Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 7, No. 4, PP. 47-59, Winter 2023
DOI: 10.22112/JWWSE.2022.319741.1300

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال هفتم، شماره ۴، صفحات ۴۷-۵۹، زمستان ۱۴۰۱

Research Paper

A Framework to Determine the Maintenance Performance in the Water and Sewerage Companies; The Case Study: Alborz Water and Sewerage Company

Reza Shahrjerdi
Assistant Professor, Department of Industrial, Mechanical and Aerospace Engineering, Buein Zahra Technical University, Buein Zahra, Qazvin, Iran.
*Corresponding Author, Email: r.shahrjerdi@yahoo.com

Received: 18/12/2021
Revised: 26/05/2022
Accepted: 03/07/2022
© IWWA

Abstract

Nowadays, due to the large volume of assets in the water and wastewater industry and its impact on the development and sustainability of other industries, specific attention to this industry becomes more apparent. Since there are various equipments in this industry, achieving efficiency and proper performance in this equipment and maintenance system has been identified and then, with fuzzy decision-making which can be envisaged as innovation of this project, the ranking of the factors has been worked upon. The results of this requires timely maintenance and repairs. This study has evaluated the efficiency of these systems by considering the importance of paying attention to the factors that affect the performance of the maintenance system and consequently the quality and reliability. Considering the various evaluation and ranking methods, the present research has investigated this issue in two phases using operations research techniques and fuzzy decision making. In the first, the pivotal factors on the Alborz Province Water and Sewage Company's function of upkeep study shows that water and sewage companies by employing of technological conditions that include quality and utilization of innovative technologies that have highest priority in comparison to other important alternatives with ultimate importance of 0.3123 could increase productivity.

Keywords: Maintenance, Delphi technique, Decision methods, Fuzzy logic.

مقاله پژوهشی

ارائه چارچوب در بررسی عملکرد سیستم‌های نگهداری و تعمیرات شرکت‌های آب و فاضلاب؛ مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب استان البرز

رضا شهرجردی
استادیار، گروه مهندسی صنایع، مکانیک و هوافضا، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین‌زهرا، بوئین‌زهرا، قزوین، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: r.shahrjerdi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

امروزه، با توجه به حجم عظیم دارایی‌های موجود در صنعت آب و فاضلاب و تأثیر آن بر توسعه و پایداری صنایع دیگر، توجه ویژه به این صنعت بیشتر آشکار می‌شود. تجهیزات متنوعی در این صنعت وجود دارد که رسیدن به اثربخشی و عملکرد مناسب در این تجهیزات، نیازمند نگهداری و تعمیرات به‌هنگام است. تحقیق حاضر، با درنظر گرفتن اهمیت عواملی که بر عملکرد سیستم نگهداری تعمیرات و به‌دنبال آن، بر کیفیت و قابلیت اطمینان تاثیرگذار هستند، بهره‌ور بودن این سیستم‌ها را مورد ارزیابی قرار داده است. با توجه به انواع روش‌های ارزیابی و رتبه‌بندی، تحقیق حاضر در دو فاز و با استفاده از تکنیک‌های تحقیق عملیات و تصمیم‌گیری فازی، به بررسی این موضوع پرداخته است. نخست، عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم نگهداری و تعمیرات شرکت آب و فاضلاب استان البرز، شناسایی و سپس، با استفاده از روش‌های فازی تصمیم‌گیری به رتبه‌بندی این عوامل انجام شده است. استفاده از روش‌های فازی و نتایج کاربردی آن در صنعت آب و فاضلاب، به‌عنوان نوآوری این کار به‌شمار می‌رود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شرکت‌های آب و فاضلاب، می‌توانند با به‌کارگیری مناسب شرایط تکنولوژیکی که دارای بالاترین ارجحیت نسبت به دیگر معیارها با اهمیت نهایی ۰٫۱۳۲۱ است، بهره‌وری را افزایش دهند.

کلمات کلیدی: نگهداری و تعمیرات، تکنیک دلفی، روش‌های تصمیم‌گیری، منطق فازی.

۱- مقدمه

افزایش سرمایه‌گذاری در صنایع و محدودیت منابع و مواد اولیه، سبب توجه صاحبان و مدیران صنایع به کارایی و بهره‌وری منابع و تجهیزات موجود در این صنایع شده است. این مهم، زمانی بیشتر جلوه می‌کند که بحث رقابت‌های صنعتی شدید در بازارهای داخلی و جهانی، مطرح می‌شود. از این‌رو، نقش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر اصول علمی و هم‌چنین، ایجاد شرایطی در راستای رفع سریع عیوب و مشکلات، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی، تغییرات اقتصادی، تکنولوژیکی، اجتماعی و محیطی، در عین حال که با پیچیدگی سیستم‌ها و تکامل تدریجی زندگی روبه‌رو هستند، به‌طور فزاینده‌ای مدیران و سیاست‌مداران را به یادگیری بیشتری فرا می‌خوانند. تصمیم‌گیری مؤثر و یادگیری در دنیایی با رشد و پیچیدگی پویا، ایجاب می‌کند که با تفکری سیستمی، مرزها و محدوده‌های مدل ذهنی را گسترش داد و برای درک بهتر این سیستم پیچیده و رفتارهای آن، از ابزارها و تجهیزات مناسب‌تری استفاده شود (Sterman, 2000).

امروزه تعمیر و نگهداری یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در برنامه‌ریزی صنایع است که صنعت آب و فاضلاب نیز، از آن مستثنی نیست. با توجه به اهمیت این صنعت در توسعه صنایع دیگر و حجم عظیم سرمایه‌های موجود در آن، رویکرد ویژه‌ای به مسئله تعمیر و نگهداری در این صنعت صورت می‌گیرد (Senge, 1990؛ کریمی، ۱۳۸۹). Wang et al. (2021) مطالعه‌ای را بر روی استراتژی‌های نگهداری، تعمیرات و ایمنی در نیروگاه هسته‌ای انجام دادند. از آن‌جا که مسئله ایمنی در نیروگاه هسته‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است، انتخاب استراتژی‌های متعادل بین هزینه‌های نت (نگهداری و تعمیرات) و سطح ایمنی، حائز اهمیت است. در این تحقیق با استفاده از مدل‌سازی ریاضی چندهدفه، استراتژی بهینه انتخاب شد.

بررسی مطالعات انجام‌شده، نشان می‌دهد که ارتباط نزدیکی بین نگهداری و تعمیرات و بروز حوادث عمده و بزرگ وجود دارد. Singh et al. (2020) یک مدل مفهومی را برای ارزیابی تأثیر شیوه‌های مدیریت تعمیر نگهداری بر عملکرد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی نیروگاه برق‌آبی ارائه دادند. مهاجری و هرسج (۱۳۹۴) در پژوهشی، پیاده‌سازی سیستم یکپارچه ایمنی و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه را براساس روش تحلیل و طراحی سیستم ساختاریافته پیشنهاد کردند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که پیاده‌سازی این سیستم، به بهبود شاخص‌های ایمنی و نت منجر می‌شود. به‌طور مشابه، امجدی و انصاری (۱۳۹۱) با درنظر گرفتن محدودیت‌های ایمنی سیستم و مسئله پایداری ولتاژ، برنامه‌ریزی کوتاه‌مدتی برای نیروگاه‌های آبی و حرارتی انجام دادند.

تاکنون پژوهش‌های متعددی در ارتباط با مبحث نگهداری و تعمیرات صورت گرفته است. به‌طور کلی، استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات، از نظر مفاهیم و سیاست‌های نگهداری مورد توجه قرار می‌گیرند (Pinjala et al., 2006). Vujanovic et al. (2012) در پژوهشی شاخص‌های مدیریت تعمیر و نگهداری را با استفاده از دیمتل (DEMATEL)[1] و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)[2] ارزیابی کردند و اثربخشی و کارایی آن‌را با این روش، مورد ارزیابی قراردادند. ولی در مقابل، آقایی و همکاران (۱۳۹۵) شاخص‌های مدیریت نگهداری و تعمیرات را با استفاده از رویکرد دلفی فازی[3] و دیمتل فازی شناسایی و رتبه‌بندی کردند که دارای نتایج با کارایی و دقت بیشتری است.

Pintelon et al. (2006) سیاست‌های نگهداری مانند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، اصلاحی و پیشگویانه را معرفی کردند. مفاهیم نگهداری و تعمیرات، به‌دنبال نگهداری و تعمیرات بهره‌ور جامع و یا نگهداری و تعمیرات یا محوریت پایایی هستند. خرد رنجبر و همکاران (۱۴۰۰) شاخص‌های تعمیرات و نگهداری در ساختمان‌ها را با روش چندمعیاره ارزیابی کردند که در نهایت با استفاده از روش آراس (ARAS)[4] مناسب‌ترین روش نگهداری ساختمان، راهبرد مبتنی بر شکست با مطلوبیت نسبی ۰/۸۷۲۸ انتخاب شد و استراتژی‌های اصلاحی و واکنشی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

در پژوهشی دیگر، رویکردی برای تعامل تولید و نگهداری و تعمیرات توسط Charles et al. (2003) معرفی شد که در آن، اهمیت ملاحظات زمان‌بندی را در بهینه‌سازی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه اثبات نمودند. سربی و همکاران (۱۴۰۰) مدل‌های تعمیرات و نگهداری در مراکز نفت و گاز را بررسی کردند. در نهایت یک مدل پیشگویانه ارائه شد که با پیاده‌سازی آن در جنوب کشور، کنترل مدت زمان بهینه تعمیرات و نگهداری برای آینده ارائه شد. در مقابل، عظیمیان و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از روش تاپسیس فازی (FTOPSIS)[5] و جمعی از خبرگان و ساخت و انتخاب سناریو، بهترین دوره نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه را ارزیابی کرده و بهترین زمان را به‌دست آوردند.

Wanga et al. (2007) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)[6] استراتژی نگهداری بهینه مانند نگهداری و تعمیرات اصلاحی، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر

زمان، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط و نگهداری و تعمیرات پیشگویانه را انتخاب کردند. شفیعی و همکاران (۱۳۹۴) با تلفیق روش‌های AHP فازی و تاپسیس فازی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در تجهیزات مختلف را رتبه‌بندی کردند. در پژوهشی دیگر، تلاش شد تا با استفاده از تئوری مجموعه راف (Rough Set Theory) و به‌کارگیری آن در تصمیم‌گیری چندمعیاره، بهترین استراتژی برای نگهداری و تعمیرات انتخاب شود. نهایتاً در آن پژوهش، استراتژی پیشگیرانه به‌عنوان گزینه برتر معرفی شد (مطلق، ۱۳۹۷). Gebauer et al. (2008) استراتژی‌های نگهداری تجهیزات تولیدی را در شرکت‌های چینی بررسی نمودند. آن‌ها با بررسی رویکردهای نگهداری و تعمیرات در صنایع تولیدی چینی، حوزه‌های نادیده گرفته‌شده در مدیریت عملیات را شناسایی و معرفی کردند. Boschian et al. (2009) با استفاده از شبیه‌سازی یک سیستم تولیدی متشکل از دو ماشین موازی، یک خط مونتاژ و یک تأمین‌کننده، به مقایسه دو استراتژی پرداختند. Ishizaka and Nemery (2014) تخصیص ماشین‌آلات به استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از ELECTRE-SORT را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که چنین روشی می‌تواند استراتژی‌های منعطف‌تر و دقیق‌تری را نسبت به شبکه تصمیم‌گیری فراهم کند.

Stadnicka et al. (2014) یک فرمول تجربی را به‌منظور طبقه‌بندی ماشین‌آلات با استفاده از اولویت‌بندی وظایف نگهداری و تعمیرات توسعه دادند. آن‌ها از مدل توسعه داده‌شده در سه شرکت تولیدی استفاده کردند. در پژوهشی دیگر، تلاش شد تا با استفاده از رویکرد دلفی فازی و دیمتل فازی، شاخص‌های کلیدی مؤثر بر نگهداری و تعمیرات چابک شناسایی و رتبه‌بندی شوند. در نهایت، "تصمیم‌گیری سریع" که به‌عنوان یکی از شاخص‌ها شناسایی‌شده بود، به‌عنوان اولویت اول انتخاب شد. مورد مطالعاتی در آن پژوهش، صنعت خودروسازی ایران بود (آقایی و همکاران، ۱۳۹۴). Awad and As'ad (2016) مدلی را به‌منظور اولویت‌بندی اقدامات نگهداری و تعمیرات توسعه دادند. آن‌ها با درنظر گرفتن چهار معیار شدت، نسبت سود به هزینه، سهولت اجرا و رضایت مشتری و استفاده از روش استنتاج فازی، این تحقیق را انجام دادند. در پژوهشی مشابه Batbayar et al. (2016) حالت شکست در نرم‌افزارهای تجهیزات پزشکی را بررسی کردند. هدف آن‌ها، کاهش و مدیریت ریسک به کمک استنتاج فازی سیستم‌های نگهداری و تعمیرات موجود در این زمینه بود.

Chinese and Ghirardo (2010) تصویر روشنی را از مدیریت نگهداری و تعمیرات در شرکت‌های تولیدی ایتالیایی ارائه کردند. هدف آن‌ها، تأکید بر این مطلب بود که استراتژی‌ها و عملکرد نگهداری و تعمیرات تا چه اندازه تحت‌تأثیر بافت، معیارها و اهداف شرکت‌های کوچک هستند. در حالی‌که بسیاری از عناصر استراتژی به‌اندازه سازمان مرتبط می‌شوند، به‌نظر نمی‌رسد که عملکرد نگهداری به اندازه سازمان مربوط باشد. ظاهراً برخی از عناصر استراتژی، به‌خصوص عناصر برنامه‌ریزی و کنترل، تأثیر کمی بر عملکرد دارند. در مقابل، استفاده پیشرفته از نگهداری پیشگیرانه، مخصوصاً نگهداری مبتنی بر شرایط، اقدامی بسیار مؤثر برای بهبود نگهداری و تعمیرات در تمام شرکت‌ها با ابعاد مختلف است. Utne (2010) چارچوبی را برای ایجاد سیاست‌ها و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مناسب، از تحلیل نیاز تا اجرا معرفی کرده و آن‌را برای توربین‌های بادی سواحل دریا اجرا نمود.

تعدد و تمرکز پژوهش‌های بیان‌شده بر سیستم‌های نگهداری و تعمیرات، نشان‌دهنده اهمیت بسیار بالای این سیستم‌ها است. تنوع سیستم‌ها و استراتژی‌های موجود در زمینه نگهداری و تعمیرات، نیاز به یک چارچوب به‌منظور اولویت‌بندی این سیستم‌ها و استراتژی‌ها را دو چندان کرده است. با درنظر گرفتن اهمیت توجه به عواملی که بر عملکرد سیستم نگهداری تعمیرات و به‌دنبال آن بر کیفیت و قابلیت اطمینان تاثیرگذار هستند، تحقیق حاضر با هدف شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم نت در شرکت‌های آب و فاضلاب ارائه شده است که نتایج آن، در استان البرز پیاده‌سازی شده است.

در این مطالعه، از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره استفاده شده است. از آن‌جایی‌که این روش‌ها براساس معیارهای مختلف، گزینه‌های پیش‌رو را اولویت‌بندی می‌کنند، بنابراین می‌توان با استفاده از این روش‌ها یک چارچوب مشخص برای اولویت‌بندی سیستم‌های نگهداری و تعمیرات تعیین نمود. هم‌چنین، از اعداد فازی مثلثی برای ساده‌تر شدن محاسبات نیز استفاده شده است که باعث دقت بیشتر در نتایج می‌شود. با این تفاسیر، تحقیق حاضر در دو مرحله به این موضوع پرداخته است. در مرحله نخست، عوامل مؤثر بر سیستم‌های نگهداری و تعمیرات شناسایی شده و سپس، این عوامل رتبه‌بندی می‌شوند.

۲- روش تحقیق

الگوریتم اجرایی این پژوهش، با هدف ارائه مدلی بهبودیافته به‌منظور بررسی عملکرد سیستم تعمیرات نگهداری و طی مراحلی نظام‌مند و مبتنی بر روش تحقیق علمی طراحی شده است. جامعه آماری استفاده‌شده در این تحقیق، شرکت‌های آب و فاضلاب

استانی است. به‌لحاظ ضرورت اظهارنظر کلیه مدیران، کارشناسان و تکنسین‌های مرتبط با سیستم بهره‌برداری، از یک نمونه استاندارد و سه پرسشنامه استفاده شده است. پرسشنامه اول، برای شناسایی، غربال و دسته‌بندی نهایی شاخص‌های موفقیت پیاده‌سازی برنامه ریزی منابع سازمان (ERP)[۷] و با استفاده از تکنیک دلفیِ فازی به‌کار گرفته شده است. پرسشنامه دوم نیز، به‌منظور اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های شناسایی‌شده با استفاده از تکنیک مبتنی بر مقایسات زوجی یعنی ANP فازی استفاده شده است. در نهایت، از پرسشنامه سوم به‌منظور تعیین روابط درونی و علی و معلولی معیارهای شناسایی‌شده، براساس تکنیک دیمتل فازی بهره گرفته شده است. در این مطالعه برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، از تکنیک‌های تحقیق در عملیات و برای تعیین اولویت معیارها و شاخص‌های تحقیق، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ANP و DEMATEL استفاده شده است.

۲-۱- گام‌های تحقیق

گام اول: شناسایی معیارها و شاخص‌های مدل

در گام نخست این پژوهش، مطالعات و ادبیات موضوع در زمینه پیاده‌سازی سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمان بررسی شده است. بر این اساس، معیارها و شاخص‌های موفقیت پیاده‌سازی سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمان شناسایی شد. به‌منظور بومی‌سازی شاخص‌های مدل، از نقطه‌نظرات و دیدگاه‌های خبرگان این حوزه استفاده شده است. اعضای کمیته تخصصی، متشکل از کارشناسان و اعضای تیم پیاده‌سازی سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمان و برخی مدیران واحدهای داخلی سازمان بود. برپایه مطالعات انجام‌شده و برداشت‌های حاصل از نظرات خبرگان، مجموعه‌ای از معیارها و شاخص‌هایی برای هریک از این معیارها شناسایی شد.

گام دوم: پالایش و غربال شاخص‌ها با تکنیک دلفی فازی

در مرحله دوم این مطالعه، با استفاده از تکنیک دلفی فازی پالایش و ترکیب شاخص‌های شناسایی‌شده انجام شد. پنل موردنظر، براساس ترکیبی از خبرگان سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمان با تخصص‌های گوناگون تعیین شد که مشتمل بر ۱۵ نفر بود؛ اما به‌دلیل محدودیت و دشواری دسترسی به کلیه خبرگان، از نمونه‌ای به حجم ۷ نفر استفاده شد. نظرسنجی از این تعداد خبره، قابل اتکا است. به‌طور معمول، برای استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری می‌توان از ۲ تا ۱۰ خبره استفاده نمود. این تعداد تا ۱۵ نفر نیز قابل افزایش است. اما افزایش هرچه بیشتر این تعداد موجب می‌شود تا روش مورد استفاده از حالت تصمیم‌گیری خارج و به‌سمت روش‌های آماری حرکت کند. لذا، می‌توان تعداد ۷ نفر خبره را به‌عنوان حد نصاب مناسب درنظر گرفت.

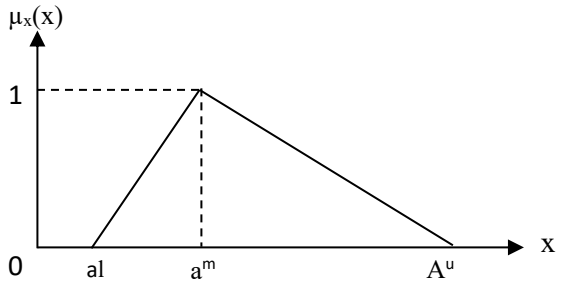
اگرچه خبرگان از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای انجام مقایسات استفاده می‌کنند، اما باید به این نکته توجه داشت که فرآیند کمی‌کردن عددی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را به‌طور کامل ندارد. به‌عبارت دیگر، استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد و بنابراین، بهتر است با استفاده از مجموعه‌های فازی (به‌کارگیری اعداد فازی) پیش‌بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی انجام شود (Chinese and Ghirardo, 2010). در این مطالعه، از اعداد فازی مثلثی برای ساده‌تر شدن محاسبات استفاده شده است.

اعداد فازی مثلثی

براساس نظریه مجموعه‌های فازی، یک عدد فازی، مجموعه فازی خاصی به‌صورت $\tilde{A} = x \in \frac{R}{\mu_{\tilde{A}}(x)}$ بوده که در آن، x مقادیر حقیقی عضو مجموعه R را می‌پذیرد و تابع عضویت آن، به‌صورت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ است. یک عدد فازی مثلثی، A عددی با تابع عضویت تکه‌ای خطی μ_A است که از طریق رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$\mu_x(x) = \begin{cases} \dfrac{(x-l)}{(m-l)} & l \le x < m \\ 1 & x = m \\ \dfrac{(u-x)}{(u-m)} & m < x \le u \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۱)$$

که l: کران پایین، m: محتمل‌ترین حالت ممکن و u: کران بالا بوده و می‌تواند به‌صورت عدد فازی مثلثی (l, m, u) نشان داده شود. شکل ۱، این تابع عضویت را نمایش می‌دهد.

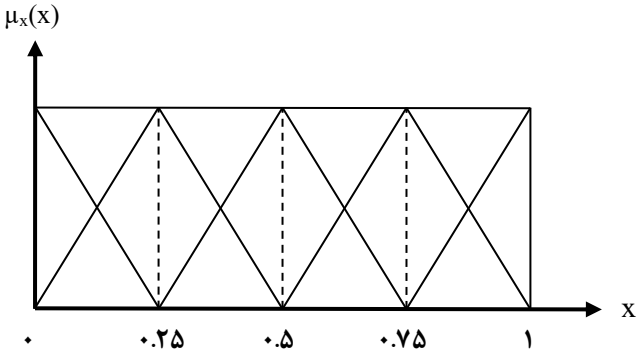


شکل ۱- عدد فازی مثلثی

در این مطالعه، متغیرهای کلامی برای تعیین اهمیت شاخص‌ها، مطابق با اعداد فازی مثلثی در جدول ۱ و شکل ۲ فازی‌سازی شده است.

جدول ۱- متغیرهای کلامی و اعداد فازی متناظر در تکنیک دلفی

متغیرهای کلامی	اعداد فازی مثلثی
اهمیت خیلی کم	(۰و۰و۰/۲۵)
اهمیت کم	(۰و۰/۲۵و۰/۵)
اهمیت متوسط	(۰/۲۵و۰/۵و۰/۷۵)
اهمیت زیاد	(۰/۵و۰/۷۵و۱)
اهمیت خیلی زیاد	(۰/۷۵و۱و۱)



شکل ۲- اعداد فازی مثلثی در تکنیک دلفی

پس از گردآوری داده‌ها، میانگین فازی نظرات n پاسخ‌دهنده با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در ادامه کار، از روابط (۳) تا (۶)، به‌منظور فازی‌زدایی و تعیین میزان اهمیت شاخص‌های موفقیت ERP استفاده شده و شاخص‌های دارای ارزش کم‌تر از مقدار میانگین حذف می‌شوند.

$$\text{FuzzyAverage} = \left[\frac{l_1 + l_2 + \cdots + l_n}{n} + \frac{m_1 + m_2 + \cdots + m_n}{n} + \frac{u_1 + u_2 + \cdots + u_n}{n}\right] \quad (۲)$$

$$x^1_{max} = \frac{l + m + u}{3} \quad (۳)$$

$$x^2_{max} = \frac{l + 4m + u}{6} \quad (۴)$$

$$x^3_{max} = \frac{l + 2m + u}{4} \quad (۵)$$

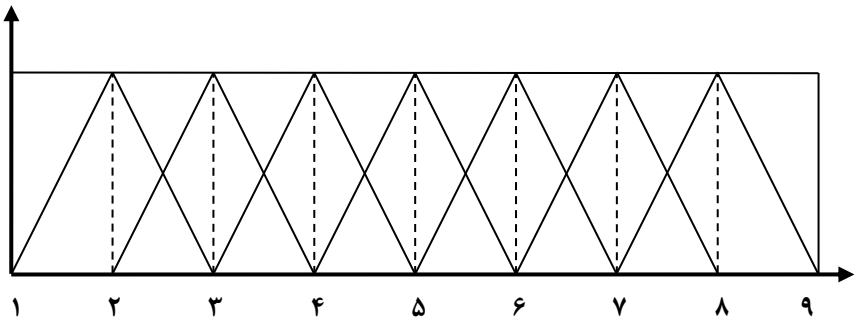
$$Crisp\ Number = max\left\{x^1_{max}, x^2_{max}, x^3_{max}\right\} \quad (۶)$$

گام سوم: دسته‌بندی و تعیین الگوی ارجحیت و اولویت متغیرها

در این مرحله، شاخص‌های با اهمیت از دیدگاه خبرگان در چند معیار اصلی طبقه‌بندی و دسته‌بندی می‌شوند. سپس مقایسات زوجی معیارهای اصلی، براساس هدف و مقایسات زوجی شاخص‌ها، براساس معیار مربوطه توسط خبرگان صورت می‌گیرد. دیدگاه خبرگان، با استفاده از مقیاس ۹ درجه ساعتی طبق جدول ۲ و شکل ۳ فازی‌سازی شده است. پس از گردآوری و فازی‌سازی دیدگاه خبرگان، با استفاده از میانگین فازی طبق رابطه (۲) اقدام به تجمیع دیدگاه خبرگان می‌شود.

جدول ۲- متغیرهای کلامی و اعداد فازی متناظر در تعیین ارجحیت

متغیرهای کلامی	اعداد فازی مثلثی	معکوس اعداد فازی مثلثی
اهمیت یکسان	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)
بینابین	(۱و۲و۳)	(۰/۳۳و۰/۵و۱)
کمی مهم‌تر	(۲و۳و۴)	(۰/۲۵و۰/۳۳و۰/۵)
بینابین	(۳و۴و۵)	(۰/۲و۰/۲۵و۰/۳۳)
مهم‌تر	(۴و۵و۶)	(۰/۱۶و۰/۲و۰/۲۸)
بینابین	(۵و۶و۷)	(۰/۱۴و۰/۱۶و۰/۲)
خیلی مهم‌تر	(۶و۷و۸)	(۰/۱۲و۰/۱۴و۰/۱۶)
بینابین	(۷و۸و۹)	(۰/۱۱و۰/۱۲و۰/۱۴)
مطلقا مهم‌تر	(۹و۹و۹)	(۰/۱۱و۰/۱۱و۰/۱۱)



شکل ۳- اعداد فازی مثلثی در تعیین ارجحیت

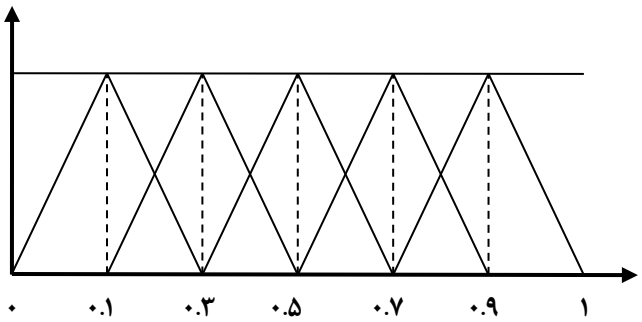
گام چهارم: شناسایی الگوی روابط درونی متغیرها با تکنیک DEMATEL فازی

در این مطالعه، فرض بر این است که برخلاف رویکردهای مرسوم، میان معیارهای مدل ERP رابطه وجود دارد. این روابط درونی، در تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی درنظر گرفته نمی‌شود. برای نمایش الگوی روابط درونی، دو راه‌کار وجود دارد. ساده‌ترین کار این است که به ادبیات پژوهش رجوع شود. از آن‌جا که در مطالعات موجود، اشاره صریحی به این روابط وجود ندارد، می‌توان از تکنیکی مانند DEMATEL استفاده کرد.

در این مطالعه، از تکنیک دیمَتِل برای درنظر گرفتن ارتباطات متقابل استفاده شده است. مزیت این روش نسبت به تکنیک تحلیل شبکه‌ای، روشنی و شفافیت آن در انعکاس ارتباطات متقابل میان مجموعه وسیعی از اجزا است؛ به‌طوری‌که متخصصان قادر هستند با تسلط بیشتری، به بیان نظرات خود در رابطه با اثرات (جهت و شدت اثرات) میان عوامل بپردازند. لازم‌به ذکر است که ماتریس حاصل‌شده از تکنیک دیمتل (ماتریس ارتباطات داخلی)، در واقع تشکیل دهنده بخشی از سوپرماتریس است. به‌عبارت دیگر، از نتایج تکنیک دیمتل به‌عنوان زیرسیستمی از سیستم بزرگتری چون ANP استفاده شده است. برای تعیین اثرات و ارتباطات متقابل بین عوامل، داده‌ها با طیف پنج درجه لیکِرت (Likert) گردآوری و مطابق با جدول ۳ و شکل ۴ فازی‌سازی شده است.

جدول ۳- متغیرهای کلامی و اعداد فازی متناظر در تکنیک دیمتل

متغیرهای کلامی	اعداد فازی مثلثی
بدون تأثیر	(۰و۰/۱و۰/۳)
تأثیر کم	(۰/۱و۰/۳و۰/۵)
تأثیر متوسط	(۰/۳و۰/۵و۰/۷)
تأثیر زیاد	(۰/۵و۰/۷و۰/۹)
تأثیر بسیار زیاد	(۰/۷و۰/۹و۱)



شکل ۴- اعداد فازی مثلثی در تکنیک دیمتل

به‌منظور محاسبه روابط درونی، مراحل زیر صورت گرفته است (Feng, 2012):

- تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم: روابط میان معیارها، به‌صورت یک ماتریس نمایش داده شده است. چون از دیدگاه چند کارشناس استفاده شده، از میانگین ساده نظرات استفاده و ماتریس ارتباط مستقیم تشکیل می‌شود.
- تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم نرمال: ماتریس نرمال‌شده طبق روابط (۷) و (۸)، به‌دست می‌آید. ابتدا جمع تمامی سطرها و

ستون‌ها محاسبه می‌شود. معکوس بزرگ‌ترین عدد سطر و ستون، مقدار k را تشکیل می‌دهد. سپس، از حاصل‌ضرب مقدار k در ماتریس ارتباط مستقیم، ماتریس ارتباط مستقیم نرمال به‌دست می‌آید.

$$k = \frac{1}{\max\left(\sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}\right)} \quad (۷)$$

$$N = K \times D \quad (۸)$$

که a_{ij}: درایه سطر i ام و ستون j ام ماتریس ارتباط مستقیم، n: تعداد سطر یا ستون، D: ماتریس ارتباط مستقیم و N: ماتریس ارتباط مستقیم نرمال هستند.

- محاسبه ماتریس ارتباط کامل: این ماتریس طبق رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$T = N \times (I - N)^{-1} \quad (۹)$$

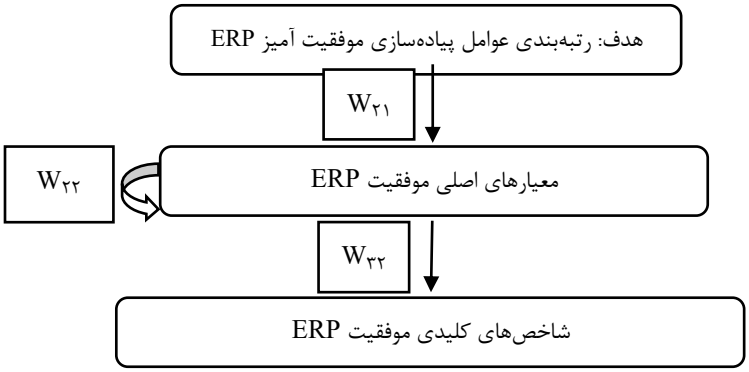
که T: ماتریس ارتباط کامل و I: ماتریس همانی هستند.

- ایجاد نمودار علّی: مجموع عناصر سطر برای هر عامل، نشانگر میزان تأثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل‌های سیستم است (میزان تأثیرگذاری متغیرها). مجموع عناصر ستون برای هر عامل، نشانگر میزان تأثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است (میزان تأثیرپذیری متغیرها). بنابراین بردار افقی (D+R) که Prominence نامیده می‌شود، نشان‌گر میزان تأثیر و تأثر عامل موردنظر در سیستم است. به‌عبارت دیگر، هرچه مقدار D + R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. بردار عمودی (D-R) که Relation نامیده می‌شود، قدرت تأثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. به‌طور کلی اگر D-R مثبت باشد، متغیر علّی و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود. درنهایت، یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود. در این دستگاه، محور طولی مقادیر D+R و محور عرضی، براساس D-R است. موقعیت هر عامل، با نقطه‌ای به مختصات (D+R, D-R) در دستگاه معین می‌شود. به این ترتیب، یک نمودار گرافیکی نیز به‌دست خواهد آمد.

- محاسبه آستانه روابط: به‌منظور تعیین نقشه روابط شبکه، باید ارزش آستانه محاسبه شود. با این روش می‌توان از روابط جزئی صرف‌نظر کرده و شبکه روابط قابل‌اعتنا را ترسیم کرد. تنها روابطی که مقادیر آن‌ها در ماتریس ارتباط کامل از مقدار آستانه بزرگ‌تر باشد، در NRM نمایش داده خواهد شد. برای محاسبه مقدار آستانه روابط، کافی است تا میانگین مقادیر ماتریسِ کامل محاسبه شود. پس از آن‌که شدت آستانه تعیین شد، تمامی مقادیر ماتریس ارتباط کامل که کوچک‌تر از آستانه باشد، صفر می‌شود؛ یعنی آن رابطه علّی درنظر گرفته نمی‌شود.

گام پنجم: رتبه‌بندی نهایی متغیرها با تکنیک ANP فازی

در گام نهایی این مطالعه، با درنظر گرفتن الگوی ارجحیت و روابط درونی متغیرها با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه فازی، اقدام به اولویت‌بندی و رتبه‌بندی نهایی شاخص‌های موفقیت سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمان می‌شود. فرآیند تحلیل شبکه فازی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- مدل ANP عوامل پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز ERP

در این تکنیک، علاوه‌بر رابطه سلسله مراتبی متغیرها، روابط درونی آن‌ها نیز درنظر گرفته می‌شود. براساس مدل ترسیم‌شده در شکل ۶، باید محاسبات زیر صورت گیرد:

- محاسبه بردار W_{21}: تعیین اولویت معیارهای اصلی براساس هدف؛
- محاسبه بردار W_{32}: تعیین اولویت شاخص‌ها براساس معیار مربوطه؛
- محاسبه بردار W_{22}: تعیین اولویت معیارهای اصلی براساس روابط درونی معیارهای اصلی.

بنابراین، محاسبه وزن نهایی شاخص‌های مدل با تکنیک ANP نیازمند محاسبه سوپرماتریس مطابق جدول ۴ است.

جدول ۴- سوپرماتریس نهایی مدل تحقیق

	هدف	معیارها
هدف	۰	۰
معیارها	$W_{۲۱}$	$W_{۲۲}$
شاخص‌ها	۰	$W_{۳۲}$

بردار ویژه مقایسه معیارها، براساس هدف (W_{21}) و بردار ویژه مقایسه شاخص‌ها، براساس معیار مربوطه (W_{32}) مانند تکنیک AHP محاسبه شده است. محاسبه بردار روابط بین معیارهای اصلی (W_{22})، مستلزم تشخیص ارتباط درونی بین معیارها است. برای این منظور، از تکنیک دیمتل استفاده شده است.

۲-۲- طراحی پرسشنامه و جمع‌آوری اطلاعات

مورد مطالعاتی در پژوهش حاضر اداره آب و فاضلاب استان البرز است. به‌لحاظ ضرورت اظهارنظر کلیه مدیران، کارشناسان و تکنسین‌های مرتبط با سیستم بهره‌برداری، میزان نمونه مطابق جدول تهیه‌شده توسط Krejcie and Morgan (1970) برابر ۶۶ نفر افراد در جامعه آماری خواهد بود. در این پژوهش برای جمع‌آوری داده‌های پژوهش، از مصاحبه و ابزار پرسشنامه استفاده شده است.

پرسشنامه شماره ۱، برای شناسایی، غربال و دسته‌بندی نهایی شاخص‌های موفقیت پیاده‌سازی ERP، با استفاده از تکنیک دلفی فازی به‌کار گرفته شده است. پرسشنامه شماره ۲، به‌منظور اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های شناسایی‌شده با استفاده از تکنیک مبتنی بر مقایسات زوجی، یعنی ANP فازی استفاده شده است. از پرسشنامه شماره ۳، به‌منظور تعیین روابط درونی و علی و معلولی معیارهای شناسایی‌شده براساس تکنیک DEMATEL فازی بهره گرفته شده است. در این مطالعه برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از تکنیک‌های تحقیق در عملیات استفاده شده است. برای تعیین اولویت معیارها و شاخص‌های تحقیق، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ANP و DEMATEL استفاده شده است. به‌منظور انجام محاسبات مربوط به تکنیک DEMATEL، از محیط نرم‌افزار Excel استفاده شده و تکنیک ANP نیز، با استفاده از نرم‌افزار Super Decision انجام شده است.

۳- بحث و نتایج

در ابتدا، به‌منظور شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم تعمیرات نگهداری شرکت‌های آب و فاضلاب، تعدادی از عواملی که ممکن بود بر عملکرد این سیستم مؤثر باشند، از پژوهش‌های مشابه استخراج و در جدول ۵ گردآوری شد.

جدول ۵- عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم نت در شرکت‌های خدمات عمومی

ردیف	مؤلفه و زیرمولفه		منبع
۱	اجرای سیستم	خدمات متنوع	Zio and Compare (2013)
۲		کیفیت خدمات ارائه‌شده	
۳		اعتبار شرکت	
۴	شرایط فرهنگی	آشنایی کامل	
۵		دوره کارآموزی	
۶		پایبند بودن	
۷	شرایط تکنولوژیکی	فناوری نوین	
۸		کیفیت بالا	
۹	زمینه و شرایط مساعد	فرهنگ‌سازمانی	
۱۰		آموزش ضمن خدمت	
۱۱		دریافت پیشنهاد و شکایات	
۱۲	کارکنان	برخورد رئیس و کارکنان	
۱۳		رضایت کارکنان	
۱۴		رازداری و امانت‌داری	
۱۵		تلاش کارکنان	
۱۶	شواهد فیزیکی	لوازم مرتبط با خدمات	
۱۷		طراحی	
۱۸		کارایی	
۱۹	فرآیند	میزان سرعت دریافت خدمات	خبرگان
۲۰		سیستم صف‌بندی مناسب	
۲۱		کاهش رویه‌های بوروکراتیک	
۲۲		تغییر در تکنولوژی	
۲۳		تکنولوژی های جدید	

پس از استخراج عوامل با استفاده از تکنیک دلفی، در دو دور مهم‌ترین عوامل برای ادامه تحقیق مشخص می‌شود. در دور نخست، پرسشنامه‌ای به خبرگان برگزیده این پژوهش که تعدادشان ۷ نفر بود، داده شد که علاوه‌بر اعلام‌نظر خود، دو مؤلفه دیگر نیز توسط دو خبره ارائه شد. نهایتاً، برمبنای مطالعات انجام‌شده در پژوهش‌های مشابه و نظرات کارشناسان و افراد خبره حاضر در نمونه آماری مورد مطالعه حاضر، فهرست نسبتاً جامعی از عوامل مؤثر بر سیستم نگهداری و تعمیرات در شرکت‌های آب و فاضلاب به‌منظور بررسی مورد مطالعه حاضر مشخص شد که در جدول ۶ قابل‌مشاهده هستند.

جدول۶- عوامل مؤثر بر سیستم تعمیرات نگهداری در اداره آب استان البرز

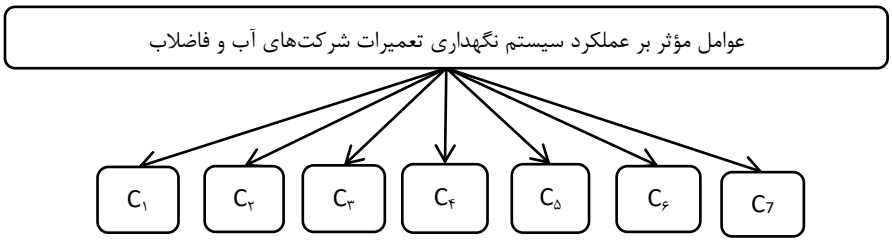
عامل	نماد
اجرای سیستم	$C_۱$
شرایط فرهنگی	$C_۲$
شرایط تکنولوژیکی	$C_۳$
زمینه مساعد	$C_۴$
کارکنان	$C_۵$
شواهد فیزیکی	$C_۶$
فرآیند	$C_۷$

در مرحله بعدی این پژوهش، رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم نگهداری و تعمیرات براساس نظر اساتید متخصص دانشگاهی و افراد حاضر در نمونه آماری پژوهش در قالب دسته کلی تحت‌عنوان عوامل اصلی طبقه‌بندی شده‌اند. در نتیجه، ساختار سلسله مراتبی مورد مطالعه حاضر همانند شکل ۱ ترسیم شد.

با مشخص نمودن درخت تصمیم، لازم است تا بین شاخص‌های اصلی و فرعی مسئله موردنظر مقایسات زوجی توسط متخصصان و خبرگان انجام شود. این بدان معنا است که در این مرحله، شاخص‌های اصلی نسبت به هدف در طی پرسشنامه مقایسات زوجی و براساس طیف طراحی‌شده در جدول ۷ مورد مقایسه قرار می‌گیرند. به‌لحاظ حجیم‌بودن محاسبات مربوطه، تنها به بعضی از ماتریس‌های مقایسات زوجی و ماتریس‌های تلفیقی اشاره می‌شود. جدول ۸، بیانگر ماتریس مقایسات زوجی بین شاخص اصلی نسبت به هدف توسط متخصص تصمیم‌گیرنده اول است.

نهایتاً برای محاسبه اوزان فازی اولیه، از روش تحلیل و توسعه‌ای چانگ بهره گرفته شده است (Chang, 1996). برای این منظور، ابتدا جمع اعداد هر سطر ماتریس قضاوت محاسبه می‌شود. مقادیر حاصل، در جدول ۹ آورده شده است. سپس درجه بزرگی S_jها، نسبت به S_iها محاسبه می‌شود که در جدول ۱۰ آورده شده‌اند. به‌طور مثال، عدد ۰/۹۲ در جدول ۱۰ به‌ترتیب زیر محاسبه شد.

$$V(s_1 > s_2) = 0.1221 < 0.1322 \rightarrow \frac{0.2063 - 0.0807}{(0.2063 - 0.0807) + (0.1322 - 0.1221)} = 0.9252 \quad (۱۰)$$



شکل ۶- درخت سلسله مراتبی

جدول ۷- ماتریس مقایسات زوجی بین شاخص‌ها نسبت به هدف توسط متخصص DM۸

D1	C۱			C۲			C۳			C۴			C۵			C۶			C۷		
$C_۱$	۱	۱	۱	۰/۵	۱	۱/۵	۰/۵	۰/۷	۱	۰/۵	۱	۱/۵	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۷	۱	۰/۵	۱	۱/۵
$C_۲$	۰/۷	۱	۲	۱	۱	۱	۲/۵	۳	۳/۵	۰/۷	۱	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۷	۱	۲
$C_۳$	۱	۱/۵	۲	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۱	۱	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۴
$C_۴$	۰/۷	۱	۲	۰/۵	۱	۱/۵	۲/۵	۳	۳/۵	۱	۱	۱	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۷	۱	۲	۰/۵	۰/۷	۱
$C_۵$	۱	۱	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۱	۱	۱	۲	۲/۵	۳	۱	۱	۱	۰/۵	۱	۱/۵	۱	۱	۱
$C_۶$	۱	۱/۵	۲	۲	۲/۵	۳	۱	۱	۱	۰/۵	۱	۱/۵	۰/۷	۱	۲	۱	۱	۱	۲/۵	۳	۳/۵
$C_۷$	۰/۷	۱	۲	۰/۵	۱	۱/۵	۲/۵	۳	۳/۵	۱	۱/۵	۲	۱	۱	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۱	۱	۱

جدول ۸- ماتریس قضاوت شاخص‌ها نسبت به هدف

	C_1			C_2			C_3			C_4			C_5			C_6			C_7		
C_1	۱	۱	۱	۰/۵۲	۰/۶۹	۰/۹۷	۰/۸۹	۱/۱۲	۱/۴۶	۱/۰۲	۱/۵۳	۲/۰۴	۰/۶۹	۰/۸۴	۱/۰۳	۰/۹	۱/۱۳	۱/۵۱	۰/۸	۰/۹۲	۱/۰۹
C_2	۱/۰۴	۱/۴۵	۱/۹۳	۱	۱	۱	۰/۸۷	۱/۱۳	۱/۵۱	۰/۵۳	۰/۷۷	۱/۱۲	۰/۵۴	۰/۷۳	۱/۰۷	۰/۵۸	۰/۷۳	۰/۹۹	۰/۷۲	۱/۰۴	۱/۴۷
C_3	۰/۶۹	۰/۸۹	۱/۱۳	۰/۶۶	۰/۸۸	۱/۱۴	۱	۱	۱	۰/۵۸	۰/۷۳	۱/۰۲	۰/۸۴	۱/۰۵	۱/۴	۰/۹	۱/۲۲	۱/۶۸	۰/۵۵	۰/۷۲	۰/۹۷
C_4	۰/۴۹	۰/۶۵	۰/۹۸	۰/۸۹	۱/۳	۱/۸۹	۰/۹۸	۱/۳۷	۱/۷۲	۱	۱	۱	۰/۵۸	۰/۷۹	۰/۹۸	۰/۵۱	۰/۷۱	۱/۰۶	۰/۸۱	۱/۰۵	۱/۳۸
C_5	۰/۹۷	۱/۱۹	۱/۴۴	۰/۹۳	۱/۳۷	۱/۸۴	۰/۷۲	۰/۹۵	۱/۲	۱/۰۲	۱/۲۶	۱/۷۳	۱	۱	۱	۰/۶۶	۰/۹۱	۱/۳۱	۰/۷۲	۰/۹۱	۱/۲۵
C_6	۰/۶۶	۰/۸۸	۱/۱۱	۱/۰۱	۱/۳۶	۱/۷۴	۰/۵۹	۰/۸۲	۱/۱۱	۰/۹۴	۱/۴	۱/۹۷	۰/۷۶	۱/۱	۱/۵۱	۱	۱	۱	۰/۷۳	۰/۹۲	۱/۳۷
C_7	۰/۹۲	۱/۰۸	۱/۲۵	۰/۶۸	۰/۹۶	۱/۳۹	۱/۰۳	۱/۳۹	۱/۸۳	۰/۷۲	۰/۹۵	۱/۲۳	۰/۸	۱/۱	۱/۳۸	۰/۷۳	۱/۰۸	۱/۳۷	۱	۱	۱

جدول ۹- جمع اعداد فازی هر سطر ماتریس قضاوت

جمع سطر i ام	L	M	U
R_1	۶/۸۴۹	۸/۶۳۹	۱۰/۹۷۱
R_2	۶/۱۵۵	۷/۹۷۶	۱۰/۴۵۸
R_3	۶/۰۰۶	۷/۵۶۷	۹/۷۵۵
R_4	۵/۷۳۲	۷/۶۱۷	۱۰/۱۱۹
R_5	۶/۷۵۸	۸/۶۹۷	۱۱/۲۰۳
R_6	۶/۴۵۰	۸/۴۸۰	۱۱/۰۸۸
R_7	۶/۶۷۲	۸/۵۹۵	۱۰/۸۵۲
جمع تمام سطرها	۵۰/۶۹۱۷	۶۵/۳۴۴۶	۸۴/۹۰۳۰

جدول ۱۰- درجه بزرگی S_jها را نسبت به S_iها

V (S_j / S_i)	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
S_1	۱	۰/۹۲۵۲	۰/۸۷۱۹	۰/۸۸۳۷	۱	۰/۹۸۲۶	۰/۹۰۴۶
S_2	۱	۱	۰/۹۵۰۴	۰/۹۵۸۶	۱	۱	۰/۹۷۷۴
S_3	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
S_4	۱	۱	۰/۹۹۳۹	۱	۱	۱	۱
S_5	۱	۰/۹۱۹۸	۰/۸۶۷۱	۰/۸۷۸۹	۱	۰/۹۷۶۶	۰/۸۹۹۷
S_6	۱	۰/۹۴۴۲	۰/۸۹۲۹	۰/۹۰۳۵	۱	۱	۰/۹۲۳۵
S_7	۱	۱	۰/۹۷۴۴	۰/۹۸۱۵	۱	۱	۱

بعد از آن، کم‌ترین مقدار عناصر هر ستون از جدول ۱۰ به‌عنوان اوزان نابه‌هنجار به‌دست آمد. اوزان به‌هنجار از نرمالیزه کردن اوزان نابه‌هنجار آورده شده در جدول ۱۱ به‌دست آمده‌اند.

جدول ۱۱- اوزان نابه‌هنجار و به‌هنجار

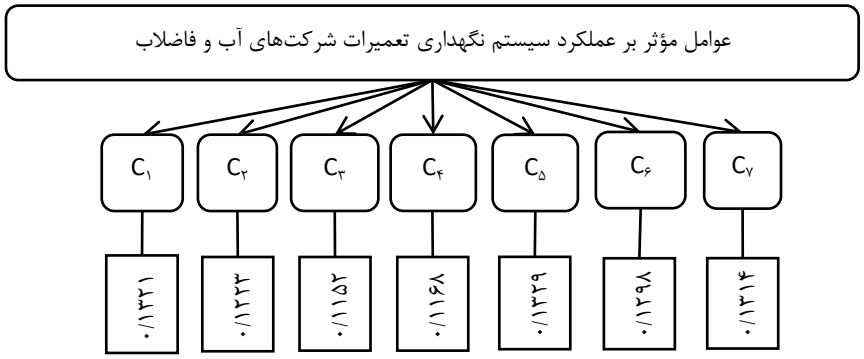
عوامل مؤثر	W_j	اوزان نابه‌هنجار	اوزان به‌هنجار
اجرای سیستم	W_1	۰/۹۹۳۶	۰/۱۳۲۱
شرایط فرهنگی	W_2	۰/۹۱۹۸	۰/۱۲۲۳
شرایط تکنولوژیکی	W_3	۰/۸۶۷۱	۰/۱۱۵۲
زمینه مساعد	W_4	۰/۸۷۸۹	۰/۱۱۶۸
کارکنان	W_5	۱/۰۰۰۰	۰/۱۳۲۹
شواهد فیزیکی	W_6	۰/۹۷۶۶	۰/۱۲۹۸
فرآیند	W_7	۰/۹۸۸۵	۰/۱۳۱۴

پس از محاسبه اوزان نهایی هر یک از شاخص‌ها، می‌توان اولویت این عوامل را براساس میزان اهمیت هر کدام به‌دست آورد. جدول ۱۲ نمایانگر این اولویت‌گذاری است.

پس از محاسبه میزان اهمیت نهایی هریک از عوامل، مدل عملیاتی رسم می‌شود (شکل ۲).

جدول ۱۲- اولویت‌بندی عوامل

عوامل مؤثر	اولویت
زمینه مساعد	۵
کارکنان	۴
شرایط فرهنگی	۷
تبلیغات	۶
شرایط تکنولوژیکی	۱
شواهد فیزیکی	۳
فرآیند	۲



شکل ۷- مدل عملیاتی

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر در زمینه ارائه چارچوبی در تعیین و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم‌های نگهداری و تعمیرات شرکت‌های آب و فاضلاب، برای اولین بار در استان البرز ارائه شد. بدین منظور، طبق نظر خبرگان حوزه تحت مطالعه، معیارها و زیرمعیارهای سیستم‌های نگهداری و تعمیرات، پایش شده و در یک ساختار چندسطحی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد ارزیابی و رتبه‌بندی قرار گرفت. این موضوع، کمک شایانی به دقیق‌تر بودن نتایج می‌کند و با توجه به آن‌که از نظرات خبرگان استفاده شده، استفاده از اعداد فازی به عدم قطعیت نتایج و بهبود دقت آن‌ها کمک شایانی کرده است. از نوآوری‌های این مقاله، می‌توان به ارائه این روش به‌صورت کاربردی در استان البر به‌عنوان یک کار جدید و دقیق با توجه به این‌که از روش های فازی استفاده شده است، اشاره کرد. محاسبات صورت‌گرفته برای حصول وزن در سطح معیارها، بیانگر این موضوع است که معیار شرایط تکنولوژیکی که شامل کیفیت و استفاده از تکنولوژی‌های نوین بوده، دارای بالاترین ارجحیت نسبت به دیگر معیارها است. این موضوع را می‌توان در کشورهای صنعتی بزرگی هم‌چون ایالات‌متحده، آلمان، ژاپن، کانادا و غیره نیز مشاهده نمود. فناوری و تکنولوژی، می‌تواند کمک بسیار زیادی به سیستم‌های نگهداری و تعمیرات کند. کیفیت تجهیزات از سویی و استفاده از فناوری و تکنولوژی‌های نوین از سویی دیگر، عملکرد مؤثری در کاهش توقفات برنامه‌ریزی‌نشده و درنتیجه خرابی دستگاه به‌صورت ناگهانی را درپی دارد.

عوامل دیگر ازجمله فرایندها، شواهد فیزیکی، کارکنان، شرایط مساعد، تبلیغات و شرایط فرهنگی، هرکدام به‌ترتیب رتبه‌های بعدی را در عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم‌های نگهداری و تعمیرات شرکت‌های آب و فاضلاب، به خود اختصاص می‌دهند. قرارگیری فرآیند در جایگاه دوم این رتبه‌بندی، نشان دهنده دقت بالای روش به‌کاررفته است. چرا که به‌طور معمول، سازمان‌ها به اصل فرآیندها توجه ویژه‌ای ندارند و عموما به عوامل خارج از فرآیند اهتمام می‌ورزند. در حالی‌که در بسیاری از مواقع، توجه، عیب‌یابی و اصلاح فرآیندها، می‌تواند کمک شایانی در حل مشکل داشته باشد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، پیاده‌سازی روش استفاده‌شده در صنعتی خاص، استفاده از جامعه آماری گسترده‌تر، بهره‌گیری از دیگر روش‌های تصمیم‌گیری در انتخاب، پایش و رتبه‌بندی می‌تواند در پژوهش‌های آتی موردتوجه قرار گیرد.

به‌منظور انجام پژوهش‌های آتی توصیه می‌شود تا از روش‌های تلفیقی دیگر، روش‌های تصمیم‌گیری جدیدتر و هم‌چنین، اعداد غیرقطعی دیگر استفاده شده و نتایج آن‌ها با نتایج پژوهش حاضر مقایسه شود. علاوه‌بر این، می‌توان سیستم‌ها و روش‌ها را به‌صورت کلی‌تر و یا جزئی‌تر مورد بررسی و ارزیابی قرار داد.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)
2- Analytic Network Process (ANP)
3- Fuzzy Delphi
4- Additive Ratio Assessment System (ARAS)
5- Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)
6- Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)
7- Enterprise Resource Planning (ERP)
8- Decision Maker

۶- مراجع

آقایی، ر.، آقایی، ا.، و محمد حسینی، ر.، (۱۳۹۴)، "شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های کلیدی مؤثر بر نگهداری و تعمیرات چابک با استفاده از رویکرد دلفی‌فازی و دیمتل فازی"، *فصل‌نامه مدیریت صنعتی*، ۴(۷)، ۶۴۱-۶۷۲.

امجدی، ن. و انصاری، م، ر.، (۱۳۹۱)، "برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت نیروگاه‌های آبی و حرارتی در سیستم قدرت با درنظر گرفتن محدودیت های ایمنی سیستم و مسئله پایداری ولتاژ"، *مدل‌سازی در مهندسی*، ۱۰(۲۸)، ۵۳-۶۷.

خردرنجبر، م.، محمدی، م، ع. و رفیعی، ش.، (۱۴۰۰)، "اولویت‌بندی راهبردهای سیستم نگهداری و تعمیرات ساختمان با کمک ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره"، *نشریه مهندسی سازه و ساخت*، ۹(۷)، ۲۰۵-۲۲۵.

سربی، س.، شکوه‌یار، س.، و حقیقت منفرد، ج.، (۱۴۰۰)، "سیاست‌گذاری نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه در مراکز فرآوری نفت و گاز"، *فصلنامه مطالعات مدیریت راهبردی*، ۱۲(۴۸)، ۶۵-۸۳.

شفیعی نیک آبادی، م.، فرج پور، ح.، افتخاری، ح.، و سعدآبادی، ع. ا.، (۱۳۹۴)، "به‌کارگیری رویکرد ترکیبی FA، AHP و TOPSIS برای انتخاب و رتبه‌بندی استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات"، *فصل‌نامه علمی- پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی*، ۱۳(۳۹)، ۳۵-۶۲.

عظیمیان، م.، کرباسیان، م.، و آتشگر، ک.، (۱۴۰۰)، "انتخاب بهترین دوره نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در تجهیزات تک‌کاره: یک رویکرد تصمیم‌گیری فازی جدید"، *مدیریت تولید و عملیات*، ۱۲(۴)، ۲۱-۳۹.

کریمی، م.، (۱۳۸۹)، "طراحی مدل ارزیابی عملکرد کارت امتیازی متوازن با رویکرد پویایی سیستم"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

مطلق، م. ث، (۱۳۹۷)، "به‌کارگیری مفهوم تئوری مجموعه راف در روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه برای ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات"، *پژوهش‌های مدیریت راهبردی*، ۲۴(۷۰)، ۶۵-۸۹.

Awad, M., and As' ad, R.A. (2016). "Reliability centered maintenance actions prioritization using fuzzy inference systems", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 22(4), 433-452.

Batbayar, K., Takács, M., and Kozlovszky, M., (2016), "Medical device software risk assessment using FMEA and fuzzy linguistic approach: Case study", *IEEE 11th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)*, IEEE, 197-202.

Bevilacqua, M., and Braglia, M., (2000), "The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection", *Reliability Engineering and System Safety*, 70(1), 71-83.

Boschian, V., Rezg, N., and Chelbi, A., (2009), "Contribution of simulation to the optimization of maintenance strategies for a randomly failing production system", *European Journal of Operational Research*, 197(3), 1142-1149.

Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, *95*(3), 649-655.

Chinese, D., and Ghirardo, G., (2010), "Maintenance management in Italian manufacturing firms: Matters of size and matters of strategy", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 16(2), 156-180.

Feng, Y., (2012), "System dynamics modeling for supply chain information sharing", *International Conference on Solid State Devices and Materials Science, Physics, Procedia*, 25(1), 1463-1469.

Gebauer, H., Putz, F., Fischer, T., Wang, C. and Lin, J., (2008), "Exploring maintenance strategies in Chinese product manufacturing companies", *Management Research News*, 31(12), 941-950.

Ishizaka, A., and Nemery, P., (2014), "Assigning machines to incomparable maintenance strategies with ELECTRE-SORT", *Omega*, 47(6), 45-59.

Kelly, A., (1997), *Maintenance organization and systems: business centered maintenance*, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Kevin, F.G., Penlesky, R.J., (1998), "A framework for developing maintenance strategies", *Production and Inventory Management Journal*, 29(1), 16-21.

Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). "Determining sample size for research activities", *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610.

Pinjala, S.K., Pintelon, L., and Vereecke, A., (2006), "An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies", *International Journal of Production Economics*, 104(1), 214-229.

Pintelon, L., Kumar, S.P., and Vereecke, A., (2006), "Evaluating the effectiveness of maintenance strategies", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(1), 7-20.

Senge, P.M., (1990), *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*", Doubleday, New York.

Singh, P., Singh, S., Vardhan, S., and Patnaik, A., (2020). "Sustainability of maintenance management practices in hydropower plant: A conceptual framework", *Materials Today: Proceedings*, 28, 1569-1574.

Stadnicka, D., Antosz, K., and Ratnayake, R.C., (2014), "Development of an empirical formula for machine classification: Prioritization of maintenance tasks", *Safety Science*, 63(3), 34-41.

Stedje, W., and Zukerman, D., (1991), "Optimal maintenance strategies for repairable systems with general degree of repair", *Journal of Applied Probability*, 28(2), 384-396.

Sterman, J.D., (2000), *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, Irwin McGraw-Hill, Boston.

Utne, I.B., (2010), "Maintenance strategies for deep sea offshore wind turbines", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 16(4), 367-381.

Vujanović, D., Momčilović, V., Bojović, N., and Papić, V., (2012), "Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP", *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10552-10563.

Wang, J., Ge, D., Chen, S., Wang, Z., Guo, D., Xu, Z., Wang, J., and Wang, F., (2021), "Maintenance strategy design for nuclear reactors safety systems using a constraint particle swarm evolutionary methodology", *Annals of Nuclear Energy*, 150(1), 107878.

Wanga, L., Chua, J., and Wub, J., (2007), "Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process", *International Journal of Production Economics*, 107(1), 151-163.

Zio, E, Compare, M., (2013). "Evaluating maintenance policies by quantitative modeling and analysis", *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, 109(203), 53-65.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.