نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS
ISSN: 2345-2269
سال دوازدهم، شماره بیست و پنجم، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، صفحه ۱۹-۲۹
www.ier.basu.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2025.29583.2175

شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های تعمیرات اساسی در صنعت پتروشیمی بااستفاده از روش ترکیبی دلفی و بهترین-بدترین فازی: مطالعه موردی شرکت پتروشیمی لردگان

علی دهقانی فیل‌آبادی[۱]، حسین ناهیدتیتکانلو[۲*]، علیرضا فرهادی[۳]

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۳. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۳/۰۴/۲۳
بازنگری ۱۴۰۳/۰۸/۲۵
پذیرش ۱۴۰۳/۰۸/۳۰
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
مدیریت ریسک
تعمیرات اساسی
روش بهترین- بدترین فازی
پتروشیمی
لردگان

خلاصه

پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنعت پتروشیمی که شامل تجهیزات و تأسیسات سرمایه‌بر بسیاری هستند، همواره با ریسک‌هایی مواجه‌اند که عدم توجه به آن‌ها می‌تواند منجربه خسارات مالی، انسانی و زیست‌محیطی فراوانی شود. شناسایی و ارزیابی این ریسک‌ها گامی مهم در جهت مدیریت صحیح و انجام اقدامات پیش‌گیرانه است. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های تعمیرات اساسی در شرکت پتروشیمی لردگان است. بدین‌منظور، ابتدا بااستفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و نظرات خبرگان، لیستی از ریسک‌های تعمیرات اساسی تهیه شد. سپس با بهره‌گیری از روش دلفی، ۱۸ مورد از این ریسک‌ها به‌عنوان ریسک‌های کلیدی در صنعت پتروشیمی لردگان شناسایی شدند و بااستفاده از روش بهترین-بدترین فازی و بااستفاده از نرم‌افزار لینگو مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان‌داد که شاخص «تأخیر در تأمین تجهیزات نگهداری و تعمیر از خارج از کشور» با وزن ۰/۱۱۴۴ به‌عنوان مهم‌ترین ریسک تعمیرات دراین صنعت بوده و شاخص «سوراخ‌شدگی کف مخزن و نشت مواد» با وزن ۰/۰۳۴۴ کمترین اهمیت را دارا می‌باشد.

۱. مقدمه

یکی از اساسی‌ترین موضوعات مطرح در بسیاری از سازمان‌های پروژه‌محور، مدیریت ریسک پروژه‌های درحال انجام است. در این راستا در گام نخست می‌بایست ریسک‌های بالقوه پروژه‌ها، تحت ساختاری نظام‌مند و فراگیر، شناسایی شده و پس‌از آن با بهره‌گیری از روش‌های مناسب و مطلوب به ارزیابی آن‌ها از حیث احتمال رخداد و نیز میزان اثرگذاری آن‌ها بر اهداف پروژه پرداخته شود [۱]. شناسایی خطر، ارزیابی و مدیریت ریسک، نقش مهمی در کاهش خطرات احتمالی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی دارد [۲]. یکی از ارکان مهم رشد و توسعه در ایران، صنعت پتروشیمی است که از روند روبه رشد و به‌طور کل ریسک‌های بالقوه‌ای برخوردار بوده است.

شناسایی و اولویت‌بندی انواع ریسک‌های پروژه در تعمیرات اساسی برای مدیران از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه مدیریت ریسک در انواع مختلف پروژه‌ها انجام گرفته است [۳-۹]. بااین‌وجود در این بین پژوهش‌های اندکی در زمینه شناسایی ریسک پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنعت پتروشیمی وجود دارد. باوجود این‌که پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنایع پتروشیمی دارای پیچیدگی و گستردگی بالایی می‌باشد، پژوهش‌های موجود نیز به‌صورت محدود ازمنظر مدیریت پروژه به شناسایی

* نویسنده مسئول: حسین ناهیدتیتکانلو
تلفن: ۰۹۱۲۵۵۷۸۹۷۳؛ پست الکترونیکی: Hossein_Nahid@pnu.ac.ir

ریسک‌ها در این پروژه‌ها پرداخته‌اند. پژوهش پیش‌رو تلاشی درجهت پرکردن شکاف پژوهشی دراین زمینه می‌باشد.

اهمیت و ضرورت پژوهش پیش‌رو ازآن‌نظر است که انجام به‌هنگام پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنعت پتروشیمی در جلوگیری از ایجاد وقفه در تولید مواد پتروشیمی و هدر رفتن سرمایه ضرورت دارد، بنابراین مدیریت ریسک پروژه در حوزه پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنایع بالادستی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و شناسایی و اولویت‌بندی صحیح ریسک‌های پروژه‌ها، گامی مهم در جهت کاهش چشم‌گیر خسارات مالی، انسانی و زیست‌محیطی آن‌ها است. اجرای صحیح پروژه‌های تعمیرات اساسی کارخانه‌های فرآیندی در صنایع پتروشیمی از اهمیت بالایی برخوردار است.

در صنعت پتروشیمی از انواع تجهیزات و تأسیسات سرمایه‌بر و گران‌قیمت استفاده می‌شود که نیازمند مدیریت کارآمد نگهداری و تعمیرات هستند. ازآنجاکه بخشی از این تجهیزات و تأسیسات در کشور ایران دارای عمر کارکرد بالا می‌باشند و سال‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، تعمیرات اساسی آن‌ها از اهمیت و حساسیت بسیار برخوردار است. تعمیرات اساسی در صنعت پتروشیمی به‌دلیل پیچیدگی آن، ماهیت تکراری ندارد و هربار به‌صورت یک پروژه جدید تعریف می‌شود. ازآنجاکه تعمیر اساسی یک رویداد چشم‌گیر تعمیراتی و مهندسی می‌باشد، بین اجرای موفق آن و سودآوری سازمان رابطه تنگاتنگی وجود دارد. به‌دلیل ماهیت پیچیده و غیرقطعی فعالیت‌های تعمیرات اساسی، ریسک پروژه‌های تعمیرات اساسی قابل‌توجه است و به‌کارگیری فرآیند مدیریت ریسک پروژه را اجتناب ناپذیر می‌کند. صنعت پتروشیمی به‌دلیل ماهیت منحصربه‌فرد آن از پرحادثه‌ترین صنایع در جهان محسوب می‌شود که این حوادث علاوه‌بر هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم پیامدهای اجتماعی ناگواری درپی خواهند داشت. دراین راستا شناسایی و ارزیابی ریسک‌های مرتبط با پروژه‌های تعمیرات اساسی در این صنایع می‌تواند گام مؤثری در کشف نقاط بحرانی، سطح‌بندی و مدیریت آن‌ها باشد.

روش تصمیم‌گیری چندشاخصه[1] یکی از پرکاربردترین روش‌ها درزمینه ارزیابی و رتبه‌بندی است که در تحقیقات متعدد برای ارزیابی ریسک پروژه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰,۴,۳]. استفاده از این روش‌ها به‌همراه منطق فازی گامی مؤثر در جهت مقابله با عدم قطعیت داده‌های کیفی در فرآیند ارزیابی است. روش بهترین–بدترین[2] یکی از جدیدترین مدل‌ها در تصمیم‌گیری چندشاخصه است که اخیراً در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است [۵-۱۱,۷]. بنابراین، در این مطالعه، با درنظرگرفتن روش ترکیبی روش بهترین-بدترین و روش دلفی در محیط فازی به شناسایی و ارزیابی ریسک‌های پروژه‌های تعمیرات اساسی شرکت پتروشیمی لردگان پرداخته شده است تا با کمک نتایج حاصل اقدامات متناسب برای کاهش خطرات و بهبود مدیریت ریسک تعمیرات انجام شود. لذا این پژوهش به‌دنبال پاسخ به این سوالات است که ریسک پروژه‌های تعمیرات اساسی در شرکت پتروشیمی لردگان کدامند و اولویت‌بندی این ریسک‌ها چگونه است؟ در این پژوهش، پیشنهادهایی ارائه شده است که به مدیران پتروشیمی کمک خواهد نمود تا قبل از وقوع مشکلات اساسی، جهت حذف و یا کاهش اثر آن‌ها، اقدامات لازم را انجام دهند.

۲. پیشینه پژوهش

در این بخش به بررسی پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های نگهداری و تعمیرات پرداخته شده است.

چمونو و همکاران [۱۲] یک روش جدید برای ارزیابی ریسک پویا در مسائل نگهداری و تعمیرات بااستفاده ازنظریه بیز سلسله‌مراتبی ارائه کردند. این روش باهدف بهبود محدودیت‌های تکنیک تحلیل حالات خرابی و اثرات آن[3] توسعه یافته و از توزیع‌های بیزی برای به‌روزرسانی ریسک‌ها براساس داده‌های تجربی و اطلاعات کارشناسان استفاده می‌کند. نتایج این مطالعه در یک نیروگاه حرارتی پیاده‌سازی شد و بهبود دقت و اثربخشی تصمیم‌گیری‌های نگهداری را نشان داد.

در مقاله‌ای دیگر، چمونو و همکاران [۱۳] به بررسی مدل‌های مختلف ارزیابی ریسک برای نگهداری و تعمیرات پرداختند و روش‌های رایج مانند تحلیل درخت خطا[4] و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن را بررسی کردند. این مطالعه به محدودیت‌های این روش‌ها در مدل‌سازی وابستگی خرابی‌ها و عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های قابلیت اطمینان اشاره داشت و شبکه‌های بیزی را به‌عنوان یک رویکرد مؤثر برای بهبود تصمیم‌گیری‌ها معرفی کرد.

سان و همکاران [۱۴] با معرفی یک استراتژی نگهداری پیشگیرانه برای اجزای قطارهای مترو شهری، مدل هزینه ریسک خرابی و هزینه نگهداری را بااستفاده از الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ سفید[5] و توزیع ویبول بهینه‌سازی کردند. نتایج نشان دادند که این روش بادقت بالا قادر به محاسبه پارامترهای خرابی بوده و در مقایسه با برنامه‌های نگهداری سنتی، اقتصادی‌تر و ایمن‌تر است.

در مطالعه بورال و همکاران [۱۵] از روش چندشاخصه فازی برای اولویت‌بندی ریسک‌های خرابی استفاده شده است. این روش نشان می‌دهد که استفاده از مجموعه‌های فازی می‌تواند دقت بیشتری در ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها نسبت‌به روش‌های سنتی در تکنیک تحلیل حالات خرابی و اثرات آن داشته باشد.

در مقاله ژو و همکاران [۱۶]، از شبکه بیزی پویا برای بررسی ریسک خرابی خطوط لوله نفت خام تحت نگهداری دوره‌ای استفاده شده است. این مدل نشان می‌دهد که نگهداری نیمه‌سالانه[6] نسبت‌به نگهداری سالانه احتمال خرابی را کاهش می‌دهد. اما با افزایش تعداد نگهداری ناقص، آسیب‌های خستگی تجمع‌یافته و نرخ خرابی افزایش

1. Multi Attribute Decision Making
2. Best-Worst Method
3. FMEA
4. FTA
5. IBWO
6. Semi-annual

می‌یابد. درنتیجه، ترکیب استراتژی‌های نگهداری نیمه‌سالانه و سالانه برای کاهش ریسک و جلوگیری از خرابی توصیه می‌شود.

پژوهش‌های متعدد داخلی نیز در حوزه ریسک و مدیریت فرآیندهای تعمیرات و نگهداری انجام شده است. شهانقی و همکاران در پژوهشی به بررسی سیاست‌های نگهداری و تعمیرات در صنعت نفت با رویکرد بازرسی برمبنای ریسک[1] پرداخته‌اند. در این پژوهش بااستفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2]، یک مدل تصمیم‌گیری برای انتخاب سیاست مناسب نگهداری و تعمیرات ارائه گردید [۱۷].

در مطالعه‌ای که توسط شهرکی و طهماسبی ابدر انجام شد، به بررسی پیش‌بینی و تحلیل حالات خرابی و شکست بااستفاده از اعداد راف و روش طرح‌ریزی رابطه خاکستری[3] پرداخته شده است. این تحقیق به‌منظور مقابله با کاستی‌های روش سنتی تکنیک تحلیل حالات خرابی و اثرات آن ارائه شده و به‌ویژه به تحلیل مبهمات و عدم قطعیت‌های موجود در ارزیابی ریسک‌ها پرداخته است. در این پژوهش، اطلاعات مبهم و ذهنی ازطریق اعداد راف مدل‌سازی شده و سپس بااستفاده از روش طرح‌ریزی رابطه خاکستری، اولویت‌بندی حالات شکست صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به‌طور مؤثری به مشکلات روش سنتی تکنیک تحلیل حالات خرابی و اثرات آن مانند ضرب فاکتورهای ریسک و مقادیر ناپیوسته غلبه کرده و با پوشش دادن ابهام و عدم قطعیت‌های قضاوت‌های متخصصان، رتبه‌بندی دقیق‌تری از ریسک‌ها ارائه داده است [۱۸].

بابایی فارسانی و اصغریان بااستفاده از رویکرد آمیخته به شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر ریسک‌های HSE در خطوط انتقال گاز پرداختند [۱۹]. نتایج نشان داد که ایمنی بیشترین و بهداشت کمترین امتیاز را در بین شاخص های شناسایی شده داشتند، که اهمیت بیشتر ایمنی در مقایسه با بهداشت در محیط‌های صنعتی را نشان می‌دهد. شریعتمداری و همکاران در پژوهشی به شناسایی و ارزیابی ریسک در پروژه‌های ساخت پتروشیمی در ایران پرداختند و ۱۰۴ ریسک بالقوه را شناسایی و طبقه‌بندی کردند که تنوع و گستردگی ریسک‌های موجود در پروژه‌های ساخت پتروشیمی را به‌نمایش می‌گذارد [۱].

منیری و همکاران در پژوهشی به ارزیابی ریسک پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنایع فرایندی بالادستی نفت پرداختند. آن‌ها با استفاده از نظرات خبرگان، روش دلفی فازی برای انتخاب ریسک‌های کلیدی، و سپس روش ترکیبی تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی به رتبه‌بندی ریسک‌ها پرداختند. نتایج نشان داد ریسک تأمین مالی به‌موقع از سوی کارفرما بالاترین اولویت و ریسک شکست و نقص تجهیزات در حین عملیات پایین‌ترین اولویت را دارد [۱۰].

تحلیل ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز در استان گیلان نیز نمونه دیگری از مطالعات انجام شده در این حوزه است. در این پژوهش، با استفاده از روش تحلیل حالات شکست و اثرات آن و پس از شناسایی ریسک‌ها به روش دلفی، اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی پروژه انجام گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می دهد که ریسک‌های مربوط به فعالیت حفاری و لوله‌گذاری، از جمله تردد و انتشار دود خودروهای حاضر در پروژه، تردد و ریختن روغن خودروها به زمین، و تخریب زمین‌های کشاورزی و بستر رودخانه‌ها، در کنار ایجاد صدای زیاد ناشی از تقلیل فشار در ایستگاه‌ها، جزو ریسک‌های با اولویت بالا می باشند [۲۰].

در پژوهش انجام شده در مرجع [۲۱]، به بررسی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مدیریت کارآمد نگهداری و تعمیرات در کشت و صنعت‌ها پرداخته شده است. این مطالعه بااستفاده از روش تصمیم‌گیری بهترین-بدترین، شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها کلیدی مدیریت نگهداری را شناسایی کرده است. مهم‌ترین شاخص‌ها شامل مدیریت سازمانی، عوامل انسانی و عوامل ساختاری بوده که زیرشاخص‌هایی چون حمایت مدیریت عالی، تخصیص بودجه نگهداشت و اتخاذ راهبردهای مناسب بیشترین تأثیر را در مدیریت نگهداری و تعمیرات داشتند.

ارزیابی ریسک پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنایع فرآیندی بالادستی نفت بااستفاده از یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی ترکیبی موضوع یکی دیگر از پژوهش‌های مرتبط می‌باشد [۲۲]. در این پژوهش براساس نظرات خبرگان، ریسک تأمین مالی به‌موقع ازسوی کارفرما بالاترین رتبه و ریسک نقص تجهیزات درحین عملیات پایین‌ترین رتبه را کسب کرده است. این پژوهش اهمیت تأمین مالی و جلوگیری از نقص تجهیزات را برجسته می‌کند.

در مطالعه ده بزرگی و همکاران [۲۳]، یک الگوی جامع برای پیاده‌سازی، مدیریت و سنجش فرهنگ ایمنی فرآیند در صنایع فرآیندی ارائه شده است. این پژوهش بااستفاده از راهنمای ایمنی فرآیند مبتنی‌بر ریسک مرکز فرآیند شیمیایی آمریکا، به شناسایی نقاط قوت و ضعف فرهنگ ایمنی پرداخته و ابزارهایی نظیر چک‌لیست ممیزی سیستمی و پرسش‌نامه‌های سنجش فرهنگ ایمنی را طراحی کرده است. نتایج تحقیق در یک مجتمع پتروشیمی نشان می‌دهد که این الگو می‌تواند به‌طور مؤثر در بهبود فرهنگ ایمنی و کاهش ریسک حوادث فرآیندی مورد استفاده قرار گیرد.

در مطالعه‌ای دیگر توسط لعل و همکاران به بررسی قابلیت اطمینان سیستم‌های اطفای حریق در مخازن سقف شناور یک شرکت پتروشیمی پرداخته شده است. در این مطالعه از روش شبکه بیزین فازی برای ارزیابی ریسک و جلوگیری از شکست این سیستم‌ها استفاده شده است. نویسندگان با بهره‌گیری از درخت خطای فازی و منطق بیزین، به تحلیل عوامل مؤثر بر شکست سیستم‌های اطفای حریق پرداختند. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند به‌عنوان روشی معتبر

1. RBI
2. AHP
3. GRP

برای بررسی قابلیت اطمینان سیستم‌های اطفای حریق مورد استفاده قرار گیرد [۲۴].

بررسی مطالعات نشان می‌دهد که عوامل مدیریتی، مالی، فناوری، ساختاری و محیطی ازجمله مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر بهره‌وری و مدیریت نگهداری و تعمیرات هستند. در این راستا، روش‌های مختلفی ازجمله تحلیل حالات خرابی و اثرات آن، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل‌سازی ساختاری تفسیری به‌منظور ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها به‌کار گرفته شده‌اند. در این پژوهش‌ها اهمیت شناسایی و ارزیابی دقیق ریسک‌ها در پروژه‌های صنعتی، به‌ویژه در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، باهدف کاهش خطرات و بهبود مدیریت پروژه‌ها به‌طور ویژه مورد تأکید قرار گرفته است. به‌کارگیری فرآیندهای شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها به مدیران کمک می‌کند تا اقدامات مؤثرتری درجهت کاهش ریسک‌ها و بهبود مدیریت آن‌ها اتخاذ کنند.

۳. روش تحقیق

باتوجه به این‌که هدف اصلی از انجام این پژوهش، شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های تعمیرات در صنعت پتروشیمی است، می‌توان گفت این پژوهش ازنظر هدف در حیطه پژوهش‌های کاربردی قرار دارد. ازسوی دیگر، باتوجه به این‌که در این پژوهش در بخش شناسایی از روش دلفی و در بخش رتبه‌بندی از روش بهترین-بدترین فازی استفاده شده است، روش تحقیق این پژوهش آمیخته می‌باشد. روش اجرایی پژوهش حاضر طی مراحلی نظام‌مند و مبتنی‌بر روش تحقیق علمی طراحی شده است که به‌شرح زیر است:

۳-۱. شناسایی شاخص‌های مدل

در گام نخست، این پژوهش به بررسی مطالعات و ادبیات موضوع درزمینه ریسک‌های نگهداری و تعمیرات پرداخته و براین اساس شاخص‌ها شناسایی شدند. جهت بومی‌سازی شاخص‌های مدل، ازنقطه‌نظرات و دیدگاه‌های خبرگان این حوزه استفاده شده است.

جدول (۱). عبارات زبانی و اعداد متناظر در طیف لیکرت

عبارات زبانی	اعداد متناظر
کاملا مخالف	۱
مخالف	۲
نه موفق نه مخالف	۳
موافق	۴
کاملاً موافق	۵

۳-۲. پالایش و غربال شاخص‌ها با روش دلفی

در مرحله دوم، این مطالعه بااستفاده از تکنیک روش دلفی به پالایش و ترکیب شاخص‌های شناسایی شده پرداخته است. پنل خبره موردنظر بااستفاده از نمونه‌گیری هدفمند تعیین شد به‌طوری‌که تعداد ۱۲ نفر به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. این گروه ۱۲ نفری را مدیران و کارشناسان باسابقه و مسلط به مباحث مطرح شده تشکیل داد که یک گروه حداکثری موجود بود. در این پژوهش، نظرات پنل خبره در مورد هر شاخص براساس طیف لیکرت ۵ تایی مطابق جدول (۱) محاسبه گردید و برای تعیین درجه اجماع میان اعضای پانل خبره، از شاخص ضریب هماهنگی کندال استفاده شد. همچنین برای بررسی همگرایی نظرات پنل خبره انحراف شاخص نظرات هم مورد محاسبه قرار گرفت.

۳-۳. اولویت‌بندی عوامل با تکنیک بهترین-بدترین فازی

در مرحله دوم این پژوهش، برای اولویت‌بندی عوامل از تکنیک بهترین-بدترین فازی استفاده شد. روش بهترین-بدترین فازی، یکی از روش‌های MADM است که به تحلیل و مقایسه شاخص‌ها بااستفاده از اطلاعات نادقیق و مبهم می‌پردازد [۲۵]. این روش شامل مراحل زیر است:

گام اول – ایجاد سیستم تصمیم شاخص‌ها

در این گام شاخص‌های پژوهش که قصد مقایسه آن‌ها را داریم استخراج می‌کنیم فرض کنید که تعداد n متغیر تصمیم به‌صورت $(C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$ دراختیار داشته باشیم.

گام دوم – تعیین بهترین (بااهمیت‌ترین) شاخص و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) شاخص

در این گام بااهمیت‌ترین شاخص (C_B) و کم‌اهمیت‌ترین شاخص (C_w) به‌عنوان بهترین و بدترین شاخص تعیین می‌شوند.

گام سوم – مقایسه زوجی بهترین شاخص با دیگر شاخص‌ها

در این گام بااستفاده از عبارات زبانی جدول (۱) ترجیحات فازی بهترین شاخص نسبت‌به سایر شاخص‌ها تعیین می‌گردد. بردار بهترین شاخص نسبت‌به سایر شاخص‌ها (BO) به‌صورت زیر است:

$$\tilde{A}_B = (\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \tilde{a}_{B3}, \dots, \tilde{a}_{Bn}) \quad (۱)$$

که $\tilde{A}_B$ بیانگر بردار فازی بهترین شاخص نسبت‌به سایر شاخص‌ها و $\tilde{a}_{Bj}$ بیانگر ترجیح فازی بهترین شاخص (C_B) نسبت‌به شاخص j است و $\tilde{a}_{BB} = (1,1,1)$ است.

گام چهارم – تعیین ارجحیت دیگر شاخص‌ها نسبت‌به شاخص بدترین

در این گام نیز همانند گام سوم دیگر شاخص‌ها براساس جدول (۱) با شاخص بدترین مقایسه می‌شوند. بردار شاخص‌ها نسبت‌به بدترین شاخص (OW) به‌صورت زیر است:

$$\tilde{A}_w = (\tilde{a}_{w1}, \tilde{a}_{w2}, \tilde{a}_{w3}, \dots, \tilde{a}_{wn}) \quad (۲)$$

که $\tilde{A}_w$ بیانگر بردار فازی سایر شاخص‌ها نسبت‌به بدترین شاخص و $\tilde{a}_{wj}$ بیانگر ترجیح فازی شاخص i نسبت‌به بدترین شاخص (C_w) است. مشخص است و $\tilde{a}_{ww} = (1,1,1)$ است.

گام پنجم – تعیین وزن‌های فازی بهینه

در این گام وزن بهینه برای شاخص‌ها، وزنی است که در آن، برای هر زوج $\frac{\tilde{w}_b}{\tilde{w}_j}$ و $\frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_w}$، رابطه $\frac{\tilde{w}_b}{\tilde{w}_j} = \tilde{a}_{Bj}$ و $\frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_w} = \tilde{a}_{jw}$ برقرار باشد. برای برقرار این شرایط برای تمامی jها، باید راه‌حلی را بیابیم که درآن حداکثر تفاوت‌های مطلق یعنی $|\frac{\tilde{w}_b}{\tilde{w}_j} - \tilde{a}_{Bj}|$ و $|\frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_w} - \tilde{a}_{jw}|$ برای تمامی jها حداقل باشد.

با درنظر گرفتن منفی نبودن مقایر و شرایط جمع اوزان، مدل زیر استخراج گرفته می‌شود [۲۶].

$$\min \max_j \{|\frac{\tilde{w}_b}{\tilde{w}_j} - \tilde{a}_{Bj}|, |\frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_w} - \tilde{a}_{jw}|\}$$
$$\text{s.t.} \quad \sum_j R(\tilde{w}_j) = 1 \quad (۳)$$

$$l_j^w \le m_j^w \le u_j^w \, , l_j^w \ge 0 \; \forall j$$

مدل فوق بااستفاده از رابطه (۴) می‌تواند به مسأله برنامه‌ریزی خطی تبدیل گردد [۲۶].

$$\begin{aligned} &\min \tilde{\xi}^* \\ &\text{s.t.} \\ &\left|\frac{\widetilde{w}_b}{\widetilde{w}_j} - \tilde{a}_{Bj}\right| \le \tilde{a} \; \forall j \\ &\left|\frac{w_j}{w_w} - \tilde{a}_{jw}\right| \le \tilde{a} \quad \forall j \\ &\sum_j \mathrm{R}(\widetilde{w}_j) = 1 \\ &l_j^w \le m_j^w \le u_j^w \, , l_j^w \ge 0, \quad \mathrm{Wj} \ge 0, \forall j \end{aligned} \tag{۴}$$

در رابطه (۴) $\mathrm{R}(\widetilde{w}_j)$ دیفازی شده مقدار $\widetilde{w}_j$ است. با حل مسأله فوق، اوزان بهینه $\left(\widetilde{W_1}^*, \widetilde{W_2}^*, \dots, \widetilde{W_n}^*\right)$ و $\tilde{\xi}^*$ به‌دست می‌آیند.

گام ششم – نرخ ناسازگاری

درادامه بااستفاده از $\tilde{\xi}^*$، نسبت سازگاری را معرفی می‌نماییم. برای این منظور نسبت $\frac{\tilde{\xi}^*}{\xi}$ را طبق رابطه (۵) محاسبه می‌کنیم که در آن ξ از حل معادله

$$\xi^2 - (1 + 2U_{BW})\xi + \left({U_{BW}}^2 - U_{BW}\right) = 0 \tag{۵}$$

حاصل می‌شود، هرچه مقدار $\frac{\tilde{\xi}^*}{\xi}$ بزرگتر باشد، مقایسات از قابلیت اطمینان کمتری برخوردارهستند و هرچقدر این مقدار به صفر نزدیکتر باشد نشان از سازگاری بیشتر دارد.

۴. یافته‌های پژوهش

در این بخش خروجی مراحل مختلف پژوهش به‌صورت گام‌به‌گام ارائه می‌گردد.

۴-۱. گام اول: شناسایی عوامل

در این مرحله، بااستفاده از مطالعات پیشین و نظرات خبرگان، مجموعه‌ای از ۲۴ عامل مؤثر در ریسک‌های تعمیرات اساسی در صنعت پتروشیمی شناسایی شد. این عوامل در قالب پرسش‌نامه‌ای تنظیم گردید و به ۱۲ خبره ارائه شد تا آن‌ها براساس طیف ۵ نمره‌ای لیکرت، به هر عامل امتیاز دهند. از خبرگان خواسته شد که هرگونه عامل جدیدی که به نظرشان در این زمینه مهم است، معرفی کنند.

نتایج دور اول دلفی

در دور اول روش دلفی، پرسش‌نامه شامل ۲۴ عامل شناسایی‌شده دراختیار خبرگان قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۵ عامل جدید نیز توسط خبرگان معرفی شد. ضریب پایایی پرسش‌نامه با مقدار ۰/۸۱۲ تأیید شد که نشان‌دهنده اعتبار مناسب پرسش‌نامه است.

نتایج دور دوم دلفی

در این مرحله، عوامل با میانگین کمتر از ۳ حذف شدند. در مجموع، ۴ عامل به‌دلیل عدم کسب امتیاز کافی حذف شدند. عوامل باقی‌مانده از دور اول و عوامل جدید معرفی‌شده توسط خبرگان، در دور دوم دلفی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این مرحله، از خبرگان خواسته شد که به شاخص‌های موجود همانند دور اول نمره دهند و میانگین امتیازات دور اول نیز برای تسهیل تصمیم‌گیری در پرسش‌نامه گنجانده شد. نتایج این دور نشان داد که بیشتر خبرگان نظرات خود را درمقایسه با دور اول تأیید کردند.

نتایج دور سوم دلفی

در دور سوم، پرسش‌نامه مشابه دور دوم به خبرگان ارائه شد. این دور بیشتر برای تأیید نهایی عوامل و ارزیابی مجدد شاخص‌ها بود. نتایج نشان داد که بسیاری از خبرگان به تأیید نظرات خود پرداختند و تغییرات زیادی در میانگین نمرات ایجاد نشد. ضریب هماهنگی کندال در این مرحله ۰/۷۰۹ بود که نشان‌دهنده همگرایی بالای نظرات خبرگان است.

نتایج دور چهارم دلفی و دلایل توقف فرآیند

در دور چهارم، روند مشابه دورهای پیشین ادامه یافت و پرسش‌نامه‌ها دوباره برای بررسی به خبرگان ارائه شدند. در این مرحله، همگرایی نظرات به اوج خود رسید و تغییرات جزئی در امتیازات ایجاد شد. ضریب هماهنگی کندال در این دور ۰/۷۱۲ بود که اختلاف بسیار کمی نسبت‌به دور سوم داشت (۰/۰۰۳ افزایش). باتوجه به این موضوعات و موارد زیر، روند دلفی در این مرحله متوقف شد:

- در دور چهارم، حداقل ۹۰ درصد پاسخ‌دهندگان به شاخص‌ها امتیاز "موافقم" و "خیلی موافقم" داده‌اند (میانگین بالاتر از ۳).
- انحراف معیار پاسخ‌ها در دور سوم نسبت‌به دورهای قبلی کاهش چشم‌گیری داشته است.
- میانگین ضریب هماهنگی کندال برای پاسخ‌های اعضا در دور چهارم برابر با ۰/۷۱۲ بود. باتوجه به این‌که تعداد پاسخ‌دهندگان بیش‌از ۱۰ نفر بود، این میزان از ضریب کندال کاملاً معنادار محسوب می‌شود [۲۷].
- تفاوت ضریب هماهنگی کندال در دور چهارم و سوم تنها ۰/۰۰۳ افزایش داشت، که نشان می‌دهد میزان اتفاق‌نظر میان اعضای پانل در دو دور متوالی رشد قابل‌توجهی نداشته است.

اطلاعات مرتبط با روند اجرای مراحل روش دلفی در جدول (۲) آمده است.

۴-۲. گام دوم: اجرای روش بهترین – بدترین فازی

در این گام روش بهترین-بدترین فازی انجام شد که مراحل و خروجی‌های آن به‌شرح زیر می‌باشد.

۴-۲-۱. تعیین بااهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین شاخص‌ها

در اولین مرحله، بااهمیت‌ترین (بهترین) و کم‌اهمیت‌ترین (بدترین) شاخص‌ها مشخص می‌شوند. در این پژوهش، بااستفاده از نظرات خبرگان، شاخص اقتصادی به‌عنوان بااهمیت‌ترین (بهترین) و عوامل خارج از سازمان به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین (بدترین) شاخص‌ها تعیین شدند.

۴-۲-۲. تشکیل مقایسات زوجی

در این بخش، مقایسات زوجی شاخص بهترین نسبت‌به سایر شاخص‌ها (BO) و سایر شاخص‌ها نسبت‌به بدترین شاخص (OW) براساس قضاوت‌های پنل خبرگان انجام می‌شود. سپس داده‌های زبانی مطابق با جدول (۳) به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند که نتایج این فرآیند در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۲). نتایج مراحل انجام روش دلفی

شاخص	دور اول		دور دوم		دور سوم		دور چهارم	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
دشواری در دسترسی به فناوری‌های جدید	۴	۰/۹۶۱	۳/۹۸۷	۰/۹۵۲	۳/۹۹۱	۰/۹۶۲	۳/۹۴	۰/۹۵
ماشین‌آلات غیراستاندارد	۳/۹۱۳	۱/۰۶۴	۳/۹۱۶	۱/۰۶۳	۳/۸۹۸	۱/۰۶	۳/۸۸	۱/۰۶
تأخیر در تأمین تجهیزات نگهداری و تعمیر از خارج از کشور	۳/۵	۰/۸۵۵	۳/۶	۰/۸۸۷	۳/۶۲	۰/۸۸۷	۳/۶۲	۰/۸۹
واضح نبودن استراتژی نگهداری و تعمیرات	۲/۶۴۳	۰/۸۴۲						
حوادث و تأخیر در حمل تجهیزات	۳/۶۴۳	۱/۱۵۱	۳/۶۴	۱/۱۵	۳/۵۶۸	۱/۱۴۴	۳/۶۳	۱/۱۵
ضعف در تأمین مالی به‌موقع ازسوی کارفرما	۳/۸۵۷	۱/۰۹۹	۳/۸۰۲	۱/۰۹۸	۳/۷۸۲	۱/۰۹۶	۳/۸۳	۱/۱
مشکلات کیفی قطعات	۴	۱/۱۰۹	۴/۰۰۳	۱/۱۱	۴	۱/۱۰۹	۳/۹۹	۱/۱۱
هزینه بالای استهلاک ماشین‌آلات	۳/۹۲۹	۱/۰۷۲	۴/۰۰۳	۱/۸۶۷	۴/۰۱۲	۱/۸۶۵	۴/۰۱	۱/۸۷
آلودگی صوتی	۳/۹۲۹	۱/۰۷۲	۳/۹۳۲	۱/۰۷	۳/۹۶۵	۱/۰۷۳	۳/۹۶	۱/۰۷
کمبود مستندات اساسی موردنیاز بازه زمانی تعمیرات اساسی	۳/۲۸۶	۰/۹۱۴	۲/۸۶۲	۰/۸۹				
انطباق نداشتن اهداف مدیریت نگهداری و تعمیرات با اهداف کلی	۲/۷۱۴	۰/۸۲۵						
به‌کارگیری فرآیندها و فعالیت‌های ناکارآمد	۲/۵۷۱	۰/۸۵۲						
ضعف در نوسازی تجهیزات	۳/۵۷۱	۰/۸۵۲	۳/۴۳۵	۰/۸۳۷	۳/۴۴۵	۰/۸۳۷	۳/۴۵	۰/۹
سهل‌انگاری و تعجیل در کار	۳/۵	۱/۰۱۹	۳/۵۵۴	۱/۰۲۳	۳/۶۶	۱/۰۳۴	۳/۵۵	۱/۱۲
سوراخ‌شدگی کف مخزن و نشت مواد	۳/۲۱۴	۰/۸۹۳	۳/۲۱۳	۰/۹۱	۳/۱۲۳	۰/۹۰۱	۳/۱۲	۰/۹
کیفیت حرفه‌ای پایین عوامل انسانی	۳/۴۲۹	۱/۰۱۶	۳/۴۳۲	۱/۰۱۹	۳/۴۴۵	۱/۲۳	۳/۴۶	۱/۲۲
ضعف در رعایت اصول و قواعد کار هنگام کار با تجهیزات	۳/۸۵۷	۱/۱۹	۳/۸۵۷	۱/۱۹	۳/۸۵۲	۱/۱۸۲	۳/۹	۱/۱۹
پیچیدگی تعمیرات اساسی	۴	۱/۱۱	۳/۸۷۲	۱/۱۱	۳/۸۶۵	۱/۱۰۹	۳/۸۶	۱/۱۱
ضعف در نظارت فعال بر مکانیزم انتخاب و به‌کارگیری پیمانکاران	۲/۸۲۳	۰/۸۷						
به‌کارگیری اطلاعات ناقص در فرآیندهای نگهداری و تعمیرات	۳/۵	۱/۰۱۹	۳/۵	۱/۰۱۹	۳/۴۸	۱/۲۱	۳/۵۲	۱/۲۲
نقص و مشکل در موارد بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی	۳/۲۱۴	۰/۸۹۳	۳/۲۱۴	۰/۸۹۳	۳/۱۱۱	۰/۸۳۶	۳/۲۲	۰/۹
نقص در مدیریت و سطح نظارتی برون‌سپاری فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات	۴	۱/۱۰۹	۴	۱/۱۰۹	۴/۰۲۳	۱/۱۲۵	۴/۱	۱/۱۱
ضعف در بازرسی مستمر توسط کارفرما	۲/۹۲۹	۰/۹۰۲	۲/۹۲۹	۰/۹۰۲				
ضعف در توجیه پیمانکاران درخصوص الزامات ایمنی موجود	۳/۹۲۹	۱/۰۷۲	۳/۹۲۹	۱/۰۷۲	۳/۹۴۵	۱/۱۱۲	۳/۹۲	۱/۰۶

جدول (۳). عبارات کلامی و اعداد فازی متناظر [۲۶]

عبارات کلامی	عدد فازی
اهمیت برابر	(۱,۱,۱)
اهمیت کم	(۰.۶۷,۱,۱.۵)
نسبتاً مهم	(۱.۵,۲,۲.۵)
خیلی مهم	(۲.۵,۳,۳.۵)
کاملاً مهم	(۳.۵,۴,۴.۵)

درادامه داده‌های فازی حاصل برای هر شاخص، بااستفاده از رابطه (۶) دیفازی می‌شوند و با روش میانگین هندسی ادغام می‌شوند [۲۶].

$$R(\tilde{a}_i) = \frac{l_i + 4m_i + u_i}{6} \quad (۶)$$

در این رابطه $\tilde{a}_i = (l_i, m_i, u_i)$ یک عدد فازی مثلثی است.

۴-۲-۳. محاسبه وزن شاخص‌ها

در این گام، مطابق روش توضیح داده شده در بند ۳-۳، مدل برنامه‌ریزی خطی مسأله تهیه و بااستفاده از نرم‌افزار لینگو 17 حل شد. خروجی کار یعنی اوزان به‌دست آمده شاخص‌ها در جدول (۵) آورده شده است.

جدول (۴). مقایسه زوجی شاخص‌های اصلی

شاخص‌ها	بهترین شاخص	بدترین میعار
	C3	C11
C1	(۱.۵۸۱,۲.۰۶,۲.۶۰۳)	(۱.۰۳۴,۱.۲۶,۱.۵۰۲)
C2	(۱.۳۶۹,۱.۷۷۴,۲.۲۴۸)	(۱.۲۴,۱.۶۴۲,۲.۱۱)
C3	-	(۰.۲۳۲,۰.۲۶۲,۰.۳۰۲)
C4	(۰.۹۹۳,۱.۳۹۴,۱.۹۳۵)	(۱.۱۹۵,۱.۵۵,۱.۹۴۲)
C5	(۱.۴۵۲,۱.۹۲۵,۲.۴۶۱)	(۱.۲۳۲,۱.۴۹۸,۱.۷۸۸)
C6	(۱.۵۱۵,۱.۹۹۱,۲.۵۳۱)	(۱.۱۲۶,۱.۳۴۸,۱.۵۸۹)
C7	(۱.۴۱۶,۱.۸۸,۲.۴۲۶)	(۱.۱۱,۱.۳۳۵,۱.۵۷۷)
C8	(۰.۹۱۲,۱.۳۰۳,۱.۸۲۹)	(۱.۰۳۸,۱.۴۱۴,۱.۸۸۴)
C9	(۱.۱۱۷,۱.۵۵,۲.۰۷۸)	(۱.۰۹۹,۱.۴۷۷,۱.۹۵۲)
C10	(۱.۳۰۱,۱.۷۵۷,۲.۲۹۴)	(۱.۰۵۶,۱.۳۴۸,۱.۷۱۱)
C11	(۳.۳۰۹,۳.۸۱۳,۴.۳۱۵)	-
C12	(۱.۶۲۱,۲.۱۱,۲.۶۴۲)	(۱.۰۷۷,۱.۳۳۵,۱.۶۴۲)
C13	(۱.۱۶۵,۱.۶۰۳,۲.۱۳۷)	(۱.۱۱,۱.۴۱۴,۱.۷۶۱)
C14	(۱.۰۶۲,۱.۴۷۷,۲.۰۱۹)	(۱.۰۴۴,۱.۳۸۱,۱.۷۸۴)
C15	(۱.۰۷۲,۱.۴۴۲,۱.۹۲۳)	(۱.۰۵۳,۱.۳۴۸,۱.۷)
C16	(۱.۱۸۶,۱.۶۱۹,۲.۱۶۶)	(۱.۱۱۷,۱.۴۶۳,۱.۸۶۱)
C17	(۱.۳۲۴,۱.۷۷۴,۲.۳۲۵)	(۱.۲۳۹,۱.۴۶۳,۱.۶۹۳)
C18	(۱.۳۳۴,۱.۷۹۹,۲.۳۲۷)	(۱.۰۵,۱.۳۸۱,۱.۸۰۷)

جدول (۵). وزن و رتبه نهایی شاخص‌های اصلی

کد	شاخص	وزن فازی	وزن قطعی	رتبه
C1	به‌کارگیری اطلاعات ناقص در فرآیندهای نگهداری و تعمیرات	(۰.۰۳۸۳,۰.۰۴۶۳,۰.۰۴۸۵)	۰.۰۴۵۳	۱۶
C2	آلودگی صوتی	(۰.۰۴۳۳,۰.۰۵۲۲,۰.۰۵۴۱)	۰.۰۵۱	۱۱
C3	تأخیر در تأمین تجهیزات نگهداری و تعمیر از خارج از کشور	(۰.۰۹۹۶,۰.۱۱۷۳,۰.۱۱۷۶)	۰.۱۱۴۴	۱
C4	عدم دسترسی به فناوری‌های جدید	(۰.۰۴۸۹,۰.۰۶۲۹,۰.۰۶۸)	۰.۰۶۱۴	۳
C5	پیچیدگی تعمیرات اساسی	(۰.۰۴۰۱,۰.۰۴۸۹,۰.۰۵۱۸)	۰.۰۴۷۹	۱۴
C6	وجود نقص و مشکلات در موارد بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی	(۰.۰۳۹۲,۰.۰۴۷۶,۰.۰۵۰۱)	۰.۰۴۶۶	۱۵
C7	حوادث و تأخیر در حمل تجهیزات	(۰.۰۴۰۶,۰.۰۴۹۹,۰.۰۵۲۸)	۰.۰۴۸۸	۱۳
C8	عدم نوسازی تجهیزات	(۰.۰۵۱۱,۰.۰۶۶۱,۰.۰۷۲)	۰.۰۶۴۶	۲
C9	عدم کیفیت حرفه‌ای عوامل انسانی	(۰.۰۴۶۱,۰.۰۵۸,۰.۰۶۲۷)	۰.۰۵۶۸	۶
C10	عدم رعایت اصول و قواعد کار هنگام کار با تجهیزات	(۰.۰۴۲۵,۰.۰۵۲۶,۰.۰۵۶۲)	۰.۰۵۱۵	۹
C11	سوراخ‌شدگی کف مخزن و نشت مواد	(۰.۰۳۰۶,۰.۰۳۵۱,۰.۰۳۵۱)	۰.۰۳۴۴	۱۸
C12	عدم توجیه پیمانکاران درخصوص الزامات ایمنی موجود	(۰.۰۳۷۸,۰.۰۴۵۴,۰.۰۴۷۶)	۰.۰۴۴۵	۱۷
C13	نقص در مدیریت و سطح نظارتی برون‌سپاری فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات	(۰.۰۴۵۱,۰.۰۵۶۵,۰.۰۶۰۹)	۰.۰۵۵۳	۷
C14	هزینه بالای استهلاک ماشین‌آلات	(۰.۰۴۷۲,۰.۰۶۰۲,۰.۰۶۵)	۰.۰۵۸۸	۵
C15	ماشین‌آلات غیراستاندارد	(۰.۰۴۹۱,۰.۰۶۱۳,۰.۰۶۴۵)	۰.۰۵۹۸	۴
C16	تأمین مالی به‌موقع ازسوی کارفرما	(۰.۰۴۴۶,۰.۰۵۶۱,۰.۰۶۰۱)	۰.۰۵۴۹	۸
C17	سهل‌انگاری و تعجیل در کار	(۰.۰۴۲۱,۰.۰۵۲۲,۰.۰۵۵۵)	۰.۰۵۱۱	۱۰
C18	مشکلات کیفی قطعات	(۰.۰۴۲,۰.۰۵۱۷,۰.۰۵۵۲)	۰.۰۵۰۷	۱۲

در جدول (۶) وزن فازی مستقیماً از حل مدل در نرم‌افزار لینگو حاصل شده است سپس این اوزان فازی بااستفاده از رابطه (۶) به وزن قطعی تبدیل شده‌اند، به‌عنوان مثال وزن فازی شاخص به‌کارگیری اطلاعات ناقص در فرآیندهای نگهداری و تعمیرات به‌صورت (۰.۰۳۸۳,۰.۰۴۶۳,۰.۰۴۸۵) است که وزن قطعی آن برابر با:

$$\frac{0.0383 + 4 * 0.0463 + 0.0485}{6} = 0.0453$$

می‌شود. براین اساس شاخص تأخیر در تأمین تجهیزات نگهداری و تعمیر از خارج از کشور با وزن ۰/۱۱۴۴ رتبه اول را کسب کرده است. عدم نوسازی تجهیزات با وزن ۰/۰۶۴۶ رتبه دوم و عدم دسترسی به فناوری‌های جدید با وزن ۰/۰۶۱۴ رتبه سوم را کسب کرده است.

۴-۲-۴. محاسبه نرخ ناسازگاری

در این بخش به محاسبه نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی پژوهش پرداخته می‌شود ابتدا بااستفاده از رابطه (۵) با حل یک معادله درجه دو برای هر جدول مقایسه زوجی مقدار مجهول ξ را محاسبه می‌کنیم که همان شاخص سازگاری است. سپس مقدار بهینه تابع هدف (ξ^*) هر مدل خطی برای جداول مقایسه زوجی را بر این مقدار شاخص سازگاری تقسیم می‌کنیم تا نرخ ناسازگاری حاصل شود به بیان ریاضی نرخ ناسازگاری برابر است با: $\frac{\xi^*}{\xi}$. هرچه نرخ ناسازگاری به صفر نزدیکتر باشد نشان از سازگارتر بودن مقایسه زوجی است. این نرخ در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶). نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی

عامل	ξ	ξ^*	نرخ ناسازگاری
شاخص‌ها	۷/۷۹۵	۰/۴۷	۰/۰۶

۵. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

این پژوهش به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر ریسک‌های تعمیرات در صنعت پتروشیمی بااستفاده از روش دلفی و روش بهترین بدترین فازی (BWM) پرداخته است. در گام نخست، با بهره‌گیری از پیشینه پژوهش و نظرات خبرگان، ۲۴ عامل شناسایی و در قالب پرسش‌نامه تهیه شد. پس‌از چهار راند اجرای روش دلفی، عوامل بااهمیت کمتر حذف شده و پنج عامل جدید ازسوی خبرگان اضافه گردید. نتایج نشان داد که اتفاق‌نظر میان خبرگان در دور چهارم دلفی حاصل شده و ضریب هماهنگی کندال به ۰/۷۱۲ رسید که نشان از معناداری نتایج دارد.

در گام دوم، روش بهترین بدترین فازی برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی نهایی عوامل به‌کار گرفته شد. شاخص اقتصادی به‌عنوان بااهمیت‌ترین عامل و عوامل خارج از سازمان به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین عوامل شناسایی شدند. پس‌از انجام مقایسات زوجی و تحلیل داده‌ها بااستفاده از نرم‌افزار لینگو، تأخیر در تأمین تجهیزات نگهداری و تعمیر از خارج از کشور، عدم نوسازی تجهیزات و عدم دسترسی به فناوری‌های جدید به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین ریسک‌های تعمیرات در صنعت پتروشیمی شناخته شدند.

محاسبه نرخ ناسازگاری نیز نشان داد که مقایسات زوجی دارای نرخ ناسازگاری ۰/۰۶ بوده و از سازگاری مناسبی برخوردار است. این امر اعتبار نتایج و دقت روش‌های مورد استفاده را تأیید می‌کند.

باتوجه به نتایج به‌دست آمده، پیشنهاد می‌شود که صنعت پتروشیمی با تمرکز بر تأمین به‌موقع تجهیزات مرتبط با نگهداری و تعمیرات، نوسازی تجهیزات و دسترسی به فناوری‌های جدید،

ریسک‌های مرتبط با تعمیرات را کاهش داده و بهبود قابل‌توجهی در بهره‌وری و کارایی عملیات خود ایجاد کند.

۶. محدودیت‌ها و پیشنهادها برای تحقیقات آتی

باوجود مزایای روش دلفی در گردآوری نظرات خبرگان، این روش ممکن است به‌دلیل ماهیت ذهنی قضاوت‌ها و تفاوت‌های فردی میان خبرگان، با محدودیت‌هایی ازجمله دقت پایین یا سوگیری روبه‌رو شود. همچنین، تکنیک‌های تصمیم‌گیری مانند روش بهترین–بدترین فازی، علی‌رغم دقت بالای آن‌ها، ممکن است در شرایطی که داده‌های کافی و دقیق دردسترس نباشند، نتایجی کمتر قابل اعتماد ارائه دهند. علاوه‌براین، در این پژوهش به متغیرهای خارجی و عوامل محیطی نظیر تغییرات اقتصادی و سیاسی که می‌توانند تأثیرات مهمی بر ریسک‌ها داشته باشند، به‌طور جامع پرداخته نشده است.

در راستای بهبود این کاستی‌ها، تحقیقات آتی می‌توانند با بهره‌گیری از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندشاخصه، نظیر روش بهترین–بدترین فازی، به ارزیابی و اولویت‌بندی دقیق‌تر ریسک‌ها بپردازند. ترکیب این رویکردها با تکنیک‌های دیگر مانند شبیه‌سازی یا تحلیل سناریو، می‌تواند مدل‌های جامع‌تر و دقیق‌تری برای مدیریت ریسک در صنعت پتروشیمی ارائه دهد. همچنین، استفاده از روش‌های داده‌محور و تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده در پژوهش‌های آینده می‌تواند به بهبود توانایی پیش‌بینی و کنترل ریسک‌ها کمک کرده و مدیریت ریسک را در شرایط مختلف ارتقاء بخشد.

مراجع

[۱] شریعتمداری، م.، نهاوندی، ن. (۱۳۹۹). شناسایی و ارزیابی ریسک در پروژه‌های ساخت پتروشیمی در ایران؛ مطالعه موردی: هلدینگ پتروشیمی باختر، *مهندسی سازه‌وساخت*، ۷(شماره ویژه ۲)، ۱۰۱–۱۲۳. ttps://doi.org/10.22065/jsce.2018.132587.1563

[2] Ghaedsharaf, Z. & Jabbari, M. (2020). Identifying hazards and presenting HSE risk management program using Bow-Tie and SOWT-ANP methods at the urea unit of Shiraz petrochemical complex. *Journal of health and safety at work*, 10(1): http://jhsw.tums.ac.ir/article-1-6251-en.html.

[3] Jiang, J., Gong, G., Wang, L., & Zha, Q. (2024). Risk measurement of aggregation approaches in multiple attribute decision making under uncertain information. *Applied soft computing*, 158, 111568, https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111568.

[4] Kheybari, S., Mehrpour, M. R., Bauer, P., & Ishizaka, A. (2024). How Can Risk-Averse and Risk-Taking Approaches be Considered in a Group Multi-Criteria Decision-Making Problem? *Group decision and negotiation*, 1–27, https://doi.org/10.1007/s10726-024-09895-9.

[5] Dong, J.-Y., & Wan, S.-P. (2024). Interval-valued intuitionistic fuzzy best-worst method with additive consistency. *Expert systems with applications*, 236, 121213, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121213.

[6] Cheng, X., & Chen, C. (2024). Decision making with intuitionistic fuzzy best-worst method. *Expert systems with applications*, 237, 121215, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121215.

[7] Wan, S.-P., Dong, J.-Y., & Chen, S.-M. (2024). A novel intuitionistic fuzzy best-worst method for group decision making with intuitionistic fuzzy preference relations. *Information sciences*, 666, 120404, https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.120404.

[۸] گلزار، س.، موسوی، م.، گیتی نورد، ح.، وحدانی، ب. (۱۳۹۵). مدل تصمیم‌گیری گروهی سازشی فازی تردیدی با درنظر گرفتن وزن تصمیم‌گیران به‌منظور ارزیابی ریسک های ایمنی در پروژه‌های تولیدی (صنعت کشتی‌سازی). *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۷(۷)، ۹۳–۱۰۳. https://doi.org/10.22084/ier.2016.1571

[۹] صدری، ش.، فاطمی قمی، س. (۲۰۲۴). استفاده از تکنیک گرت برای مدل‌سازی و تخمین احتمال موفقیت پروژه‌های تصادفی بافرض انجام دوباره‌کاری. *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۱۲(۲۴)، ۳۵–۴۷. https://doi.org/10.22084/ier.2024.29093.2163

[۱۰] منیری، م. ر.، عالم تبریز، ا.، و عیوق، ا. (۱۴۰۱)، ارزیابی ریسک پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنایع فرایندی بالادستی نفت با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی ترکیبی. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۱۲(۲)، ۱۳۵-۱۷۲، https://doi.org/10.52547/jimp.12.2.135

[11] Haseli, G., Sheikh, R., Ghoushchi, S. J., Hajiaghaei-Keshteli, M., Moslem, S., Deveci, M., & Kadry, S. (2024). An extension of the best-worst method based on the spherical fuzzy sets for multi-criteria decision-making. *Granular computing*, 9(2), 40, https://doi.org/10.1007/s41066-024-00462-w.

[12] Chemweno, P., Pintelon, L., De Meyer, A.-M., Muchiri, P. N., Van Horenbeek, A., & Wakiru, J. (2017). A dynamic risk assessment methodology for maintenance decision support. *Quality and reliability engineering international*, 33(3), 551–564, https://doi.org/10.1002/qre.2040.

[13] Chemweno, P., Pintelon, L., Muchiri, P. N., & Van Horenbeek, A. (2018). Risk assessment methodologies in maintenance decision making: A review of dependability modelling approaches. *Reliability engineering & system safety*, 173, 64–77, https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.01.011.

[14] Sun, H., He, D., Zhong, J., Jin, Z., Wei, Z., Lao, Z., & Shan, S. (2023). Preventive maintenance optimization for key components of subway train bogie with consideration of failure risk. *Engineering failure analysis*, 154, 107634. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107634.

[15] Boral, S., Chaturvedi, S. K., Liu, Y., & Howard, I. (2024). Integrated Fuzzy MCDM Frameworks in Risk Prioritization of Failure Modes. In Karanki, D. R. (Ed.), *Frontiers of performability engineering: in honor of prof.* k.b. misra (pp. 353–400). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8258-5_14.

[16] Zhong, W., Cai, J., Song, Y., Liang, T., Zhang, J., & Gao, Z. (2024). Risk evolution of crude oil pipeline under periodic maintenance based on dynamic bayesian network. *Journal of loss prevention in the process industries*, 87, 105229, https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023.105229.

[۱۷] شهانقی، ک.، آریانژاد، م.، برزگر، ع. (۱۳۹۰). کاربرد رویکرد بازرسی برمبنای ریسک در انتخاب سیاست‌های نگهداری و تعمیرات (نت)، *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید (فارسی)* ۲۲(۲)، ۱۹۴–۲۰۴، http://ijiepm.iust.ac.ir/article-1-663-fa.html

[۱۸] شهرکی، ع.، طهماسبی ابدر، ز. (۱۳۹۸). پیش‌بینی و تحلیل حالات

خرابی و شکست بااستفاده از اعداد راف و روش طرح‌ریزی رابطه خاکستری. *پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری*، ۴(۲)، ۱–۳۵، https://journal.saim.ir/article_36208.html.

[۱۹] فارسانی، م. ب.، اصغریان، ر. ا. (۱۴۰۰). شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر ریسک‌های HSE بااستفاده از رویکرد آمیخته (مورد مطالعه: شرکت گاز خطوط انتقال دوراهان). *فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم‌های صنعتی*، ۱۶(۳۵)، ۱۱۷–۱۳۶، (10.30495/imj.2021.681777).

[۲۰] قویدل دارستانی، آرش؛ و شمس کیا، ناصر، (۱۳۹۹). تحلیل ریسک در پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز استان گیان با رویکرد حفاظت و اثرات ز یست محیطی .*مدیریت بحران*، ۹ (ویژه نامه پدافند غیرعامل)، ۵۷-۶۶، https://www.joem.ir/article_241871.html.

[۲۱] عباسکوهی، ح. س.، پور، م. خ. (۱۴۰۱). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مدیریت کارآمد نگهداری و تعمیرات در کشت و صنعت‌ها برپایه مطالعات تجربی توسعه‌یافته. *ماشین‌های کشاورزی*، https://doi.org/10.22067/jam.2022.76333.1104

[۲۲] منیری، م.، تبریز، ا. ع.، عیوق، ا. (۱۴۰۱). ارزیابی ریسک پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنایع فرآیندی بالادستی نفت بااستفاده از یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی ترکیبی. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۱۲(۲)، ۱۳۵–۱۷۳، https://doi.org/10.52547/jimp.12.2.135

[۲۳] بزرگی، د.، نیکومرام، لواسانی، م. (۱۴۰۲). ارائه الگوی پیاده‌سازی، راهبری و سنجش فرهنگ ایمنی فرآیند در صنایع فرآیندی. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۵(۳)، ۷۵–۹۰، https://doi.org/10.30495/jest.2023.72326.5818

[۲۴] لعل، ف.، پویاکیان، م.، جعفری، م. (۱۴۰۲). ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های اطفای حریق بااستفاده از شبکه بیزین فازی در مخازن سقف شناور یک شرکت پتروشیمی. *مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای*. ۱۰ (۱): ۱۷-۲۴، https://doi.org/10.32592/joohe.10.1.17

[۲۵] رحمتی نژاد، ف.، زارعی محمودآبادی، م.، صیادی تورانلو، ح. (۱۴۰۲). ارزیابی ریسک در صنایع غذایی با رویکرد ترکیبی FMEA و BWM در شرایط فازی شهودی (مطالعه موردی: کارخانه لبنیات تاشال قوچان). *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۱۱(۲۲)، ۱۷۱–۱۸۵، https://doi.org/10.22084/ier.2023.5426

[26] Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-based systems*, 121, 23–31, https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.01.010.

[۲۷] کلانتری، ر.، معینی، ع.، صفری، ح.، عرب سرخی، ا. (۱۳۹۹). ارائه چارچوب مفهومی، برای سنجش عملکرد زنجیره‌تأمین خدمات امنیت اطلاعات مبتنی‌بر رویکرد فراترکیب و روش دلفی فازی. *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۱)، ۲۴–۴۶، https://doi.org/10.22059/imj.2019.283565.1007614

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2024, Volume 12., No. 25., pp. 19-29
www.ier.basu.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2025.29583.2175

Instructions and Formatting Rules for Authors of Journal of Industrial Engineering Researches in Production System

Ali Dehghani Filabadi[1], Hossein Nahid Titkanlue[2*], Alireza Farhadi[3]

[1.] Assistant professor, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

[2.] Assistant professor, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

[3.] Master of Science in Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received: 13 - 7 - 2024
Revised: 15 - 11 - 2024
Accepted: 20 - 11 - 2024

***Keywords*:**

Risk Management
Major Maintenance
Fuzzy Best-Worst Method
Petrochemical
Lordegan

ABSTRACT

Major maintenance projects in the petrochemical industry, which include numerous capital-intensive equipment and facilities, are always confronted with risks. Neglecting these risks can lead to significant financial, human, and environmental damages. Identifying and assessing these risks is a crucial step towards proper management and taking preventive measures. The main objective of this research is to identify and rank the risks associated with major maintenance in the Lordegan Petrochemical Company. To this end, first, a list of major maintenance risks was compiled using literature studies and expert opinions. Then, employing the Delphi method, 18 of these risks were identified as key risks in the Lordegan petrochemical industry and evaluated using the fuzzy best-worst method and Lingo software. The results indicated that the criterion "delay in obtaining equipment from abroad" with a weight of 0.1144 was the most significant maintenance risk in this industry, while the criterion "tank bottom puncture and material leakage" with a weight of 0.0344 was the least important.

[*] Corresponding author. Hossein Nahid Titkanlue
Tel.:09125578973; E-mail address: Hossein_Nahid@pnu.ac.ir