فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال سیزدهم، شماره۳۹، زمستان ۹۴
صفحات ۶۲-۳۵

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 و 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 ایده‌آل (TOPSIS) در پالایشگاه نفت شهر ری می‌باشد. با توجه به اینکه متغیرهای بسیاری از قبیل ایمنی، هزینه، ارزش‌افزوده 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 AHPو 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 کاراتر، 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 برحسب 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[1])، نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت (CBM[2])، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه (PDM[3])، نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM[4])، نگهداری و تعمیرات اصلاحی(CM[5])، نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان (RCM[6]). 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 تصمیم گیری 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.

پیشینهٔ 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 پیش بینانه (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 بهره ور فراگیر (TPM)

هدف اصلی نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر، حداکثر کردن اثر بخشی تجهیزات و بهره-وری آن‌ها (ناکاژیما، 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 (کمپبل 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،کوممار 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 ایده‌ال است (شرما،کوممار 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 استراتژی-ها، 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)، ارزش‌افزوده (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 هریک از معیارهای اصلی شناسایی شدند. جمعاً ۳۷ زیر معیار شناسایی گردید. دوازده زیرمعیار برای معیار هزینه، نه زیرمعیار برای ارزش افزوده، هفت زیر معیار برای معیار اصلی 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- استهلاک تجهیزات	۱- کیفیت تولیدات	۱- ایمنی تجهیزات	۱- پذیرش توسط مدیریت
۲- هزینه مصرف انرژی	۲- بازدهی تجهیزات و	۲- اثرات محیطی و آسیب-	۲- وجود قطعات یدکی
۳- هزینه های تحقیق و توسعه	پرسنل	های محیطی زیست	۳- پذیرش توسط کارکنان
۴- هزینه سخت افزار	۳- رضایت مشتریان	۳- ایمنی پرسنل	۴- پذیرش توسط سهام داران
۵- دستمزد پرسنل	۴- خلاقیت	۴- استانداردهای اجتماعی	۵- توانمندی‌های نیروی
۶- هزینه نرم افزار	۵- افزایش رقابت	۵- استانداردهای محیط	انسانی
۷- هزینه تلفات تولید	پذیری	زیست	۶- امکانات نرم افزاری لازم
۸- هزینه آموزش	۶- بهره وری زمانی	۶- قوانین حکومتی	۷- امکانات سخت افزاری
۹- زمان نصب و راه اندازی	۷- بازگشت سرمایه	۷- انتشار سموم به هوا،	لازم
تجهیزات	۸- سود آوری	خاک، آب	۸- پیچیدگی تکنولوژی
۱۰- هزینه قطعات یدکی	۹- توسعه تجارب		۹- عملی بودن از نظر
۱۱- هزینه پاک‌سازی ضایعات	مدیریت و مهندسان		تکنیکی
۱۲- هزینه مصرف مواد خام			

برای تصمیم‌گیری مناسب و دقیق که جوابگوی نیازمندی‌های سازمان باشد توجه به معیارهای ذکر شده امری حیاتی و ضروری است.

روش‌شناسی پژوهش

در این بخش به بررسی اجمالی تحلیل عاملی (FA)[1]، AHP و TOPSIS پرداخته می‌شود.

تحلیل عاملی (FA)

تحلیل عاملی نام عمومی دسته‌ای از روش‌های آماری است. هدف اصلی تحلیل عاملی، کاهش تعداد متغیرها به تعدادکمتری از آن‌ها و کاهش ابعاد ماتریس متغیرها از طریق یافتن ساختار روابط پنهان بین متغیرها و ارائه مجموعه‌ای از عوامل مشترک است و برای این کار، روش بسیار موثری است (لاتین،کارول و گرین، ۲۰۰۳). مفهوم عامل‌های پنهان نخستین بار

1. Factor Analysis

توسط گالتن در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شد و سپس توسط گارنت و دیگران توسعه پیدا کرد. تحلیل‌عاملی 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 نماید. 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 راه حل‌ها را نمایش می‌دهد. AHP به تحلیل‌گران کمک می‌کند تا جنبه‌های حیاتی یک مسئله را به ساختار سلسله مراتبی شبیه 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 تصمیم-گیری 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 تصمیم گیرندگان را ارزیابی کند ۲. AHP خودش تصمیم‌گیری نمی‌کند بلکه به تحلیل‌گران در تصمیم‌گیری کمک می‌کند ۳. AHP به تصمیم گیرندگان کمک می‌کند تا معیارها و زیر معیارهای یک مسئله را به شکل ساختار سلسله مراتبی 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 سلسله مراتبی.

۲. انجام مقایسات زوجی.

۳. تعیین اولویت‌ها.

۴. بررسی ناسازگاری منطقی ماتریس قضاوت.

پرسشنامه مورد استفاده برای تحلیل‌های سلسله مراتبی و تصمیم گیری چند شاخصه به پرسشنامه خبره موسوم است. برای تهیه پرسشنامه خبره از مقایسه زوجی استفاده می‌شود. برای هر سطح از سلسله مراتب 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) برایر است با $CR = \frac{CI}{RI}$ که RI شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی n*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[1])

روش تاپسیس اولین بار توسط هوانگ و یون در سال۱۹۸۱ 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 داده-های 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 مجموعه-ای 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

1. The technique for order preferences by similarity to an ideal solution

براین، نقطه ایده‌آل 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 $A=\{A_i \mid i=1,2,....,n\}$ و مجموعه معیارها به صورت $C=\{C_j \mid j=1,2,....,m\}$ تعریف می‌شوند.

مجموعه $X=\{X_{ij} \mid i=1,2,....,n : j=1,2,....,m\}$ شامل نرخ عملکرد و $W=\{Wj \mid j=1,2,....m\}$ مجموعه وزن معیارها است. جدول اطلاعات به صورت $I = (A,C,X,W)$ در جدول۳ تعریف می‌شود:

جدول(۳): اطلاعات در روش TOPSIS

معیارها / گزینه‌ها	C_1	C_2	...	C_m
A_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1m}
A_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2m}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A_n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nm}
W	W_1	W_2	...	W_m

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

معادله ۱)
$$r_{ij}(x)=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n} x_{ij}^2}},\ i=1,...,n;\ \ j=1,...,m$$

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

معادله ۲) $$h_{ij}(x)=w_j r_{ij}(x), i=1,....,n;\ j=1,....m$$

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 ۳محاسبه می‌شود. بر عکس راه حل ایده‌آل منفی(A^-) به صورت بدترین امتیاز عملکرد همه گزینه‌ها در مورد یک معیار است که توسط معادله ۴محاسبه می‌شود.

معادله۳) $$AJ^{+}=\left\{(\max\ h_{ij}(x)\,|\,j\in J),\ (\min h_{ij}(x)|\ j\in J),\ i=1,2,....,n\right\}$$

ماده۴) $$AJ^{-}=\left\{(\min\ h_{ij}(x)\,|\,j\in J),\ (\max h_{ij}(x)|\ j\in J),\ i=1,2,....,n\right\}$$

در مرحله بعد، بعد از مشخص شدن راه حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، فاصله هر گزینه از راه حل ایده‌آل مثبت و منفی توسط معادله ۵ و معادله ۶ به صورت زیر معین می‌شود:

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

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

که Di^{+} و Di^{-} به ترتیب نشان دهنده فاصله بین امتیاز عملکرد گزینه‌ها نسبت به همه معیارها و همه معیارهای مثبت و منفی است.

محاسبه نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل مطابق معادله ۷ بدست می‌آید.

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

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

اولویت‌بندی تجهیزات

یکی از روش‌های دسته بندی تجهیزات که در این پژوهش نیز از آن استفاده شده است، استفاده از شاخص اهمیت (CI) است. براگلیا و بویلاسکوا (۲۰۰۰)، برای دسته‌بندی تجهیزات یک پالایشگاه ایتالیایی از شاخص اهمیت (CI) استفاده کردند و سه گروه مختلف از تجهیزات با اهمیت‌های 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 آن‌ها عبارت بود از :

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

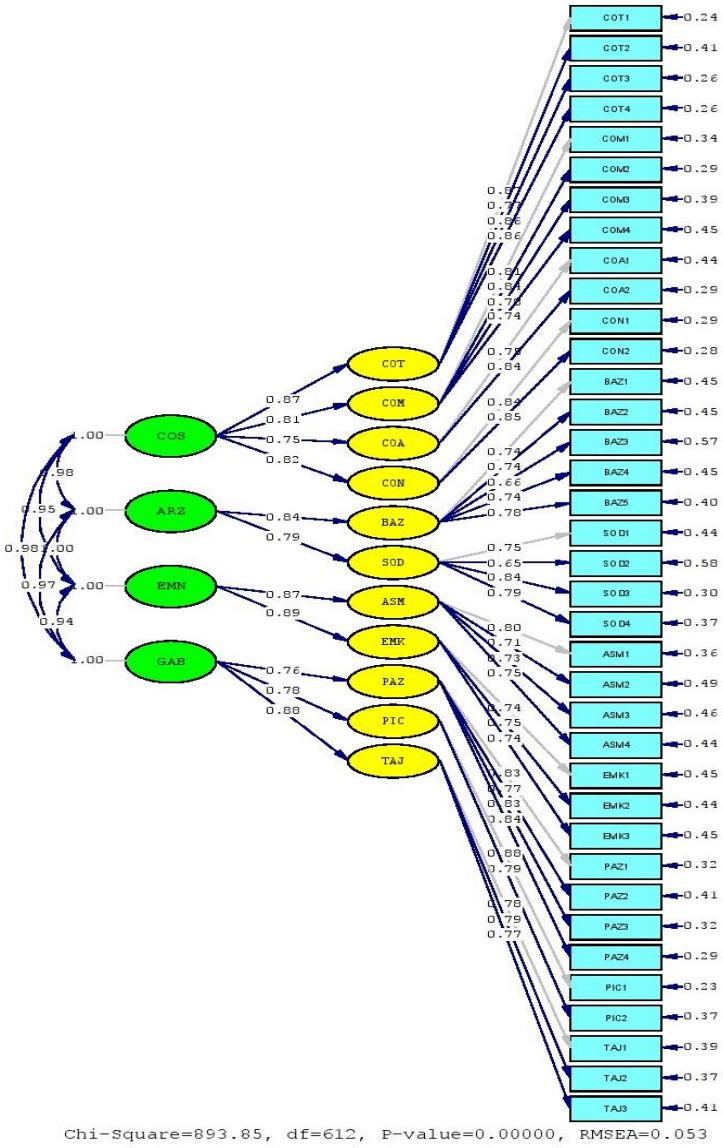
که S ایمنی،IP اهمیت تجهیز در فرایند مربوطه، MC هزینه نگهداری و تعمیرات، FF تکرار خطا، DL زمان توقف، OC شرایط عملکردی و AD دسترسی به ماشین است.

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 اولویت‌بندی 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 ۱حاصل شد.

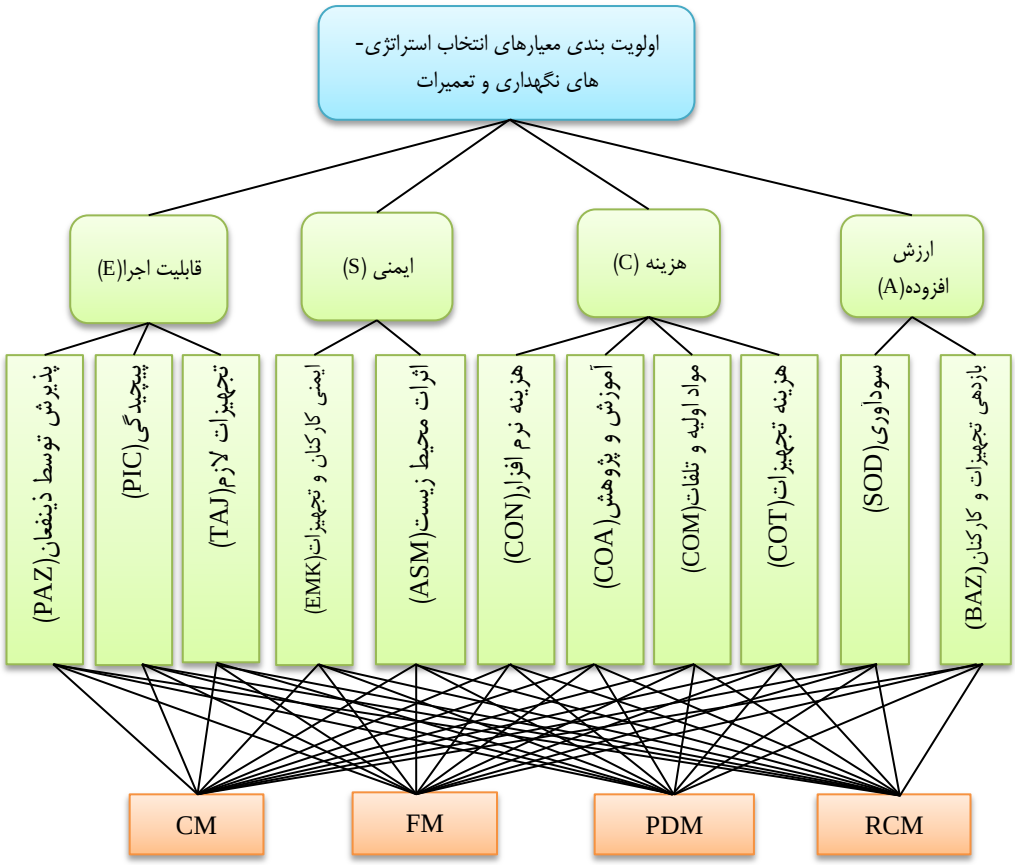
COT = هزینه تجهیزات
COM= هزینه مواد اولیه و تلفات
COA= هزینه آموزش و پژوهش
CON= هزینه نرم‌افزار
BAZ = بازدهی تجهیزات و کارکنان
SOD=سودآوری
ASM=اثرات محیط زیست
EMK= ایمنی کارکنان و تجهیزات
PAZ= پذیرش توسط ذینفعان
PIC =پیچیدگی
TAJ= تجهیزات لازم



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 ارزش‌افزوده 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 اجرا (E) می‌باشد. معیار هزینه شامل ۴ زیر معیار هزینه تجهیزات که در نمودار۱ 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 اجرا شامل ۳ زیرمعیار 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 بپردازند.



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 تجمیع 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 جدول۴ 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

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

نتایج و وزن‌های بدست آمده برای تجهیزات گروه ۲ با درجه "اهمیت متوسط" در جدول۵ 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 بدست‌آمده برای تجهیرات گروه ۲

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	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

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

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 جدول۱۱، جدول۱۲و جدول ۱۳ آمده است.

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

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

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

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

جدول(۱۳): وزن نرمال شده معیارهای بدست آمده برای تجهیزات گروه ۳

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2
۰/۰۸۶	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵	۰/۰۹۱	۰/۵۴۵	۰/۰۰۸	۰/۰۱۸	۰/۰۲۸	۰/۰۰۶	۰/۰۹۸	۰/۰۹۸

برای هر گروه از تجهیزات وزن‌های نرمال شده گزینه‌ها (استراتژی نگهداری و تعمیرات) در وزن نرمال شده زیر معیارها ضرب می‌شود. نتایج برای گروه‌های تجهیزات ۱و۲و۳ به ترتیب در جداول ۱۴،۱۵،۱۶ بدست آمده است.

جدول(۱۴): ضرب وزن نرمال شده گزینه‌ها در وزن نرمال زیر معیارها- گروه ۱

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2	
۰/۰۰۹	۰/۰۱۶	۰/۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۲۵۱	۰/۰۸۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	**CM**
۰/۰۲۳	۰/۰۰۵	۰/۰۴۱	۰/۰۱۲	۰/۰۵۷	۰/۰۷۵	۰/۰۳۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	**PM**
۰/۰۳۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲۲	۰/۰۴۸	۰/۱۹۷	۰/۰۲۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۶۳	**PDM**
۰/۰۳۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۳۳	۰/۱۲۱	۰/۰۳۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۴۳	**RCM**

جدول(۱۵). ضرب وزن نرمال شده گزینه‌ها در وزن نرمال زیر معیارها- گروه ۲

E1	E2	E3	S1	S2	C1	C2	C3	C4	A1	A2	
/۰۲۳ ۰	/۰۱۱ ۰	/۰۲۸ ۰	/۰۰۶ ۰	/۰۳۴ ۰	/۰۵۴۷ ۰	/۰۳۵ ۰	/۰۲۷ ۰	/۰۰۹۸۸ ۰	/۰۰۳ ۰	/۰۰۶ ۰	**CM**
/۰۵۶ ۰	/۰۰۳ ۰	۰/۰۱	/۰۱۹ ۰	/۱۰۹ ۰	/۰۱۶۳ ۰	/۰۱۴ ۰	/۰۰۷ ۰	/۰۰۳۱۸ ۰	۰/۰۱	/۰۱۷ ۰	**PM**
/۰۸۵ ۰	/۰۰۲ ۰	/۰۰۵ ۰	/۰۷۳ ۰	/۳۷۴ ۰	۰/۰۰۵	/۰۰۵ ۰	/۰۰۳ ۰	/۰۰۰۸۴ ۰	/۰۳۵ ۰	/۰۷۸ ۰	**PDM**
/۰۸۵ ۰	/۰۰۲ ۰	/۰۰۴ ۰	/۰۵۱ ۰	۰/۲۳	/۰۰۶۹ ۰	/۰۰۴ ۰	/۰۰۲ ۰	/۰۰۰۸۹ ۰	/۰۳۱ ۰	/۰۵۳ ۰	**RCM**

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

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

در این قسمت بسته به نوع زیر معیار و اثر گذاری آن روی هدف تصمیم گیری، ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی تعیین می‌شود. برای شاخص‌هایی که دارای تاثیر مثبت بر روی هدف مسئله می‌باشند، ایده‌آل 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، ایده‌آل مثبت، کم‌ترین مقدار آن زیر معیار خواهد بود. به طور مثال هرچه 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. ایده‌آل مثبت برای زیر معیارهای هزینه حداقل و برای مابقی زیر معیارها مقدار حداکثر است و ایده‌آل منفی برای زیر معیارهای هزینه مقدار حداکثر و برای مابقی زیر معیارها مقدار حداقل است. اما به دلیل اینکه هنگام انجام مقایسه-های زوجی در مورد معیارهای هزینه‌ای، هزینه کمتر ارجحیت محسوب شده است، بنابراین، برای همه زیر معیارها مقدار حداکثر همان ایده‌آل مثبت و مقدار حداقل، ایده‌آل منفی است که نتایج این امر در جدول ۱۷ آورده شده است.

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

		A2	A1	C4	C3	C2	C1	S2	S1	E3	E2	E1
ایده‌آل مثبت	گروه۱	۰/۰۶۳	۰/۰۱۴	۰/۰۲۱۳۳	۰/۰۲۴	۰/۰۸۳	۰/۲۵۰۶	۰/۱۹۷	۰/۰۴۸	۰/۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۳۵
	گروه۲	۰/۰۷۸	۰/۰۳۵	۰/۰۰۹۸۸	۰/۰۲۷	۰/۰۳۵	۰/۰۵۴۷	۰/۰۳۷۴	۰/۰۷۳	۰/۰۲۸	۰/۰۱۱	۰/۰۸۵
	گروه۳	۰/۰۸	۰/۰۷۱	۰/۰۰۵۷۸	۰/۰۲۷	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷۹	۰/۴۴۹	۰/۰۷۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۷	۰/۰۵۴
ایده‌آل منفی	گروه۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۸۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۲۲۷	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹
	گروه۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۸۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۳۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۲۳
	گروه۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۴۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۴

فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و فاصله هر گزینه تا ایده‌آل منفی، بر اساس معادله ۵ و معادله ۶ محاسبه می‌شود که نتایج در جدول۱۸ آمده است.

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

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

سپس با کمک معادله۷، نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل برای گزینه‌ها در هر گروه تجهیزات را محاسبه می‌کنیم. نتایج بدست آمده در جدول۱۹ گزارش شده است.

جدول(۱۹): محاسبه نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل برای گزینه‌ها (استراتژی‌ها) در مطالعه موردی

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

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

	گروه۱	گروه۲	گروه۳
رتبه اول	CM	PDM	PDM
رتبه دوم	PDM	RCM	RCM
رتبه سوم	RCM	PM	PM
رتبه چهارم	PM	CM	CM

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 (فرصتی) وجود دارد و سایر استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در آن دیده نشده است.

صدور روزانه PTW[1] ها توسط کارکنان بهره برداری پس از ایجاد خرابی و خطا در تجهیزات، نشان دهنده به‌کارگیری و استفاده از استراتژی CM می‌باشد. انجام بازدیدها، گریس‌کاری و روغن‌کاری‌های دوره‌ای الکتروموتورها، پمپ‌ها، کمپرسورها و ژنراتورها نشان‌دهنده 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 نشان‌دهنده اهمیتی است که نفرات ارشد این واحد برای PM در نظر گرفته‌اند. انجام تست‌های لرزش الکتروموتورها، پمپ‌ها، کمپرسورها و ژنراتورها، تست حرارت‌سنجی الکترو موتورهای برقی و ترانسفورماتورهای برق، انجام تحلیل روغن کمپرسورها، ترانسفورماتورها و ژنراتورها در واحدهای بهره برداری نشان‌دهنده 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 می‌گیرد. سوابق انجام این تحلیل‌ها در واحد PM نگهداری می‌گردد اما از آن‌ها برای تعیین روند وضعیت تجهیزات و پیش‌بینی زمان وقوع خطا استفاده نمی‌گردد 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 می‌توان یکی از تکنیک‌های روش CBM در نظر گرفت اما از آنجا که درک حسی انسان دقت لازم را ندارد و کارکنان مختلف در شیفت‌های 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، بررسی‌های آن‌ها سلیقه‌ای بوده و این روش چندان قابل اعتماد نیست. استراتژی RCM نیز در این پالایشگاه پیاده‌سازی 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

1. Permit To Work

و ارزیابی استراتژی‌ها شده است. با بررسی بخش نگهداری و تعمیرات پالایشگاه شهر ری به‌عنوان 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 PDM، RCM، PM، CM و در گروه ۳ تجهیزات، استراتژی‌های PDM، RCM، PM، CM به ترتیب از راست به چپ دارای اولویت بالاتری برای پیاده‌سازی 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 TOPSISبدست 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 به‌راحتی 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 TOPSISبرای مسایل برنامه‌ریزی چند هدفه غیرخطی با مقیاس بزرگ و ساختار بلوکی زاویه‌دار تحت شرایط عدم قطعیت. مجله مطالعات مدیریت صنعتی، سال دوازدهم، شماره ۳۵، ص۸۳-۱۲۱.

ربانی،علی.،زارع،حبیب و بهنیا، فروغ.(۱۳۹۲). ارائه الگوی مناسب جهت پیاده سازی سیستم نگهداری و تعمیرات در کارخانجات خطوط تولید پیوسته با رویکرد مدل‌های تصمیم گیری و برنامه-ریزی آرمانی فازی. مجله مطالعات مدیریت صنعتی، سال یازدهم، شماره۳۱، 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., & kuei,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 Maintenace 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., Turkylmaz, A., Acar, M.F., Al-turki, U., & Demirel, O.F. (2012). Maintenace Strategy Selection Using AHP and ANP Algorithms: a case study. *journal of quality in maintenance engineering*, 18(1): 16-29.