتمالی است. روش تاییدی هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که محقق ساختار و رابطه‌ای میان متغیرها متصور است و برای آزمایش ساختار مورد نظر این تحلیل را انجام می‌دهد (تامپسون، ۲۰۰۴). در پژوهش حاضر ما از تحلیل عاملی تاییدی مرتبه اول و دوم استفاده کردیم.

### فرآیند تحلیل سلسله مرتبی (AHP)

روش AHP اولین بار توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد. وقتی نیاز به در نظر گرفتن هم‌زمان جنبه‌های کمی یا کیفی باشد، AHP یک ابزار قدرتمند برای تصمیم‌گیری چند متغیره است که مسائل پیچیده را به ساختار سلسله مراتبی در چند سطح مختلف تبدیل می‌کند و ارتباطات میان اهداف اصلی، معیارها، زیرمعیارها و راه‌حل‌ها را نمایش می‌دهد. AHP به تحلیل‌گران کمک می‌کند تا جنبه‌های حیاتی یک مسئله را به ساختار سلسله مراتبی شیبه به درخت تصمیم درآورند و با کاهش تصمیمات پیچیده به مجموعه‌ای از مقایسات و رتبه بندی‌های ساده و ترکیب نتایج، به تحلیل‌گران کمک می‌کند تا با منطقی روشن، به بهترین تصمیم برسند. روش AHP در حل مسائلی که معیارهای متعدد برای ارزیابی‌ها وجود دارد،



مناسب است. با بکارگیری AHP می‌توان تمامی ارزیابی‌های غیر کمی را با ارزیابی‌های کمی در رتبه‌بندی واحدی ترکیب کرد. AHP یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است و این واقعیت به دلیل بعضی از خاصیت‌های مهم AHP است (مدو و کویی، ۱۹۹۴. شیجیتس، ایلاکوماران و کومانان، ۲۰۰۸)، مانند:

۱. AHP می‌تواند دقت قضاوت تصمیم‌گیرندگان را ارزیابی کند ۲. AHP خودش تصمیم‌گیری نمی‌کند بلکه به تحلیل‌گران در تصمیم‌گیری کمک می‌کند ۳. AHP به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا معیارها و زیر معیارهای یک مسئله را به شکل ساختار سلسله‌مراتبی که شبیه درخت تصمیم است، تبدیل کنند ۴. مقایسات زوجی این امکان را ایجاد می‌کند به جای وزن‌دهی عددی به معیارها، وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها توسط ماتریس‌های مقایسه بدست آید ۵. امکان انجام تحلیل حساسیت وجود دارد ۶. اطلاعات کمی و کیفی را ادغام می‌کند ۷. با نرم‌افزارهای مختلفی پشتیبانی می‌شود.

به طور خلاصه گام‌های استفاده از AHP به ترتیب زیر می‌باشد (هشیونگ، تیزنگ و هوآنگ، ۲۰۱۱):

۱. ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی.

۲. انجام مقایسات زوجی.

۳. تعیین اولویت‌ها.

۴. بررسی ناسازگاری منطقی ماتریس قضاوت.

پرسشنامه مورد استفاده برای تحلیل‌های سلسله‌مراتبی و تصمیم‌گیری چند شاخصه به پرسشنامه خبره موسوم است. برای تهیه پرسشنامه خبره از مقایسه زوجی استفاده می‌شود. برای هر سطح از سلسله‌مراتب یک پرسشنامه خبره تهیه می‌شود و نیز برای امتیاز دهی از مقیاس نه درجه ساعتی استفاده شده است.

شاخص ناسازگاری (CI) از طریق رابطه  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)}$  بدست می‌آید که در آن

$\lambda_{\max}$  بیشترین مقدار ویژه و  $n$  بعد ماتریس مقایسات زوجی است. در اینصورت نرخ

سازگاری (CR) برابر است با  $CR = \frac{CI}{RI}$  که RI شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی  $n \times n$  است. در جدول ۲ شاخص ناسازگاری چند ماتریس تصادفی نشان داده شده است.

جدول (۲): مقدار RI برای ماتریس‌ها با ابعاد مختلف

ابعاد ماتریس	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱...
RI	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱

### روش ترجیح براساس تشابه با راه حل ایده‌آل (TOPSIS)

روش تاپسیس اولین بار توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ مطرح گردید که به عنوان یک روش تصمیم‌گیری سازشی بر مبنای حداقل نمودن بردار ارزیابی آلترناتیوها از نقطه ایده‌آل مثبت و حداکثر نمودن آن از نقطه ایده‌آل منفی به کار می‌رفت (سلیمی، افشار نجفی و وحدانی، ۱۳۹۳). همانطور که روش AHP بر پایه مقایسات زوجی ساخته شده است، با افزایش تعداد عناصر در یک گروه مقایسات زوجی، قابلیت محدود انسان‌ها برای تحلیل داده‌های فرایند، تصمیم‌گیری را با مشکل مواجه می‌کند. افزایش تعداد معیارها و یا گزینه‌ها، زمان محاسبه را افزایش می‌دهد و با پیچیدگی همراه می‌شود و کم کردن تعداد معیارها به مجموعه‌ای شامل حداکثر ۷ عنصر در یک گروه مقایسه زوجی برای انسان مناسب است (یاه و چانگ، ۲۰۰۹). در روش TOPSIS، رویه متفاوت است. TOPSIS بر پایه این ایده است که گزینه منتخب کم‌ترین فاصله را از راه حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه حل ایده‌آل منفی دارد. راه حل ایده‌آل مثبت ترکیبی از مهم‌ترین ارزش‌های در دسترس معیارها و راه حل ایده‌آل منفی شامل بدترین ارزش‌های قابل دسترس معیارها است (هوانگ و یون، ۱۹۸۱). بنا

براین، نقطه ایده آل با افزایش تعداد گزینه‌ها و یا معیارها در یک گروه، تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد و این خاصیت روش TOPSIS را به روش مناسبی تبدیل می‌کند.

مراحل انجام روش TOPSIS بصورت زیر است (هشیونگ، تیزنگ و هوآنگ، ۲۰۱۱):  
مجموعه گزینه‌های انتخاب به صورت  $A = \{A_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$  و مجموعه معیارها به صورت  $C = \{C_j \mid j = 1, 2, \dots, m\}$  تعریف می‌شوند.

مجموعه  $X = \{X_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m\}$  شامل نرخ عملکرد و  $W = \{W_j \mid j = 1, 2, \dots, m\}$  جدول اطلاعات به صورت  $I = (A, C, X, W)$  در جدول ۳ تعریف می‌شود:

جدول (۳): اطلاعات در روش TOPSIS

معیارها گزینه‌ها	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	...	C <sub>m</sub>
A <sub>1</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	...	X <sub>1m</sub>
A <sub>2</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	...	X <sub>2m</sub>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A <sub>n</sub>	X <sub>n1</sub>	X <sub>n2</sub>	...	X <sub>nm</sub>
W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	...	W <sub>m</sub>

مرحله اول در TOPSIS محاسبه نرخ‌های نرمال شده توسط معادله ۱ است.

$$r_{ij}(x) = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{ik}^2}}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m \quad (1)$$

سپس نرخ‌های نرمال شده وزن دار توسط معادله ۲ محاسبه می‌شوند.

$$h_{ij}(x) = w_j r_{ij}(x), \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m \quad (2)$$

در ادامه، راه حل‌های ایده آل مثبت و منفی شناسایی شدند. راه حل ایده آل مثبت ( $A^+$ ) به صورت بهترین امتیاز عملکرد همه گزینه‌ها در مورد یک معیار است و توسط معادله ۳ محاسبه می‌شود. بر عکس راه حل ایده آل منفی ( $A^-$ ) به صورت بدترین امتیاز عملکرد همه گزینه‌ها در مورد یک معیار است که توسط معادله ۴ محاسبه می‌شود.

$$AJ^+ = \{(\max h_{ij}(x) | j \in J), (\min h_{ij}(x) | j \in J), i = 1, 2, \dots, n\} \quad \text{معادله ۳}$$

$$AJ^- = \{(\min h_{ij}(x) | j \in J), (\max h_{ij}(x) | j \in J), i = 1, 2, \dots, n\} \quad \text{ماده ۴}$$

در مرحله بعد، بعد از مشخص شدن راه حل های ایده آل مثبت و منفی، فاصله هر گزینه از راه حل ایده آل مثبت و منفی توسط معادله ۵ و معادله ۶ به صورت زیر معین می شود:

$$Di^+ = \sqrt{(\sum_{j=1}^m (h_{ij} - h_{j^+})^2)} \quad i=1, 2, \dots, n \quad \text{معادله ۵}$$

$$Di^- = \sqrt{(\sum_{j=1}^m (h_{ij} - h_{j^-})^2)} \quad i=1, 2, \dots, n \quad \text{معادله ۶}$$

که  $Di^+$  و  $Di^-$  به ترتیب نشان دهنده فاصله بین امتیاز عملکرد گزینه ها نسبت به همه معیارها و همه معیارهای مثبت و منفی است.

محاسبه نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل مطابق معادله ۷ بدست می آید.

$$Ri = Di^- / (Di^+ + Di^-), \quad i = 1, \dots, n \quad \text{معادله ۷}$$

مقدار  $Ri$  امتیاز عملکرد نهایی در روش TOPSIS است و به ازای همه  $i$  ها در فاصله  $[0, 1]$  قرار دارد. گزینه انتخاب شده بیشترین مقدار امتیاز عملکرد را دارد.

### اولویت بندی تجهیزات

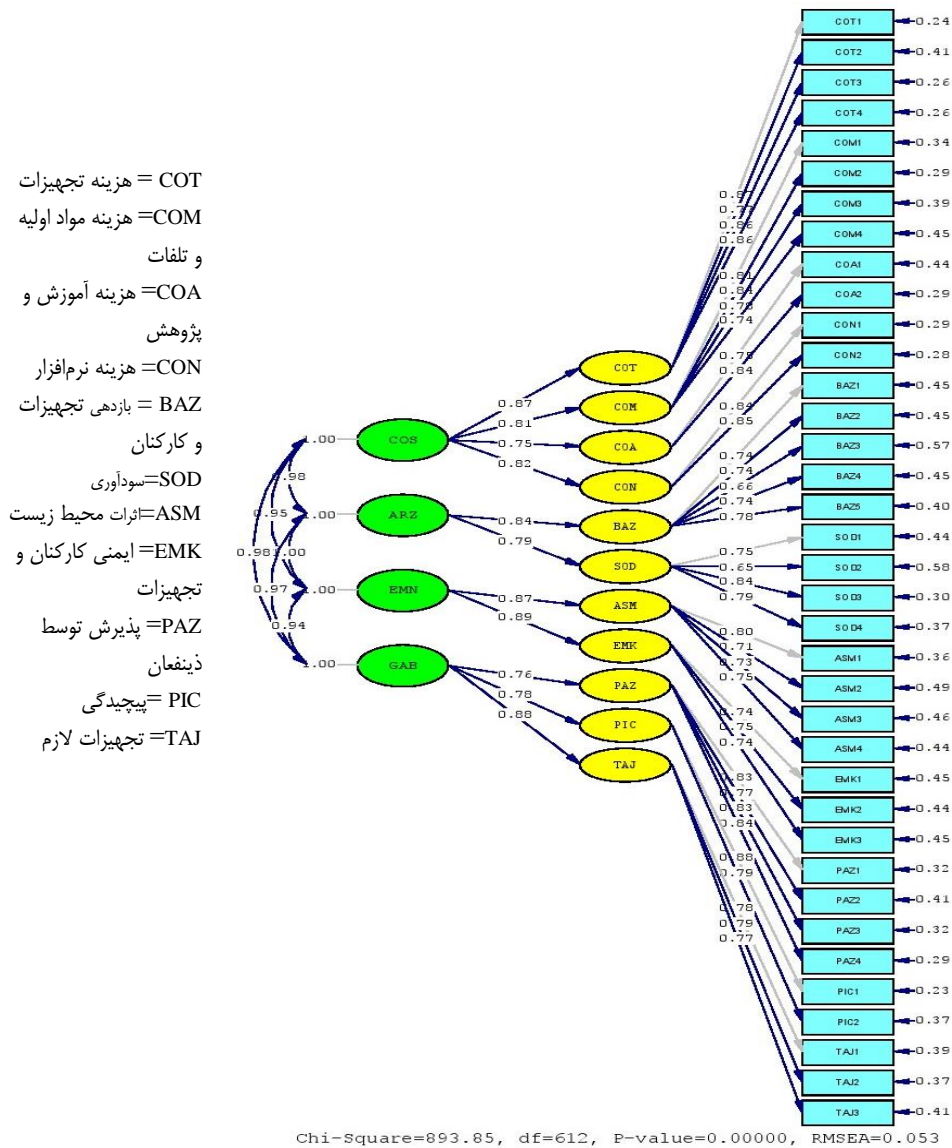
یکی از روش های دسته بندی تجهیزات که در این پژوهش نیز از آن استفاده شده است، استفاده از شاخص اهمیت (CI) است. براگلیا و بویلاسکوا (۲۰۰۰)، برای دسته بندی تجهیزات یک پالایشگاه ایتالیایی از شاخص اهمیت (CI) استفاده کردند و سه گروه مختلف از تجهیزات با اهمیت های مختلف تعریف کردند. این شاخص به عواملی مانند تولید، ایمنی، محیط زیست و عملکرد تجهیز مرتبط است. برای تعیین شاخص اهمیت هر تجهیز باید عوامل موثر بر آن مشخص و ارزیابی شود. فرمول مورد استفاده آن ها عبارت بود از:

$$CI = \{(S * 1.5) + (LP * 2.5) + (MC * 2) + (FF * 1) + (DL * 1.5) + (OC * 1)\} * AD$$

که S ایمنی، IP اهمیت تجهیز در فرایند مربوطه، MC هزینه نگهداری و تعمیرات، FF تکرار خطا، DL زمان توقف، OC شرایط عملکردی و AD دسترسی به ماشین است. به این ترتیب با استفاده از این فرمول و استفاده از آن در پالایشگاه منتخب، تجهیزات پالایشگاه در سه دسته تقسیم بندی شدند و در ادامه اولویت بندی استراتژی‌ها برای هر دسته از این تجهیزات انجام گرفت.

### تحلیل عاملی تأییدی برای زیرمعیارها

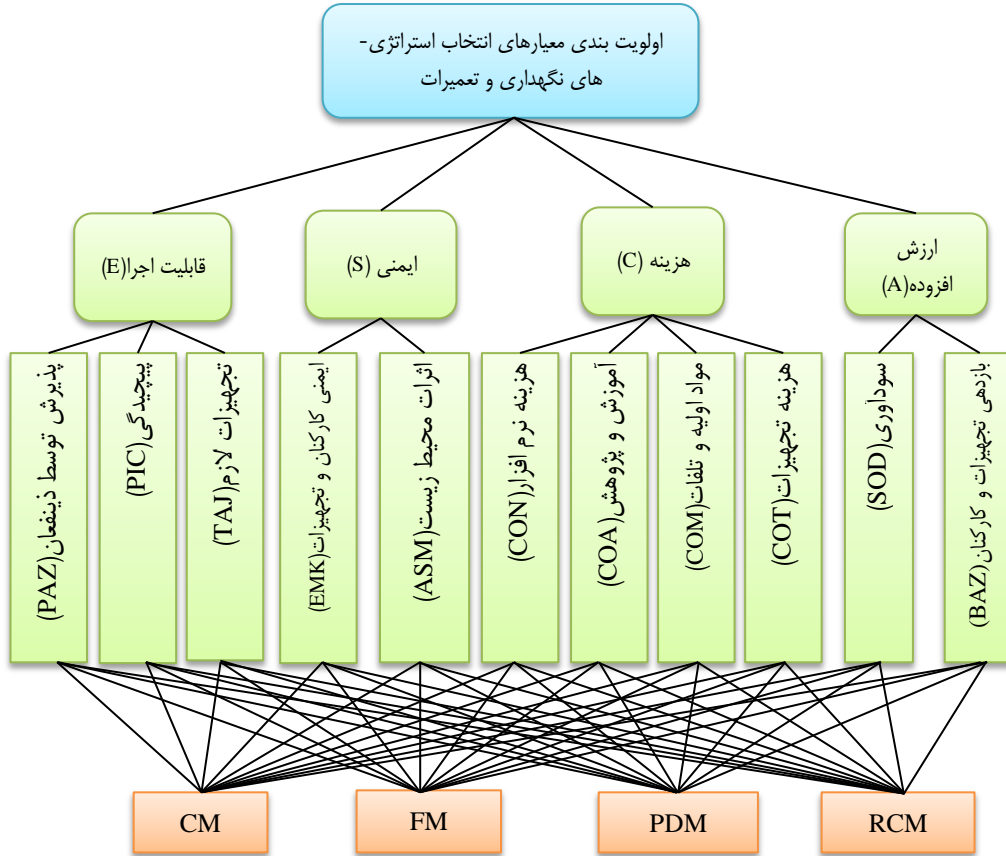
برای پیاده‌سازی تحلیل عاملی نیاز به داده‌هایی منطبق با واقعیت وجود دارد که ارتباط بین معیارها را بیان کند. بدین جهت پرسشنامه‌ای تهیه شد و از ۱۷۱ کارشناس و خبره نگهداری و تعمیرات، اطلاعات لازمه کسب گردید. پس از تکنیک تحلیل عاملی بر روی داده‌ها، نتایج مطابق نمودار ۱ حاصل شد.



نمودار (۱): مدل اندازه‌گیری معیارها با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم در حالت تخمین استاندارد

با توجه به اینکه تمامی بارهای عاملی از ۰/۵ بیشتر می‌باشد بنابراین سازه مورد نظر از روایی لازم (روایی سازه) برخوردار می‌باشد. معیارهای هزینه تجهیزات، هزینه مواد اولیه، هزینه آموزش و پژوهش و هزینه نرم‌افزار همگی به فاکتور هزینه اختصاص داده شده‌اند. با بررسی این معیارها مشخص است که همگی آن‌ها ماهیت هزینه دارند و بر محاسبه هزینه اشاره دارند. معیارهای بازدهی تجهیزات و کارکنان و سودآوری همگی به فاکتور ارزش افزوده اختصاص داده شده‌اند. معیارهای اثرات محیط زیست و ایمنی کارکنان و تجهیزات به فاکتور ایمنی اختصاص داده شده است و معیارهای پذیرش توسط ذینفعان و پیچیدگی و تجهیزات لازم به فاکتور قابلیت اجراء تخصیص داده شده است.

نتایج حاصل از تحلیل عاملی و ارتباط بین فاکتورها و معیارها به یک تیم ارزیاب نگهداری و تعمیرات که شامل کارشناسان و خبرگان این زمینه بودند، ارائه شد. بعد از تعریف یک هدف کلی که همان انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بود سعی در تصویرسازی یک ساختار سلسله مراتبی شامل معیارها و زیر معیارها با دستیابی به هدف کلی شد که نتایج حاصل در شکل ۱ آمده است. هدف انتخاب بهترین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات است که شامل ۴ معیار هزینه (C)، ارزش افزوده (A)، ایمنی (S) و قابلیت اجراء (E) می‌باشد. معیار هزینه شامل ۴ زیر معیار هزینه تجهیزات که در نمودار ۱ با علامت اختصاری (COT) نشان داده شده، هزینه مواد اولیه و تلفات (COM)، هزینه آموزش و پژوهش (COA) و هزینه نرم‌افزار (CON) است. معیار ارزش افزوده شامل ۲ زیر معیار بازدهی تجهیزات و کارکنان (BAZ) و سودآوری (SOD) می‌باشد. معیار ایمنی شامل ۲ زیر معیار ایمنی تجهیزات و کارکنان (EMK) و اثرات محیط زیست (ASM) می‌باشد و معیار قابلیت اجراء شامل ۳ زیر معیار پذیرش توسط ذینفعان (PAZ)، پیچیدگی (PIC) و تجهیزات لازم (TAJ) است. این ساختار شبکه‌ای می‌تواند کمک شایانی در تصمیم‌گیری مناسب و دقیق برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات سازمان‌ها باشد. تنها کافی است که ماتریس‌های مقایسه زوجی آن توسط تیم‌های مربوطه تکمیل گردد و به انتخاب استراتژی مناسب پردازند.



شکل (۱): ساختار سلسله مراتبی



## مطالعه موردی

مطالعه موردی این تحقیق، در پالایشگاه نفت شهر ری انجام گرفت. به علت سختی در جمع-آوری داده‌ها، تعداد عامل‌هایی که باید در نظر گرفته شوند، میزان ذهنی بودن عوامل و تعداد زیاد تجهیزات پالایشگاه، انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات، بسیار پیچیده می‌باشد. پالایشگاه منتخب حدود ۲۰۰۰۰ تجهیز مختلف دارد (پمپ، کمپرسور، الکترو موتور و غیره) و مدیریت باید تصمیم بگیرد که برای هر تجهیز چه رویکرد نگهداری و تعمیراتی انتخاب شود. این تصمیمات نتایج مهمی در پی دارد. هدف در این پژوهش، انتخاب بهترین استراتژی از میان ۴ استراتژی CM, PM, PDM, RCM می‌باشد.

## یافته‌های پژوهش

### محاسبه وزن‌ها

برای محاسبه وزن‌ها از نرم افزار Expert Choice استفاده شده است. به دلیل اینکه استفاده از AHP در چهارچوب پیشنهادی فقط برای تعیین وزن معیارها و زیر معیارها نسبت به یکدیگر است، در نرم افزار Expert Choice باید تنها بخش‌هایی که برای تعیین وزن معیارها لازم است تکمیل می‌شد. مقایسه‌ها و ارزیابی‌های انجام شده توسط کارشناسان نگهداری و تعمیرات پالایشگاه با یکدیگر جمع شد و سپس داده‌ها وارد نرم افزار Expert Choice گردید. نتایج حاصل از تحلیل صورت گرفته توسط برنامه، وزن‌ها را تعیین کرد. نتایج و وزن‌های بدست آمده برای تجهیزات گروه ۱ با درجه اهمیت "اهمیت کم" در جدول ۴ خلاصه شده است. نسبت سازگاری محاسبه شده توسط نرم‌افزار برای قضاوت در باره این گروه تجهیزات ۰/۰۸۵ محاسبه شد و قابل قبول در نظر گرفته شد.

جدول (۴): وزن معیارهای بدست آمده برای تجهیزات گروه ۱

قابلیت اجرا (E) ۰/۲۰۲			ایمنی (S) ۰/۲۹۹		هزینه (C) ۰/۴۰۳				ارزش-افزوده (A) ۰/۰۹۷	
پذیرش تولید توسط ذینفعان (E1)	پیچیدگی (E2)	تجهیزات لازم (E3)	اثرات محیط زیست (S1)	ایمنی کارکنان و تجهیزات (S2)	هزینه تجهیزات (C1)	هزینه مواد اولیه و تلفات (C2)	آموزش و پژوهش (C3)	نرم افزار (C4)	سودآوری (A1)	بازدهی تجهیزات و کارکنان (A2)
۰/۲۷۱	۰/۰۸۵	۰/۶۴۴	۰/۲	۰/۸	۰/۶۵۶	۰/۲۲۶	۰/۰۶۲	۰/۰۵۶	۰/۲	۰/۸

نتایج و وزنهای بدست آمده برای تجهیزات گروه ۲ با درجه "اهمیت متوسط" در جدول ۵ خلاصه شده است. نسبت سازگاری برای قضاوت درباره این گروه تجهیزات ۰/۰۷ محاسبه شد که کمتر از ۰/۱ و قابل قبول بود.

جدول (۵): وزن معیارهای بدست آمده برای تجهیزات گروه ۲

قابلیت اجرا (E) ۰/۱۷۷			ایمنی (S) ۰/۵۴۵		هزینه (C) ۰/۱۳۴				ارزش افزوده (A) ۰/۱۴۴	
E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2
۰/۷۵۹	۰/۰۶۸	۰/۱۷۲	۰/۱۶۷	۰/۸۳۳	۰/۴۳۱	۰/۲۸۴	۰/۲۰۷	۰/۰۷۸	۰/۳۳۳	۰/۶۶۷

نتایج و وزنهای بدست آمده برای تجهیزات گروه ۳ با درجه "اهمیت بالا" در جدول ۶ خلاصه شده است. نسبت سازگاری محاسبه شده توسط نرم افزار برای قضاوت در باره این گروه تجهیزات ۰/۰۷ محاسبه شد که کمتر از ۰/۱ و نشان دهنده سازگاری و قابل قبول بودن وزن هاست.

جدول (۶): وزن معیارهای بدست آمده برای تجهیزات گروه ۲

قابلیت اجرا (E) ۰/۱۰۹			ایمنی (S) ۰/۶۳۶		هزینه (C) ۰/۰۶۰				ارزش افزوده (A) ۰/۱۹۶	
E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2
۰/۷۸۹	۰/۰۶۸	۰/۱۴۲	۰/۱۴۳	۰/۸۵۷	۰/۱۳۹	۰/۲۹۲	۰/۴۶۶	۰/۱۰۲	۰/۵	۰/۵

وزن استراتژی‌ها (گزینه‌ها) نسبت به زیر معیارهای انتخاب در جدول ۷ آمده است.

جدول (۷): وزن محاسبه شده گزینه‌ها نسبت به زیر معیارها

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2	
۰/۰۹۱	۰/۶۲۶	۰/۶	۰/۰۳۹	۰/۰۴۶	۰/۶۶۱	۰/۶	۰/۶۷۹	۰/۶۶۷	۰/۰۳۸	۰/۰۴	CM
۰/۲۲۶	۰/۶۲۶	۰/۲۰۵	۰/۱۲۸	۰/۱۴۶	۰/۱۹۷	۰/۲۴۳	۰/۱۷۴	۰/۲۱۵	۰/۱۳	۰/۱۰۸	PM
۰/۳۴۲	۰/۰۹۷	۰/۱۰۸	۰/۴۹۲	۰/۵۰۱	۰/۰۶	۰/۰۹۱	۰/۰۸۴	۰/۰۵۷	۰/۴۳۶	۰/۵۰۹	PDM
۰/۳۴۲	۰/۰۹۷	۰/۰۸۷	۰/۳۴۱	۰/۳۰۸	۰/۰۸۳	۰/۰۶۵	۰/۰۶۲	۰/۰۶	۰/۳۹۶	۰/۳۴۳	RCM

اما اگر در این مرحله داده‌ها را به روش AHP با نرم افزار Expert Choice به منظور انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات مورد تحلیل قرار دهیم، نتایج جدول ۸ و جدول ۹ بدست می‌آید.

جدول (۸): امتیاز استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات به روش AHP

گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱	
۰/۰۸۶	۰/۱۳۲	۰/۳۲۹	CM
۰/۱۵۲	۰/۱۶۳	۰/۱۷۷	PM
۰/۴۴۹	۰/۴۱۰	۰/۲۸۵	PDM
۰/۳۱۳	۰/۲۹۴	۰/۲۰۹	RCM

جدول (۹): رتبه بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات به روش AHP

رتبه اول	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
رتبه اول	CM	PDM	PDM
رتبه دوم	PDM	RCM	RCM
رتبه سوم	RCM	PM	PM
رتبه چهارم	PM	CM	CM

### ارزیابی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با روش TOPSIS

اطلاعات جدول ۷ که وزن گزینه‌ها (استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات) است را با استفاده از معادله ۱ به وزن‌های نرمال شده تبدیل می‌کنیم که نتایج در جدول ۱۰ آمده است.

جدول (۱۰): وزن نرمال شده گزینه‌ها نسبت به زیر معیارها

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2	
۰/۱۶۸	۰/۹۴	۰/۹۲۴	۰/۰۶۴	۰/۰۷۶	۰/۹۴۸	۰/۹۱۳	۰/۹۵۸	۰/۹۴۵	۰/۰۶۳	۰/۰۶۴	CM
۰/۴۱۷	۰/۲۷۲	۰/۳۱۶	۰/۲۰۹	۰/۲۴	۰/۲۸۳	۰/۳۷	۰/۲۴۶	۰/۳۰۵	۰/۲۱۵	۰/۱۷۳	PM
۰/۶۲۳	۰/۱۴۶	۰/۱۶۶	۰/۸۰۲	۰/۸۲۴	۰/۰۸۶	۰/۱۳۹	۰/۱۱۹	۰/۰۸۱	۰/۷۲۱	۰/۸۱۵	PDM
۰/۶۳۲	۰/۱۴۶	۰/۱۳۴	۰/۵۵۶	۰/۵۰۷	۰/۱۱۹	۰/۰۹۹	۰/۰۸۷	۰/۰۸۵	۰/۶۵۵	۰/۵۴۹	RCM

وزن نرمال شده هر زیر معیار از حاصلضرب وزن زیر معیار در وزن معیار اصلی محاسبه می‌شود. وزن نرمال شده برای گروه‌های تجهیزات ۱، ۲، ۳ به ترتیب محاسبه و در جدول ۱۱، جدول ۱۲ و جدول ۱۳ آمده است.

جدول (۱۱): وزن نرمال شده معیارهای بدست آمده برای تجهیزات گروه ۱

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2
۰/۰۵۵	۰/۰۱۷	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۲۳۹	۰/۲۶۴	۰/۰۹۱	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	۰/۰۱۹	۰/۰۷۸

جدول (۱۲): وزن نرمال شده معیارهای بدست آمده برای تجهیزات گروه ۲

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2
۰/۱۳۴	۰/۰۱۲	۰/۰۳	۰/۰۹۱	۰/۴۵۴	۰/۰۵۸	۰/۰۳۸	۰/۰۲۸	۰/۰۱	۰/۰۴۸	۰/۰۹۶



جدول (۱۶): ضرب وزن نرمال شده گزینه‌ها در وزن نرمال زیر معیارها - گروه ۳

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2	
/۰۱۴	/۰۰۷	/۰۱۴	/۰۰۶	/۰۴۱	/۰۰۷۹	/۰۱۶	/۰۲۷	/۰۰۵۷۸	/۰۰۶	/۰۰۶	CM
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
/۰۳۶	/۰۰۲	/۰۰۵	/۰۱۹	/۱۳۱	/۰۰۲۴	/۰۰۶	/۰۰۷	/۰۰۱۸۶	/۰۲۱	/۰۱۷	PM
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
/۰۵۴	/۰۰۱	/۰۰۳	/۰۷۳	/۴۴۹	/۰۰۰۷	/۰۰۲	/۰۰۳	/۰۰۰۴۹	/۰۷۱	۰/۰۸	PDM
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
/۰۵۴	/۰۰۱	/۰۰۲	/۰۵۱	/۲۷۶	۰/۰۰۱	/۰۰۲	/۰۰۲	/۰۰۰۵۲	/۰۶۴	/۰۵۴	RC M
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

در این قسمت بسته به نوع زیر معیار و اثر گذاری آن روی هدف تصمیم گیری، ایده آل مثبت و ایده آل منفی تعیین می‌شود. برای شاخص‌هایی که دارای تاثیر مثبت بر روی هدف مسئله می‌باشند، ایده آل مثبت، بیشترین مقدار آن زیر معیار خواهد بود. به طور مثال هر چه ایمنی بالاتر باشد، برای ما مطلوب‌تر است. به همین منوال برای زیر معیارهایی که دارای تاثیر منفی بر روی هدف مسئله می‌باشند، ایده آل مثبت، کم‌ترین مقدار آن زیر معیار خواهد بود. به طور مثال هر چه هزینه پایین‌تر باشد برای ما مطلوب‌تر است.

بیشترین و کمترین مقدار برای حاصلضرب وزن نرمال شده گزینه‌ها در وزن نرمال شده زیر معیارها برای هر گروه محاسبه می‌شود. ایده آل مثبت برای زیر معیارهای هزینه حداقل و برای مابقی زیر معیارها مقدار حداکثر است و ایده آل منفی برای زیر معیارهای هزینه مقدار حداکثر و برای مابقی زیر معیارها مقدار حداقل است. اما به دلیل اینکه هنگام انجام مقایسه‌های زوجی در مورد معیارهای هزینه‌ای، هزینه کمتر ارجحیت محسوب شده است، بنابراین، برای همه زیر معیارها مقدار حداکثر همان ایده آل مثبت و مقدار حداقل، ایده آل منفی است که نتایج این امر در جدول ۱۷ آورده شده است.

جدول (۱۷): تعیین ایده آل مثبت و منفی برای گروه های تجهیزات در مطالعه موردی

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2		
۰/۰۳۵	۰/۰۱۶	۰/۱۲	۰/۰۴۸	۰/۱۹۷	۰/۲۵۰۶	۰/۰۸۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۱۳۳	۰/۰۱۴	۰/۰۶۳	گروه ۱	ایده آل مثبت
۰/۰۸۵	۰/۰۱۱	۰/۰۲۸	۰/۰۷۳	۰/۰۳۷۴	۰/۰۵۴۷	۰/۰۳۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۹۸۸	۰/۰۳۵	۰/۰۷۸	گروه ۲	
۰/۰۵۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۷۳	۰/۴۴۹	۰/۰۰۷۹	۰/۰۱۶	۰/۰۲۷	۰/۰۰۵۷۸	۰/۰۷۱	۰/۰۸	گروه ۳	
۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۰۲۲۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۸۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	گروه ۱	ایده آل منفی
۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۳۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۸۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	گروه ۲	
۰/۰۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	گروه ۳	

فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده آل مثبت و فاصله هر گزینه تا ایده آل منفی، بر اساس معادله ۵ و معادله ۶ محاسبه می شود که نتایج در جدول ۱۸ آمده است.

جدول (۱۸): فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده آل مثبت و فاصله هر گزینه تا ایده آل منفی

فاصله از ایده آل مثبت			فاصله از ایده آل منفی			
گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	
۰/۱۹۵۵۲۲	۰/۳۶۰۷۴۲	۰/۴۲۶۸۷۷	۰/۲۶۲۷۴۳	۰/۰۶۹۰۹۲	۰/۰۳۲۵۶	CM
۰/۲۵۲۶۳۵	۰/۲۸۴۹۹۲	۰/۳۳۴۲۱۹	۰/۰۷۶۱۷۸	۰/۰۸۵۶۲۸	۰/۰۹۵۲۳۷	PM
۰/۲۶۰۰۵۹	۰/۰۶۷۷۸۹	۰/۰۳۱۴۲۲	۰/۱۹۵۶۰۲	۰/۳۶۰۷۴۷	۰/۴۲۶۸۷۸	PDM
۰/۲۶۷۴۸۳	۰/۱۶۲۹۰۹	۰/۱۷۹۵۶۳	۰/۱۱۷۳۵۲	۰/۲۱۷۲۰۲	۰/۲۵۳۸۶۱	RCM

سپس با کمک معادله ۷، نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل برای گزینه ها در هر گروه تجهیزات را محاسبه می کنیم. نتایج بدست آمده در جدول ۱۹ گزارش شده است.

جدول (۱۹): محاسبه نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل برای گزینه ها (استراتژی ها) در مطالعه موردی

گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	
۰/۵۷۳۳۴۲۴۹۳	۰/۱۶۰۷۴۱۲۸۵	۰/۰۷۰۸۶۹۶۵۶	CM
۰/۲۳۱۶۷۵۶۸۱	۰/۲۳۱۰۴۱۰۷۴	۰/۲۲۱۷۶۲۱۸۸	PM
۰/۴۲۹۲۷۰۵۵۷	۰/۸۴۱۸۱۲۹۱۶	۰/۹۳۱۴۳۷۸۲	PDM
۰/۳۰۴۹۴۱۶۸۴	۰/۵۷۱۴۱۸۳۴۵	۰/۵۸۵۷۱۰۳۹۵	RCM

بنابراین، با بکارگیری مدل TOPSIS برای تجهیزات با درجه "اهمیت کم"، استراتژی CM به عنوان بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات انتخاب شد و برای تجهیزات با درجه "اهمیت متوسط" و "اهمیت بالا"، استراتژی PDM به عنوان مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات انتخاب شد. رتبه بندی نهایی برای هر گروه از تجهیزات در جدول ۲۰ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج جدول ۲۰ (نتایج روش TOPSIS) با نتایج جدول ۹ (نتایج بدست آمده از روش AHP) دقیقاً یکسان است.

جدول (۲۰): رتبه بندی استراتژی‌های برای هر گروه از تجهیزات

گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱	
PDM	PDM	CM	رتبه اول
RCM	RCM	PDM	رتبه دوم
PM	PM	RCM	رتبه سوم
CM	CM	PM	رتبه چهارم

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه شرکت‌های صنعتی برای پایدار ماندن در بازار جهانی نیازمند تمرکز مستقیم بر انواع روش‌ها و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات هستند. در این مقاله پس از مرور ادبیات موجود و مصاحبه با خبرگان، چهار نوع از مهم‌ترین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات که عبارتند از اصلاحی، پیشگیرانه، قابلیت اطمینان محور و پیش‌بینانه، انتخاب شد. یک استراتژی نگهداری و تعمیرات بهینه می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات غیرضروری، بهبود سطح قابلیت اطمینان و در دسترس بودن تجهیزات گردد. ارزیابی این استراتژی‌ها یک مسئله تصمیم‌گیری در شرایط چند معیاره است و عوامل بسیاری در انتخاب آن موثرند.

در ساختار این پالایشگاه فقط تعمیرات روزمره، تعمیرات پیشگیرانه و تعمیرات اساسی دوره‌ای (فرستی) وجود دارد و سایر استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در آن دیده نشده است.



صدور روزانه PTW<sup>۱</sup> ها توسط کارکنان بهره برداری پس از ایجاد خرابی و خطا در تجهیزات، نشان دهنده به کارگیری و استفاده از استراتژی CM می باشد. انجام بازدیدها، گریس کاری و روغن کاری های دوره ای الکتروموتورها، پمپ ها، کمپرسورها و ژنراتورها نشان دهنده استفاده از استراتژی PM برای این تجهیزات است. اما فواصل زمانی به کار رفته در استراتژی PM مورد استفاده به صورت تجربی انجام شده است. وجود واحد PM در اداره تعمیرات نشان دهنده اهمیتی است که نفرات ارشد این واحد برای PM در نظر گرفته اند. انجام تست های لرزش الکتروموتورها، پمپ ها، کمپرسورها و ژنراتورها، تست حرارت سنجی الکترو موتورها، موتورها، ترانسفورماتورهای برقی و ترانسفورماتورهای برقی، انجام تحلیل روغن کمپرسورها، ترانسفورماتورها و ژنراتورها در واحدهای بهره برداری نشان دهنده استفاده محدود از استراتژی CBM است که در واحد نگهداری و تعمیرات پالایشگاه به عنوان همان نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و توسط واحد PM انجام می گیرد. سوابق انجام این تحلیل ها در واحد PM نگهداری می گردد اما از آن ها برای تعیین روند وضعیت تجهیزات و پیش بینی زمان وقوع خطا استفاده نمی گردد و این بدان معنی است که استراتژی PDM در نگهداری و تعمیرات پالایشگاه دیده نشده است. بازدیدهای روزانه کارکنان واحدهای بهره برداری از تجهیزات واحد و بررسی وضعیت ظاهری، دما و صدای تجهیزات را می توان یکی از تکنیک های روش CBM در نظر گرفت اما از آنجا که درک حسی انسان دقت لازم را ندارد و کارکنان مختلف در شیفت های کاری متفاوت ممکن است حس متفاوتی از یک وضعیت معین داشته باشند و از طرفی، این کارکنان هیچ دستورالعمل و چک لیستی برای بررسی تمام تجهیزات مورد نظر موجود در واحدهای بهره برداری را ندارند، بررسی های آنها سلیقه ای بوده و این روش چندان قابل اعتماد نیست. استراتژی RCM نیز در این پالایشگاه پیاده سازی نشده است.

در این تحقیق با استفاده از تلفیق سه تکنیک FA، AHP و TOPSIS ابتدا اقدام به شناسائی فاکتورهای کلیدی از بین عوامل موثر و سپس تشکیل درخت تحلیل سلسله مراتبی

و ارزیابی استراتژی‌ها شده است. با بررسی بخش نگهداری و تعمیرات پالایشگاه شهر ری به - عنوان مطالعه موردی این پژوهش، نشان داده شد که در هر دو روش AHP و TOPSIS در گروه ۱ تجهیزات، استراتژی‌های CM، PDM، RCM، PM و در گروه ۲ تجهیزات، استراتژی‌های CM، PDM، RCM، PM و در گروه ۳ تجهیزات، استراتژی‌های CM، PDM، RCM، PM به ترتیب از راست به چپ دارای اولویت بالاتری برای پیاده - سازی هستند. این تلفیق، می‌تواند به‌نحو موثری برای انتخاب استراتژی بهینه، ما را یاری کند. همچنین مهم‌ترین نتایجی که از ترکیب سه روش تحلیل عاملی (FA)، AHP و TOPSIS بدست می‌آید شامل:

۱. انتخاب معیارها: هنگام استفاده از روش AHP و یا روش TOPSIS ممکن است برای مسئله تصمیم‌گیری، معیارهایی نامناسب در نظر گرفته شوند و یا معیارهای مهمی نادیده گرفته شوند. استفاده از FA، احتمال این اتفاق را کاهش می‌دهد.
  ۲. ساختار مسائل: روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند TOPSIS ساختار سلسله مراتبی ایجاد نمی‌کند. اما یکی از نقاط قوت روش AHP استفاده از ساختار سلسله مراتبی است.
  ۳. ارزیابی‌ها: یکی از نقاط ضعف AHP محدودیت آن در هنگام مقایسه زوجی تعداد زیادی از معیارها است. در مقابل TOPSIS با تعداد زیاد معیارها مشکلی ندارد و به راحتی گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند.
- نتایج بدست آمده از مطالعه موردی نشان داد که نتایج روش TOPSIS با نتایج روش AHP مشابه است. اما باید توجه داشت الزاماً همیشه این اتفاق نمی‌افتد و همان‌طور که از نتایج مشخص بود، فقط رتبه‌بندی گزینه‌های انتخاب در هر دو روش شبیه همدیگر بود، اما امتیاز گزینه‌ها در روش TOPSIS و AHP با هم تفاوت داشت و در صورت تغییر اندکی در قضاوت و مقایسه‌های زوجی انجام شده توسط تصمیم‌گیرندگان، احتمال بدست آمدن نتایج متفاوت دیگر، وجود داشت.

## منابع

- سلیمی، مقداد، افشار نجفی، بهروز و وحدانی، بهنام. (۱۳۹۳). مدل تصمیم‌گیری سازشی بر اساس روش TOPSIS برای مسایل برنامه‌ریزی چند هدفه غیرخطی با مقیاس بزرگ و ساختار بلوکی زاویه‌دار تحت شرایط عدم قطعیت. مجله مطالعات مدیریت صنعتی، سال دوازدهم، شماره ۳۵، صص ۸۳-۱۲۱.
- ربانی، علی، زارع، حبیب و بهنیا، فروغ. (۱۳۹۲). ارائه الگوی مناسب جهت پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات در کارخانجات خطوط تولید پیوسته با رویکرد مدل‌های تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی آرمانی فازی. مجله مطالعات مدیریت صنعتی، سال یازدهم، شماره ۳۱، صص ۱۰۰-۸۵.
- Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). The Analytic Hierarchy Process applied to maintenance strategy Selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1): 71-83.
- Campbell, J.D., & Reyes-picknell, J. (1995). *Strategies for Excellence in Maintenance Management*. Productivity prsee portland, Oregon pages- 185.
- Fruchter, B. (1954). *Introduction to Factor Analysis*. Oxford, England: Van Nostrand.
- Gandhare, B.S., & Akarte, M. (2012). Maintenance Strategy Selection. In *Ninth AIMS International Conference on Management Proceedings*, 1330-1336.
- Gwo-Hshiung, T., Tzeng, g. h., & huang, j. j. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. CRC press.
- Hwang, C.L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute decision making*. Springer.
- Lattin, J.M., Carrol, J.D., & Green, P.E. (2003). *Analyzing Multivariate data*. Thomson Brooks / Cole Pacific Grove, CA.
- Madu, c.n., & kwei, c. (1994). Optimum information technology for socioeconomic development. *Information management & computer security*, 2(1): 4-11.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centred Maintenance*. Butterworth Heinemann.

Mobley, K., Higgins, L., & Wikoff, D. (2008). *Maintenance Engineering Handbook*. Mcgraw Hill Professional.

Sharma, R.K., kummar, D., & kumar, p. (2005), FLM to Select Suitable Maintenance Strategy in Process Industries Using MISO Model. *Journal of Quality in Maintenance Strategy in Process Industries Using MISO Model*, 11(4): 359-374.

Shyjith, K., Ilagkumaran, 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.

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

sullivan, G.P. (2004). *Operation & Maintenance Best Practices : A Guide to Achieving operational Efficiency*. Pacific Northwest National Laboratory.

Thompson, B. (2004). *Exploratory and Confirmatory Factor Analysis: Understanding Concepts and applications*. American Psychological Association.

Wang, L., Chu, J., & Wu, J. (2007). Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a fuzzy Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Production Economics*, 107(1): 151-163.

yeh,c.h., & chang,y.h.(2009). Modeling subjective evaluation for fuzzy group multi criteria decision making. *European journal of operational research*, 194(2): 464-473.

Zaeri, M.S., Shahrabi, J., Pariazar, M., & Morabbi, A. (2007). A combined Multivariate Technique and Multi Criteria Decision Making to Maintenance Strategy Selection. *In Industrial Engineering and Engineering Management, 2007 IEEE International Conference on*, 621-625.

Zaim, S., Turkyilmaz, A., Acar, M.F., Al-turki, U., & Demirel, O.F. (2012). Maintenance Strategy Selection Using AHP and ANP Algorithms: a case study. *journal of quality in maintenance engineering*, 18(1): 16-29.