هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

یک رویکرد تلفیقی برای مدیریت ریسک طراحی محصولات در شرایط عدم اطمینان

مهدی رحیمدل میبدی [۱]

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی صنایع، مرکز تحصیلات تکمیلی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، Rahimdel.m@gmail.com

چکیده

در این تحقیق، سعی می‌شود با ارائه یک روش گام به گام و استناد به روش‌های علمی جدید و کاربردی، یک مدل برای اولویت‌بندی ریسک‌ها با در نظر گرفتن وابستگی‌ها و تأثیرات متقابل آنها، ارائه شود. سپس با طبقه‌بندی ریسک‌های ارزیابی‌شده و تعیین فعالیت‌های کاهش (حذف) ریسک‌ها، یک مدل بهینه‌سازی برای انتخاب فعالیت‌های کاهش ریسک (با در نظر گرفتن محدودیت‌های سازمان) ارائه می‌شود. با توجه به روش پیشنهادی این تحقیق، پس از شناسایی ریسک‌های مرتبط با طراحی محصول موردنظر با در نظر گرفتن وابستگی و تأثیرات متقابل ریسک‌های شناسایی‌شده، با استفاده از اصول روش DEMATEL در محیط فازی، میزان ارتباط بین ریسک‌های شناسایی‌شده، تعیین می‌شود. سپس، به استناد روش ANP در محیط فازی، امتیاز هرکدام از ریسک‌ها در شاخص‌های سه‌گانه «شدت اثر»، و «احتمال وقوع» و «امکان کشف»، تعیین شده و ماتریس تصمیم مربوطه تشکیل می‌شود. در مرحله بعد، میزان اهمیت تمامی ریسک‌ها، به استناد روش WASPAS و در نظر گرفتن وزن شاخص‌های سه‌گانه تعیین می‌شوند. سپس، شناسایی اقدامات و فعالیت‌های مربوط به کاهش و یا حذف ریسک، انجام شده و با استفاده از روش TOPSIS فازی، میزان اهمیت فعالیت‌های مذکور، با در نظر گرفتن ریسک‌های مهم به عنوان معیارهای ارزیابی، انجام می‌شود. در نهایت، با ارائه یک مدل بهینه‌سازی صفر و یک، انتخاب بهینه فعالیت‌های کاهش (حذف) ریسک‌ها، انجام می‌شود. همچنین، برای مطالعه موردی تحقیق که تجزیه و تحلیل ریسک‌های موجود در طراحی موتورهای توربینی، می‌باشد، مدل پیشنهادی تحقیق، به صورت کمّی، مورد بررسی و پیاده‌سازی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: ریسک، وابستگی، روش DEMATEL، ANP فازی، اقدام اصلاحی، روش WASPAS.

مقدمه

امروزه رشد تکنولوژی و تغییرات سریع محیط کسب و کار، تولید و ارائه محصولات جدید به بازار را با ریسک‌های فراوانی همراه ساخته است و برنامه‌ریزی و سازماندهی اقدامات مناسب در مواجهه با این ریسک‌ها از اولویت‌های بهبود برنامه‌های هر سازمان می‌باشد [۱]. در واقع، مدیریت ریسک، کاربرد نظام‌مند خط‌مشی‌ها، روش‌های اجرایی و اقدامات مدیریتی است که در خصوص تعیین شرایط، شناسایی، تحلیل، ارزشیابی، ارزیابی، برخورد، پایش و تبادل اطلاعات در مورد ریسک‌ها به کار می‌رود و سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا به نحو مقرون به صرفه‌ای زیان‌های خود را کمینه و فرصت‌های خود را بیشینه نمایند. در شناسایی ریسک بایستی اثر ریسک‌ها بر تمام اهداف پروژه مدّنظر قرار گیرد. این اهداف معمولاً شامل هزینه، زمان و کیفیت می‌باشند. همچنین ممکن است شامل اهداف دیگری شوند که مربوط به مطابقت با قانون و مقررات، امنیت، قابلیت اعتماد، تعهد، ایمنی، بهداشت و محیط زیست می‌باشد [۲].

در حال حاضر، استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک در صنایع مختلف رو به گسترش است و روش‌های مختلفی برای ارزیابی کیفی وکمی ریسک در دنیا ارائه شده است. این روش ها معمولا برای شناسایی ،کنترل و کاهش پیامدهای خطرات به کار می‌رود و نسبت به یکدیگر دارای مزایا و معایب مختلف می‌باشد. لذا یکی از وظایف هر سازمان، بررسی تمامی روش‌های ارزیابی ریسک و انتخاب روش مناسب جهت اجرا در سازمان مطبوع خود می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت

که از نوع روش استفاده شده در ارزیابی ریسک وعمق ارزیابی آن تا حدی می‌توان به توانایی سیستم ایمنی موجود و در نتیجه نحوه مدیریت ایمنی در سازمان مذکور پی برد. معمولا سطح ریسک قابل قبول برای هر سازمان یا هر فرد متفاوت بوده و بستگی به منابع مالی و اقتصادی، محدودیت‌های تکنولوژیکی، عوامل انسانی مجرب، صلاحدید وتصمیم مدیریت وریسک‌های زمینه‌ای مثل ریسک‌های مخفی دارد [۳].

با توجه به اینکه هر پروژه با هر نوع فرآیند و هر تصمیم‌گیری در طول عمر خود با ریسک همراه است، بنابراین در هر مرحله از پروژه بایستی ریسک، مدیریت شده و فرآیند مدیریت ریسک با فرآیندهای مدیریت پروژه و فرآیندهای مرتبط با محصول همراه شود. هر فردی با مدیریت ریسک سروکار دارد. برای تسهیل در تبادل اطلاعات باز و مدیریت اثر بخش هزینه، ریسک‌ها نیاز به یک فرآیند سازمان‌یافته مدیریت ریسک دارند. یکی از پیش نیازهای مدیریت اثربخش ریسک پروژه، تبادل روشن و باز اطلاعات در داخل و خارج پروژه است [۴].

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سازمان‌ها، ارزیابی، تحلیل و مدیریت ریسک در فرایند طراحی محصولات، است. این مسأله، به این دلیل مهم و ضروری است که نتایج نهائی ارزیابی مربوطه، موجب اولویت‌بندی پروژه‌های بهبود و اقدامات اصلاحی تعریف‌شده در هر سازمان می‌شود. بنابراین، قوت و ضعف این ارزیابی، به‌طور مستقیم در بهره‌وری و سوددهی تولید، تأثیر می‌گذارد [۵]. توجه به ریسک خرابی و انتخاب استراتژی مناسب نه تنها موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری می‌شود، بلکه بر وجهه اجتماعی و نگرش ذینفعان نسبت به سازمان و رضایتمندی آنان تأثیری مطلوب می‌گذارد [۶].

با توجه به مزایای مذکور در زمینه مدیریت ریسک، اجرای صحیح این فرایند و تجزیه و تحلیل مناسب آن، برای فرایند طراحی محصولات، بسیار لازم و حیاتی می‌باشد. همچنین با توجه به توضیحات ارائه‌شده، انتخاب الگوی مناسب و کارا، برای ارزیابی دقیق و منطقی ریسک‌های موجود در طراحی محصولات، با رویکرد کاهش ریسک، تأثیر بسیار زیادی در افزایش بهره‌وری و همچنین رضایتمندی ذینفعان و کارکنان دارد.

با مرور تحقیقات مربوط به حوزه این پژوهش، تاکنون، محققین راهکارهای مختلفی برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل ریسک‌های موجود در طراحی محصولات ارائه داده‌اند که هرکدام از آنها دارای مزایا و نواقص مختلفی است. لیکن، مسئله اصلی این تحقیق، وجود شکاف تحقیقاتی در زمینه شناسایی و ارزیابی ریسک‌های موجود در فرایند طراحی محصولات و ارائه راهکارهای بهینه کاهش ریسک با وجود عوامل مشترک و تأثیرگذار در رخداد ریسک‌های مربوطه می‌باشد. در این تحقیق، سعی می‌شود با ارائه یک روش گام به گام و استناد به روش‌های علمی جدید و کاربردی، یک مدل بهینه‌سازی برای انتخاب فعالیت‌های کاهش ریسک (با در نظر گرفتن محدودیت‌های سازمان) ارائه شود.

در بخش دوّم این مقاله، مروری بر پیشینه تحقیقات انجام‌شده در حوزه موضوع تحقیق، انجام می‌شود. در بخش سوم مقاله، روش پیشنهادی این تحقیق برای مدل‌سازی، ارائه شده است. در بخش چهارم، یک نمونه کاربردی برای تبیین چگونگی محاسبات و پیاده‌سازی مدل پیشنهادی، نشان داده شده است و در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای مطالعات آتی مطرح می‌شود

مروری بر پیشینه تحقیقات انجام‌شده

با توجه به رویکردها و نظریه‌های مختلف مرتبط با حوزه ارزیابی، تحلیل و مدیریت ریسک، تاکنون، تحقیقات زیادی در زمینه موضوع تحقیق، انجام شده است.

لی[۱] و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود در راستای ارزیابی ریسک‌های موجود در تولید محصولات، با استفاده از روش ANP فازی، راهکاری برای ارزیابی حالت‌های مختلف خرابی تولید محصولات ارائه نمودند. در این روش، با توجه به وابستگی درونی بین ریسک‌های شناسایی‌شده و ارزیابی میزان اهمیت آنها (با مقایسات زوجی)، ریسک‌های مهم و اساسی، معرفی می‌شوند. در نهایت، با پیاده‌سازی روش تحقیق در مطالعه موردی مربوطه که تولید قایق‌های موتوری می‌باشد، نتایج ارزیابی ریسک‌های موردنظر، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند [۷].

از آن جایی که در FMEA ، اهمیت همه معیارها (ریسک فاکتورها) یکسان نمی‌باشد، لذا در مطالعه توانا[۲] و همکاران (۲۰۱۶)، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی FAHP برای تعیین وزن معیارها، استفاده شد. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است و تصمیم‌گیرنده با فراهم ساختن درخت سلسله مراتب تصمیم‌گیری کار تحلیل را شروع می‌کند. در این تحقیق که به منظور ارزیابی ریسک‌های موجود در طراحی و ساخت آیتم‌ها، انجام شده است، برای نشان دادن نتایج موردنظر، یک مثال کاربردی ارائه شده است که در آن، ریسک‌های موجود در ساخت بردهای الکترونیکی، مورد بررسی قرار گرفته و با انجام مقایسات زوجی فازی بین ریسک‌های موردنظر، درنهایت، ریسک‌های اصلی، معرفی شده‌اند [۸].

جیچوآن[۳] و همکاران (۲۰۱۷) با در نظر گرفتن همبستگی در FMEA، ارزیابی ریسک تولید را انجام دادند. در این تحقیق، در طول فرایند تحلیل ریسک محصول، به دو موضوع پیچیدگی حالت خرابی سیستم و همبستگی متقابل، توجه شده است. ارزیابی ریسک، با استفاده از یک روش اصلاح شده به نام FMEA همبسته، انجام شده است تا ارتباط

---

[۱] Li
[۲] Tavana
[۳] Jichuan

بین حالت‌های خرابی و تأثیر آن بر احتمال وقوع کل سیستم، بررسی شود. همچنین در مطالعه موردی که ارزیابی ریسک‌های موجود در تولید توربین‌های بادی ساحلی در چین است، مجموعه‌ای از حالت‌های شکست با اولویت بالا توسط FMEA معمولی، تعیین و روابط مربوطه برای به دست آوردن ضرایب همبستگی، تجزیه و تحلیل شده است [۹].

سامانترا[۱] و همکاران (۲۰۱۷) ، مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی ریسک فازی برای پروژه‌های ساخت و ساز شهری انجام دادند. در این تحقیق، رتبه‌بندی برای یک منبع خطر دو پارامتر احتمال وقوع و پیامد وقوع خطر را بیان می کند. روش پیشنهادی در پروژه ساختمانی شهری برای مطالعه موردی ساخت یک ایستگاه راه آهن زیرزمینی ارائه شده است و از ماتریس خطر به منظور طبقه‌بندی عوامل مختلف خطر در سطوح مختلف شدت برای ایجاد برنامه اقدامات ضروری استفاده شده است [۱۰].

عبدالکریم[۲] (۲۰۱۷) پژوهشی با عنوان شناسایی و ارزیابی عوامل خطر ساز پروژه‌های ساختمانی را بررسی نموده که در آن، تأثیر عوامل موثر بر هزینه و زمان احتمالی در نظر گرفته شده است. در این تحقیق برای ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده از روش‌های آماری و شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است. همچنین، برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی تحقیق در یک مطالعه موردی، اطلاعات و داده‌ها از ۱۶ شرکت ساختمانی در مصر جمع‌آوری شده و نمودارهای خروجی و صفحات تجزیه تحلیل برای توسعه مدل کامپیوتری، ساخته شده و تجزیه و تحلیل‌های لازم انجام شده است [۱۱].

سوهانگ و یانیس[۳] (۲۰۱۸) با مرور استفاده از مجموعه‌های فازی، کاربردهای این تکنیک در ارزیابی ریسک و قابلیت اطمینان سیستم‌ها را ارائه نمودند. ابزارهای مورد استفاده در این تحقیق، آنالیز درخت خطا (FTA)، آنالیز درخت رویداد (ETA)، شبکه‌های بیزین و FMEA در محیط فازی هستند. در نهایت، مزایای استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی در تجزیه و تحلیل ریسک محصولات بیان شده است. همچنین، مطالعه موردی این تحقیق که ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده در یک مثال کاربردی است، انجام شده و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است [۱۲].

رضائیان و ایرانیان[۴] (۲۰۱۸)، در تحقیق خود، با در نظر گرفتن این نکته که: «در اجرای پروژه‌ها یا اغلب ریسک‌ها نادیده گرفته می شوند یا به بخش‌هایی تخصیص داده می‌شوند که دانش و ظرفیت کافی ندارند و نتیجه آن کاهش کیفیت، افزایش هزینه و درنهایت تأخیر در پروژه است»، به استناد رویکرد PMBOK، مدلی برای تجزیه و تحلیل ریسک‌های موجود در پروژه‌های ساخت و ساز جاده‌ای ارائه نمودند. همچنین، مدل مربوطه برای مطالعه موردی تحقیق، که پروژه کابل‌کشی سازه‌های پل در شهر ساری می‌باشد مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳].

در تحقیق مختاری و حسن‌زاده[۵] (۲۰۱۹)، یک مدل برای انتخاب پروژه‌های سبد سهام و تعیین اقدامات اصلاحی برای کاهش ریسک‌های شناسایی شده ارائه شده است. ابزار مورد استفاده در این مدل، برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه می‌باشد که در آن، با توجه به این نکته که: یکی از گام‌های مهم در مدیریت ریسک، شناسایی پاسخ به ریسک بوده و هر اقدامی در جهت پاسخ به ریسک می‌تواند سبب کاهش احتمال وقوع یک یا چند ریسک شود، مطلوبیت سازمان موردنظر (سازمان بورس اوراق بهادار) در نظر گرفته شده و با در نظر گرفتن محدودیت‌های مربوطه، برنامه اقدامات اصلاحی پیشنهادی ارائه شده است [۱۴].

وی[۶] و همکاران (۲۰۲۰)، با در نظر گرفتن ریسک های موجود در سیستم‌های تولیدی، برای حل مسأله تخصیص قابلیت اطمینان سیستم‌های مذکور، به استناد بهینه سازی چندهدفه، با در نظر گرفتن استراتژی‌های مختلف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش ریسک، یک الگوی جدید ارائه نمودند که در نهایت، دارای جواب‌های قابل قبولی برای ارزیابی و تحلیل ریسک و قابلیت اطمینان زیرمجموعه‌های موردنظر بوده و اعتبارسنجی مناسبی برای تحقیق موردنظر انجام شده است. ذکر این نکته لازم است که در مطالعه موردی تحقیق که فرایند تولید چندگانه سیستم‌های الکترونیکی است، روش پیشنهادی تحقیق، پیاده‌سازی شده و پاسخ‌های مناسبی دریافت شده است [۱۵].

در مدل ارائه شده راو و چن[۷] (۲۰۲۰) از ابزارهای داده‌کاوی و تکنولوژی هوش مصنوعی، برای مدیریت ریسک پروژه‌ها استفاده شده است. در این تحقیق، با توجه به این مهم که: داده‌کاوی در مدیریت ریسک پروژه به عنوان یکی از حوزه‌های دانش مدیریت پروژه بسیار کاربردی می‌باشد، به استناد ابزار داده‌کاوی و به‌کارگیری تکنیک هوش مصنوعی، ریسک‌های شناسایی شده در پروژه استخراج معدن مورد بررسی و تجزیه و تحلیل، قرار گرفته است [۱۶].

در تحقیق کاراسان[۸] و همکاران (۲۰۲۱)، ریسک های موجود در فناوری بلاک چین (BT)، که امکان ثبت تراکنش‌ها در میان بسیاری از رایانه‌ها را به‌عنوان دفتر کل توزیع‌شده فراهم می‌کند، مورد ارزیابی قرار گرفته است. شناسایی و تجزیه و تحلیل این ریسک‌ها به منظور به حداقل‌رساندن اثرات نامطلوب آنها در طول فرآیند اجرا برای شرکت‌ها بسیار حیاتی است. در ارزیابی عوامل ریسک برای BT، عدم

---

[۱] Samantra
[۲] Abd El-Karim
[۳] Sohag & Yiannis
[۴] Rezaeian & Iranian
[۵] Mokhtari & Hasanzadeh
[۶] Wei
[۷] Rao & Chen
[۸] Karaşan

قطعیت در ارزیابی‌ها در نظر گرفته شده است و برای محاسبات انجام‌شده از نظریه مجموعه فازی استفاده شده است. به طور کلی، این تحقیق، تلفیقی از روش ارزیابی DEMATEL و نظریه مجموعه فازی است که در آن. ارزیابی‌ها با اعداد Z فازی انجام می‌شوند. همچنین، در این ارزیابی، نه تنها عدم دقت ارزیابی‌ها در نظر گرفته می‌شوند، بلکه عدم قطعیت و تردید کارشناسان را برای ارزیابی عوامل خطر با توجه به اجرای BT در نظر می‌گیرد. در حالی که وابستگی عوامل ریسک از طریق روش Z-DEMATEL فازی تعیین شده است، در نهایت، این نتیجه‌گیری ارائه شده است که ، سازمان‌ها می‌توانند برای تصمیمات استراتژیک خود به استناد روش پیشنهادی عمل نمایند [۱۷].

مدل ارائه شده هنس[1] و همکاران (۲۰۲۲)، این‌گونه پیاده سازی شد که ارزیابان پس از تکمیل ماتریس ارزیابی ریسک و بررسی اقدامات امکان‌پذیر کاهش ریسک، می‌بایست تصمیم‌گیری برای انتخاب منا سب‌ترین اقدام ا صلاحی انجام شود. همچنین، معیارهای موردنظر عبارتند از: ماهیت ریسک، اهمیت ریسک، میزان خطر، در دسترس بودن اقدامات، هزینه های نگهداری و تعمیرات، تأثیر بر پرسنل و آسیب پذیری محیط. در این تحقیق برای وزن‌دهی مع یار های تصمیم‌گیری از روش AHP استفاده شده است و به استناد نظریه میزان مطلوبیت (MAUT) اقدامات اصلاحی بهینه، تعیین می‌شود [۱۸].

در این تحقیق، سعی شده است با مطالعه تحقیقات گذشته در زمینه موضوع تحقیق و با توجه به نواقص و کمبودهای مدل‌های ارائه‌شده، یک روش علمی و منطقی برای ارزیابی، اولویت‌بندی و تجزیه و تحلیل ریسک‌های موجود در طراحی محصولات، ارائه شود.

روش پیشنهادی تحقیق

شناسایی و ارزیابی دقیق و منطقی ریسک‌های موجود در طراحی محصولات، یکی از مسایل ضروری و حیاتی امروز هر سازمان است. این مسأله، به این دلیل مهم و ضروری است که نتایج نهائی ارزیابی مربوطه، موجب اولویت‌بندی پروژه‌های بهبود و اقدامات اصلاحی تعریف‌شده در هر سازمان می‌شود. بنابراین، قوت و ضعف این ارزیابی، به‌طور مستقیم در بهره‌وری و سوددهی تولید تأثیر می‌گذارد.

به طور کلی، فرایند انجام این تحقیق، در شکل (۱) نشان داده شده است.

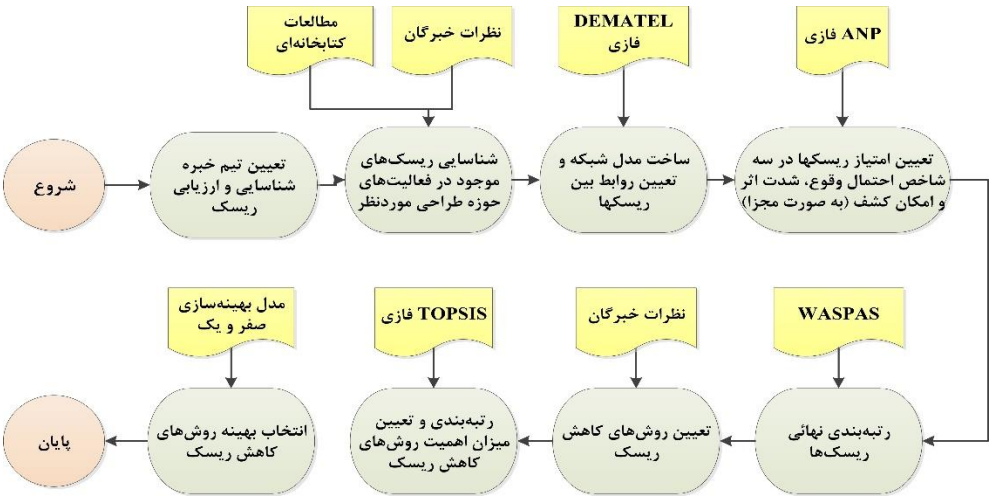
در ادامه به توضیح مختصری از مراحل اصلی انجام تحقیق پیشنهادی، پرداخته می‌شود:

- تعیین تیم خبره ارزیابی ریسک

با توجه به روش پیشنهادی این تحقیق، ابتدا، می‌بایست نفرات تیم خبره ارزیابی ایمنی و ریسک، تعیین شوند که اعضاء منتخب می‌بایست در زمینه موضوع تحقیق دارای سوابق و تجربیات کاری و تخصص کافی باشند. خبرگان که معمولاً به تعداد ۳ یا ۵ نفر هستند، از افراد مجرب و دارای سابقه مفید در زمینه ریسک می‌باشند که دارای مهارت و تخصص موردنیاز بوده و دوره‌های آموزشی موردنیاز را به نحو مطلوبی گذرانده‌اند. در این تحقیق با استفاده ترکیبی از روش‌های مصاحبه و پرسشنامه توسط متخصصان در حوزه ریسک، تمامی ریسک‌های شناسایی‌شده توسط خبرگان موردنظر، تعیین و مشخص می‌شوند.

- شناسایی ریسک‌ها

در مرحله بعد، می‌بایست، شناسایی ریسک‌های مرتبط با طراحی محصول موردنظر انجام شود. در این تحقیق، برای شناسایی ریسک‌های موجود در فرایند طراحی محصولات، از مطالعات کتابخانه‌ای و مرور حوادث



شکل ۱: فرایند انجام تحقیق

[1] Hans

پیشین و همچنین، بهره‌گیری از نظرات خبرگان مربوطه در حوزه موضوع تحقیق استفاده می‌شود. به هنگام شناسایی ریسک‌ها بایستی از تمام منابع عملی استفاده شود و بایستی اثر ریسک‌ها بر تمام اهداف پروژه، مدّ نظر قرار گیرد. این اهداف معمولاً شامل هزینه، زمان و کیفیت می‌باشند. همچنین ممکن است شامل اهداف دیگری شوند که مربوط به مطابقت با قانون و مقررات، امنیت، قابلیت اعتماد، تعهد، ایمنی، بهداشت و محیط زیست می‌باشد. بنابراین، مرحله شناسایی ریسک یکی از اساسی‌ترین و بحرانی‌ترین مراحل فرآیند مدیریت ریسک است زیرا اگر ریسک، به طور صحیح شناسایی نشده باشد نمی‌توان به طور فعال مدیریت و کنترل ریسک را انجام داد.

- تعیین وابستگی‌ها و تأثیرات متقابل ریسک‌ها

پس از شناسایی ریسک‌ها، می‌بایست، ساختاردهی مدل شبکه و تنظیم وابستگی‌ها و تأثیرات متقابل ریسک‌ها انجام شود و میزان رابطه بین ریسک‌های شناسایی‌شده، تعیین شوند. در این تحقیق برای انجام این‌کار، استناد به اصول روش DEMATEL فازی، پیشنهاد شده است که در آن، ماتریس فازی شدت نسبی موجود از روابط مستقیم و غیر مستقیم، تعیین می‌شود. ذکر این نکته لازم است که برای انجام مقایسات زوجی بین ریسک‌های موردنظر، پرسش‌نامه‌های مربوطه، بین خبرگان توزیع می‌شود. پس از دریافت پرسش‌نامه‌های مذکور و جمع‌آوری آنها، متغیرهای کلامی ارزیابی، به کمیّت‌های فازی مربوطه تبدیل می‌شوند و می‌بایست با توجه به اصول تصمیم‌گیری گروهی و میزان اهمیت نظرات هر کدام از خبرگان، میانگین حسابی ماتریس‌ها را محاسبه نمود. در نهایت، نمودار علّی برای تمامی ریسک‌های موردنظر، ترسیم می‌شود.

برای ساختاردهی مدل شبکه و تنظیم وابستگی‌ها و تأثیرات متقابل گزینه‌ها به روش DEMATEL فازی، گام‌های ذیل انجام می‌شود:

گام اول: محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم با مقایسه زوجی گروهی: در این مرحله، به استناد نظرات خبرگان، مقایسه زوجی بین تمامی گزینه‌های موردنظر، برای تعیین میزان وابستگی بین آنها انجام می‌شود. برای این کار از مقیاس‌های زبانی مورد استفاده در این روش و مقادیر متناظر با آنها، که نمونه آن، در جدول (۱) آمده است، استفاده می‌شود.

با در نظر گرفتن تعداد گزینه‌های موردنظر (n)، ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌های مذکور، به صورت جدول (۲)، می‌باشد. که در آن، R_i، نشان‌دهنده گزینه iام و P_{ij} نشان‌دهنده گزینه R_i از گزینه R_j می‌باشد.

جدول ۱: متغیرهای کلامی مورداستفاده برای مقایسات زوجی گزینه‌ها

متغیر کلامی	بدون تأثیر	تأثیر بسیار کم	تأثیر کم	تأثیر زیاد	تأثیر بسیار زیاد
نماد	No	VL	L	H	VH
کمّیت	(۰،۰،۰)	(۱،۲،۳)	(۳،۴،۵)	(۶،۷،۸)	(۸،۹،۹)

جدول ۲: ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها از منظر تأثیرگذاری

نماد گزینه	R_1	R_2	.	R_i	.	R_n
R_1	(۰،۰،۰)					
R_2		(۰،۰،۰)				
.			(۰،۰،۰)		P_{ij}	
R_i				(۰،۰،۰)		
.					(۰،۰،۰)	
R_n						(۰،۰،۰)

گام دوم – نرمال‌سازی ماتریس ارتباط مستقیم: در این مرحله، جمع سطری درایه‌های ماتریس ارتباط مستقیم، محاسبه شده و معکوس بیشترین آنها (در عنصر u_{ij})، در درایه‌های ماتریس مذکور، ضرب می‌شود. با این کار شدت نسبی حاکم بر روابط مستقیم تعیین می‌شود (روابط (۱)، (۲) و (۳)).

$$\tilde{a}_{ij} = \sum_{j=1}^{n} \tilde{P}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^{n} l_{ij} , \sum_{j=1}^{n} m_{ij} , \sum_{j=1}^{n} u_{ij} \right) \qquad (۱)$$

$$u = \max_{1 \le i \le n} \left(\sum_{j=1}^{n} u_{ij} \right) \qquad (۲)$$

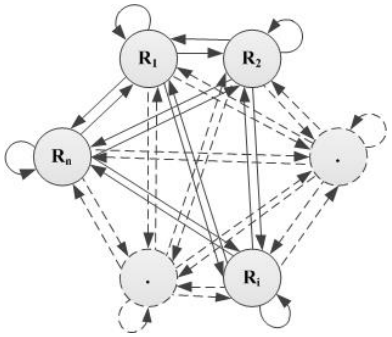
$$\tilde{X}_{ij} = \frac{\tilde{P}_{ij}}{u} = \left(\frac{l_{ij}}{u}, \frac{m_{ij}}{u}, \frac{u_{ij}}{u} \right) \qquad (۳)$$

گام سوم – محاسبه ماتریس فازی روابط کل: در این گام، ماتریس فازی شدت نسبی موجود از روابط مستقیم و غیر مستقیم با توجه به رابطه (۴)، تشکیل می شود.

$$\tilde{S} = \left(\bar{l}_{ij}, \bar{m}_{ij}, \bar{u}_{ij} \right) = \tilde{X}(\tilde{I} - \tilde{X})^{-1} \qquad (۴)$$

گام چهارم – رسم نمودار علّی: در این گام، تمامی درایه‌های ماتریس فازی روابط کل که از مرحله قبل، محاسبه شده است، به اعداد قطعی تبدیل می‌شوند. سپس، یک آستانه برای تعیین وجود روابط بین گزینه‌ها، به استناد نظرات خبرگان، تعیین می‌شود. مقدار این آستانه، معمولاً برابر با میانگین اعداد موجود در ماتریس قطعی روابط کل است. بنابراین، تمامی روابطی که مقدار آنها بیشتر از عدد آستانه باشد، در نمودار علّی در نظر گرفته می‌شوند و تمامی روابطی که مقدار آنها کمتر از عدد آستانه باشد، در نمودار علّی در نظر گرفته نمی‌شوند.

در شکل (۲) یک نمونه، نمودار علّی برای n گزینه، نشان داده شده است.



شکل ۲: ساختار شماتیک نمودار علّی

- تعیین امتیاز ریسک‌ها در شاخص‌های سه‌گانه و تشکیل ماتریس تصمیم

در این مرحله، به استناد روش ANP فازی، با توجه به وجود ارتباطات بین ریسک‌ها که با روش DEMATEL، تعیین شده‌اند، می‌بایست، امتیاز هرکدام از ریسک‌ها در شاخص‌های «شدت اثر»، و «احتمال وقوع» و «امکان کشف»، تعیین شوند. بدین منظور، پرسش‌نامه‌های مربوطه، بین خبرگان تحقیق، توزیع می‌شود. خروجی نهائی استفاده از این روش، تشکیل ماتریس تصمیم می‌باشد که در آن، امتیاز ریسک‌ها در هر یک از شاخص‌ها با استفاده از روش ANP فازی مشخص شده است.

در روش ANP فازی، از متغیرهای کلامی برای ارزیابی‌های موردنیاز، استفاده می‌شود. مراحل تعیین وزن گزینه‌ها، به روش ANP فازی به شرح ذیل می‌باشد:

گام ۱- محاسبه وزن نرمال‌شده گزینه‌ها: در ابتدا، می‌بایست، مقایسات زوجی بین گزینه‌ها از منظر میزان اهمیت نسبی، با متغیرهای کلامی انجام شود. گزینه‌ها که n گزینه می‌باشند، در جدولی مشابه جدول (۳) مورد ارزیابی زوجی قرار می‌گیرند.

جدول ۳: مقایسات زوجی میزان اهمیت گزینه‌ها

	R_1	.	R_j	.	R_n
R_1	(1,1,1)	.	$\tilde{M}_{1j}$	.	$\tilde{M}_{1n}$
.	.	(1,1,1)	.	.	.
R_i	$\tilde{M}_{i1}$	.	$\tilde{M}_{ij}$	.	$\tilde{M}_{in}$
.	.	.	.	(1,1,1)	.
R_n	$\tilde{M}_{n1}$	.	$\tilde{M}_{nj}$	.	(1,1,1)

که در آن، $\tilde{M}_{ij}$، نشان‌دهنده میزان ارجحیت گزینه iام نسبت به گزینه jام بوده که با کمیت فازی مثلثی، بیان می‌شود.

پس از تعیین ماتریس نهایی مقایسات زوجی گزینه‌ها که عناصر آن را اعداد فازی تشکیل می‌دهند، برای هر سطر ماتریس مقدار S_k محاسبه می‌شود. مقدار این متغیر از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$\tilde{S}_k = \sum_{j=1}^{n} \tilde{M}_{kj} * [\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \tilde{M}_{ij}]^{-1}, \quad k=1,\ldots, n. \qquad (۵)$$

پس از محاسبه $\tilde{S}_k$ها، وزن اولیه گزینه‌ها (w'_{Ak})، با فازی‌زدایی آنها محاسبه شده و در نهایت، وزن نرمال‌شده گزینه‌ها (W_{Ak}) در ماتریس مقایسه زوجی، بر اساس رابطه (۶)، محاسبه می‌شود.

$$W_{Ak} = \frac{w'_{Ak}}{\sum_{k=1}^{n} w'_{Ak}} , \quad k = 1,2, \ldots, n. \qquad (۶)$$

بنابراین، نتیجه نهائی این مرحله، تعیین ماتریس وزن نرمال‌شده گزینه‌ها ($W_{A(n*1)}$)، می‌باشد.

گام۲-محاسبه وزن وابستگی درونی گزینه‌ها: برای درک وابستگی‌های متقابل بین گزینه‌ها، مقایسه دودویی بین گزینه‌ها به منظور دست‌یابی به عناصر ماتریس وابستگی بین گزینه‌ها (W_B)، با استفاده از متغیرهای کلامی، انجام می‌شود. به استناد اقدامات بیان‌شده در گام ۱، ماتریس وابستگی بین گزینه‌ها ($W_{B(n*n)}$)، تعیین می‌شود.

گام۳- محاسبه سوپر ماتریس حد: برای محاسبه سوپر ماتریس حد، می‌بایست، سوپرماتریس به‌دست‌آمده از گام‌های قبل، که به صورت جدول (۴) می‌باشد، به حد رسانده شود.

جدول ۴: سوپرماتریس

	وزن نرمال‌شده گزینه‌ها	وزن وابستگی درونی گزینه‌ها					
		R_1	R_2	.	.	.	Rn
R_1	WA	WB					
R_2							
.							
.							
.							
Rn							

هدف از به حد رساندن سوپر ماتریس موزون، این است که تأثیر نسبی درازمدت هریک از عناصر آن در یکدیگر، حاصل شود. بنابراین، سوپر ماتریس، به توان k که عدد بزرگی بوده و حداقل برابر با «تعداد ستون‌ها منهای یک» می‌باشد، رسانده می‌شود. در نهایت، وزن نهائی هرکدام از گزینه‌های موردنظر، به استناد حد رساندن سوپر ماتریس، به‌دست می‌آید و نتیجه نهائی آن، مشخص‌شدن وزن نهائی گزینه‌ها می‌باشد.

- تعیین میزان اهمیت ریسک‌ها

پس از تعیین ماتریس تصمیم، به استناد روش WASPAS و در نظر گرفتن وزن شاخص‌های سه‌گانه (که با استفاده از روش AHP فازی، محاسبه شده‌اند) وزن و رتبه نهائی ریسک‌ها تعیین می‌شود. گام‌های اجرایی مدل WASPAS به شرح ذیل می‌باشد:

گام ۱- به دست‌آوردن و استانداردکردن ماتریس تصمیم: در این گام، پس از ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارهای موردنظر، ماتریس تصمیم‌گیری براساس روش بی‌مقیاس‌سازی نورم، استاندارد می‌شوند. در این روش برای معیارهای

مثبت از رابطه (۷) و برای معیارهای منفی از رابطه (۸) استفاده می‌شود که در آن، x_{ij} نشان‌دهنده میزان ارزیابی گزینه iام از منظر معیار jام است:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}} \quad , \quad j = 1,2,3. \tag{۷}$$

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{x_{ij}}}} \quad , \quad j = 1,2,3. \tag{۸}$$

گام ۲- محاسبه وزن معیارها: در این مرحله، به استناد یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره وزن هرکدام از معیارها، محاسبه می‌شود. ذکر این نکته لازم است که در این تحقیق، وزن شاخص‌ها («شدت اثر»، و «احتمال وقوع» و «امکان کشف») با استفاده از روش AHP فازی تعیین می‌شوند.

گام ۳- رتبه‌بندی نهائی گزینه‌ها: در این گام، به استناد رابطه (۹)، مقادیر Q_i برای هرکدام از گزینه‌ها (ریسک‌ها)، محاسبه می‌شود:

$$Q_i = \lambda \sum_{j=1}^{n} r_{ij} w_j + (1-\lambda) \prod_{j=1}^{n} (r_{ij})^{w_j} \tag{۹}$$

ذکر این نکته لازم است که تعیین مقدار λ به نظرات خبرگان مربوط می‌باشد و معمولاً مقدار ۰/۵ برای این پارامتر در نظر گرفته می‌شود. لیکن، به دلیل محاسبات پیچیده λ بهینه، می‌توان رتبه‌بندی گزینه‌ها را به صورت مقادیر پلکانی λ (از ۰ تا ۱) تعیین نموده و نتایج مربوطه را مورد بررسی و تحلیل قرار داد. در نهایت، ترتیب نزولی مقادیر Q_i نشان‌دهنده رتبه‌بندی نهائی گزینه‌ها می‌باشد.

- شناسایی و رتبه‌بندی روش‌های کاهش ریسک

پس از رتبه‌بندی نهائی ریسک‌ها (مطابق نتایج مراحل قبل)، می‌بایست اقدامات و فعالیت‌های مربوط به کاهش ریسک‌های ارزیابی‌شده، تعریف شوند. این کار، به استناد نظرات خبرگان طراحی و همچنین، منابع علمی معتبر، انجام می‌شود. سپس، با استفاده از روش TOPSIS فازی و در نظر گرفتن وزن ریسک‌های مهم (به عنوان شاخص ارزیابی) رتبه‌بندی فعالیت‌های کاهش (حذف) ریسک، انجام می‌شود. این کار با تدوین پرسش‌نامه‌های مربوطه که در آنها ماتریس ارزیابی فعالیت‌های مذکور، وجود دارد، انجام می‌شود. نتایج نهائی این مرحله، تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی روش‌های تعریف‌شده برای کاهش ریسک‌های موجود در طراحی محصولات می‌باشد. در نهایت، میزان نزدیکی نسبی اقدامات اصلاحی (روش‌های کاهش ریسک) به راه‌حل ایده‌آل و نرمال‌سازی اعدا د مربوطه (L_i)، تعیین می‌شود و اقدام اصلاحی که مقدار مذکور برای آن، بزرگتر باشد بهتر بوده و در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد.

- انتخاب بهینه فعالیت‌های کاهش یا حذف ریسک

پس در مرحله (فاز) نهائی تحقیق، انتخاب بهینه فعالیت‌های کاهش ریسک‌ها، انجام می‌شود. برای این‌کار، یک مدل بهینه‌سازی صفر و یک، تدوین می‌شود که تابع مطلوبیت آن، بیشینه‌سازی انجام فعالیت‌های کاهش ریسک، می‌باشد. لیکن، محدودیت‌های موردنظر در مدل مربوطه، شامل هزینه و زمان انجام فعالیت‌های مذکور می‌باشد. بنابراین، در مدل‌سازی ریاضی انتخاب بهینه اقدامات اصلاحی کاهش (حذف) ریسک‌ها می‌بایست موارد ذیل را در نظر گرفت:

- ✓ هزینه اجرای اقدام اصلاحی به عنوان یکی از عوامل انتخاب هر اقدام تعریف شده است و معمولاً مدیران سازمان‌ها، مقدار محدودی از منابع مالی برای انتخاب اقدامات اصلاحی در اختیار دارند. کارشناسان بعد از مشخص‌کردن اقدام اصلاحی باید هزینه تقریبی اجرای آن را نیز تخمین بزنند. ویژگی هزینه می‌تواند در انتخاب یا عدم انتخاب یک اقدام اصلاحی تأثیرگذار باشد.
- ✓ زمان اجرای اقدام اصلاحی نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل انتخاب هر اقدام تعریف می‌شود و با توجه به زمان‌بندی تعریف‌شده برای پایان فاز طراحی هر محصول و حداکثر نفر- ساعت نیروی انسانی موجود در سازمان موردنظر، کارشناسان بعد از مشخص‌کردن اقدام اصلاحی باید نفر-ساعت تقریبی اجرای آن را نیز تخمین بزنند. بنابراین، ویژگی زمان نیز می‌تواند در انتخاب یا عدم انتخاب یک اقدام اصلاحی تأثیرگذار باشد.

با توجه به مطالب ارائه‌شده در روش پیشنهادی، مدل برنامه‌ریزی خطی انتخاب بهینه اقدامات اصلاحی کاهش (حذف) ریسک‌ها، به صورت روابط (۱۰) تا (۱۲) می‌باشد:

$$\text{Max: } \sum_{i=1}^{m} L_i X_i \quad . \tag{۱۰}$$

s.t. :

$$\sum_{i=1}^{m} C_i X_i \leq TC \, . \tag{۱۱}$$

$$\sum_{i=1}^{m} T_i X_i \leq TT \, . \tag{۱۲}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}$$

در مدل برنامه‌ریزی صفر و یک مذکور، X_i، متغیر تصمیم در مورد اجرا (۱) و یا عدم اجرای (۰) اقدام اصلاحی iام می‌باشد.

تابع هدف مدل ریاضی حداکثرسازی میزان کاهش ریسک کل سیستم می‌باشد. در این تابع هدف، L_i، میزان اهمیت اقدام اصلاحی iام، می‌باشد که در مرحله قبل، محاسبه شده است. محدودیت اول نشان می‌دهد که میزان هزینه اجرای اقدام اصلاحی iام (C_i)، باید کم‌تر از حداکثر هزینه‌ای (TC) باشد که مدیریت سازمان برای اجرای اقدامات اصلاحی در نظر گرفته است.

محدودیت دوم نشان می‌دهد که میزان نفر-ساعت موردنیاز اجرای اقدام اصلاحی iام (T_i)، باید کم‌تر از حداکثر نفر- ساعتی (TT) باشد که مدیریت سازمان برای اجرای اقدامات اصلاحی در نظر گرفته است.

در نهایت، پس از اجرای مدل برنامه‌ریزی مذکور، در نرم‌افزارهای کاربردی مربوطه (مانند Lingo)، اقدامات اصلاحی بهینه، معرفی می‌شوند که

می‌بایست، پس از اجرای اقدامات مربوطه، سطوح ریسک موردنظر را به نحو مطلوب، کاهش داد.

مطالعه موردی

در این بخش، برای نشان‌دادن چگونگی استفاده از مدل پیشنهادی تحقیق و تجزیه و تحلیل نتایج مربوطه، یک نمونه کاربردی ارائه می‌شود. مطالعه موردی این تحقیق، ارزیابی و مدیریت ریسک‌های موجود در طراحی با در نظر گرفتن وابستگی‌ها و تأثیرات متقابل ریسک‌ها و شرایط عدم اطمینان، در طراحی «موتورهای توربینی» می‌باشد.

با توجه به روش پیشنهادی، در این تحقیق به استناد نظرات گروه (سه نفره) خبرگان، تمامی ریسک‌های اصلی شناسایی شده، تعیین و مشخص می شوند که نتایج مربوطه، در جدول (۵)، نشان داده شده‌اند.

با توجه به روش پیشنهادی، برای ساختاردهی مدل شبکه و تنظیم وابستگی ها و تأثیرات متقابل ریسک ها به روش DEMATEL فازی، ابتدا ماتریس مقایسات زوجی ریسک‌های مذکور، به استناد پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده خبرگان، تعیین می‌شوند. سپس، متغیرهای کلامی ارزیابی، به کمیّت‌های فازی مربوطه تبدیل می‌شوند و می‌بایست با توجه به اصول تصمیم‌گیری گروهی و میزان اهمیت نظرات هر کدام از خبرگان، میانگین حسابی ماتریس‌ها را محاسبه نمود. با توجه به این‌که میزان اهمیت نظرات خبرگان، به ترتیب، برابر با ۰/۴ ، ۰/۳۵ و ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است، بنابراین، ماتریس نهائی ارزیابی تأثیرگذاری ریسک‌ها (میانگین حسابی)، مطابق جدول (۶) می‌باشد.

جدول ۵: شناسایی ریسک‌های طراحی موتورهای توربینی

ردیف	عنوان ریسک	نماد ریسک
۱	طراحی نادرست پره توربین	R_1
۲	عملکرد نامطلوب دیسک توربین	R_2
۳	طراحی نامطلوب محفظه احتراق	R_3
۴	اشکال در استاتور	R_4
۵	عملکرد نامناسب خنک‌کننده	R_5
۶	تأمین قطعات و مواد اولیه	R_6
۷	کمبود نیروی انسانی متخصص	R_7
۸	نوسان نرخ ارز	R_8

مطابق روش پیشنهادی تحقیق، جدول (۷)، ماتریس نهائی روابط کل را نشان می‌دهد.

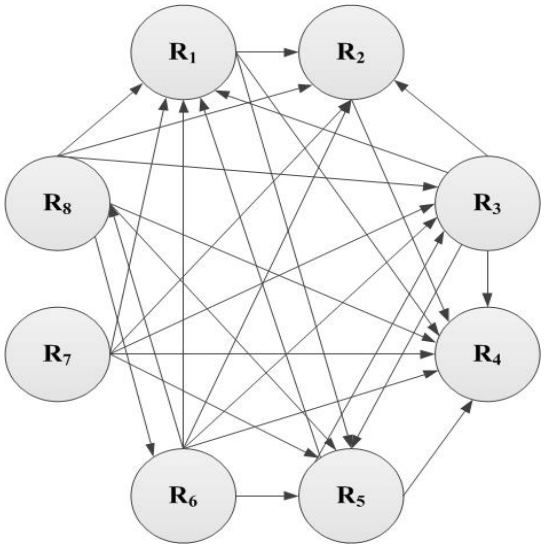
جدول ۷: تعیین ماتریس نهائی روابط کل

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
R_1	0	0.137	0	0.118	0.16	0	0	0
R_2	0	0	0	0.134	0	0	0	0
R_3	0.138	0.127	0	0.155	0.184	0	0	0
R_4	0	0	0	0	0	0	0	0
R_5	0.175	0	0.162	0.135	0	0	0	0
R_6	0.144	0.165	0.236	0.223	0.251	0	0	0.198
R_7	0.265	0.193	0.285	0.225	0.323	0	0	0
R_8	0.108	0.14	0.175	0.249	0.235	0.245	0	0

در نهایت، به استناد جدول (۷) نمودار علّی ریسک‌ها، برای مطالعه موردی، مطابق شکل (۳) می‌باشد.

جدول ۶: ماتریس نهائی ارزیابی میزان تأثیرگذاری ریسک‌ها

	R_1			R_2			R_3			R_4			R_5			R_6			R_7			R_8		
R_1	0	0	0	3.05	4.05	5.05	1.5	2.5	3.5	1.7	2.7	3.7	3.55	4.55	5.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_2	1.5	2.5	3.5	0	0	0	0.35	0.7	1.05	2.95	3.95	4.95	1.7	2.7	3.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_3	2.3	3.3	4.3	2.5	3.5	4.5	0	0	0	2.95	3.95	4.95	4.2	5.2	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_4	1.7	2.7	3.7	2.2	3.2	4.2	0	0	0	0	0	0	1.5	2.5	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_5	4.05	5.05	6.05	0	0	0	4.25	5.25	6.25	2.5	3.5	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_6	1	2	3	2.2	3.2	4.2	4.95	5.95	6.95	3	4	5	4.05	5.05	6.05	0	0	0	0	0	0	6	7	8
R_7	4.95	5.95	6.95	3	4	5	6.8	7.8	8.4	3	4	5	6.7	7.7	8.35	0	0	0	0	0	0	1.7	2.7	3.7
R_8	0	0	0	1	2	3	1.5	2.5	3.5	4.05	5.05	6.05	3	4	5	8	9	9	2.2	3.2	4.2	0	0	0



شکل ۳: نمودار علّی ریسک‌های مطالعه موردی

پس از تعیین ساختار علّی ریسک‌های موجود در مطالعه موردی، می‌بایست، با استفاده از روش ANP فازی، امتیاز هرکدام از ریسک‌ها در شاخص‌های «شدت اثر»، و «احتمال وقوع» و «امکان کشف»، تعیین شوند. برای این کار، ماتریس سوپر حد در شاخص‌های سه‌گانه مذکور، به شرح جداول (۸) تا (۱۰) می‌باشد.

جدول ۸: سوپر ماتریس مطالعه موردی از منظر احتمال وقوع

هدف	هدف	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
هدف	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R1	0.103	0	0	0.360	0.125	0.312	0.360	0.234	0.156
R2	0.096	0.281	0	0.398	0.125	0	0.079	0.156	0.169
R3	0.121	0	0	0	0.125	0.620	0.470	0.422	0.353
R4	0.036	0.066	1	0.046	0.125	0.068	0.000	0.047	0.026
R5	0.157	0.653	0	0.196	0.125	0	0.052	0.141	0.168
R6	0.183	0	0	0	0.125	0	0	0	0.127
R7	0.211	0	0	0	0.125	0	0	0	0
R8	0.094	0	0	0	0.125	0	0.039	0	0

جدول ۹: سوپر ماتریس مطالعه موردی از منظر شدت اثر

هدف	هدف	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
هدف	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R1	0.042	0	0	0.355	0.125	0.400	0.121	0.156	0.140
R2	0.026	0.517	0	0.060	0.125	0	0.053	0.046	0.032
R3	0.143	0	0	0	0.125	0.511	0.407	0.474	0.391
R4	0.070	0.113	1	0.253	0.125	0.089	0.100	0.147	0.082
R5	0.083	0.369	0	0.332	0.125	0	0.160	0.178	0.129
R6	0.213	0	0	0	0.125	0	0	0	0.225
R7	0.325	0	0	0	0.125	0	0	0	0
R8	0.096	0	0	0	0.125	0	0.158	0	0

جدول ۱۰: سوپر ماتریس مطالعه موردی از منظر امکان کشف

هدف	هدف	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
هدف	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R1	0.114	0	0	0.191	0.125	0.048	0.054	0.036	0.073
R2	0.059	0.130	0	0.267	0.125	0	0.263	0.234	0.147
R3	0.063	0	0	0	0.125	0.322	0.090	0.139	0.119
R4	0.060	0.040	1	0.216	0.125	0.630	0.267	0.258	0.106
R5	0.190	0.830	0	0.326	0.125	0	0.156	0.333	0.206
R6	0.200	0	0	0	0.125	0	0	0	0.350
R7	0.202	0	0	0	0.125	0	0	0	0
R8	0.112	0	0	0	0.125	0	0.169	0	0

مطابق روش پیشنهادی تحقیق، خروجی نهائی استفاده از روش ANP فازی، تشکیل ماتریس تصمیم می‌باشد که در آن، امتیاز ریسک‌ها در هر یک از شاخص‌ها می‌باشد. این ماتریس، با توجه به حد رساندن نتایج موجود در جداول (۸) تا (۱۰) مطابق جدول (۱۱) می‌باشد.

جدول ۱۱: ماتریس تصمیم ریسک‌ها در مطالعه موردی

	S	O	D
R1	0.171	0.171	0.083
R2	0.135	0.158	0.119
R3	0.163	0.178	0.119
R4	0.254	0.220	0.339
R5	0.166	0.185	0.184
R6	0.040	0.031	0.061
R7	0.032	0.027	0.042
R8	0.038	0.029	0.053

مطابق روش پیشنهادی تحقیق، پس از تعیین ماتریس تصمیم، به استناد روش WASPAS، وزن و رتبه نهائی ریسک‌ها تعیین می‌شوند. برای این کار، ماتریس استاندارد تصمیم، با توجه به معیارهای مثبت (شدت و احتمال وقوع) و معیار منفی (امکان کشف) مطابق جدول (۱۲) تعیین می‌شود.

جدول ۱۲: ماتریس استانداردشده ریسک‌های شناسایی‌شده

	S	O	D
R1	0.415	0.414	0.311
R2	0.327	0.382	0.217
R3	0.395	0.431	0.215
R4	0.615	0.531	0.076
R5	0.402	0.447	0.139
R6	0.098	0.075	0.423
R7	0.077	0.066	0.607
R8	0.092	0.069	0.488

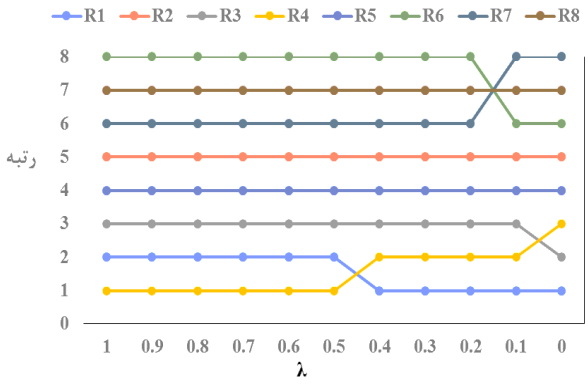
در مرحله بعد، با توجه به وزن شاخص‌های سه‌گانه، میزان اهمیت ریسک‌ها مطابق جدول (۱۳) تعیین می‌شود. ذکر این نکته لازم است که مقدار λ به نظرات خبرگان، برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۳: میزان اهمیت ریسک‌های شناسایی‌شده

	P_{1i}	P_{2i}	Q_i	W_i	rank
R_1	0.388	0.385	0.386	0.171	2
R_2	0.316	0.308	0.312	0.138	5
R_3	0.360	0.347	0.353	0.156	3
R_4	0.450	0.342	0.396	0.175	1
R_5	0.348	0.316	0.332	0.147	4
R_6	0.175	0.132	0.153	0.068	8
R_7	0.211	0.125	0.168	0.074	6
R_8	0.188	0.130	0.159	0.070	7

جدول (۱۳) نشان می‌دهد که ریسک‌های چهارم (اشکال در استاتور)، اول (طراحی نادرست پره توربین)، و سوم (طراحی نامطلوب محفظه احتراق) به ترتیب، رتبه‌های اول تا سوم مهم‌ترین ریسک‌های موردنظر از منظر معیارهای سه‌گانه، می‌باشند.

مطابق روش پیشنهادی، می‌توان رتبه‌بندی ریسک‌ها را به صورت مقادیر پلکانی λ (از ۰ تا ۱) تعیین نموده و نتایج مربوطه را مورد بررسی و تحلیل قرار داد. این کار در ادامه، انجام شده است که نتایج مربوطه، در نمودار موجود در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: تغییرات رتبه‌بندی ریسک‌ها با توجه به مقادیر λ

پس از رتبه‌بندی نهائی ریسک‌ها، اقدامات و فعالیت‌های مربوط به کاهش و یا حذف ریسک‌های موردنظر در مطالعه موردی، به استناد نظرات خبرگان طراحی و همچنین، منابع علمی معتبر، شناسایی می‌شوند که نتایج نهائی آن در جدول (۱۴) نشان داده شده است و می‌بایست، میزان اهمیت اقدامات اصلاحی مذکور، در کاهش و یا حذف ریسک‌های مرتبط، با استفاده از روش TOPSIS فازی و در نظر گرفتن سه شاخص مربوطه که ریسک‌های مهم (رتبه‌های اول تا سوم) می‌باشند، انجام شود.

جدول ۱۴: فعالیت‌های کاهش/حذف ریسک‌های مطالعه موردی

ردیف	عنوان اقدام اصلاحی	نماد
۱	انجام تست‌های گریز از مرکز	CA_1
۲	پیاده‌سازی پوشش‌های سد حرارتی (TBC)	CA_2
۳	پیاده‌سازی الگوریتم ترکیبی	CA_3
۴	تغییر الگوی پاشش سوخت	CA_4
۵	بهبود طراحی روش انتقال جرم و حرارت	CA_5
۶	بهبود کیفیت اتصالات و نقاط جوش به بدنه	CA_6
۷	استفاده از روش شبکه‌بندی هیدرولیکی	CA_7
۸	تغییر پیکربندی پوشش خارجی	CA_8
۹	انجام تست‌های تلفیقی دما- ارتعاش	CA_9

در نهایت، به استناد روش TOPSIS فازی، میزان نزدیکی نسبی اقدامات اصلاحی به راه‌حل ایده‌آل و رتبه‌بندی نهائی آنها به شرح جدول (۱۵) تعیین می‌شود.

جدول ۱۵: میزان نزدیکی نسبی و رتبه‌بندی اقدامات اصلاحی

	CL_i	L_i	رتبه
CA_1	0.197	0.117	4
CA_2	0.189	0.112	5
CA_3	0.180	0.107	6
CA_4	0.146	0.087	9
CA_5	0.230	0.137	1
CA_6	0.165	0.098	8
CA_7	0.199	0.118	3
CA_8	0.208	0.123	2
CA_9	0.171	0.102	7

در گام نهائی تحقیق، انتخاب بهینه روش‌های کاهش (حذف) ریسک‌ها، با درنظرگرفتن مدل بهینه‌سازی صفر و یک معرفی‌شده در فصل قبل، انجام می‌شود. اطلاعات ورودی موردنیاز در این قسمت، مقادیر C_{ij}، T_{ij}، TC و TT می‌باشد. میزان اهمیت اقدامات اصلاحی، نیز در مرحله قبل تحقیق، تعیین شده‌اند. در جدول (۱۶)، تمامی داده‌های ورودی مذکور، نشان داده شده است. همچنین، مقادیر حداکثر هزینه‌ای (TC) و حداکثر نفر- ساعتی (TT) به ترتیب برابر با ۲۰/۱ و ۱۹/۶ واحد در مقیاس موردنظر می‌باشد. ذکر این نکته لازم است که تمامی مقادیر مربوط به هزینه و نفر- ساعت در مقیاس‌های مربوطه، خلاصه (کوچک) شده است.

جدول ۱۶: داده‌های ورودی مدل بهینه‌سازی تحقیق

نماد	Li	Ci	Ti
CA_1	0.117	2	2.4
CA_2	0.112	2.5	1.4
CA_3	0.107	3	2.1
CA_4	0.087	1.5	2.9
CA_5	0.137	3	1
CA_6	0.098	2	2
CA_7	0.118	2.7	1.2
CA_8	0.123	1.9	1.8
CA_9	0.102	1.5	4.8

مدل برنامه‌ریزی خطی انتخاب بهینه اقدامات اصلاحی کاهش (حذف) ریسک‌ها، با توجه به روابط (۳-۱۷) تا (۳-۱۹)، به شرح ذیل می‌باشد:

$$Max=0.117X_1 + 0.112X_2 + 0.107X_3 + 0.087X_4 + 0.137X_5 + 0.098X_6 + 0.118X_7 + 0.123X_8 + 0.102X_9 .$$

s.t.

$$2X_1 + 2.5X_2 + 3X_3 + 1.5X_4 + 3X_5 + 2X_6 + 2.7X7 + 1.9X_8 + 1.5X_9 \leq 10 .$$

$$2.4X_1 + 1.4X_2 + 2.1X_3 + 2.9X_4 + X_5 + 2X_6 + 1.2X_7 + 1.8X_8 + 4.8X_9 \leq 12 .$$

$$Xi= 0 \text{ or } 1 , i=1,...,9.$$

نتایج نهائی مدل برنامه‌ریزی مذکور، در جدول (۱۷) نشان داده شده است.

جدول ۱۷: نتایج نهائی مدل برنامه‌ریزی برای انتخاب فعالیت‌های کاهش (حذف) ریسک

نماد اقدام اصلاحی	Xij	مقدار بهینه
CA_1	X1	1
CA_2	X2	1
CA_3	X3	0
CA_4	X4	1
CA_5	X5	0
CA_6	X6	1
CA_7	X7	0
CA_8	X8	1
CA_9	X9	0

با توجه به نتایج مدل برنامه‌ریزی مذکور، فعالیت‌های CA_1، CA_2، CA_4، CA_6 و CA_8، برای پیاده‌سازی و اجرا، انتخاب شده و سایر اقدامات اصلاحی، انتخاب نمی‌شوند.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

امروزه، کاهش ریسک خرابی و استراتژی‌های آن، از جایگاه ویژه‌ای در صنایع برخوردار است. فرایند تصمیم‌سازی و قضاوت در مورد انتخاب استراتژی کاهش ریسک خرابی در پروژه‌های تحقیقاتی، اغلب گسسته، پیچیده و بدون ساختار است که نیازمند در نظر گرفتن مشخصه‌ها و عوامل بسیاری بوده که برخی از آنها نیز غیر قابل دسترس می‌باشند و برای موفقیت وادامه حیات سازمان‌ها، باید روش‌ها، اصلاح شده و در روند انجام امور بهبودی حاصل گردد.

در این تحقیق، سعی شد با ارائه یک روش گام به گام و استناد به روش‌های علمی جدید و کاربردی، یک مدل برای اولویت‌بندی ریسک‌ها با در نظر گرفتن وابستگی‌ها و تأثیرات متقابل آنها، ارائه شود. سپس با تعیین فعالیت‌های کاهش (حذف) ریسک‌ها، یک مدل بهینه‌سازی برای انتخاب فعالیت‌های کاهش ریسک (با در نظر گرفتن محدودیت‌های سازمان) ارائه گردد.

همچنین، نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش تحقیق در مطالعه موردی نشان داد از مجموع ۸ ریسک اساسی شناسایی‌شده، ۳ ریسک مهم، ۲ ریسک متوسط و ۳ ریسک قابل چشم‌پوشی وجود دارند. همچنین، با توجه به شناسایی ۹ اقدام اصلاحی برای کاهش ریسک‌های مهم، ۵ اقدام اصلاحی برای پیاده‌سازی و اجرا، انتخاب شدند.

به منظور انجام مطالعات بیشتر در زمینه موضوعات مختلف مرتبط با این تحقیق، می‌توان تحقیقات کاربردی ذیل را به مدیران و محققین، پیشنهاد نمود:

- ✓ در نظر گرفتن ضریب همبستگی بین معیارهای ارزیابی ریسک و تجزیه و تحلیل نتایج مربوطه؛
- ✓ ارائه مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای تعیین اقدامات اصلاحی ریسک با وجود اهداف متناقص؛
- ✓ ارائه مدلی برای ارزیابی، مدیریت و رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در فرایند تولید و ساخت محصولات در شرایط عدم قطعیت.

مراجع

[1] Beltrán-Martín, I., Bou-Llusar, J.C., "Examining the intermediate role of employee abilities, motivation and opportunities to participate in the relationship between HR bundles and employee performance," *BRQ Business Research Quarterly*, Vol. 21, pp. 99-110, 2018.

[2] Kolahdouzi, M., Halvani, GH., Nazaripour Abdehgah, E., Ghaljahi, M., Yazdani Aval, M., Abbasi, M., "Investigation of the effect of control measures on reduction of risk events in an edible oil factory in Tehran," *Iran. Arch Hyg Sci*, Vol. 6, pp. 250-258 (Persian), 2017.

[3] Bin, Y.D., Feng, W., "Overlapping membership between risk management committee and audit committee and bank risk-taking: Evidence from China," *International Review of Financial Analysis*, Vol. 86, pp.102-117, 2023
[4] Naiman, T., Hengxing, L., "The indispensable role of resilience in rational landslide risk management for social sustainability," *Geography and Sustainability*, Vol. 4, pp. 70-83, 2023.
[5] Alexander, C., Henrik, H., Henrik, T., "Tracking the implementation of a risk management process in a public sector organisation – A longitudinal study," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 81, pp.103-113, 2022.
[6] Jinsheng, J., Sha, W., Cuiying, Z., Zuping, C., Yang, W., "FOSM-based shear reliability analysis of CSGR dams using strength theory," *Computers and Geotechnics*, Vol. 97, pp. 52-56, 2018.
[7] Li, E.W., Hu, C.L., Mei, Y.Q., "Evaluating the risk of failure modes with a hybrid MCDM model under interval-valued intuitionistic fuzzy environments," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 102, pp.175-185, 2016.
[8] Tavana, M., Zareinejad, M., Di Caprio, D., Kaviani, MA., "An integrated intuitionistic fuzzy AHP and SWOT method for outsourcing reverse logistics," *Applied Soft Computing*, Vol. 40, pp.544-57, 2016.
[9] Jichuan, K., Liping, S., Chunlin, W., "Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA," *Ocean Engineering*, Vol. 129, pp. 382-388, 2017.
[10] Samantra. Ch., Datta. S., Mahapatra. SS., "Fuzzy based risk assessment module for metropolitan construction project: An empirical study," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 65, pp. 449-464, 2017
[11] Abd El-Karim. MS., "Identification and assessment of risk factors affecting construction projects," *HBRC Journal*. Vol. 13, pp.202-216, 2017.
[12] Sohag, K., Yiannis. P., "A review of applications of fuzzy sets to safety and reliability engineering," International *Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 100, pp. 29-55, 2018.
[13] Rezaeian, J., Iranian, M., "Risk assessment in road construction projects based on the PMBOK standard case study: (Cable bridge construction project the city of Sari)," *Passive Defense Quarterly*, Vol. 9, pp. 55-66 (In Persian), 2018.
[14] Mokhtari, Gh., & Hasanzadeh, Y., "An integrated multi-objective model for project portfolio selection and risk response actions planning," *Journal of Industrial Management Perspective*, Vol. 8, pp. 9-32 (In Persian), 2019.
[15] Wei, W., Mingqiang, L., Yongnian, Fua., Xiaoping, L., Hanghang, C., "Multi-objective optimization of reliability-redundancy allocation problem for multi-type production systems considering redundancy strategies," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 193, pp.73-83, 2020.
[16] Rao W., Chen J., "Risk Control System of Construction Engineering Based on Data Mining and Artificial Intelligence Technology. In: Huang C., Chan YW., Yen N. (eds) Data Processing Techniques and Applications for Cyber-Physical Systems (DPTA 2019) ," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1088. Springer, Singapore, 2020.
[17] Karaşan, A., Kaya, I., & Erdoğan, M., "A multicriteria decision making methodology based on two-dimensional uncertainty by hesitant Z-fuzzy linguistic terms with an application for blockchain risk evaluation," *Applied Soft Computing*, Vol. 113, pp. 105-115, 2021.
[18] Hans, J., William, J., & Stewart, W., "Selecting a method/tool for risk-based decision making in complex situations," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 74, pp. 104-117, 2022.