بکارگیری مفهوم تئوری مجموعه‌ی راف در روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه برای ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات

محمد ثابت مطلق[1]

صفحات ۶۵ تا ۸۹
دریافت: ۹۶/۱۱/۳۰
پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۷

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات برای ماشین‌آلات سازمان می‌باشد. تلاش شده است تا مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات برای ماشین‌آلات و تجهیزات به‌گونه‌ای انتخاب شود که سطح قابلیت اطمینان تجهیزات و ماشین‌آلات را بدون افزایش در سرمایه‌گذاری، افزایش‌دهد. از آنجایی که انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره است، بنابراین تصمیم‌گیرندگان در ارزیابی گزینه‌ها و معیارهای پژوهش از ترجیحاتی استفاده می‌کنند که غیرقطعی است. از این رو در این پژوهش از مفهوم تئوری مجموعه راف که در چنین شرایطی کارآمد می‌باشد استفاده می‌شود. در واقع در این پژوهش ابتدا با استفاده از تحلیل عاملی تاییدی به ارزیابی معیارها و عوامل پژوهش پرداخته می‌شود و سپس از مفهوم تئوری راف برای تبدیل ترجیحات خبرگان به اعداد فاصله‌ای و از روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی راف و تاپسیس راف برای ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. قابل ذکر است که در این مقاله، روش تاپسیس با داده‌های راف توسعه داده شده است. در پایان نیز به منظور نشان‌دادن قابلیت کاربردی بودن روش مطرح شده، آن را در یک مورد مطالعاتی استفاده نموده‌ایم. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که بکارگیری مفهوم تئوری راف به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌تواند به مدیران سازمان‌ها در امر تصمیم‌گیری در شرایط عدم وجود اطلاعات دقیق کمک نماید.

واژگان کلیدی: استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات، تئوری مجموعه راف، تاپسیس راف، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف.

---

۱. دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبایی؛ Msmotlagh@ut.ac.ir

مقدمه

امروزه شرایط محیطی به گونه‌ای تغییر نموده است که شرکت‌های تولیدی را مجبور ساخته است که برای بقا و افزایش رقابت پذیری، هزینه‌های تولیدی خود را کاهش دهند. یکی از هزینه‌های اصلی این گونه شرکت‌ها، هزینه نگهداری و تعمیرات است که بسته به نوع هر صنعت، ۲۰ تا ۶۵ درصد از هزینه‌های تولیدی را شامل می‌شود (Bertolini & Bevilacqua, 2006). به‌علت کم توجه‌ای سازمان‌ها به نگهداری و تعمیرات، یک سوم از کل هزینه‌های نگهداری و تعمیرات در نتیجه فعالیت‌های غیرضروری و نادرست هدر می‌رود و این امر باعث شده است تا محققان توجه بیشتری به این حوزه داشته باشند. نگهداری و تعمیرات مناسب تجهیزات کارخانه، هزینه‌های عملیاتی را به مقدار قابل توجه‌ای کاهش داده و بهره‌وری و کیفیت محصولات شرکت را افزایش می‌دهد. با وجود این، مدیران سازمان‌ها اغلب به فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات کارخانه به چشم هزینه نگاه می‌کنند. در حالی‌که با تمرکز بر آن می‌توان از آن به عنوان یک مرکز سودآوری یاد کرد. در حقیقت، امروزه نگهداری و تعمیرات در حال تغییر از یک «مرکز هزینه» به یک «مرکز سودآوری» می‌باشد. در این نگرش جدید، استلزامات مدیریت نگهداری و تعمیرات از آن مفهوم قدیمی خود یعنی«تعمیر کنید زمانی که خراب شد»[1] به رویکرد پیچیده‌تری تغییر جهت داده است (Bertolini & Bevilacqua,2006). تجزیه و تحلیل و قضاوت در مورد انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات به‌علت شمار زیاد عوامل موثر امری پیچیده و حیاتی است. به‌طورکلی، انتخاب روش‌ها و سیاست‌های نگهداری و تعمیرات بستگی به عوامل متعددی مانند هزینه‌ها، افزایش کیفیت محصول، دسترسی به قطعات یدکی، و زمان نگهداری دارد (Arunraj & Maiti, 2010).

بدین منظور می‌توان بیان کرد که فرآیند انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات برای ماشین‌آلات و تجهیزات کارخانه یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد و از آنجایی‌که معمولاً در دنیای واقعی ما با اطلاعات ناکافی و ناقص روبرو هستیم، بنابراین به علت عدم وجود اطلاعات و داده‌های مناسب و کامل در دنیای واقعی باید از روش‌هایی استفاده نمود که توانایی کار در چنین محیط‌هایی را داشته باشند. یکی از مفاهیم بکار گرفته شده در چنین محیط‌هایی، تئوری مجموعه‌های راف می‌باشد که به‌خوبی می‌تواند در شرایط عدم وجود اطلاعات کافی و کامل عمل

1. fix-it-when-broken

نماید. بنابراین در این مطالعه، تلاش شده است تا از مفهوم تئوری راف و روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و همچنین تحلیل عاملی تأییدی برای ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات استفاده شود.

۱. ادبیات تحقیق

این بخش از پژوهش خود شامل دو بخش می‌باشد. در بخش اول تلاش شده است تا به ارائه مطالعات انجام شده و پیشینه پژوهش در این حوزه پرداخته شود. سپس در گام بعد تلاش شده است تا ادبیات نظری پژوهش ارائه شود.

۱-۱. ادبیات تجربی

در این بخش ابتدا تلاش می‌شود به مطالعات انجام شده درحوزه استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات و همچنین پژوهش‌هایی که از مفهوم تئوری مجموعه‌های راف به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده کرده‌اند پرداخته شود. سپس در گام بعد به تشریح روش‌های استفاده شده در این پژوهش پرداخته خواهد شد.

اگر چه تدوین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مناسب برای شرکت‌های تولیدی اهمیت زیادی دارد، اما مطالعات زیادی بر روی این مسئله انجام نشده است (Luce, 1999). آزادیور و شو ۱۶ عامل را که می‌تواند در تدوین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات نقش مهمی را ایفا نماید شناسایی نموده‌اند (Azadivar & Shu, 1999). ایشی‌زاکا و نِمری (۲۰۱۴) در پژوهش خود به تخصیص ماشین‌ها به استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از ELECTRE-SORT پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که چنین روشی می‌تواند استراتژی‌های منعطف و دقیق‌تری را نسبت به شبکه‌ی تصمیم‌گیری‌ها فراهم‌کند (Ishizaka & Nemery, 2014). هارن بیک و پینتلون نیز چارچوبی را برای اندازه‌گیری عملکرد نگهداری تعمیرات با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای انتخاب شاخص‌های عملکرد نگهداری و تعمیرات توسعه دادند (Van Horenbeek & Pintelon, 2014). استندیکا و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای یک فرمول تجربی را برای طبقه‌بندی ماشین‌ها با استفاده از اولویت‌بندی وظایف نگهداری و تعمیرات توسعه دادند. سپس آن را در سه شرکت تولیدی به‌کار بردند (Stadnicka & et al,2014). هیلاک و کِرریم پژوهشی را با عنوان رویکرد متمرکز نگهداری و تعمیرات برای مساله انتخاب انجام دادند. هدف آنها کاهش

هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بود. آنها همچنین اصولی را برای کاهش زمان نگهداری و تعمیرات ارائه نمودند (Hylocka & Currimb, 2013). در مطالعه دیگر پژوهشگران با استفاده از ترکیب روش های تحلیل عاملی تاییدی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و روش رجحان ترتیبی با تشابه به جواب ایده‌آل به ارزیابی معیارها و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات پرداخته شد (Shafiee Nick Abadi & et al, 2016).

بنگستون نیز با موازنه بین ایمنی و بهره‌وری، مدلی ارائه نمودند که این امکان را فراهم می‌سازد که با مدیریت استراتژی‌های گوناگون نگهداری و تعمیرات، عملکرد بلند مدت را حداکثر نماید (Bengtsson, 2004).

در مطالعه‌ای یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره تلفیقی مبتنی بر مجموعه فازی و تحلیل رابطه خاکستری برای انتخاب تامین کننده سبز مطرح شد(Bali &et al, 2013). در مطالعه‌ای دیگر از مفهوم تئوری خاکستری برای رتبه‌بندی سیستم‌های تولیدی پیشرفته استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که این متدولوژی به‌طور قابل توجه‌ای کارآیی تصمیم‌گیری و رقابت پذیری کلی صنایع تولیدی را افزایش می‌دهد (Sanjeev & Sandeep, 2012). در پژوهشی ایلکر و همکاران از تحلیل رابطه خاکستری برای رتبه‌بندی مدارس کسب‌وکار استفاده شده است (Ilker & et al, 2013). کائو وهمکاران (۲۰۱۲) نیز یک مدل ترکیبی را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای و تحلیل رابطه خاکستری برای انتخاب فروشندگان ارائه نمودند (Cao& etal,2012).در پژوهشی دیگر از فرآیند تحلیل شبکه‌ای خاکستری برای برآورد وزن معیارها استفاده شده است و سپس گزینه‌ها با استفاده از درجه خاکستری رتبه‌بندی شده‌اند (Kose & etal, 2013). در مطالعه دیگری پژوهشگران برای انتخاب تامین‌کنندگان از تلفیق منطق فازی و پویایی سیستم‌ها استفاده کردند که این امر منجر به ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم پاسخگو شد (Orji & Wei, 2015).

برونو و دیگران (۲۰۱۵) در مطالعه خود پژوهشی را پیرامون انتخاب تامین‌کنندگان در عمل و تئوری انجام دادند. آنها یک مدل مبتنی بر فرآیند تحلیل شبکه‌ای و تئوری مجموعه فازی را در پژوهش خود به‌کار بردند (Bruno &et al, 2015). ثابت مطلق و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود از تاپسیس خاکستری برای ارزیابی و انتخاب گزینه‌های پژوهش استفاده کرده‌اند (Sabet Motlagh & et al, 2015). رامش، ویسواناثانو آمیکا(۲۰۱۶) از تحلیل رابطه خاکستری و تاپسیس و همچنین تئوری راف در ابزارهای اندازه گیری استفاده کردند (Ramesh &et al, 2016). چن و

تسای نیز از چارچوب داده کاوری مبتنی بر تئوری مجموعه راف برای بهبود تصمیمات انتخاب مکان رستوران استفاده کردند. در این مطالعه آنها تئوری راف را برای پیش‌بینی عملکرد فروشگاه با توجه به عوامل مکان یابی بکار بردند (Chen & Tsai, 2016).

کارساک و دورسان از یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان استفاده کرده‌اند. در این پژوهش از مفهوم QFD و اطلاعات فازی در مدل پژوهش استفاده شده است (Karsak & Dursun, 2015). در مطالعه دیگری از مفهوم تئوری سیستم‌های خاکستری برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تامین استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مشکلات بخش توزیع و منبع‌یابی جدی‌ترین نقاط آسیب‌پذیر می‌باشند (Fakoor Saghih, 2016).

۲-۱. ادبیات نظری

امروزه سازمان‌ها در محیط کسب‌وکار پرتلاطم فعالیت می‌کنند. در چنین شرایطی، سازمان‌ها به شدت تحت فشار برای بهبود مستمر قابلیت‌های خود برای خلق ارزش برای مشتریان و بهبود اثربخش هزینه‌های عملیاتی خود هستند. نگهداری و تعمیرات به‌عنوان یک وظیفه راهبردی پشتیبان مهم در کسب‌وکارهای با دارایی‌های فیزیکی سرمایه‌ای، نقش مهمی در برآورد این هدف ایفا می‌کند. ایجاد ترکیب درست از دارایی‌های فیزیکی و بهترین استفاده از این دارایی‌ها برای برآورد نیازهای کسب‌وکار، روش‌هایی هستند که نگهداری و تعمیرات می‌تواند برای بهبود رقابت‌پذیری سازمان‌های سرمایه محور در آنها مشارکت کند (Tsang, 1998). اما ایجاد تغییرات جدید در فعالیت کسب‌وکارها عملکرد مورد تقاضای نگهداری و تعمیرات را بسیار چالش‌برانگیز کرده است. یکی از این تغییرات ظهور استراتژی‌های عملیاتی جدید در سازمان‌ها است که آنها را به سمت تولید ناب و به‌موقع با برنامه‌های شش سیگما کشانده است. با حذف ذخیره‌های احتیاطی در چنین محیطی، کاملا واضح است که نصب تجهیزات و تسهیلات درست، بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات این دارایی‌ها و توسعه اثربخش نیروی انسانی برای انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات عوامل حیاتی برای پشتیبانی از روندهای نوظهور استراتژی‌های عملیاتی هستند (Tsang, 1998).

عامل دیگر تشدید انتظارات اجتماعی است. شکست‌های عملیاتی کارخانه‌ها و ماشین‌آلات دلیل اصلی حوادث صنعتی و خطرات سلامتی است. حفظ تسهیلات در شرایط بهینه و جلوگیری از شکست آنها یک وسیله موثر برای برآورد چالش‌های اجتماعی همانند کنترل آلودگی و

جلوگیری از حوادث کارگاهی است. تکنولوژی نیز عامل دیگری است که همواره یکی از محرک‌های اصلی تغییر در زمینه‌های مختلف بوده است (Oberg,2002). نگهداری و تعمیرات نیز به‌شدت تحت تاثیر تغییرت سریع تکنولوژی بوده است. در حقیقت فناوری‌های جدی امکان کنترل تجهیزات را در حال فعالیت ممکن ساخته است و این امر منجر به ارائه استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات جدید شده است. تغییرات در سیستم‌های سازمانی و افراد درون آن همانند ایجاد سازمان-های یادگیرنده با ساختارهای افقی، سازمان‌های شبکه‌ای، سازمان‌های مجازی و افراد خودکنترل نیز منجر به ایجاد شرایط جدید در سازمان‌ها شده است (Tsang, 1998). همه این موارد منجر به افزایش چالش فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات شده است. بنابراین سازمان‌ها باید به‌دنبال انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیراتی باشند که علاوه بر حفظ ارزش دارایی‌ها، هزینه‌های عملیاتی نگهداری و تعمیرات را نیز کاهش دهد (Oberg, 2002). شِن نیز معتقد است که معمولا تخصیص منابع نگهداری و تعمیرات به‌صورت نامنظم انجام می‌شود که این امر بر روی مباحث سلامتی و ایمنی تاثیر منفی می‌گذارد (Shen, 1997).

به عقیده لی و اسکات (۲۰۰۸) برای تدوین سیاست‌های نگهداری و تعمیرات سازمان‌ها نیازمند سه عنصر اصلی انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات، تعریف استاندارد نگهداری و تعمیرات و تخصیص منابع نگهداری و تعمیرات می‌باشند. فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات نمی-توانند بدون درک این عناصر به‌صورت موفقیت‌آمیزی برنامه‌ریزی و اجرا شود (Hon Yin Lee & Scott, 2009). از آنجایی که هدف اصلی نگهداری و تعمیرات، حفظ ارزش دارایی‌های فیزیکی و کیفیت آنها می‌باشد، بنابراین در نظر گرفتن این اصول برای توسعه سیاست نگهداری و تعمیرات مهم است. جدا از معیار ارزش، برنز (۱۹۹۷) استدلال می‌کند که باید قواعدی برای تخصیص منابع در دسترس برای مدیریت آن وجود داشته باشد. پرسنل نگهداری و تعمیرات بسته به منابع نگهداری و تعمیرات استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات متفاوتی را انتخاب می‌کنند (Burns,1997).

با توجه به مطالعات انجام شده و پیشینه پژوهش مشاهده شد که مطالعات مرتبط تنها برخی از معیارهای موثر در ارزیابی و انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات را در مطالعه خود در نظر گرفته‌اند یا در صورت در نظر گرفتن معیارهای متفاوت بر ارزیابی از روش‌های قطعی استفاده نموده‌اند در حالی‌که ما با قضاوت‌های ترجیحی خبرگان مواجه هستیم. با توجه به این موارد در این مطالعه تلاش شده است تا رویکرد جامعی برای انتخاب بهترین استراتژی و نگهداری و تعمیرات

برای سازمان سرمایه‌محور مورد مطالعه ارائه شود. بدین منظور سعی شد استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات و معیارهای موثر در ارزیابی و انتخاب آنها به گونه‌ای انتخاب شود که همه الزامات بیان شده از جمله انتظارات اجتماعی همانند محیط زیست و ایمنی و سلامت کارکنان و همچنین پشتیبانی از استراتژی‌های عملیاتی جدید را در بر گیرد. همچنین تلاش شده است ضمن انتخاب مناسبترین استراتژی نگهداری و تعمیرات، هزینه‌های عملیاتی آن نیز در فرآیند ارزیابی لحاظ شود. در نهایت از آنجایی که فرآیند انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات برای ماشین-آلات و تجهیزات کارخانه یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد و از آنجایی که معمولاً در دنیای واقعی ما با اطلاعات ناکافی و ناقص روبرو هستیم، بنابراین به علت عدم وجود اطلاعات و داده‌های کامل در دنیای واقعی و قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرندگان باید از روش‌هایی استفاده نمود که توانایی کار در چنین محیط‌هایی را داشته باشند. به همین منظور در این مطالعه از مفاهیم تئوری مجموعه راف که به خوبی می‌تواند در شرایط عدم وجود اطلاعات کافی و کامل عمل نماید، استفاده شده است.

۲. روش شناسی پژوهش

پژوهش حاظر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی تحلیلی و به‌لحاظ اجرا، از نوع میدانی می‌باشد. جهت جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش، از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شده است. در واقع در گام نخست با استفاده از ادبیات تحقیق و نظر خبرگان به شناسایی معیارها و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات سازمان پرداخته شد. پس از شناسایی معیارها و استراتژی‌های پژوهش ساختار سلسله مراتبی پژوهش تشکیل شد. در گام بعد با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی به ارزیابی معیارهای پژوهش پرداخته شد. پس از تایید معیارهای پژوهش ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل شد. ماتریس مقایسه زوجی خبرگان با استفاده از مفهوم تئوری مجموعه راف به اعداد فاصله‌ای تبدیل شد و سپس به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف وزن معیارها بدست آمد. پس از تعیین وزن معیارها ماتریس تصمیم مساله تشکیل شد و داده‌ها ماتریس تصمیم نیز با استفاده از مفهوم تئوری مجموعه راف به اعداد فاصله‌ای تبدیل شد و سپس با استفاده از روش تاپسیس راف به ارزیابی و رتبه‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات پرداخته شد. شکل ۱ مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

شکل ۱. فرآیند انجام پژوهش

پیش از ارائه نتایج حاصل از پژوهش به ارائه مفاهیم و روابط ضروری مورد نیاز درباره تئوری مجموعه راف و روش‌های تصمیم‌گیری راف مورد استفاده در این پژوهش پرداخته شده است تا در درک بهتر نتایج ارائه شده کمک کند.

۱-۲. تئوری مجموع راف

مجموعه‌های راف که اولین بار توسط پاولاک در سال ۱۹۸۲ معرفی شد، ابزار ریاضی با ارزشی است که با ابهام و عدم‌اطمینان مرتبط است. راف رویکردی در حوزه هوش مصنوعی است که شامل علوم شناختی، یادگیری ماشینی، کسب دانش، تجزیه‌وتحلیل تصمیم، کشف دانش، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم، استدلال استنتاجی، و تشخیص الگو می‌شود (Pawlak, 1982). بر اساس تئوری مجموعه راف[1]، اعداد راف به‌وسیله ژای و همکاران (۲۰۰۸) مطرح شد. یک عدد

1. Rough Set Theory

راف معمولاً شامل حد پایین و بالا و فاصله مرزی راف[1] می‌شود که فقط وابسته به داده‌های اصلی است. بنابراین نیازی به هیچ اطلاعات کمکی[2] نیست و می‌تواند مفاهیم مورد نظر خبرگان را بهتر دریافت کند و عینیت تصمیم‌گیری را بهبود بخشد (Zhai &et al, 2008).

فرض کنید U یک مجموعه مرجع است که شامل تمامی اعضا است، Y یک عضو دلخواه از مجموعهU است. R یک مجموعه از t کلاس همانند زیر است که تمامی اعضای U را پوشش می‌دهد.

$$R = \{G_1, G_2, \dots, G_t\}$$

اگر این کلاس ها به صورت ترتیبی همانند $G_1 < G_2 < \cdots < G_t$ باشند آنگاه

$$\forall\, Y \in U, G_q \in R, 1 \le q \le t$$

تقریب پایین ($\underline{Apr}(G_q)$) و تقریب بالا ($\overline{Apr}(G_q)$) و ناحیه مرزی ($Bnd(G_q)$) از کلاس G_q به صورت زیر تعریف می شود:

$$\underline{Apr}(G_q) = \bigcup \{Y \in U | R(Y) \le G_q\} \quad (۱)$$

$$\overline{Apr}(G_q) = \bigcup \{Y \in U | R(Y) \ge G_q\} \quad (۲)$$

$$Bnd(G_q) = \bigcup \{Y \in U | R(Y) \ne G_q\} = \{Y \in U | R(Y) > G_q\} \cup \{Y \in U | R(Y) < G_q\} \quad (۳)$$

سپس G_q می‌تواند به‌وسیله یک عدد راف $RN(G_q)$ ارائه شود که به‌وسیله حد پایین و حد بالای متناظر آن ارائه شود که:

$$\underline{Lim}(G_q) = \frac{1}{M_L} \sum R(y) \Big| Y \in \underline{Apr}(G_q) \quad (۴)$$

$$\overline{Lim}(G_q) = \frac{1}{M_U} \sum R(y) \Big| Y \in \overline{Apr}(G_q) \quad (۵)$$

$$RN(G_q) = \left[\underline{Lim}(G_q), \overline{Lim}(G_q)\right] \quad (۶)$$

که M_L و M_U ، به ترتیب مقادیر اعضا $\underline{Apr}(G_q)$ و $\overline{Apr}(G_q)$ می شوند.

واضح است که حد پایین و حد بالا، مقدار میانگین عناصری را که در ارتباط با تقریب بالا و پایین است را به ترتیب مشخص می‌کند. تفاوت آنها به‌عنوان فاصله مرزی راف تعریف می‌شود

---

1. Rough boundary interval
2. Auxiliary information

(Zhai&et al,2008).

$$\mathrm{IRBnd}(G_q) = \overline{\mathrm{Lim}}(G_q) - \underline{\mathrm{Lim}}(G_q) \quad (۷)$$

فاصله مرزی راف، ابهام G_q را بیان می‌کند، به صورتی که عدد بزرگتر آن، به معنای ابهام بیشتر است، در حالی‌که عدد کوچکتر آن دقت بیشتری دارد. بنابراین اطلاعات ذهنی می‌تواند با اعداد راف بیان شود. به‌دلیل اینکه اعداد راف ایجاد شده مشابه اعداد فاصله‌ای می باشد، قوانین محاسباتی اعداد فاصله‌ای می‌تواند در اعداد راف نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۲. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از شناخته شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که توانایی اندازه‌گیری میزان سازگاری ترجیحات و در نظر گرفتن معیارهای ملموس و غیرملموس را دارا می‌باشد. در این پژوهش به‌علت ذهنی و مبهم‌بودن قضاوت‌های خبرگان از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف استفاده شده است. در ادامه مراحل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف ارائه شده است (Zhu &et al, 2015).

گام۱. شناسایی هدف، معیارها و گزینه‌های پژوهش و تشکیل ساختار سلسله مراتبی.

گام۲. تهیه پرسشنامه مقایسه زوجی و جمع‌آوری نظرات خبرگان.

گام۳. استفاده از مفهوم تئوری راف برای تبدیل ترجیحات خبرگان به اعداد فاصله‌ای و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فاصله‌ای همانند زیر.

$$M = \begin{bmatrix} [1,1] & [x_{12}^L, x_{12}^U] & \dots & [x_{1m}^L, x_{1m}^U] \\ [x_{21}^L, x_{21}^U] & [1,1] & \dots & [x_{2m}^L, x_{2m}^U] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [x_{m1}^L, x_{m1}^U] & [\dots] & \dots & [1,1] \end{bmatrix} \quad (۸)$$

x_{ij}^L حد پایین و x_{ij}^u حد بالای اعداد فاصله‌ای می باشند.

قبل از محاسبه اعداد فاصله‌ای باید نرخ ناسازگاری پرسشنامه‌های مقایسه زوجی را محاسبه نمود و در صورتی‌که میزان ناسازگاری آنها قابل‌قبول بود (کمتر از ۰/۱) به محاسبه اعداد فاصله‌ای پرداخت.

گام۴. محاسبه وزن هر یک از معیارهای پژوهش با استفاده از روابط زیر.

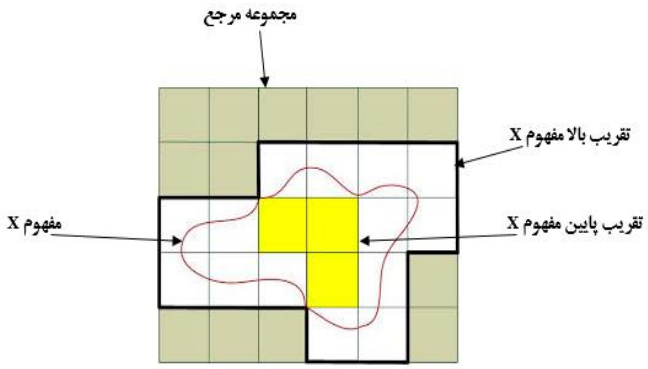
$$w_i = \left[\sqrt[m]{\prod_{j=1}^{m} x_{ij}^{L}}, \sqrt[m]{\prod_{j=1}^{m} x_{ij}^{U}} \right] \quad (۹)$$

$$w_i' = w_i / \max(w_i^u) \quad (۱۰)$$

که w_i' شکل نرمالایز شده می‌باشد که با این کار سرانجام وزن معیارهای پژوهش بدست می‌آید (Zhu &et al, 2015).

در ادامه نحوه بکارگیری مفهوم مجموعه های راف برای حل مساله تصمیم‌گیری ارائه شده است.

تعریف۱ سیستم راف به عنوان سیستمی تعریف می‌شود که حاوی اطلاعات غیر قطعی است که به وسیله راف و متغیره ای راف بیان می‌شود. مفهوم این سیستم در شکل ۱ برای مفهوم X نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل مفهومی سیستم راف

مهمترین عملیات ریاضی بر روی اعداد راف بازه‌ای $RN_1 = [\underline{R}_1, \overline{R}_1]$ و $RN_2 = [\underline{R}_2, \overline{R}_2]$ و عدد ثابت a به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned}
&RN_1 + RN_2 = \left[\underline{R}_1 + \underline{R}_2 \ , \overline{R}_1 + \overline{R}_2\right] \\
&RN_1 - RN_2 = \left[\underline{R}_1 - \underline{R}_2 \ , \overline{R}_1 - \overline{R}_2\right] \\
&a \times RN_1 = \left[a \times \underline{R}_1 \ , a \times \overline{R}_1\right] \\
&RN_1 \times RN_2 = [\min\left(\underline{R_1} \times \underline{R_2} \ , \underline{R_1} \times \overline{R_2} \ , \ \overline{R_1} \times \underline{R_2}, \overline{R_1} \times \overline{R_2}\right), \ , \max\left(\underline{R_1} \times \underline{R_2} \ , \underline{R_1} \times \overline{R_2} \ , \ \overline{R_1} \times \underline{R_2}, \overline{R_1} \times \overline{R_2}\right)]
\end{aligned} \quad (۱۱)$$

$$RN_1 \div RN_2 = \left[\underline{R_1}, \overline{R_1}\right] \times \left[\frac{1}{\overline{R_2}}, \frac{1}{\underline{R_2}}\right]$$

و طول یک عدد راف نیز بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$L(RN_1) = \overline{R_1} - \underline{R_1} \quad (۱۲)$$

برای دو عدد راف RN_1 و RN_2 درجه امکان $RN_1 \leq RN_2$ همانند زیر بیان می‌شود.

$$P(RN_1 \leq RN_2) = \frac{max\left(0, L^* - max\left(0, \overline{R_1} - \underline{R_2}\right)\right)}{L^*}, \quad where \quad L^* = l(RN_1) + l(RN_2) \quad (۱۳)$$

چهار رابطه بین موقعیت‌های دو عدد راف قابل تصور است.

اگر $\overline{R_1} = \overline{R_2}$ و $\underline{R_1} = \underline{R_2}$ باشد دو عدد راف برابر هستند. در این صورت $RN_1 = RN_2$ و $P(RN_1 \leq RN_2) = 0.5$

اگر $\underline{R_2} > \overline{R_1}$ باشد، عدد راف RN_2 از عدد راف RN_1 بزرگتر است. در این صورت $RN_1 < RN_2$ و $P(RN_1 \leq RN_2) = 1$.

اگر $\overline{R_2} < \underline{R_1}$ باشد، عدد راف RN_2 از عدد راف RN_1 کوچکتر است. در این صورت $RN_1 > RN_2$ و $P(RN_1 \leq RN_2) = 0$.

اگر یک قسمت مشترک در دو عدد راف وجود داشته باشد، در این صورت: اگر $P(RN_1 \leq RN_2) < 0.5$ باشد RN_2 از RN_1 کوچکتر است و اگر $P(RN_1 \leq RN_2) > 0.5$ باشد RN_2 از RN_1 بزرگتر است.

۳-۲. روش تاپسیس راف

در این پژوهش روش تاپسیس در محیط راف برای ارزیابی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات توسعه داده شده است. در این پژوهش $S = \{S۱, S۲, \ldots Sm\}$ مجموعه‌ای از m گزینه می‌باشند و $W = \{W۱, W۲ \ldots Wn\}$ بردار وزن معیارها می‌باشد. در ادامه مراحل انجام کار ارائه می‌شود.

گام۱: تشکیل تیم تصمیم‌گیرندگان و مشخص نمودن وزن معیارها. با فرض اینکه تعداد تصمیم‌گیرندگان K نفر می‌باشد، وزن معیارها (Q) را می‌توان با استفاده از رابطه زیر برآورد شود.

$$W_1 = \frac{1}{K}\left[W_j^1 + W_j^2 + \cdots + W_j^K\right] \quad (۱۵)$$

که $W_j^K(j = 1,2,..,n)$ عبارت است از وزن معیار j که توسط تصمیم گیرنده K ام مشخص شده است که می‌تواند به وسیله متغیر زبانی نیز بیان شود.

گام۲: مشخص کردن وضعیت هر کدام از گزینه‌ها در هر یک از معیارها. که پس از مشخص شدن با استفاده از تئوری راف نظر خبرگان به اعداد فاصله‌ای تبدیل می‌شود که به‌صورت $R_{ij}^K = \left[\underline{R_{ij}}^k, \overline{R_{ij}}^k\right]$ تعریف می‌شود.

گام۳: ساخت ماتریس تصمیم D به فرم رابطه زیر.

$$D = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & & R_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ R_{m1} & R_{m2} & \cdots & R_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۶)$$

گام۴: نرمالایز کردن ماتریس تصمیم به‌صورت زیر به منظور تغییر معیارهای گوناگون مساله به واحدهای قابل اندازه‌گیری مشترک جهت مقایسه معیارها.

$$D = \begin{bmatrix} R^*_{11} & R^*_{12} & \cdots & R^*_{1n} \\ R^*_{21} & R^*_{22} & & R^*_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ R^*_{m1} & R^*_{m2} & \cdots & R^*_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۷)$$

که برای معیارهایی از جنس سود R^*_{ij} به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$R^*_{ij} = \left[\frac{\underline{R_{ij}}}{R_j^{max}}, \frac{\overline{R_{ij}}}{R_j^{max}}\right] \text{ where } R_j^{max} = \max_{1\le j\le m}\{\overline{R_{ij}}\} \quad (۱۸)$$

و برای معیارهایی از جنس هزینه عبارت R^*_{ij} به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$R^*_{ij} = \left[\frac{R_j^{min}}{\overline{R_{ij}}}, \frac{R_j^{min}}{\underline{R_{ij}}}\right] \text{ where } R_j^{min} = \min_{1\le i\le m}\left\{\underline{R_{ij}}\right\} \quad (۱۹)$$

با نرمال کردن ماتریس تصمیم تمام اعداد راف ماتریس در فاصله [۱ ، ۰] قرار خواهند گرفت.

گام۵: تشکیل ماتریس تصمیم نرمالایز شده موزون. در این گام باید ماتریس نرمالایز شده مرحله قبل را به شکل زیر به ماتریس نرمالایز شده موزون تبدیل نمود.

$$D = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & & V_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ V_{m1} & V_{m2} & \cdots & V_{mn} \end{bmatrix} \text{ where } V_{ij} = R^*_{ij} \times W_j \quad (۲۰)$$

گام۶: تعیین جواب ایده‌آل و ندیر(ضد ایده‌آل) به‌عنوان گزینه مرجع. برای m گزینه مورد بررسی، جواب ایده‌آل و ندیر آن می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود.

$$S^{max} = \{[max_{1\le i\le m}\underline{V_{i1}}\ , max_{1\le i\le m}\overline{V}_{i1}], [max_{1\le i\le m}\underline{V_{i2}}\ , max_{1\le i\le m}\overline{V}_{i2}]\ ,\ \ldots\ , [max_{1\le i\le m}\underline{V_{in}}\ , max_{1\le i\le m}\overline{V}_{in}]\} \quad (۲۱)$$

$$S^{min} = \{[min_{1\le i\le m}\underline{V_{i1}}\ , min_{1\le i\le m}\overline{V}_{i1}], [min_{1\le i\le m}\underline{V_{i2}}\ , min_{1\le i\le m}\overline{V}_{i2}]\ ,\ \ldots\ , [min_{1\le i\le m}\underline{V_{in}}\ , min_{1\le i\le m}\overline{V}_{in}]\} \quad (۲۲)$$

گام۷: محاسبه درجه امکان بین گزینه‌های مورد مقایسه و جواب ایده‌آل با استفاده از رابطه زیر.

$$P_1 = P\{S_i \le S^{max}\} = \frac{1}{n}\sum_{j-1}^{n} P\{V_{ij} \le G_j^{max}\} \quad (۲۳)$$

در این رابطه مقدار کوچک‌تر بهتر است.

گام ۸: با استفاده از رابطه زیر درجه امکان بین گزینه‌های مورد مقایسه و جواب ندیر را برآورد می‌کنیم.

$$P_2 = P\{S_i \ge S^{min}\} = \frac{1}{n}\sum_{j-1}^{n} P\{V_{ij} \le G_j^{min}\} \quad (۲۴)$$

در این رابطه مقدار بزرگتر بهتر است.

گام۹: تعریف شاخص نزدیکی نسبی هر گزینه نسبت به جواب ایده‌آل با استفاده از رابطه زیر.

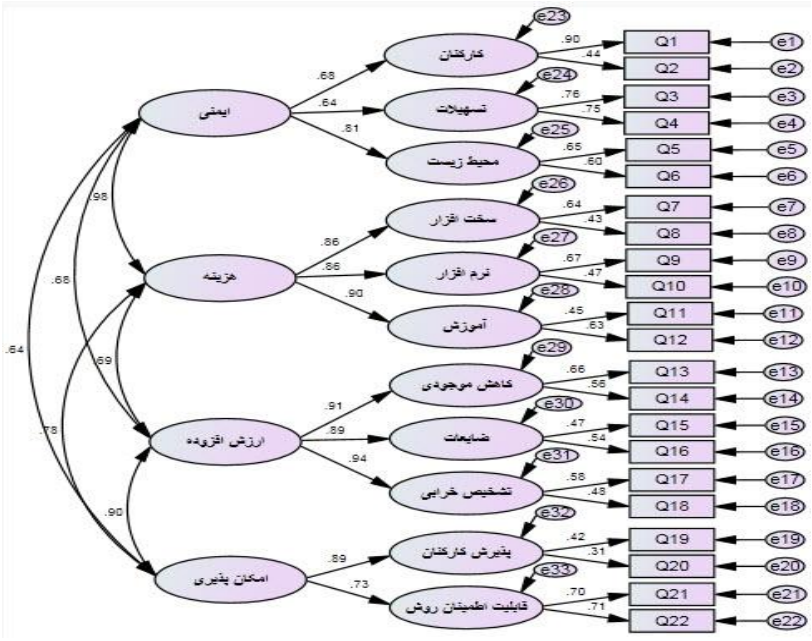
$$C_i = \frac{P_1}{P_2} \quad (۲۵)$$

گام۱۰: رتبه‌بندی گزینه‌ها. گزینه‌ای که کمترین C_i را داشته باشد، ارجح است. بر اساس رویه

بالا، ما می‌توانیم بهترین گزینه را از میان گزینه‌ها انتخاب نماییم(Zhu & et al, 2015).

۳. یافته‌های تجربی

همانطور که در شکل ۱ مشخص شد اولین گام در این پژوهش شناسایی معیارها و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از ادبیات پژوهش و نظر خبرگان می‌باشد. در ادامه ساختار سلسله مراتبی معیارهای پژوهش تشکیل و با استفاده از تحلیل عاملی تأیید و نرم‌افزار ایموس به ارزیابی معیارها و عوامل پرداخته شد. شکل ۳ نتایج حاصل از تحلیل عاملی تایید را نشان می‌دهد.



شکل ۳. ساختار معیارهای پژوهش و ضرایب مسیر آنها

با توجه به بارهای عاملی می‌توان بیان کرد که سازه مورد نظر از روایی لازم برخوردار است. برای برازش مدل نیز از سه دسته شاخص موجود در نرم‌افزار ایموس مهمترین آنها در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مدل از برازش خوبی برخوردار است.

جدول ۱. شاخص‌های برازش مدل پژوهش

نوع شاخص	شاخص	مقدار	حد مجاز
شاخص‌های برازش تطبیقی	TLI	۰/۹۷۴	صفر(عدم برازش) تا ۱ (برازش کامل)
	CFI	۰/۹۷۹	صفر(عدم برازش) تا ۱ (برازش کامل)
	IFI	۰/۹۸	مقدار نزدیک به ۱ نشان دهند تناسب خیلی خوب است
شاخص‌های برازش مطلق	RMR	۰/۰۴۷	مقدار صفر نشان دهنده تناسب کامل است
	GFI	۰/۹	صفر(عدم برازش) تا ۱ (برازش کامل)
	AGFI	۰/۹۱۹	صفر(عدم برازش) تا ۱ (برازش کامل)
شاخص‌های برازش مقتصد	RMSEA	۰/۰۲۵	مقدار ۵٪ نشان دهنده تناسب مناسب است(حداکثر ۱۰٪)
	CMIN/DF	۱/۰۹۱	مقدار نزدیک به ۱ برازش مناسب است(حداکثر۵)
	PRATIO	۰/۸۳۱	هر چه به ۱ نزدیکتر باشد بهتر است

گام بعدی پس از مشخص شدن معیارها و تحلیل عاملی تأییدی، شناسایی گزینه‌های پژوهش یا همان استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات می‌باشد. در این مطالعه چهار نوع استراتژی نگهداری و تعمیرات برای تجهیزات و ماشین‌آلات شرکت معرفی شده‌اند.

۱. استراتژی نگهداری و تعمیرات اصلاحی[1] (گزینه ۱): این استراتژی نگهداری و تعمیرات اغلب استراتژی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر خرابی یا تعمیرات نگهداری خرابی نامیده می‌شود. این استراتژی زمانی کاربرد دارد که در ماشین‌آلات و تجهیزات شرکت خرابی رخ داده باشد.
۲. نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط[2] (گزینه ۲): در این استراتژی، تصمیماتی به اطلاعات و داده‌هایی وابسته است که از طریق سیستم‌های سنسور بدست می‌آیند.
۳. نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه مبتنی بر زمان[3] (گزینه ۳): در این استراتژی، براساس این که ماشین‌آلات ما چه قابلیت اطمینانی دارند، تعمیرات نگهداری به‌صورت دوره‌ای و به‌منظور کاهش خرابی‌ها، برنامه‌ریزی و اجرا می‌گردد.
۴. نگهداری و تعمیرات پیشگویانه[4] (گزینه ۴): این نوع استراتژی قادر است که روند خرابی‌های تصادفی را با استفاده از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و اطلاعات، پیش‌بینی کند. این روش به مهندسان نگهداری و تعمیرات این امکان را می‌دهد که نگهداری و تعمیرات را بر اساس زمان شکست

1. Corrective Maintenance
2. Condition-Based Maintenance
3. Time-Based Preventive Maintenance
4. Predictive Maintenance

در آینده و فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات منطبق با برنامه‌های تولید، مشتریان، سفارشات و در دسترس بودن پرسنل برنامه‌ریزی نمایند.

بعد از تشکیل ساختار سلسله مراتبی معیارها به محاسبه وزن معیارهای پژوهش با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا ماتریس مقایسه زوجی مساله تشکیل و نظر خبرگان جمع‌آوری می‌شود. در گام بعد با استفاده از تئوری راف نظر خبرگان به اعداد فاصله‌ای تبدیل شد. سپس با استفاده از روابط ارائه‌شده به محاسبه وزن معیارها پرداخته شد. جدول ۲ نتایج محاسبات فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف را ارائه می‌کند.

جدول۲ . وزن راف معیارهای پژوهش

معیارهای اصلی	وزن معیارهای اصلی		زیر معیارها	کد	وزن زیر معیارها		وزن نهایی زیر معیارها	
	L	U			L	U	L	U
ایمنی	0.833688	1	کارکنان	P	0.880408	1	0.733986	1
			تسهیلات	F	0.405291	0.483209	0.337886	0.483209
			محیط زیست	E	0.337717	0.402643	0.281551	0.402643
هزینه	0.589962	0.721445	سخت افزار	H	0.886828	1	0.523195	0.721445
			نرم افزار	S	0.389012	0.4638	0.229502	0.334606
			آموزش	T	0.311132	0.368262	0.183556	0.265681
ارزش افزوده	0.429894	0.534745	کاهش موجودی	I	0.337717	0.383592	0.145183	0.205124
			ضایعات	W	0.698905	0.83327	0.300455	0.445587
			تشخیص خرابی	FD	0.83875	1	0.360574	0.534745
امکان پذیری	0.347641	0.424163	پذیرش کارکنان	PA	0.874475	1	0.304003	0.424163
			قابلیت اطمینان	R	0.529412	0.605406	0.184045	0.256791

گام بعدی پس از محاسبه وزن معیارهای پژوهش تشکیل ماتریس تصمیم مساله برای گزینه‌های پژوهش می‌باشد. پس از محاسبه وزن معیارها، باید ماتریس تصمیم مساله را برای استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات تشکیل دهیم. در این پژوهش وضعیت هر یک از گزینه‌ها (استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات) نسبت به هر یک از معیارها توسط سه خبره با استفاده از متغیرهای زبانی مورد ارزیابی قرار گرفته شد. برای تشکیل ماتریس تصمیم فاصله‌ای پژوهش ابتدا نظرات خبرگان با استفاده از تئوری راف به اعداد فاصله‌ای تبدیل شد. جدول ۳ ماتریس تصمیم فاصله‌ای بدست آمده از روش تئوری راف را ارائه می‌کند.

جدول۳. ماتریس تصمیم پژوهش

گزینه‌ها	معیارها											
	P		F		E		H		S		T	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
گزینه۱	5.11	6.55	6.44	6.89	7	7	7	7	4.88	5.77	6.44	6.89
گزینه۲	4.44	4.89	5.44	5.89	5	5	5.22	5.78	2.44	2.89	4.22	5.11
گزینه۳	6	6	7.44	7.89	6.88	7.77	6	6	7	7	5.22	5.78
گزینه۴	6.44	6.89	6.11	6.55	6	6	4	4	4.44	4.89	4.44	4.89
	I		W		FD		PA		R			
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U		
گزینه۱	5.44	5.89	6	6	6.88	7.77	5.44	5.89	5.44	5.89		
گزینه۲	3.11	3.55	4.44	4.89	6	6	4.22	5.11	3.5	4.5		
گزینه۳	4.11	4.55	6.11	6.55	6.5	7.5	6	6	6.11	6.55		
گزینه۴	4.44	4.89	5.22	5.78	7	7	4.44	4.89	5	5		

پس از تشکیل ماتریس تصمیم، با استفاده از روابط ارائه‌شده ماتریس تصمیم نرمالایز شده را بدست آورده و سپس ماتریس تصمیم نرمالایز شده موزون محاسبه شد. پس از محاسبه ماتریس تصمیم نرمالایز شده موزون باید جواب ایده‌آل و ندیر (غیر ایده‌آل) آن را به عنوان گزینه مرجع برای مقایسه با استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از روابط ارائه شده در بخش‌های قبل محاسبه نمود. جدول ۴ نتایج ماتریس تصمیم نرمالایز شده موزون و جواب‌های ایده‌آل و غیره ایده‌آل بدست آمده را ارائه می‌کند.

جدول۴. ماتریس تصمیم نرمالایز شده موزون راف پژوهش

گزینه‌ها	معیارها											
	P		F		E		H		S		T	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
گزینه۱	0.54436	0.9507	0.2758	0.422	0.2536	0.36274	0.5232	0.7214	0.16	0.2758	0.171568	0.26568
گزینه۲	0.47298	0.7097	0.233	0.3607	0.1812	0.2591	0.3902	0.5957	0.08	0.1381	0.112425	0.19704
گزینه۳	0.63917	0.8708	0.3186	0.4832	0.2493	0.40264	0.4485	0.6184	0.2295	0.3346	0.139066	0.22287
گزینه۴	0.68604	1	0.2617	0.4011	0.2174	0.31092	0.299	0.4123	0.1456	0.2337	0.118286	0.18856
S^{max}	0.68604	1	0.31861	0.4832	0.2536	0.40264	0.52319	0.7214	0.2295	0.3346	0.1715	0.26568
S^{min}	0.4729	0.70972	0.23296	0.36072	0.1811	0.2591	0.29896	0.4122	0.0799	0.1381	0.1124	0.18856
	I		W		FD		PA		R			
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U		
گزینه۱	0.1341	0.2051	0.275226	0.4082	0.3193	0.53474	0.23625	0.3569	0.1529	0.2271		
گزینه۲	0.0767	0.1236	0.203667	0.3327	0.2784	0.41293	0.18327	0.3096	0.0983	0.1735		
گزینه۳	0.1013	0.1585	0.280272	0.4456	0.3016	0.51616	0.26057	0.3636	0.1717	0.2525		
گزینه۴	0.1094	0.1703	0.239447	0.3932	0.3248	0.48175	0.19282	0.2963	0.1405	0.1928		
S^{max}	0.1340	0.20512	0.28027	0.44558	0.3248	0.53474	0.26057	0.3635	0.17168	0.25255		
S^{min}	0.0766	0.12363	0.20366	0.33266	0.27843	0.41293	0.18327	0.29630	0.09834	0.17350		

در گام بعد باید درجه امکان بین گزینه‌های مورد بررسی در پژوهش و جواب ایده‌آل و غیرایده‌آل آن را محاسبه نمود. براساس روابط مربوط، درجه امکان نسبت به جواب ایده‌آل و جواب غیرایده‌آل آن به‌صورت زیر بدست آمد.

$$P\{S_1 \le S^{max}\} = 0.587041 \qquad P\{S_1 \ge S^{min}\} = 0.8565217$$
$$P\{S_2 \le S^{max}\} = 0.8915854 \qquad P\{S_2 \ge S^{min}\} = 0.5440829$$
$$P\{S_3 \le S^{max}\} = 0.5891579 \qquad P\{S_3 \ge S^{min}\} = 0.8604678$$
$$P\{S_4 \le S^{max}\} = 0.7708464 \qquad P\{S_4 \ge S^{min}\} = 0.7147855$$

حال با محاسبه درجه امکان گزینه‌های پژوهش نسبت به جواب ایده‌آل و غیرایده‌آل باید شاخص نزدیکی نسبی هرگزینه را نسبت به جواب ایده‌آل بدست آورد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص نزدیکی نسبی گزینه‌های پژوهش به‌صورت جدول ۵ می‌باشد.

جدول ۵. رتبه بندی گزینه های پژوهش بر اساس شاخص نسبی

گزینه‌های پژوهش	شاخص نسبی
گزینه ۱	0.68538
گزینه ۲	1.63869
گزینه ۳	0.68469
گزینه ۴	1.07843

۱-۳. تجزیه و تحلیل یافته‌های تجربی

در این مرحله باید به ارزیابی و رتبه‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس نتایج حاصل از شاخص نزدیکی نسبی پرداخت. براساس نتایج جدول ۵ اولویت‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات به‌صورت زیر می‌باشد.

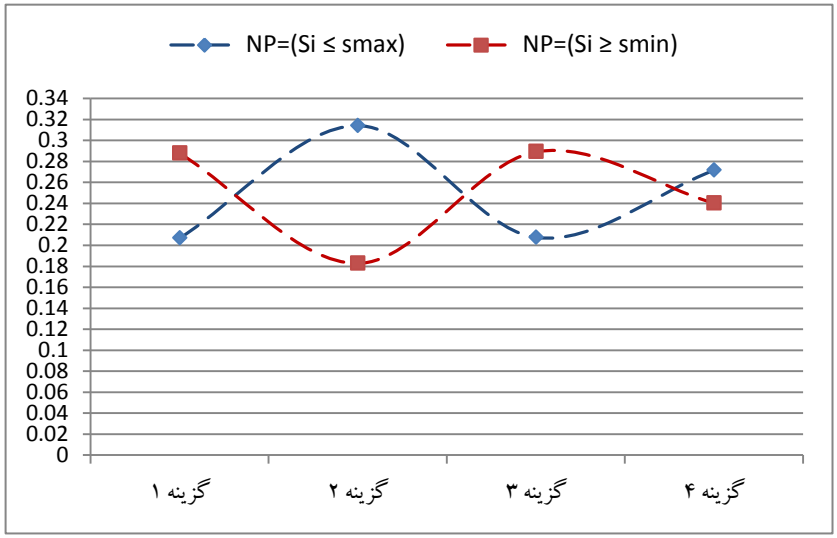
اولویت گزینه‌های پژوهش گزینه ۳ < گزینه ۱ < گزینه ۴ < گزینه ۲

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که گزینه ۳ یعنی استراتژی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه مبتنی بر زمان از میان ۴ گزینه موجود بالاترین رتبه را کسب کرده است. استراتژی نگهداری و تعمیرات اصلاحی، استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگویانه و استراتژی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط نیز به ترتیب در رتبه‌های بعد قرار می‌گیرند.

در این قسمت تلاش شده است احتمالات $P\{S_i \leq S^{max}\}$ و $P\{S_i \geq S^{min}\}$ را برای همه استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با یکدیگر مقایسه کنیم. برای این هدف ابتدا دره امکان راف را نسبت به جواب ایده‌آل و غیرایده‌آل نرمال‌سازی نموده تا امکان مقایسه ایجاد شود. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول۶ و شکل۴ ارائه شده است

جدول ۶. نرمال سازی درجه امکان راف

گزینه‌های پژوهش	$P\{S_i \leq S^{max}\}$	$NP\{S_i \leq S^{max}\}$	$P\{S_i \geq S^{min}\}$	$NP\{S_i \geq S^{min}\}$
گزینه ۱	0.587041	0.206804	0.856522	0.287823
گزینه ۲	0.891585	0.31409	0.544083	0.182832
گزینه ۳	0.589158	0.20755	0.860468	0.289149
گزینه ۴	0.770846	0.271556	0.714786	0.240195



شکل ۴. مقایسه درجه امکان راف جواب ایده آل و ندیر آن برای گزینه‌های پژوهش

همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد، گزینه شماره ۳ هم به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر بوده و هم از جواب غیرایده‌آل دورتر می‌باشد. که این امر تاثیر تشریک مساعی ایجاد شده بوسیله این دو فاصله را بررسی می‌کند. و همین امر باعث می‌شود که این استراتژی نگهداری و تعمیرات

بهترین گزینه سازمان مورد بررسی باشد. ولی استراتژی شماره ۲ (گزینه ۲) بیشترین فاصله را از جواب ایده آل و کمترین فاصله را به جواب غیرایده‌آل دارد و همین امر باعث شده است که وضعیت نامطلوبی داشته باشد و به‌عنوان نامناسب‌ترین استراتژی لحاظ شود. به همین ترتیب می‌توان سایر گزینه‌های پژوهش را مورد بررسی قرار داد.

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه تلاش شد تا با استفاده از پژوهش‌های انجام شده و تجزیه‌وتحلیل سازمان، استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات قابل کاربرد برای ماشین‌آلات شرکت و معیارهای اصلی و فرعی آن شناسایی شود. اما ماهیت چند معیاره این‌گونه تصمیمات باعث شده است که ما از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده نماییم. همچنین از آنجایی که در بسیاری از موقعیت‌ها، تصمیم‌گیرندگان با عدم قطعیت و اطلاعات ناکافی مواجه می‌شوند. بنابراین قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان اغلب نامطمئن بوده و نمی‌توان آن را به‌وسیله مقادیر عددی دقیق تخمین زد. بنابراین نیازمند روش‌ها و مفاهیمی خواهیم بود که بتوانند ما را در چنین شرایطی یاری رساند. به‌همین منظور از مفهوم تئوری مجموعه راف در روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شده است. بنابراین در این مطالعه، ما از روش تئوری مجموعه راف برای تبدیل قضاوت‌های خبرگان به اعداد فاصله‌ای و از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف برای ارزیابی و وزن دهی معیارهای انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات سازمان استفاده نموده‌ایم. سپس برای ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های پژوهش از روش تاپسیس راف استفاده شده است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که استراتژی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه مبتنی بر زمان بهترین استراتژی برای مساله نگهداری و تعمیرات سازمان می‌باشد و توصیه می‌شود که شرکت این استراتژی را برای تجهیزات و ماشین‌آلات خود اتخاذ نماید زیرا انتخاب مناسب‌ترین استراتژی می‌تواند قابلیت اطمینان ماشین‌آلات را بهبود داده و سرمایه‌گذاری‌های غیرضروری را کاهش دهد. در ادامه تلاش شده است نتایج حاصل از این پژوهش با برخی از مطالعات انجام‌شده در این حوزه مورد مقایسه قرار گیرد.

در مطالعه شفیعی نیک آبادی و همکاران (۱۳۹۴)، پژوهشگران با استفاده از تحلیل عاملی تاییدی به ارزیابی معیارهای پژوهش پرداخته و سپس معیارها و استراتژی‌ها را با استفاده از روش-های قطعی تصمیم‌گیری چندشاخصه مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش نیز تلاش شده است

با استفاده از روش تحلیل عاملی تایید به ارزیابی معیارهای شناسایی‌شده پرداخته شود تا مهمترین معیارها برای ارزیابی استراتژی‌ها شناسایی شود. اما از آنجایی که نظرات خبرگان به صورت ترجیحات ذهنی ارائه می‌شود بنابراین برخلاف این مطالعه ما تلاش کرده‌ایم تا از مفهوم تئوری مجموعه راف که در شرایط عدم وجود اطلاعات دقیق بسیار کاراتر می‌باشد به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده نماییم.

در مطالعه هیلاک و کِریم (۲۰۱۳) نیز پژوهشگران تلاش کرده‌اند تا بهترین گزینه را بر اساس کاهش هزینه و زمان نگهداری و تعمیرات انتخاب نمایند. در این مطالعه معیارهایی که بتواند الزامات اجتماعی همانند عوامل زیست‌محیطی و منافع کارکنان را لحاظ کنند در نظر گرفته نشده است. در حالی‌که در این مطالعه تلاش شده است تا معیارهای گوناگون برای ارزیابی و انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات شناسایی شود تا تمام جنبه‌های مهم از جمله هزینه، الزامات اجتماعی و ارزش افزوده و غیره در نظر گرفته شود.

بنگستون (۲۰۰۴) نیز با موازنه بین ایمنی و بهره‌وری تلاش کرده‌اند تا استراتژی‌های گوناگون نگهداری و تعمیرات را مدیریت نمود تا بتوانند عملکرد بلندمدت سازمان را حداکثر نمایند. در این مطالعه علاوه بر موارد بیان شده سعی شده است همانند این مطالعه با در نظر گرفتن معیارهای کاهش موجودی و ضایعات و تشخیص خرابی ضمن در نظر گرفتن ایمنی، بهره‌وری نیز لحاظ شود.

منابع

1. Arunraj, N & Maiti, J (2010). Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming .Sofety science, 48(2), 238-247.
2. Azadivar, F & Shu, V (1999). Maintenance policy selection for JIT production systems.International jcurnal of production research, 37(16), 3725-3738.
3. Bali, O, Kose, E & Gumus, S (2013). Green supplier selection based on IFS and GRA.Grey systems: theory and Application, 3(2), 158-176.
4. Bengtsson, M (2004). Condition Based Maintenance System Technology – Where is Development Heading.condition based maintenance systems-An investigation of Technical Constituents and organizational Aspects,55.
5. Bertolini, M & Bevilacqua, M (2006). A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. Reliability Engineering & Systems Safety, 91(7), 839-848.
6. Bruno, G, Esposito, E, Genovese, A & Simpson, M (2015). Applying supplier selection methodologies in a multi-stakeholder environment: A case study and a critical assessment.Expert systems with Application,43,271-285.
7. Burns , P (1997). Advanced integrated maintenance strategie. Issues of A FE Facilities Management Journal, 27 – 36
8. Cao, J, Cao, G & Wang,W (2012). A hybrid model using analytic network process and gray relational analysis for bank's IT outsourcing vendor selection.kybernets,47(7/8) , 994-1013.
9. Chen, L. F & Tsai, C.-T (2016). Data mining framework based on rough set theory to improve location selection decisions: A case study of a restaurant chain. Tourism Management, 53, 197-206.
10. Fakoor Saghih, A. M (2016). Measuring the Flexibility of Supply Chain by Using Gray System. Management Research in Iran, 19(4), 117-138.
11. Hon Yin Lee, H & Scott, D (2009). Strategic and operational factors'

influence on the management of building maintenance operation processes in sports and leisure facilities, Hong Kong. Journal of Retail & Leisure Property, 8(1), 25-37. doi:10.1057/rlp.2008.29.

12. Hylocka, R & Currimb, F (2013). A maintenance centric approach to the view selection problem. A maintenance centric approach to the view selection problem, 38(7), 971–987.
13. Ilker, M. A, Coşkun, H & Birdogan, B (2013). Business School ranking with grey relational analysis: the case of Turkey. Grey Systems: Theory and Application, 3(1), 76-94. doi:doi:10.1108/20439371311293714
14. Ishizaka, A & Nemery, P (2014). Assigning machines to incomparable maintenance strategies with ELECTRE-SORT. Omega, 47, 45-59.
15. Karsak, E. E & Dursun, M (2015). An integrated fuzzy MCDM approach for supplier evaluation and selection. Computers & Industrial Engineering, 82, 82-93.
16. Kose, E, Kabak, M & Aplak, H (2013). Grey theory based MCDM procedure for sniper selection problem.Grey systems: theory and application, 3(1), 35-45.
17. Luce, S (1999). Choice criteria in conditional preventive maintenance. Mechanical Systems and Signal Processing, 13(1), 163-168.
18. Oberg, C. P (2002). Managing maintenance as a business.EPAC Software Technologies.
19. Orji, I. J & Wei, S (2015). An innovative integration of fuzzy-logic and systems dynamics in sustainable supplier selection: A case on manufacturing industry. Computers & Industrial Engineering, 88, 1-12.
20. Pawlak, Z (1982). Rough sets. International Journal of Computer & Information Sciences, 11(5), 341-356.
21. Ramesh, S, Viswanathan, R & Ambika, S (2016). Measurement and optimization of surface roughness and tool wear via grey relational analysis, TOPSIS and RSA techniques. Measurement, 78, 63-72.
22. Sabet Motlagh, M, Salehi Sadaghiani, j, Ayazi, S. A & Abedini Naeini, M

(2015). Evaluation and Selection of Strategic Suppliers Using Integrated approach of AHP and Gray TOPSIS. Journal of Operational Research and Its Applications, 11(4), 101-117 (in persian).

23. Sanjeev, G & Sandeep, G (2012). Applying fuzzy grey relational analysis for ranking the advanced manufacturing systems. Grey Systems: Theory and Application, 2(2), 284-298.
24. Shafiee Nick Abadi, M, Farajpour Khanaposhtani, H, Eftekhari, H & Sadadadi, A (2016). Using hybrid approach FA, AHP and TOPSIS for selecting and ranking the appropriate maintenance strategies. Industrial Management Studies, 13(39), 35-62(in persian).
25. Shen, G (1997). A comparative study of priority setting methods for planned maintenance of public buildings.Facilities,15(12/13) , 331-339.
26. Stadnicka, D, Antosz, K & Ratnayake, R. M (2014). Development of an empirical formula for machine classification: Prioritization of maintenance tasks. safety science, 63,34-41.
27. Tsang, A (1998). A Strategic approach to managing maintenance performance. J of Qual in Maint Eng 4(2): 87-94.Journal of Quality in maintenance Engineeriry,4(2),87-94.
28. Van Horenbeek, A & Pintelon, L (2014). Development of a maintenance performance measurement framework-using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. Omega, 42(1), 33-46.
29. Zhai, L. Y, Khoo, L.P & Zhong, Z. W (2008). A rough set enhanced fuzzy approach to quality function deployment. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 37(5), 613-624.
30. Zhu, G, Hu, J, Qi, J, Gu, C.C & Peng, Y (2015). An integrated AHP and VIKOR for design concept evaluation based on rough number.Advanced Engineeriny Informatics, 29(3),408-418.