فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هجدهم/ شماره ۶۶ / زمستان ۱۴۰۲

تعیین عوامل موثر در اولویت بندی استراتژی های نگهداری و تعمیرات با ترکیب روشهای تحلیل عاملی و AHP (مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی)

سمیه فخیمی حسین زاد
دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی گرایش استراتژی صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران
یعقوب علوی متین (نویسنده مسئول)
استادیار گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران
Email:alavimatin@iaut.ac.ir
سلیمان ایرانزاده
استاد گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

چکیده
انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات در یک سازمان تجهیز محور دارای اهمیت بسیاری است و مستقیما در بهره وری و سود دهی و هزینه تاثیر دارد. نگهداری و تعمیرات نقش مهمی در حفظ قابلیت اطمینان کیفیت تولید، کاهش ضایعات، کاهش ریسک، افزایش بازدهی و افزایش رضایت مشترک و... را بر عهده دارد. از مهم ترین استراتژی های نگهداری و تعمیرات می توان به نگهداری و تعمیرات اصلاحی، پیشگیرانه، مبتنی بر وضعیت و قابلیت اطمینان اشاره کرد که با توجه به موقعیت و شرایط محیطی، به کارگیری هر یک، از مزایا و معایبی برخوردار است. هدف از این مقاله ارائه یک روش کلی برای انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات در سازمان های تجهیز محور نظیر آب و فاضلاب است. در این راستا سعی شده است با استفاده از روش تحلیل عاملی تاییدی و مدلسازی معادلات ساختاری حداقل مجذورات جزئی، عوامل موثر بر انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات توسط پرسشنامه خبره و نرم افزارSMART PLS بررسی و عوامل تایید شده، جهت اولویت بندی چهار استراتژی نگهداری تعمیرات پیشگیرانه، پیشگویانه، اصلاحی و بر اساس قابلیت اطمینان، توسط تکنیک AHP در نرم افزارEXPERT CHOISE مورد تحلیل قرار می گیرد. نتایج حاصل از این تجزیه تحلیل، اولویت اول را استفاده از روش نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه جهت پیشبرد اهداف نگهداشت تجهیزات حیاتی شرکت تعیین کرده است.

کلمات کلیدی: استراتژی های نگهداری و تعمیرات، تحلیل سلسله مراتبیAHP، تحلیل عاملی تاییدی.

۱-مقدمه

حجم هزینه های تعمیرات و نگهداری در سازمانها از یک طرف، افزایش رقابت و ایجاد فشار به سازمانها جهت کاهش هزینه- ها و افزایش بهره وری از طرف دیگر و تنوع راهبردهای نگهداری و تعمیرات از طرف سوم باعث شده است تا انتخاب بهترین راهبرد برای هر سازمان با توجه به ویژگیهای خاصی که دارد (به یک مسئله تبدیل شود) توضیح: (تبدیل شدن هر موضوعی در یک سازمان به یک مسئله باعث می شود که برای پیدا کردن راهکار، تلاش همه جانبه ای از طرف سازمان صورت پذیرد). این در حالی است که هر روزه محققان راهبردهای مختلفی را در این حوزه ارائه می دهند که هر راهبرد بسته به ویژگیها و ماهیت سازمان، تجویز و یا توصیه می شود. از این تحقیقات می توان به راهبردهای تعمیرات و نگهداری در صنایع دریایی (Bakke et al., 2001)، روشهای اقتضایی و انعطاف‌پذیر برای برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات در سیستمهای چند بخشی(Verbert et al., 2017) و راهبردهای نگهداری و تعمیرات برای تاسیسات تجهیزات اجاره ای (Mabrouk et al., 2016) اشاره کرد. در این میان، راهبردهای عمومی نیز مانند راهبردهای اصلاحی، پیشگیرانه، مبتنی بر شرایط، مبتنی بر قابلیت اطمینان، پیش بینانه و بهره ور فراگیر ارائه شده اند که برای بیشتر سازمانها قابل استفاده اند.

در کنار این تحقیقات که بر تدوین راهبرد متمرکزند و هر روزه بر تعدد و تنوع آن می افزایند، محققان دیگری روشهای انتخاب بهترین راهبرد برای سازمان را تحت مطالعه قرار داده اند که این مطالعات خود به دو دسته تقسیم میشوند. دسته اول بر شاخص هایی تمرکز دارند که به وسیله‌ی آنها راهبردها مورد بررسی قرار می گیرند که این مطالعات باعث شده اند شاخصهای زیادی برای ارزیابی راهبردها مطرح شوند و با افزایش این شاخص ها، مسئله انتخاب راهبرد پیچیده تر شده است. دسته دوم بر روشهایی تمرکز دارند که با استفاده از آنها می توان مسائل پیچیده‌ی مذکور را تحلیل کرد. استفاده از تکنیکهای کمی و مدلهای ریاضی در بسیاری از این موارد دیده می شود (Hemeti et al., 2016). از آنجا که معیارهای زیادی در انتخاب راهبرد نقش دارند، در برخی از این تحقیقات از آغاز فرض شده است که استقلال کامل بین معیارها برقرار است. سپس از روشهایی مانند تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب راهبرد استفاده شده و اولویت بندی راهبردهای نگهداری و تعمیرات استفاده شده است که اساس آنها بر استقلال معیارهاست (Safari et al., 2009).

بسیاری از شرکت ها به تعمیر و نگهداری به عنوان یک منبع اجتناب ناپذیر هزینه فکر می کنند. برای این شرکت ها عملیات تعمیر و نگهداری، عملکرد اصلاحی دارد و فقط در شرایط اضطراری اجرا می شود. امروزه این شکل از مداخله به دلیل برخی از عناصر حیاتی مانند کیفیت محصول، ایمنی کارخانه و افزایش هزینه های بخش تعمیر و نگهداری که می تواند از ۱۵ تا ۷۰ درصد کل هزینه های تولید را تشکیل دهد، دیگر قابل قبول نیست(Triantaphyllou et al., 2017).

استراتژی نگهداری نقش بسیار مهمی در انواع صنایع تولیدی دارد. هر استراتژی نگهداری ویژگی ها، اهمیت و معایب خود را دارد. عملکرد یک ماشین بستگی به نوع استراتژی های تعمیر و نگهداری به کار رفته روی آن دارد. ماشین آلات مورد استفاده در صنایع نیاز به تعمیر و نگهداری مناسب دارند زیرا خرابی ماشین ممکن است باعث ضرر تولید شود. استراتژی تعمیر و نگهداری ممکن است از ماشینی به ماشین دیگر متفاوت باشد. زیرا عوامل متضاد مختلفی مانند ایمنی، هزینه، رضایت مشتری و غیره وجود دارد. عوامل موثر بر عملکرد ماشین ها باید شناسایی و کنترل شوند. استفاده از استراتژی تعمیر و نگهداری نامناسب ممکن است هزینه‌ی نگهداری را افزایش دهد. افزایش هزینه‌ی نگهداری باعث افزایش هزینه تولید می‌شود. انتخاب یک استراتژی تعمیر و نگهداری برای یک ماشین خاص یا گروهی از ماشین‌ها یک مشکل تصمیم‌گیری است و همیشه یک وظیفه چالش برانگیز برای مدیران و مهندسین تعمیر و نگهداری است. با استفاده از ابزارهای تصمیم گیری مانند AHP می توان این مشکل را حل کرد. استفاده از روش AHP همچنین محاسبه وزن عوامل را تسهیل می کند که از طریق آنها تصمیم گیرنده می تواند تفاوت بین شرایط واقعی و شرایط مورد نیاز را تجزیه و تحلیل کند. کار تحقیقاتی حاضر نشان می دهد که می توان بر مشکل انتخاب یک استراتژی تعمیر و نگهداری بهینه برای یک ماشین را با استفاده از ابزار تصمیم گیری (AHP) غلبه کرد (Mohammad et al., 2018).

هدف از انجام ایـن تحقیـق، تعیـین راهبـرد برتـر بـا اسـتفاده از داده هـای کمتـر وسرعت عمل و دقت بالاتر است. سؤال اصلی تحقیق آن است که مناسبترین راهبرد نگهداری و تعمیرات برای صـنعت آب و فاضلاب با اسـتفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی کدام است و برای انتخاب این راهبرد چه معیارهایی مورد توجه و آزمون قرار گرفته اند و استراتژی تعیین شده با معیارهای اندازه گیری شده با روش های انجام گرفته در این مقاله، نهایتاً چه کمکی به وضعیت تاسیسات شرکتهای آب و فاضلاب می نماید.

۲- روش شناسی پژوهش

الف) مرور ادبیات و پیشینه نظری

راهبردهای نگهداری و تعمیرات

نگهداری و تعمیرات به مجموعه‌ی فعالیتهایی اطلاق میشود که سبب افزایش عمر مفید ماشین آلات می شوند و کاهش مصرف قطعات یـدکی و انـرژی و هزینـه را بـه دنبـال دارد و کارایی و راندمان عملـی ماشـین آلات را افـزایش مـی دهـد. راهبـرد تعمیـرات و نگهداری عبارت است از رویکرد سازمان بـه طریقـه‌ی اجـرای فعالیـتهـای ایـن حـوزه به منظور افزایش بهره وری و بر اساس ویژگیهایی که سازمان و تجهیـزات سـازمان دارا می‌باشند(Mabrouk et al., 2016). در این مقاله به چهار نوع از معـروفتـرین راهبردهـای نگهداری و تعمیرات پرداخته می‌شود که در ادامه تشریح شده اند:

نگهداشت پیشگیرانه:

فرایندی برای نگهداشت که به منظور ارزیابی و یا تخفیف تخریب و کاهش احتمال خرابی یک آیتم (مورد تحت بررسی) انجام می شود(BS EN 13306:2017).

نگهداشت مبتنی بر وضعیت یا پیشگویانه:

نگهداشت پیشگیرانه ای که در آن ارزیابی وضعیت فیزیکی صورت گرفته و سپس بر اساس آن وضعیت، اقدامات نگهداشتی انجام شود(BS EN 13306:2017).

راهبرد مبتنی بر قابلیت اطمینان :

عملکرد کلی سیستم عملیاتی به اثربخشی فعالیت های مربوطه که بخشی از سیستم هستند، متکی است. یک اصل مهم برای توجه به یک محیط رقابتی، اصل ۲۰/۸۰ است. یعنی تقریبا ۲۰٪ از عناصر در محیط کاری، ۸۰٪ از خطرِ شکست سیستم را نشان می دهد (Kirby, 2012).سازمان ها باید تعیین کنند که کدام اجزای سازنده با بالاترین خطر احتمالی شکست بحرانی هستند و اولویت بندی نظارت، تجزیه و تحلیل و نگهداری فعالیت های آن مولفه ها را تعیین می‌کند. بنابراین، مفهوم این نوع تعمیر و نگهداری، با قابلیت اطمینان (RCM) معرفی شده است(BS EN 13306:2017).

نگهداشت اصلاحی

نگهداشتی که پس از تشخیص عیب در راستای بازگردانی یک دارایی به حالتی که بتواند کارکرد مورد انتظار (استاندارد) را بدست آورد، انجام می شود(BS EN 13306:2017).

ب) پیشینه تجربی

شهانقی و برزگر با استفاده از معیارهای هزینه، ارزش افزوده، ایمنی و قابلیـت اجـرا، از تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای رتبه بندی راهبردهای تعمیرات و نگهـداری استفاده کردند(Shahanghi et al., 2009).

صفری و همکاران نیز از شاخصهای مخاطره‌ی شکست تجهیزات و هزینه از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و برنامه ریزی آرمانی استفاده کردند (Safari et al., 2009).

آقایی و فضلی از معیارهای هزینه، ایمنی، الزامهای فنی و الزامهـای راهبـرد اسـتفاده کردند. ایشان از روش آزمایشگاه ارزیابی و دیمتـل بـرای تعیـین جهـت روابـط میـان معیارها و سپس از فرایند تحلیل شبکه ای برای انتخاب راهبرد مناسب اسـتفاده کردنـد(Aghaei&Fazli, 2013). مـولایی و همکاران معیارهای ایمنی، (ایمنـی کارکنـان، ایمنـی تجهیـزات و ایمنـی

محیط)، هزینه (هزینه‌ی سخت افزار، هزینه‌ی نرم افزار و هزینه‌ی آموزش کارکنان)، ارزش افزوده (ارزش افزوده‌ی قطعات یدکی مورد نیاز، ارزش میزان تولید از دست رفته، ارزش تشخیص عیب) و قابلیت اجرا (پذیرش کارکنان، امکان فنی) را به کار گرفتند. سپس وزن عوامل به وسیله تحلیل سلسله مراتبی فازی و در نهایت از روش تاپسیس فازی برای رتبه بندی راهبردها استفاده نمودند(Moulai et al., 2015). صیتی و همکاران از معیارهای هزینه (موجودی قطعات یدکی، دستمزدکارکنان، میانگین زمان تعمیر، میانگین زمان خرابی) ، مخاطره (ضرر به محصول، صدمه به افراد، صدمه به محیط) ، قابلیت دسترسی (فناوری، قابلیت دسترسی) ، ارزش افزوده (کیفیت محصول، کارایی، ایمنی ذاتی) استفاده کردند. آنها از طراحی بدیهه گرای فازی برای رتبه بندی راهبردها استفاده کردند(Siti et al, 2013).

یک روش چند معیاره مبتنی بر شش مرحله برای ارزیابی WTS با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست محیطی مرتبط ارائه می‌کند. به ویژه، چهل و هشت معیار اصلی با توجه به اهمیت آنها بر اساس ادبیات قبلی شناسایی و رتبه بندی شدند. این روش در یک شرکت بهداشتی برزیل در یک منطقه تصفیه‌ی خاص تقریباً پنج هزار نفری و با مشکلات زیست محیطی مکرر مانند آلودگی و راندمان پایین تصفیه فاضلاب به کار گرفته شده است. بیست گزینه‌ی موجود در نظر گرفته شد و دوازده معیار برای این کاربرد انتخاب شد. روش های AHP و ELECTRE II برای وزن دادن به معیارهای مختلف و رتبه بندی مناسب ترین WTS ترکیب شدند. این روش را می توان در سناریوهای مختلف برای بهبود فرآیند تصمیم گیری گسترش داد و به کار برد(Lizot et al., 2020).

با توجه به مطالعات فوق و همچنین سایر مراجع بروز و مرتبط، معیارهای انتخاب راهبرد مناسب تعمیرات و نگهداری در این پژوهش عبارتند از ایمنی (ایمنی کارکنان، ایمنی تجهیزات و ایمنی محیط)، هزینه (هزینه‌ی سخت افزار، هزینه‌ی نرم افزار و هزینه‌ی آموزش کارکنان)، ارزش افزوده (ارزش افزوده‌ی قطعات یدکی مورد نیاز، ارزش تشخیص عیب) و قابلیت اجرا (پذیرش کارکنان، امکان فنی) و عوامل مدیریتی (ساختار، فرهنگ، سبک رهبری) می باشد. همچنین راهبردهای مورد بحث در این تحقیق عبارتند از راهبرد اصلاحی، پیشگیرانه، مبتنی بر وضعیت یا پیش گویانه و قابلیت اطمینان.

ج) ابزار و روش

۱- تحلیل عاملی (FA):

تحلیل عاملی یک اصطلاح کلی است که به گروهی از روشهای آماری چند متغیره داده می شود که هدف اصلی آنها تعریف ساختار پنهان در داده ها است. به طور کلی با تعریف مجموعه ای از ابعاد پنهانی مشترک که به عنوان عوامل گفته می شوند ، ساختار روابط (همبستگی) را در بین حجم عظیم متغیرها تجزیه و تحلیل می‌کند(Tamsoon, 2004). هدف از تکنیک های FA یافتن خلاصه ای از داده های موجود در مقدار اولیه متغیرها و تبدیل آنها به مجموعه ای کوچکتر از ابعاد یا عوامل ترکیبی جدید با کمبود داده های کم است(Lattin et al., 2003).

۲- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف ترین فنون تصمیم گیری چند شاخصه است که توسط توماس اِل ساعتی در دهه ۱۳۴۰ ابداع گردید. (Qudsipour, 2014) این روش هنگامی که عمل تصمیم گیری با چند گزینه و شاخص تصمیم گیری روبرو است، می تواند مفید باشد. شاخص ها می توانند کمی و یا کیفی باشند. اساس این روش بر مقایسات زوجی نهفته است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نیازمند شکستن مساله تصمیم با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. بدین منظور از درخت تصمیم استفاده می شود که از چهار سطح تشکیل شده است: سطح اول شامل هدف کلی از تصمیم گیری می باشد. در سطح دوم معیارهای کلی قرار دارند که تصمیم گیری بر اساس آنها صورت می گیرد. در سطح سوم زیرمعیارها قرار میگیرند و در آخرین سطح نیز گزینه های تصمیم است، مطرح می شوند. (Saaty, 1980).

د) مدل مفهومی

پژوهش حاضر از نظر ماهیت توصیفی – پیمایشی، به لحاظ فرایند، کمی و به لحاظ نتیجه، کاربردی است. از نظر موضوعی در حوزه تصمیم گیری چند معیاره درانتخاب راهبرد نگهداری و تعمیرات قرار می‌گیرد. اعضای جامعه آماری در

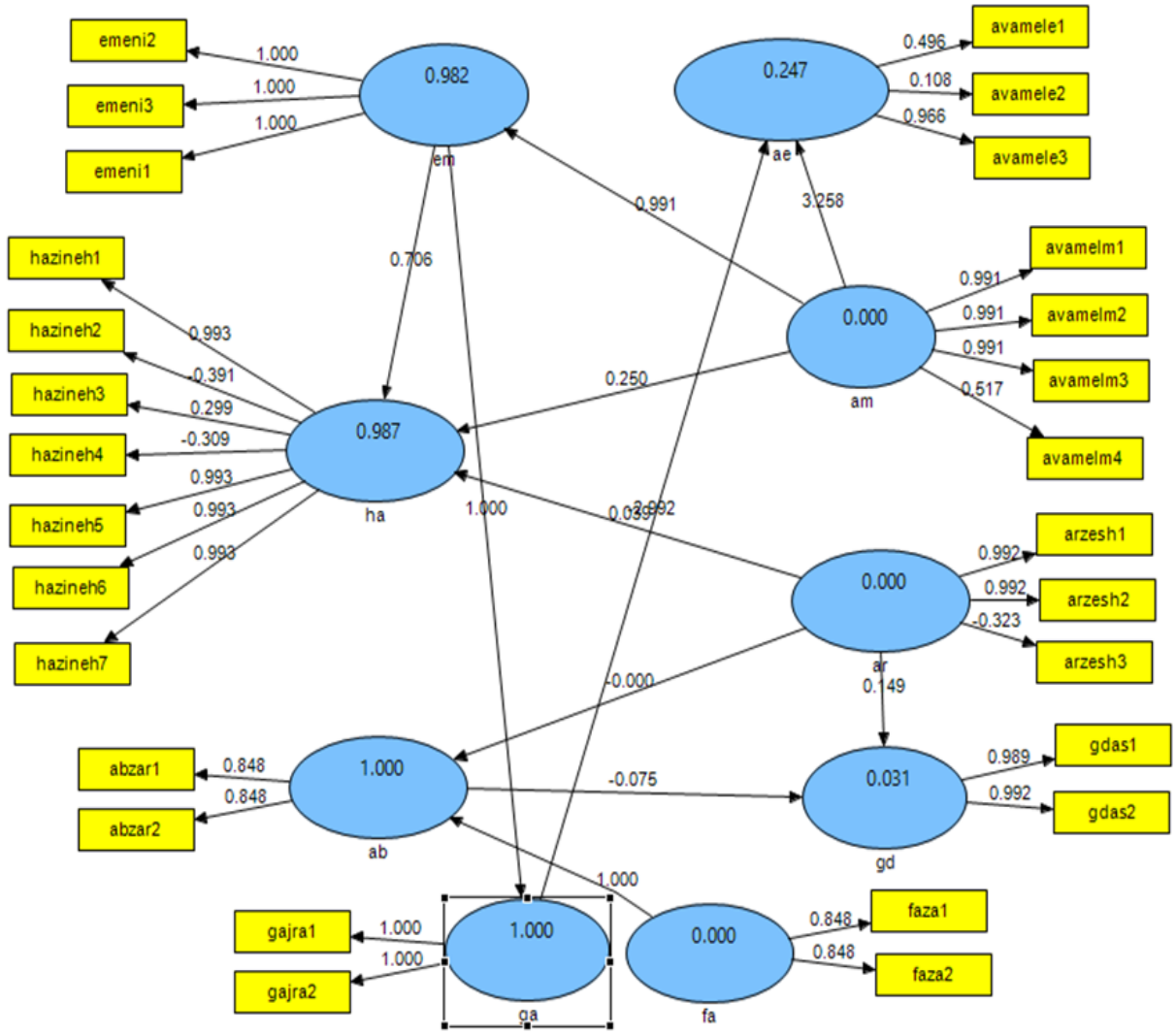
قسمت تعیین بار عاملیِ معیارهای موثر در انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات عبارتند از: ۵۰ نفر از کارشناسان نگهداری و تعمیرات شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی (کلاً در شرکت ۵۰ نفر با عنوان کارشناس نگهداری و تعمیرات تاسیسات و تجهیزات آب فعالیت دارند) و جامعه آماری بخش تحلیل سلسله مراتبی جهت اولویت بندی استراتژی های نت، ۱۰ نفر از خبرگـــان صاحب نظر در زمینه نگهداری و تعمیرات در شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی می باشد. یکی از مزایای عمده AHP این است که تجزیه و تحلیل همیشه به حجم نمونه آماری معنی‌دار نیاز ندارد. سادگی رویکرد AHP در این است که، بر خلاف سایر روش‌ها، کیفیت یا سطوح ویژگی‌های مختلف مستقیماً با هم مقایسه نمی‌شوند. بنابراین، رویکرد AHP نیاز به طرح‌های پیمایش پیچیده را از بین می‌برد و حتی می‌توان آن را (در موارد شدید) تنها با یک پاسخ‌دهنده به کار برد (Dutta, 2007). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از رویکردهای روش‌شناختی است که ممکن است برای حل مشکلات تصمیم‌گیری بسیار پیچیده که شامل سناریوها، قوانین و بازیگران متعدد است، به کار رود (Saaty, 1980). میانگین تعداد خبرگان انتخاب شده در تحقیقات مختلف به روش AHP بین ۵ تا نهایتاً ۱۵ نفر خبره می باشد.

ر) روش تحلیل یافته ها

تحلیل عاملی متغیرها:

از آنجا که در نظر گرفتن کلیه‌ی معیارهای انتخاب استراتژی نگهداری، غیرممکن به نظر می رسد، استفاده از تکنیک کاهش ابعاد برای استخراج الگو و جمع بندی معیارها ضروری به نظر می رسد. در این روش به دلیل در نظر گرفتن رابطه‌ی متقابل بین عوامل برای کاهش ابعاد و شناخت الگوها، از تحلیل عاملی به عنوان یکی از کاربردی ترین و مناسب ترین تکنیک های تحلیل چند متغیره استفاده شده است.

برای بدست آوردن بار عاملی متغیر ها در ابتدا باید متغیر های آشکار و پنهان و تاثیر پذیر پذیری آنها از همدیگر را تحت یک مدل ساختاری در نرم افزار پیاده سازی کرد. شکل شماره(۱) مدل ساختاری متغیر های مذکور را نشان می دهد. بیضی های آبی رنگ متغیر های پنهان و باکس های زرد رنگ، متغیر های آشکار یا همان سوالات پرسشنامه هستند.



شکل شماره(۱): مدل ساختاری

ز)کیفیت مدل و روایی متقاطع:

CV-Redشاخص بررسی اعتبار حشو یا افزونگی (CV- Redundancy) که کیفیت مدل ساختاری را نشان می دهد. CV-Com شاخص بررسی اعتبار اشتراک یا روایی متقاطع(CV-Communality) را نشان می دهد. اعداد مثبت نشان دهنده کیفیت مدل است که در اینجا تمامی اعداد مثبت و نشانگر کیفیت خوب مدل می باشد.جدول شماره(۲)

جدول شماره(۲): CV- Redundancy(کیفیت مدل)

متغیر های پنهان	1-SSE/SSO
ابزارآلات	۰/۷
عوامل انسانی	۰/۰۱
عوامل مدیریتی	۰/۷
ارزش افزوده	۰/۵
ایمنی	۰/۹

۰/۱	فضا
۱	قابلیت اجرا
۰/۰۱	قابلیت دسترسی
۰/۵	هزینه

Results

CV Red.

	1-SSE/SSO
ab	0.702285
ae	0.010791
am	0.707020
ar	0.507631
em	0.982251
fa	0.196057
ga	0.998774
gd	0.008198
ha	0.561988

Table of contents

شکل شماره(۲): خروجی نرم افزاربرای کیفیت مدل

در مرحله محاسبه‌ی بارهای عاملی، بار عاملی مورد قبول برای هر متغیر در سطح معناداری ۰/۱ بالاتر از ۰/۹ می باشد که در اینجا متغیر های ارزش افزوده قطعات یدکی، ارزش تشخیص عیب، سبک رهبری، ساختار، فرهنگ، ایمنی تجهیزات، ایمنی محیط زیست، ایمنی کارکنان، پذیرش کارکنان، امکان فنی، هزینه‌ی نرم افزار، هزینه‌ی سخت افزار، هزینه‌ی آموزش و هزینه‌ی موجودی قطعات یدکی با کسب بار عاملی بیشتر از ۰/۹ مورد پذیرش واقع شده اند. جدول شماره(۲)

جدول شماره(۲): جدول بارهای عاملی هر یکی متغیر ها

	ابزار	عوامل انسانی	عوامل مدیریتی	ارزش افزوده	ایمنی	فضا	قابلیت اجرا	قابلیت دسترسی	هزینه
تجهیزات تخصصی	۰/۸۴								
ابزارآلات تخصصی	۰/۸۴								
ارزش افزوده قطعات یدکی				۰/۹۹					
ارزش تشخیص عیب				۰/۹۹					
کیفیت محصول				-۰/۳۲					
مهارت		۰/۵۳							
دانش فنی		۰/۶۱							
جایگاه شغلی		۰/۸۲							
سبک رهبری			۰/۹۹						
ساختار			۰/۹۹						

						۰/۹۹		فرهنگ
						۰/۵۱		انگیزش
					۱			ایمنی تجهیزات
					۱			ایمنی کارکنان
					۱			ایمنی محیط زیست
				۰/۸۴				فضای تعمیرگاهی
				۰/۸۴				فضای نگهداری قطعات یدکی
			۱					پذیرش کارکنان
			۱					امکان فنی
		۰/۸۸						فناوری
		۰/۸۷						قابلیت دسترسی تجهیزات
۰/۹۹								هزینه سخت افزار
-۰/۳۹								هزینه دستمزد کارکنان
۰/۲۹								میانگین زمان خرابی
-۰/۳۰								میانگین زمان تعمیر
۰/۹۹								هزینه نرم افزار
۰/۹۹								هزینه آموزش
۰/۹۹								موجودی قطعات یدکی

در بررسی جدول واریانس مقادیر قابل قبول که مربوط به اعتبار مناسب ابزارهای اندازه گیری است برابر با ۰/۵ است که تمامی ابزارها بالاتر از این مقدار هستند.جدول شماره(۳)

جدول شماره(۳): جدول واریانس سازه ها

	AVE
ابزارآلات	۰/۷۱
عوامل انسانی	۰/۵۱
عوامل مدیریتی	۰/۸۰
ارزش افزوده	۰/۶۹
ایمنی	۱
فضا	۰/۷۱
قابلیت اجرا	۱
قابلیت دسترسی	۰/۹۸
هزینه	۰/۶۱

برای بررسی معنا داری بارهای عاملی از آماره های T استفاده می کنیم. ملاک معناری در سطح ۰/۱ اعداد بالاتر از ۲/۵۸ هستند.

جدول شماره(۴): جدول آزمون T

	ابزار	عوامل انسانی	عوامل مدیریتی	ارزش افزوده	ایمنی	فضا	قابلیت اجرا	قابلیت دسترسی	هزینه
تجهیزات تخصصی	۳۲/۲								
ابزارآلات تخصصی	۹۵/۵								
ارزش افزوده قطعات یدکی				۱۳۳					

ارزش تشخیص عیب			۱۳۳		
کیفیت محصول			۱/۵		
مهارت	۱/۳				
دانش فنی	۲				
جایگاه شغلی	۷/۴				
سبک رهبری		۳۲۰/۹			
ساختار		۳۲۰/۹			
فرهنگ		۳۲۰/۹			
انگیزش		۳/۷			
ایمنی تجهیزات					
ایمنی کارکنان					
ایمنی محیط زیست					
فضای تعمیرگاهی			۳۲/۲		
فضای نگهداری قطعات یدکی			۳۱/۱		
پذیرش کارکنان					
امکان فنی					
فناوری				۳۵۲/۹	
قابلیت دسترسی تجهیزات				۳۱۶/۴	
هزینه سخت افزار					۳۸۴/۴
هزینه دستمزد کارکنان					۲/۵
میانگین زمان خرابی					۲/۱
میانگین زمان تعمیر					۲/۱
هزینه نرم افزار					۳۴۸/۴
هزینه آموزش					۳۴۸/۴
موجودی قطعات یدکی					۳۴۸/۴

Outer Model T-Statistic

	ab	ae	am	ar	em	fa	ga	gd	ha
abzar1	32.296728								
abzar2	29.564419								
arzesh1				133.052270					
arzesh2				133.052270					
arzesh3				1.539815					
avamele1		1.326449							
avamele2		2.023120							
avamele3		7.401579							
avamelm1			320.952698						
avamelm2			320.952698						
avamelm3			320.952698						
avamelm4			3.776390						
emeni1									
emeni2									
emeni3									
faza1						32.215677			
faza2						31.112803			
gajra1									
gajra2									
gdas1								352.997508	
gdas2								316.479138	
hazineh1									348.446033
hazineh2									2.502904
hazineh3									2.116795
hazineh4									2.128260
hazineh5									348.446033
hazineh6									348.446033

شکل شماره(۳): آزمون T در نرم افزارEXPERT CHOISE

با استفاده از مدل سازی تایید عاملی نرم افزار SMART PLS معیارهایی که بیشترین بار عاملی در تعیین استراتژی نت دارند به ترتیب زیر انتخاب گردیده اند.

۱- ایمنـی (ایمنـــی کارکنان، ایمنی تجهیزات و ایمنی محیط)

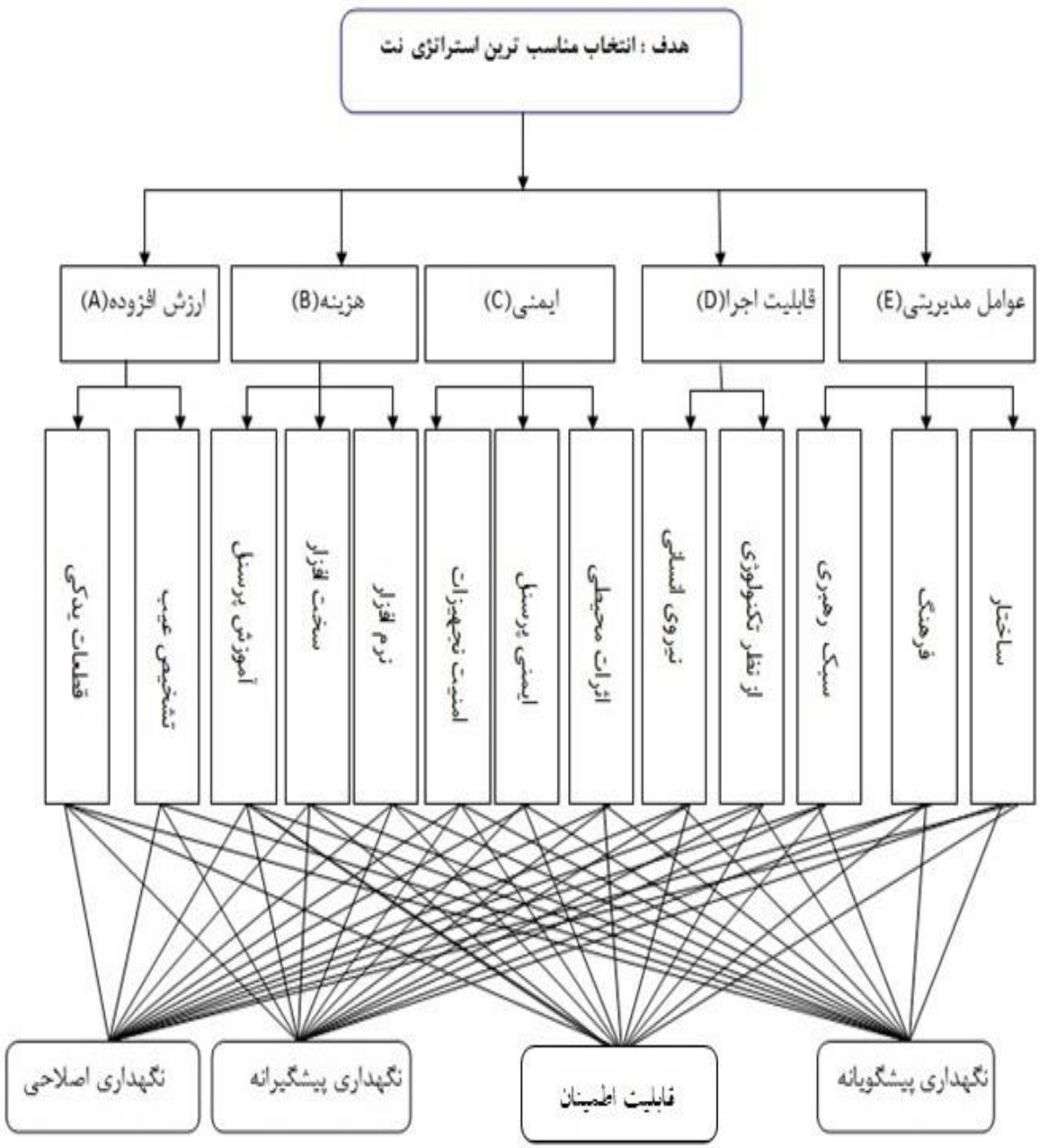
۲- هزینه (هزینه‌ی سخت افزار، هزینه‌ی نـرم افـزار و هزینه‌ی آموزش کارکنان، هزینه‌ی انبار قطعات یدکی)

۳- ارزش افزوده(ارزش افزوده‌ی قطعات یدکی مورد نیاز، ارزش تشـخیص عیـب)

۴- قابلیـت اجـرا(پـذیرش، کارکنـان، امکـان فنـــی)

۵- عوامل مدیریتی (سبک رهبری، ساختار، فرهنگ)

این عوامل بیشترین تاثیر را در انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات داشته و به عنوان ورودی مرحله بعدی که اولویت بندی استراتژی های نگهداری و تعمیرات با روش AHP می باشد، مورد استفاده قرار می گیرند.شکل شماره(۴)



شکل شماره(۴): ساختار سلسله مراتبی برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات

بر اساس نظریه AHP ابتدا باید نظرات خبرگان تلفیق و وزن معیارها بدست آید. در مرحله بعد وزن زیر معیارها باید محاسبه گردد. در مرحله سوم وزن زیر معیارها در ارتباط با استراتژی باید تعیین گردد و در نهایت وزن نهایی استراتژی ها و رتبه بندی آنها انجام گیرد. تمامی آزمون های در نرم افزارEXPERT CHOISE انجام شده است که در ادامه چند شکل از خروجی های مهم نرم افزار قرار گرفته است.

جدول شماره(۵): وزن معیارهای اصلی پس از تلفیق نظرات

عوامل مدیریتی	قابلیت اجرا	ارزش افزوده	هزینه	ایمنی	معیار اصلی
۰/۱۰۹	۰/۱۵۲	۰/۱۰۹	۰/۰۵۸	۰/۵۷۷	وزن

جدول شماره (۶): وزن زیر معیرها پس از تلفیق نظرات

عوامل مدیریتی	قابلیت اجرا	ارزش افزوده	هزینه	ایمنی	معیارها
				۰/۱۶۲	ایمنی تجهیزات
				۰/۷۷۰	ایمنی کارکنان
				۰/۰۶۸	ایمنی محیط
			/۰۴۸		هزینه سخت افزار
			۰/۱۷۰		هزینه نرم افزار
			۰/۲۳۹		هزینه آموزش
			۰/۵۴۳		هزینه قطعات
		۰/۸۰۰			ارزش افزوده قطعات
		۰/۲۰۰			ارزش افزوده تشخیص عیب
	۰/۸۳۳				قابلیت اجرا از نظر کارکنان
	۰/۱۶۷				قابلیت اجرا از نظر فنی
۰/۷۵۰					مدیریت–ساختار
۰/۱۲۵					مدیریت–فرهنگ
۰/۱۲۵					مدیریت –سبک رهبری

جدول شماره(۷): وزن هر یک از زیر معیارها در استراتژی ها پس از تلفیق نظرات

RCM	CBM	CM	PM	
۰/۵۳۲	۰/۳۴۶	۰/۰۳۷	۰/۰۸۵	ایمنی تجهیزات
۰/۲۲۶	۰/۱۷۳	۰/۰۸۵	۰/۵۱۵	ایمنی کارکنان
۰/۲۰۸	۰/۳۳۷	۰/۰۳۷	۰/۱۱۸	ایمنی محیط
۰/۰۹۷	۰/۰۹۸	۰/۱۸۱	۰/۶۲۶	هزینه سخت افزار
۰/۰۶۴	۰/۱۰۱	۰/۵۸۸	۰/۲۴۷	هزینه نرم افزار
۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۱۸۴	۰/۶۷۴	هزینه آموزش
۰/۱۵۹	۰/۰۸۶	۰/۱۵۹	۰/۵۹۵	هزینه قطعات
۰/۵۱۶	۰/۲۸۴	۰/۱۵۸	۰/۰۴۲	ارزش افزوده قطعات
۰/۳۶۰	۰/۵۳۴	۰/۰۶۱	۰/۰۴۵	ارزش افزوده تشخیص عیب
۰/۰۴۰	۰/۱۲۹	۰/۲۵۹	۰/۵۷۲	قابلیت اجرا از نظر کارکنان
۰/۱۹۶	۰/۰۷۳	۰/۱۹۶	۰/۵۳۵	قابلیت اجرا از نظر فنی
۰/۰۵۰	۰/۳۹۸	۰/۳۹۸	۰/۱۵۳	مدیریت–ساختار
۰/۰۴۸	۰/۵۱۴	۰/۳۳۱	۰/۱۰۷	مدیریت–فرهنگ
۰/۰۶۸	۰/۴۹۹	۰/۳۳۱	۰/۱۰۷	مدیریت –سبک رهبری

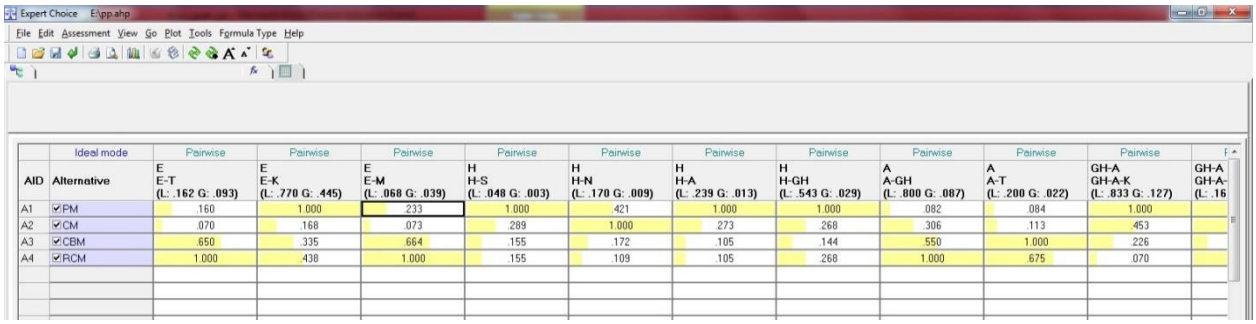
جدول شماره (۸) :وزن نهایی و رتبه بندی استراتژی ها

امتیازات	استراتژی ها
۰/۳۶۸	PM
۰/۱۵۵	CM

CBM	۰/۲۳۴
RCM	۰/۲۴۳

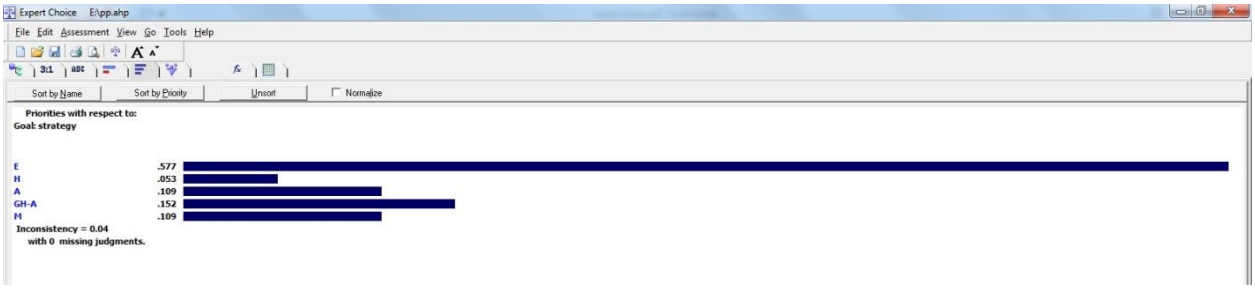
PM>RCM>CBM>CM

ژ)خروجی های نرم افزارEXPERT CHOISE برای تحلیل سلسله مراتبیAHP

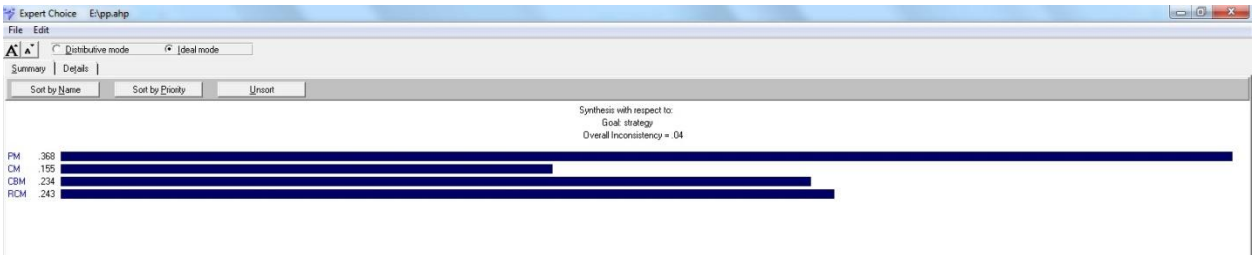


AID	Alternative	Ideal mode	Pairwise E E-T (L: .162 G: .093)	Pairwise E E-K (L: .770 G: .445)	Pairwise E E-M (L: .068 G: .039)	Pairwise H H-S (L: .048 G: .003)	Pairwise H H-N (L: .170 G: .009)	Pairwise H H-A (L: .239 G: .013)	Pairwise H H-GH (L: .543 G: .029)	Pairwise A A-GH (L: .800 G: .087)	Pairwise A A-T (L: .200 G: .022)	Pairwise GH-A GH-A-K (L: .833 G: .127)	GH-A GH-A- (L: .16
A1	PM		.160	1.000	.233	1.000	.421	1.000	1.000	.082	.084	1.000	
A2	CM		.070	.168	.073	.289	1.000	.273	.268	.306	.113	.453	
A3	CBM		.650	.335	.664	.155	.172	.105	.144	.550	1.000	.226	
A4	RCM		1.000	.438	1.000	.155	.109	.105	.268	1.000	.675	.070	

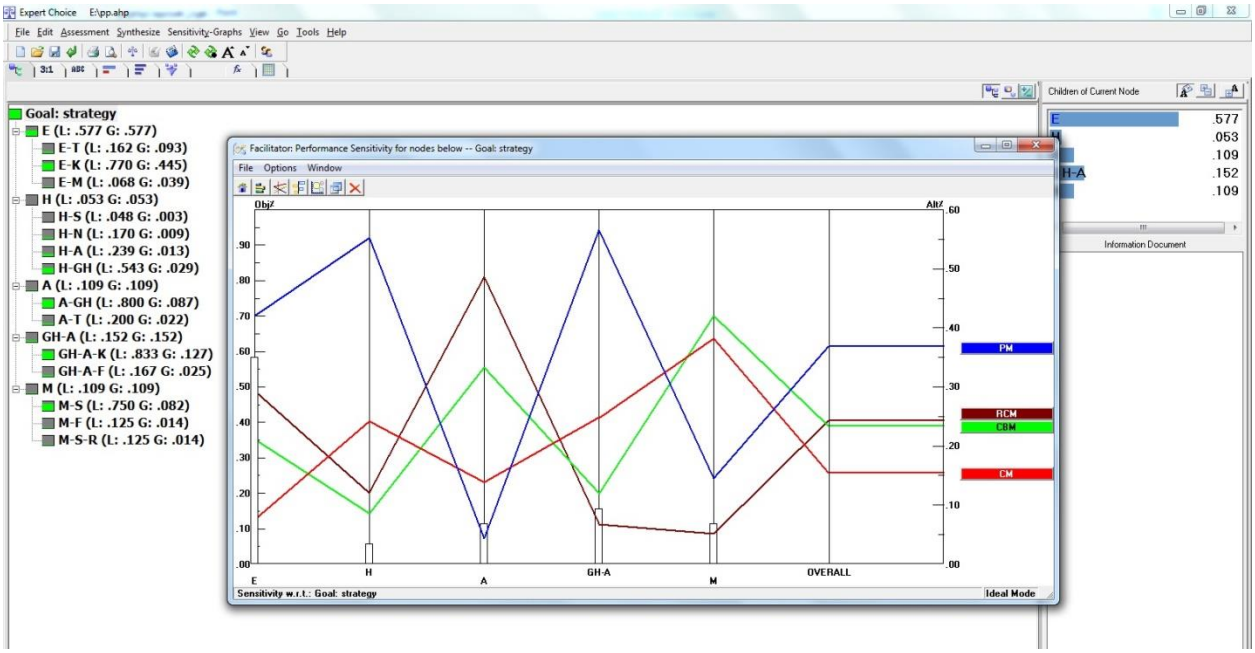
شکل شماره(۵): جدول امتیازات به صورت جز به جز



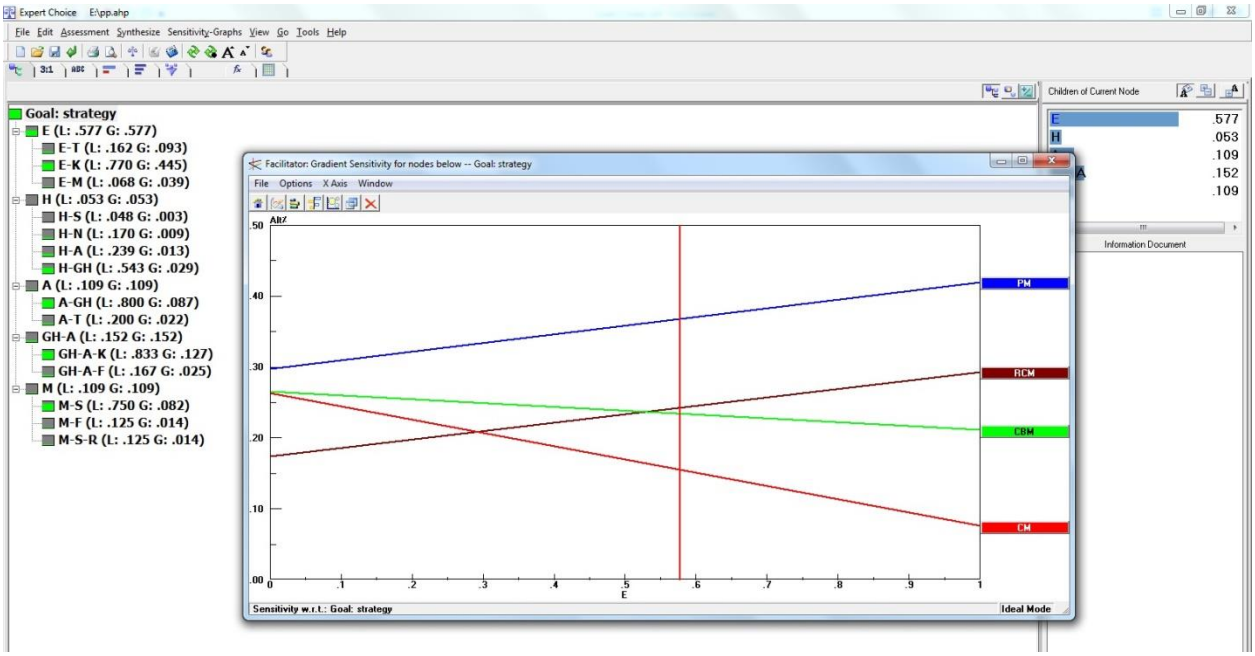
شکل شماره(۶): وزن معیارها



شکل شماره(۷): امتیازات نهایی



شکل شماره(۸): نمودار حساسیت کارایی



شکل شماره(۹): نمودار حساسیت گرادیانی

۳- بحث و نتیجه گیری

انتخاب راهبرد نگهداری و تعمیرات یک مسئله اساسی مدیریت بوده و نقش مهمی در صنایع سرمایه ای ایفا می کند. حفظ سرمایه- های کشور از یک سو و هزینه های بالای خرید ماشین آلات و تجهیزات از سوی دیگر، استفاده عقلایی و برنامه ریزی شده و نگهداری و تعمیراتِ به موقع ماشین آلات و تجهیزات را الزامی می سازد. یک استراتژی نگهداری و تعمیرات بهینه می تواند به طور قابل ملاحظه ای باعث کاهش هزینه‌ی عملیات، دردسترس بودن تجهیزات و افزایش بهره وری شود. در این مقاله، یک روش تلفیقی جهت انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات ارائه شده است. چهار نوع از مهم ترین استراتژی های

نگهداری و تعمیرات که عبارتند از اصلاحی، پیشگیرانه، قابلیت اطمینان و مبتنی بر وضعیت، در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه برخلاف مطالعات و تحقیقات پیشین، که عوامل تاثیر گذار را از سایر پژوهش ها استخراج نموده و بر روی جامعه آماری مورد مطالعه، آزمون نکرده اند، علاوه بر استفاده از خبرگان شرکت در تحلیل سلسله مراتبی استراتژی ها، عوامل تاثیر گذار بر این انتخاب نیز در خود شرکت مورد بررسی قرار داده است. استفاده از تلفیق دو روش تحلیل عاملی برای عوامل تاثیر گذار و AHP برای اولویت بندی استراتژی ها در یک مجموعه، می تواند نتایج قابل اتکایی برای سازمانِ مورد بررسی به ارمغان آورد. پیشنهاد می گردد به علت مزایایی که نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه PM، موجب می شود که در ذیل به آن اشاره گردیده است و در این پژوهش نیز به عنوان اولویت اول برای صنعت آب و فاضلاب انتخاب گردیده است، بیش از پیش مورد توجه مهندسین نگهداری و تعمیرات در شرکتها قرار گیرد.

۱- افزایش طول عمر دارایی: مسلماً مهمترین مزیت نگهداری پیشگیرانه افزایش طول عمر دارایی ها است. نگه داشتن تجهیزات در شرایط خوب باعث می شود که آنها طولانی تر کار کنند و هزینه ها را کاهش دهند.

۲- خطر خرابی کمتر: کاهش خطر خرابی یکی دیگر از مزایای کلیدی نگهداری پیشگیرانه است. در واقع، بیشتر مزایای ذکر شده در اینجا عمدتاً در نتیجه‌ی کاهش خطر خرابی رخ می دهد. انتظار برای انجام تعمیر و نگهداری تا زمانی که خرابی ایجاد شود، فقط حدود ۱۰ درصد یا کمتر از تجهیزات صنعتی، واقعاً در اثر استفاده صحیح فرسوده می شوند. این بدان معنی است که ۹۰ درصد خرابی های مکانیکی به دلیل مشکلاتِ قابل پیشگیری است که با یک برنامه نگهداری پیشگیرانه خوب قابل اجتناب است.

۳- افزایش کارایی: در کنار ماندگاری طولانی‌تر، تجهیزاتی که تعمیر و نگهداری پیشگیرانه معمول را دارند، کارآمدتر نیز کار می‌کنند. OEE، اثربخشی کلی تجهیزات، یک KPI (شاخص کارایی) مدیریت نگهداری و تعمیرات رایج است که کارایی را اندازه گیری می کند.

۴- کاهش زمان توقف برنامه ریزی نشده: با برنامه ریزی تعمیر و نگهداری از قبل با یک برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، زمان از کار افتادگی را می توان به میزان قابل توجهی کاهش داد.

۵- ارتقاء سلامت و ایمنی: ردیابی دقیق و انجام تعمیرات پیشگیرانه نیز می تواند سلامت و ایمنی تاسیسات شما را بهبود بخشد. در زمینه‌ی نگهداری پیشگیرانه، بهداشت و ایمنی اغلب به عنوان یک نگرانی در تاسیسات دارای تجهیزات خطرناک در نظر گرفته می شود، اما سلامت و ایمنی در هر تاسیسات مهم است .

۶- افزایش رضایت مشتری: اطمینان از اینکه تجهیزات همیشه تا حد امکان کارآمد کار می کنند، مستقیماً به صرفه جویی در هزینه و افزایش درآمد منجر می شود، اما همچنین به ایجاد تصویر برند قوی و افزایش رضایت مشتری کمک می کند. در تاسیسات تولیدِ کالا برای فروش و یا واحدهای خدمات عمومی مثل آب و فاضلاب، انجام نگهداری پیشگیرانه برای جلوگیری از خرابی و حفظ کیفیت محصول تولید شده، رضایت مشتری را از محصول تضمین می کند که به نوبه‌ی خود باعث تقویت تصویر برند و حسن شهرت شرکت می‌شود.

۷- کاهش هزینه و افزایش نقدینگی: همه‌ی دلایل ذکر شده در بالا به یک مزیت نهایی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه منتهی می شود، یعنی باعث صرفه جویی در هزینه می‌گردد. هزینه‌ی نگهداری برنامه ریزی نشده معمولاً ۳ تا ۹ برابر بیشتر از تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده است. تعمیر و نگهداری واکنشی اضطراری، باید هزینه‌ی حمل و نقل سریع قطعات، ماشین آلات ضروری، غرامت برای تکنسین های متخصص و از دست دادن درآمد یا بهره وری فروش را در زمانی که تجهیزات در حال استفاده نیستند، پوشش دهد. حتی بدتر از آن، عدم اجرای صحیح تعمیر و نگهداری پیشگیرانه می‌تواند منجر به نیاز به جایگزینی

کامل تجهیزات شده و باعث افزایش هزینه ها شود. هزینه های اولیه‌ی انجام تعمیرات پیشگیرانه ممکن است در ابتدا ترسناک به نظر برسد، به خصوص اگر تاسیسات با بودجه‌ی محدودی کار می کند. با این حال، حفظ تجهیزات، یک سرمایه گذاری در آینده شرکت است.

٤-منابع

Aghai, M., Fazli, S, (2013) using the combined approach of DEMATEL and ANP to choose the appropriate strategy for maintenance and repairs (case study: self-rejection industry). *Industrial Management Vision Magazine, 2* (6):89-107.

BS EN 13306:2017,Maintenance — Maintenance terminology,2017

Cheng, Y. H., & Tsao, H. L. (2010). Rolling stock maintenance strategy selection, spares parts' estimation, and replacements' interval calculation. *International Journal of Production Economics*, *128*(1), 404-412.

Dutta, D., Doloi, H., Wright, D., Adeloju, S., Rahman, M., & Nakayama, K. (2007). Climate perturbation and coastal zone systems in Asia pacific region: Holistic approaches and tools for vulnerability assessment and sustainable management strategy. *Final Report submitted to Asia-Pacific Network for Global Change Research*, *52*.

Ebrahimi, K, (2010), selection of maintenance strategy using fuzzy MADM approach, 6th Iran Maintenance Conference, *Tehran, Maintenance and Repair Association, Summit Hall*.

Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Lashgari, A., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2012). Maintenance strategy selection using AHP and COPRAS under fuzzy environment. *International journal of strategic property management*, *16*(1), 85-104.

Green, P. E., & Carroll, J. D. (1978). *Analyzing multivariate data* (Vol. 519). Hinsdale, IL: Dryden Press

Hemati, M., & Abbasi, S. (2016). Representing a Multi-Step Technique of the Common weights and TOPSIS in order to Ranking of Units. *Modern research in decision making*, *1*(2), 193-215.

Lizot, M., Goffi, A. S., Thesari, S. S., Trojan, F., Afonso, P. S., & Ferreira, P. F. (2021). Multi-criteria methodology for selection of wastewater treatment systems with economic, social, technical and environmental aspects. *Environment, Development and Sustainability*, *23*, 9827-9851.

Mabrouk, A. B., Chelbi, A., & Radhoui, M. (2016). Optimal imperfect maintenance strategy for leased equipment. *International Journal of Production Economics*, *178*, 57-64.

Moulai, S, Esfahani, M, Jabri, S. (2013), Choosing the optimal maintenance and repair strategy using fuzzy AHP-TOPSIS technique, *8th National Conference on Maintenance and Repairs, Tehran, Maintenance and Repair Association*

Qudsipour, H. (2014). *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Publications of Amirkabir University of Technology, 4th edition. [In Persian]

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, *41*(11), 1073-1076.

Saaty, T. L. (1990). An exposition of the AHP in reply to the paper "remarks on the analytic hierarchy process". *Management science*, *36*(3), 259-268.

Safari, S, Siahzadeh, S., Sadeghi, R (2009), selection of maintenance and repair policy using AHP and ideal planning, *6th National Conference on Maintenance and Repair, Tehran, Maintenance and Repair Association, Summit Hall*.

Shahanghi, K, Barzegar, A. (2009), presentation of maintenance and repair decision making model with qualitative RBI approach, *6th National Maintenance and Repair Conference, Tehran, Maintenance and Repair Association, Summit Hall*

Siti, H, Javadzad, Behnampour, M, Houshmand, A., Imani, M,& Din, M. (2013). Selecting a maintenance and repair strategy using FA. *Revard Maintenance and Repair Research Quarterly*, No. 3

Sperstad, I. B., McAuliffe, F. D., Kolstad, M., & Sjømark, S. (2016). Investigating key decision problems to optimize the operation and maintenance strategy of offshore wind farms. *Energy Procedia*, *94*, 261-268.

Thompson, B. (2004). Exploratory and confirmatory factor analysis: Understanding concepts and applications. *Washington, DC, 10694*(000), 3.

Triantaphyllou, E., Kovalerchuk, B., Mann, L., & Knapp, G. M. (1997). Determining the most important criteria in maintenance decision making. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *3*(1), 16-28.

Verbert, K., De Schutter, B., & Babuška, R. (2017). Timely condition-based maintenance planning for multi-component systems. *Reliability Engineering & System Safety*, *159*, 310-321.

Zaim, S., Turkyılmaz, 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.

Determining the Effective Factors in the Priorities of Maintenance Strategies by Combining Factor Analysis and AHP Methods (Case Study: East Azerbaijan Water and Sewerage Company)

Somayeh Fakhimi Hoseinzad
PhD Candidate in industrial management, majoring in industrial strategy, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran
Yaqub Alavi Mateen (Corresponding Author)
Assistant Professor, Department of Management, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran
Email: alavimatin@iaut.ac.ir
Suleiman Iranzadeh
Associate Professor, Department of Management, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

Abstract
Choosing the right strategy for maintenance and repairs in an equipment-oriented organization is very important and has a direct impact on productivity, profitability and cost. Maintenance and repairs play an important role in maintaining the reliability of production quality, reducing waste, reducing risk, increasing efficiency and increasing joint satisfaction, etc. Among the most important maintenance and repair strategies, corrective, preventive, condition-based and reliability-based maintenance and repairs can be mentioned, which according to the location and environmental conditions, the application of each one has advantages and disadvantages. The purpose of this article is to provide a general method for choosing the best strategy for maintenance and repairs in equipment-oriented organizations such as water and sewage. In this regard, by using confirmatory factor analysis method and partial least squares structural equation modeling, the factors influencing the choice of maintenance and repairs strategy have been investigated by an expert questionnaire and SMART PLS software and verified factors in order to prioritize four maintenance and repair strategies. Preventive, predictive, corrective and based on reliability, it is analyzed by AHP technique in EXPERT CHOISE software. The results of this analysis have determined the first priority of using the method of preventive maintenance and repairs to advance the goals of maintaining the company's critical equipment.

Key words: Confirmatory Factor Analysis, Hierarchical Analysis, Maintenance Strategy.