پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی
دوره 9، شماره 1، بهار 1398

تحلیل ریسک پروژه‌های EPC با روش ترکیبی FMEA-ANP

مریم دانشور*[1]، بهروز دری[2]، سمانه هاشمخانی[3]

1- استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و مالی، دانشگاه خاتم، تهران، ایران.
2- دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
3- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و مالی، دانشگاه خاتم، تهران، ایران.

دریافت: 1397/09/14 پذیرش: 1398/03/27

چکیده

یکی از انواع قراردادهایی که در اجرای پروژه‌ها مطرح است، روش مهندسی، تدارک و ساخت یا به اختصار EPC می‌باشد. در این شیوه اجراییِ طرح، با منتقل کردن تمامی فعالیت‌های طرح اعم از طراحی، تهیه و تأمین تجهیزات، اقدام‌های مربوط به ساخت و نصب و راه‌اندازی، کارفرما ریسک این عملیات را به پیمانکار منتقل می‌کند. در نتیجه شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در این پروژه‌ها برای پیمانکاران در راستای مدیریت صحیح این ریسک‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله با ترکیب تکنیک FMEA[1] با (ANP) که یکی از روش‌های پرکاربرد در حوزه تصمیم‌گیری چند شاخصه به منظور رتبه‌بندی است، ریسک‌های یک پروژه EPC شناسایی و اولویت‌بندی شده‌اند. روش FMEA-ANP با در نظر گرفتن روابط متقابل میان ریسک‌ها نمره اولویت ریسک را در مقایسه با روش FMEA به شیوه‌ای متفاوت ارزیابی می‌کند که در مقایسه با نمره FMEA از حساسیت و سازگاری بهتر و بالاتری برخوردار است.

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: m.daneshvar@khatam.ac.ir

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل حالت‌های شکست و آثار آن، روش مهندسی تدارک و ساخت EPC، ریسک، فرایند تحلیل شبکه.

1- مقدمه

نخستین و مهم‌ترین چالش‌های رو در روی انجام پروژه‌های انتخاب مناسب‌ترین روش اجرای پروژه می‌باشد. برای اجرای پروژه روش‌های گوناگونی وجود دارد که اجرای پروژه به روش EPC[1] در بعضی موارد راهکاری مناسب به نظر می‌رسد. شناخت کامل اهداف و عوامل مختلف پروژه از جمله عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های موجود، تعامل این اهداف با روش اجرای پروژه و درنهایت مدیریت آنها امری ضروری می‌باشد [1].

وجود عدم قطعیت‌ها، محیط پیرامون سازمان‌ها را تبدیل به محیطی پر از بحران کرده است. توجه به ماهیت نامطمئن پروژه‌ها و لزوم صرف بهینه منابع، اهمیت انکارناپذیر مدیریت ریسک پروژه را آشکار می‌سازد. شناسایی ریسک‌ها و اولویت‌بندی آنها، مهم‌ترین و شاید سخت‌ترین بخش از فرایند مدیریت ریسک می‌باشد، زیرا که اگر نتوان ریسک‌ها را به خوبی شناسایی و اولویت‌بندی کرد، گام‌های بعدی مدیریت ریسک بی‌اثر می‌شود و نمی‌توان پاسخ مناسبی به مخاطرات داد. در این راستا، شناسایی و ارزیابی سیستماتیک این خطرات بالقوه همچنین تأثیرات هریک از عوامل ذیربط با استفاده از تکنیک‌های کارامد می‌تواند کمک شایانی در حل مشکلات و جلوگیری از وقوع ریسک‌های احتمالی باشد.

تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن (FMEA[2]) از مهم‌ترین تکنیک‌های شناسایی و تجزیه و تحلیل خطرات است که می‌تواند ما را در بهبود مسائل و مشکلات یاری کند. این تکنیک که به‌طور اساسی تجزیه و تحلیل کیفی است، سیستم یا زیر سیستم‌ها را برای شناسایی نقص‌های احتمالی تمام اجزای آن بررسی کرده و تلاش می‌کند که آثار نقص‌های احتمالی را بر سایر بخش‌های سیستم ارزیابی کند. FMEA سنتی دارای نواقصی می‌باشد که

1. Engineering , Procurement, Construction
2. Failure mode and effects analysis

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

نیز در نظر گرفتن وزن یکسان برای پارامترهای ریسک می‌باشد. از آن جایی که در بررسی ریسک‌ها و اولویت‌بندی آنها با معیارهای چندگانه و روابط تعاملی میان آنها مواجه هستیم، در کنار تکنیک FMEA نیازمند روشی هستیم که علاوه بر توجه به معیارهای چندگانه، تعامل میان آنها را نیز در نظر بگیرد. فرایند تحلیل شبکه یا ANP[1] یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری (که این ویژگی‌ها را دارد) است. این روش با هدف انتخاب گزینه مناسب براساس معیارهای چندگانه با در نظر گرفتن روابط متقابل میان آنها طراحی شده است. هدف این پژوهش ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در یک پروژه EPC می‌باشد و از تکنیک تلفیقی ANP-FMEA برای شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است. به‌کارگیری تکنیک ANP در کنار تکنیک FMEA به ما امکان می‌دهد تا روابط متقابل میان اجزای پروژه EPC (مهندسی، تدارکات و اجرا) در راستای اولویت‌بندی ریسک‌های این اجزا در نظر گرفته شود. همچنین در این تکنیک به منظور پرهیز از اعمال وزن یکسان برای اجزای FMEA روشی برای تعیین اوزان این اجزا پیشنهاد شده است.

2- پیشینه پژوهش

تجزیه و تحلیل حالت‌های شکست و آثار ناشی از آن یک ابزار نظام یافته بر پایه کار گروهی است که در تعریف، شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، حذف یا کنترل حالت علل و آثار خطاهای بالقوه در یک سیستم، فرایند، طرح یا خدمت به کار گرفته می‌شود، پیش از آنکه محصول یا خدمت به دست مشتری برسد [2].

روش ANP شکل توسعه یافته‌ای از AHP است که می‌تواند همبستگی‌ها وبازخوردهای موجود بین عناصر مؤثر در یک تصمیم‌گیری را مدلسازی کرده و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثردر تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات کند، در بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها نمی‌توان عناصر تصمیم را به صورت سلسله مراتبی و مستقل از یکدیگر مدلسازی کرد. از این رو برای حل چنین موضوعی، عناصر مختلف را به یکدیگر وابسته می‌سازند و پیشنهاد می‌شود که از تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شود [3].

1. Analytical Network Process

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

امیدوار و نیرومد (1396) در پژوهشی با هدف وزن‌دهی به فاکتورهای ریسک در روش FMEA و حذف سایر محدودیت‌های این روش، از روش AHP و منطق فازی و تئوری خاکستری استفاده کردند. روش ارائه شده با اتکا به روش‌های AHP فازی، اعداد Z و GRP به‌ترتیب مشکل یکسان بودن وزن‌های مربوط به ریسک فاکتورها، عدم قطعیت موجود در داده‌ها (نظرات متخصصان) و اولویت‌بندی حالت‌های شکست را حذف کرده و نسبت به روش FMEA سنتی از توانایی بالاتری در اولویت‌بندی ریسک‌ها برخوردار می‌باشد [4]. ثابت مطلق و همکاران (1396) در مطالعه خود رویکرد جدیدی برای اولویت‌بندی حالت‌های شکست ارائه دادند. آنها بیان کردند که این رویکرد چگونه می‌تواند عدد اولویت ریسک را بهبود دهد. مطالعه موردی ارائه شده در این پژوهش محدودیت تکنیک سنتی تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست، یعنی برابری مقادیر عدد اولویت ریسک برای چند حالت شکست و در نتیجه عدم امکان اولویت‌بندی حالت‌های شکست را به وضوح نشان داد [5]. کاظمی و همکاران (1396) پژوهشی با هدف ارائه یک مدل ترکیبی از ANP فازی بازه‌ای و FMEA انجام دادند [6]. جعفری اسکندری و علی‌بیگی (1395) در پژوهشی به منظور تحلیل ریسک شرکت‌های دانش‌بنیان از ترکیب تکنیک RFMEA و فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP استفاده کردند. در این روش پارامترهای FMEA در قالب یک شبکه با هم مرتبط می‌شوند که این امر به تجمع مزایا و توانمندی‌ها در روش ANP-RFMEA نسبت به روش FMEA منجر می‌شود. روش ANP-RFMEA ارزش بیشتری در فرایند مدیریت ریسک دارد. عدم توجه به ارتباط متقابل عوامل ایجادکننده ریسک و لحاظ وزن یکسان برای پارامترهای FMEA می‌تواند تا حد زیادی از اثربخشی اقدام‌های اصلاحی بکاهد. این نقیصه با به‌کارگیری روش ANP برطرف می‌شود [7]. دری و همکاران (1389) برای تحلیل ریسک از رویکرد تلفیقی FMEA-ANP استفاده کردند. روش معرفی شده به‌وسیله این محققان ارتباطات متقابل عوامل ریسک‌زا را در نظر می‌گیرد و مفهوم ساده نمره اولویت ریسک (RPN) را گسترش می‌دهد که برای پارامترهای FMEA اهمیت‌های متفاوتی در قالب توان قائل شده است. این اهمیت‌ها (اوزان) با استفاده از روش ANP به دست می‌آیند [8].

لو و لیو (2018) در پژوهشی مدلی جدید پیشنهاد دادند که از تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری برای FMEA استفاده می‌کند. مزایای این روش عبارتند از لحاظ کردن پارامتر هزینه

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

مورد انتظار در محاسبات مربوط به اولویت‌بندی ریسک برای انعکاس محدودیت منابع، در نظرگرفتن وزن‌های متفاوت برای پارامترهای شدت، وقوع، تشخیص و هزینه بر مبنای روش بهترین- بدترین در محاسبات مربوط به RPN، استفاده از متغیرهای زبانی فاصله‌ای خاکستری برای در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها. مدلی پیشنهادی این محققان برای اولویت‌بندی ریسک در یک شرکت بین‌المللی تولید کننده قطعات و وسایل الکترونیک مورد استفاده قرار گرفته است و اعتبار مدل پیشنهادی مقاله بررسی و تأیید شده است [9]. ژانگ و همکاران (2018) در مطالعه‌ای با هدف بهبود روش FMEA سنتی، این روش را با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی ترکیب کردند. در آغاز از روش بهترین - بدترین فازی برای تعیین وزن فاکتورهای ریسک استفاده شد. سپس یک ساختار ادغامی بر مبنای مجاورت فازی و اوزان آنتروپی تقریبا فازی به منظور محاسبه اوزان فاکتورهای ریسک در روش FMEA توسعه داده شد. در نهایت از روش ویکور فازی برای اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده شد. به منظور بررسی کاربرد، اثربخشی و اعتبارسنجی، روش پیشنهادی در یک مطالعه موردی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحلیل حساسیت و تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دارای روایی است و اطلاعات مؤثر و ارزشمندی را برای تصمیم‌گیری‌های مدیریت ریسک فراهم می‌کند [10]. لیو و همکاران (2018)، در مقاله‌ای یک مدل FMEA ترکیبی جدید را بر مبنای تئوری مدل ابر و تاپسیس به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها معرفی کردند. در این روش نخست ارزیابی‌های زبانی افراد از حالت‌های شکست بر مبنای مدل ابر نرمال تبدیل می‌شوند. سپس افراد گروه FMEA وزن‌ها را براساس اطلاعات ذهنی محاسبه می‌کنند. درنهایت با استفاده از تاپسیس سلسله مراتبی ابری ریسک‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. روش FMEA جدیدی که در این مقاله معرفی شده است، مزایای تئوری ابری را با ارزیابی‌های فازی و تصادفی زبانی و شایستگی‌های تاپسیس سلسه مراتبی در حل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده ترکیب می‌کند و از کارایی بسیار خوبی برخوردار است [11]. کانگ و همکاران (2017) در پژوهشی با موضوع ارزیابی ریسک از راه یک روش اصلاحی FMEA به مطالعه ارتباط بین حالت‌های شکست و آثار آن بر احتمال شکست کل سیستم طراحی توربین بادی شناور پرداختند [12]. صفری و همکاران (2016) روش ویکور فازی بر مبنای FMEA را برای ارزیابی ریسک‌های سازمانی به منظور تسهیل در توسعه سازمان به کار گرفتند [13]. چانگ و

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

همکاران (2015) پژوهشی با هدف ارزیابی سطح ریسک با استفاده از ANP فازی برای فرهنگ‌های درون سازمانی و صنایع مختلف در اجرای یک سیستم ERP انجام دادند که در 4 بعد مدیریت و اجرا، سیستم نرم‌افزار، کاربران و برنامه‌ریزی تکنولوژی طبقه‌بندی می‌شود [14]. لیو و همکاران (2015) نیز در پژوهشی از ترکیبی روش‌های ویکور، دیمتل و AHP برای رتبه‌بندی ریسک‌های حالت‌های شکست شناسایی شده در تکنیک FMEA استفاده کردند [15]. وحدانی و همکاران (2015) نسخه جدیدی از FMEA را با ترکیب این روش با ساختار عقاید فازی و تاپسیس برای بهبود فرایند ارزیابی ریسک در FMEA سنتی ارائه دادند [16]. ایلانگ و همکاران (2014) برای محاسبه اوزان فاکتورهای ریسک از AHP فازی استفاده کردند و بر مبنای AHP FMEA فازی مدلی را برای ارزیابی نمره ریسک اجزای بحرانی در یک صنعت پیشنهاد دادند [17]. زموری و گابریلی (2011) با ترکیب فرایند تحلیل شبکه ANP و FMEA تعاملات میان علت‌های اصلی شکست در ارزیابی ریسک را در نظر گرفتند [18]. ابدلگاواد و فایک (2010) برای نشان دادن محدودیت‌های محاسبات سنتی RPN در FMEA سنتی از سیستم‌های خبره فازی و AHP فازی استفاده کردند[19]. ساچدوا و همکاران (2009) برای اولویت‌بندی حالت‌های شکست رویکرد جدیدی از FMEA ارائه دادند که فاکتورهای ریسک را برای وقوع شکست، عدم تشخیص، تعمیر و نگهداری، قطعات یدکی، امنیت اقتصادی و هزینه‌های اقصادی مورد بررسی قرار می‌دهد. آنها از مفهوم آنتروپی شانون برای محاسبه اوزان اهداف برای این شش فاکتور استفاده کردند [20]. چن (2007) پژوهشی با هدف ارزیابی ساختار سلسله مراتبی و وابستگی‌های متقابل اقدام‌های اصلاحی با روش مدلسازی ساختاری تفسیری انجام داد. وزن اقدام‌های اصلاحی به وسیله روش ANP محاسبه شده است. سپس با استفاده از اعداد اولویت‌بندی کارا (UPN) کارایی اقدام‌های اصلاحی و تصمیم‌گیری برای بهبود اولویت‌بندی FMEA ترکیب شده‌اند. در نهایت به منظور بررسی صحت، اثربخشی و امکان‌پذیری روش مورد نظر در یک مطالعه موردی از آن استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده کارایی روش مورد نظر در مقایسه با FMEA سنتی می‌باشد [21].

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

3- روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر از نظر هدف یک تحقیق کاربردی و از لحاظ گردآوری داده‌ها، اطلاعات و روش تجزیه و تحلیل یک تحقیق توصیفی- پیمایشی محسوب می‌شود. به منظور شناسایی ریسک‌های پروژه EPC در یکی از شرکت‌های پیمانکاری داخلی از کاربرگ استاندارد FMEA و پرسشنامه مقایسات زوجی استفاده شده است. در ادامه ریسک‌های شناسایی شده به دو روش رتبه‌بندی می‌شوند. نخست براساس روش تعیین شده در مدل FMEA (که همان استفاده از نمره اولویت ریسک (RPN) برای هر ریسک است) و سپس براساس روش تلفیقی ANP-FMEA که جزو روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) محسوب می‌شود. با توجه به اینکه در این تحقیق هدف رتبه‌بندی ریسک‌های یک پروژه EPC می‌باشد، کارشناسان شرکت پیمانکار (که شامل نیروهای مهندسی، تدارکات، اجرا و بهره‌برداری می‌باشند) به عنوان خبرگان فرم‌های FMEA و همچنین ماتریس‌های مقایسات زوجی را تکمیل کرده‌اند. گام‌های ده‌گانه روش ANP-FMEA عبارتند از [13]:

1- گردآوری اطلاعات فرایند/ محصول؛
2- شناسایی حالت‌های بالقوه شکست؛
3- تعیین آثار بالقوه شکست؛
4- تشخیص علت(های) هر شکست؛
5- تعیین درجه پارامترها برای هر حالت بالقوه شکست: با بهره‌گیری از مقیاس‌های استاندارد FMEA اعضای تیم تجربیات خود را با دامنه‌ای از درجات ممکن (از عدد 1 تا 10) پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی مطابقت داده و اعداد خاصی را به ازای هر حالت بالقوه شکست به پارامترها تخصیص می‌دهند؛
6- ساخت مدل: مدل ANP-FMEA در واقع شکل تجدید نظر شده‌ای از مدل رایج ANP با یک جهت‌گیری تکاملی به FMEA است. هدف این مدل، تعیین وزن و اولویت پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی به لحاظ سطح مخاطره‌آمیزی (ریسک‌زایی) آنهاست. مدل در سه سطح ترسیم می‌شود: سطح هدف، سطح معیارها

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

که خوشه‌های شکست[1] می‌باشند و سطح گزینه‌ها که سه پارامتر اصلی شدت، وقوع و شناسایی در این سطح جای می‌گیرند؛

7- تنظیم وابستگی‌های متقابل و انجام مقایسات زوجی میان خوشه‌ها یا عناصر؛

8- تشکیل سوپرماتریس و محاسبه وزن پارامترها: برای نرمال کردن عناصر بلوک پارامترها در سوپر ماتریس نهایی و تحصیل وزن‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود. (W_i: وزن نرمالیزه شده پارامتر i (α, β, γ) و a_i: وزن نرمال نشده پارامتر i و i: شدت، وقوع، شناسایی) $Wi = \frac{3 \times ai}{\Sigma ai}$؛

9- محاسبه RPN (نمره اولویت ریسک) برای هر عامل شناسایی شده؛ درجه شناسایی (D) × درجه وقوع (O) × درجه شدت (S) = (RPN)

در روش ANP-FMEA فرض وجود وزن‌های متفاوت برای هر یک از پارامترها در قالب رابطه زیر مد نظر قرار می‌گیرد:

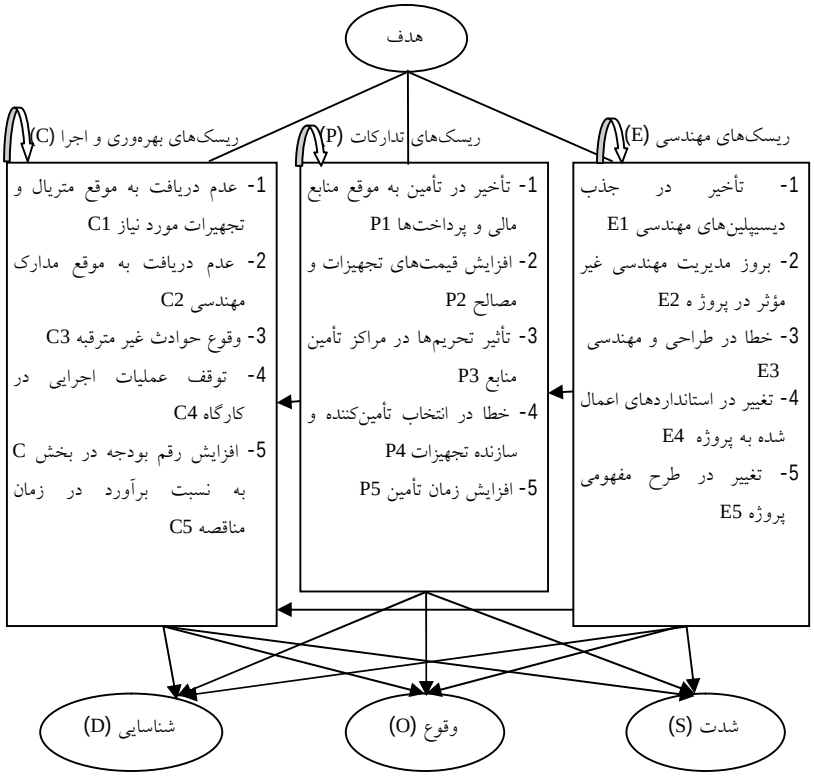
$$RPN = S^{\alpha} \times D^{\gamma} \times O^{\beta}$$

10- انجام اقدام‌های اصلاحی.

1. Failure clusters

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]



شکل 1. مدل مفهومی تحقیق

3-1- تعیین ریسک‌ها

ریسک‌های پروژه را در سه گروه اصلی شناسایی و بررسی می‌شوند. گروه اول ریسک‌های مهندسی[1]، گروه دوم ریسک‌های تدارکات[2] و گروه سوم ریسک‌های اجرا و ساخت[3] می‌باشد. به این ترتیب هریک از ریسک‌های شناسایی شده به عنوان یک گزینه مطرح خواهند بود و میزان تأثیر هریک از علل فنی و یا انسانی بر ریسک‌های شناسایی شده با یکدیگر مقایسه

1. Engineering
2. Procurement
3. Construction

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

شده‌اند. بنابراین هر یک از ریسک‌های شناسایی شده به‌وسیله کاربرگ FMEA به عنوان گزینه‌ها و سه شاخصی که FMEA به آنها اشاره کرده است (شدت (S)، احتمال وقوع (O) و احتمال کشف (D)) به عنوان شاخص‌های تحقیق می‌باشند.

شناسایی ریسک‌های موجود در پروژه EPC از راه مصاحبه با کارشناسان و مدیران بخش‌های مهندسی، تدارکات و اجرا انجام شد که شامل 15 ریسک است و در بخش‌های بعدی به آنها اشاره می‌شود.

3-2- اجرای FMEA

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها در این بخش پرسشنامه‌ای تنظیم شد که از کارشناسان، خبرگان و مدیران اجرایی شرکت مورد بررسی تقاضا شد. برای هر یک از ریسک‌های ارائه شده در فهرست و برای هریک از پارامترهای "شدت اثر پیامد"، "احتمال وقوع پیامد" و "احتمال شناسایی پیامد" نمره‌ای با توجه به جداول ارزش‌گذاری استاندارد در تکنیک FMEA اختصاص داده شود. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها مقادیر شدت، وقوع و کشف براساس میانگین هندسی مشخص و RPN آنها محاسبه شد. نتایج نهایی در رابطه با مقادیر RPN ریسک‌ها در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1. نتایج روش FMEA

ردیف	عنوان ریسک	کد ریسک	درجه شدت	احتمال وقوع	احتمال کشف	RPN
1	تأخیر در جذب دیسیپلین‌های مهندسی	E1	6/16	4/74	1/19	34/74
2	بروز مدیریت مهندسی غیر مؤثر در پروژه	E2	4/95	4/47	1/32	29/20
3	خطا در طراحی و مهندسی	E3	7/65	3/76	2/83	81/40
4	تغییر در استانداردهای اعمال شده به پروژه	E4	6/62	2/91	1/57	30/24
5	تغییر در طرح مفهومی پروژه	E5	6/82	2/11	1/32	18/97
6	تأخیر در تأمین به موقع منابع مالی و پرداخت‌ها	P1	8/97	7/42	1/78	118/31
7	افزایش قیمت‌های تجهیزات و مصالح	P2	7/61	6/65	2	101/32
8	تأثیر تحریم‌ها در مراکز تأمین منابع	P3	5/89	5/73	2/06	69/50

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

ردیف	عنوان ریسک	کد ریسک	درجه شدت	احتمال وقوع	احتمال کشف	RPN
9	خطا در انتخاب تأمین‌کننده و سازنده تجهیزات	P4	4/95	5/03	3/31	82/39
10	افزایش زمان تأمین	P5	6/40	6/59	2/06	86/95
11	عدم دریافت به موقع متریال و تجهیرات مورد نیاز	C1	7/49	7/21	2/21	119/53
12	عدم دریافت به موقع مدارک مهندسی	C2	7/61	5/96	2/91	132/13
13	وقوع حوادث غیر مترقبه	C3	8/57	1/78	6/32	96/41
14	توقف عملیات اجرایی در کارگاه	C4	7/75	3/94	3/81	116/06
15	افزایش رقم بودجه در بخش C به نسبت برآورد در زمان مناقصه	C5	7/04	6/70	4/36	205/35

3-3- اجرای مدل ترکیبی ANP-FMEA

مدل ارائه شده در این مقاله با توجه به شکل 1 در سه سطح رسم می‌شود. هدف مسئله تعیین وزن و اولویت ریسک‌زایی پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی می‌باشد. سطح دوم سطح خوشه‌های شکست می‌باشد. با توجه به اینکه ریسک‌های مهندسی بر ریسک‌های تدارکات و اجرا اثر دارند و ریسک‌های تدارکات بر ریسک‌های اجرا تأثیر گذارند و هر گروه از ریسک‌ها روی خود بازخورد دارند، در اینجا سه خوشه شکست به نام‌های خوشه مهندسی (E)، خوشه تدارکات (P) و خوشه اجرا و بهره‌برداری (C) به همراه عناصر آنها و روابط مربوط به آن با توجه به مدل مفهومی تحقیق (شکل 1) رسم می‌شوند. در سطح سوم گزینه‌های مدل بیان می‌شوند که در اینجا مشتمل بر شدت، وقوع و شناسایی است. برای بررسی وابستگی‌های بیرونی (وابستگی میان عناصر خوشه‌های مختلف)، وابستگی‌های درونی (وابستگی میان عناصر هر خوشه) و گزینه‌ها (که شامل تمام ریسک‌ها می‌باشد) از ماتریس‌های مقایسات زوجی متناسب استفاده شده است.

پس از انجام مقایسات زوجی میان گزاره‌های تصمیم (خوشه‌ها و عناصر) با جایگذاری اوزان نسبی گزاره‌ها در یک ماتریس واحد، سوپرماتریس غیر موزون (اولیه) تشکیل می‌شود. سطر و ستون این ماتریس را خوشه‌ها و عناصر مربوط به آنها تشکیل می‌دهند. مؤلفه‌های این ماتریس وزن عنصر متناظر در سطر را نزد عنصر متناظر در ستون نشان می‌دهد.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

این سوپرماتریس پس از شکل‌گیری سوپرماتریس ناموزون لازم است موزون شود. همان طور که پیش‌تر بیان شد، ریسک‌های گروه مهندسی علاوه بر خودشان بر ریسک‌های گروه تدارکات و اجرا اثر دارند، ریسک‌های گروه تداراک نیز علاوه بر خود بر ریسک‌های گروه اجرا تأثیرگذارند و ریسک‌های گروه اجرا تنها بر خودشان تأثیر دارند، از این رو صفر یا غیر صفر بودن سلول‌های موجود در سوپرماتریس نشانگر وابستگی یا عدم وابستگی گروه‌های ریسک نسبت به یکدیگر می‌باشد.

در گام نهایی، سوپرماتریس موزون به دست آمده آن قدر به توان‌های بالا رسانده می‌شود که اختلاف محسوسی میان مؤلفه‌های سطرهای آن دیده نشود.

براساس نتایج به دست آمده از سوپرماتریس نهایی مقادیر 0/3294، 0/08804 و 0/08248 به‌ترتیب در سطرهای شناسایی، وقوع و شدت از خوشه گزینه‌ها، وزن‌های نرمالیزه نشده پارامترها اطلاق می‌شوند. با استفاده از رابطه‌ای که در بخش روش‌شناسی به آن اشاره شد، نخست وزن‌ها نرمال می‌شوند (α, β, γ) و سپس با استفاده از فرمول اصلاحی، RPN اصلاح شده محاسبه می‌گردد.

درجه شناسایی (D) × درجه وقوع (O) × درجه شدت (S) = نمره اولیه اولویت ریسک (RPN)

فرمول اصلاحی : $RPN = S^{\alpha} \times D^{\gamma} \times O_{\beta}$

$a_1 = 0.0824$ $\quad \alpha = W_1 = \frac{3 \times 0.08248}{0.5} = 0.4948$

$a_2 = 0.08804$ $\quad \beta = W_1 = \frac{3 \times 0.08804}{0.5} = 0.5282$

$a_3 = 0.3294$ $\quad \gamma = W_1 = \frac{3 \times 0.3294}{0.5} = 1.9764$

α: وزن نرمالیز شده پارامتر شدت

β: وزن نرمالیز شده پارامتر وقوع

γ: وزن نرمالیز شده پارامتر شناسایی

$$a_1 + a_2 + a_3 = 0.5$$

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

برای مثال در ریسک "تأخیر در جذب دیسیپلین‌های مهندسی (E1)"، با توجه به اینکه درجه شدت، وقوع و شناسایی در روش FMEA به‌ترتیب 6/16، 4/74 و 1/19 می‌باشد، نمره اولویت ریسک در روش تلفیقی ANP-FMEA از راه رابطه زیر حاصل شده است:

$E1= 1/19^{1.976}\times 4/74^{0.5282}\times 6/16^{0.498}=7/88$

و به همین ترتیب RPN ریسک‌های دیگر نیز محاسبه می‌شوند.

4- یافته‌های پژوهش

جدول 2 مقادیر RPN و اولویت عوامل بالقوه شکست را در دو روش FMEA و ANP-FMEA در قیاس با هم نشان می‌دهد.

جدول 2. مقایسه نتایج FMEA و ANP-FMEA

ردیف	کد ریسک	عنوان ریسک (علل بالقوه شکست)	RPN		اولویت	
			FMEA	ANP-FMEA	FMEA	ANP-FMEA
1	E1	تأخیر در جذب دیسیپلین‌های مهندسی	34/71	7/88	12	14
2	E2	بروز مدیریت مهندسی غیر مؤثر در پروژه	29/13	8/38	14	13
3	E3	خطا در طراحی و مهندسی	81/40	43/03	10	6
4	E4	تغییر در استانداردهای اعمال شده به پروژه	30/18	10/86	13	12
5	E5	تغییر در طرح مفهومی پروژه	18/97	6/61	15	15
6	P1	تأخیر در تأمین به موقع منابع مالی و پرداخت‌ها	118/31	26/63	4	10
7	P2	افزایش قیمت‌های تجهیزات و مصالح	101/32	29/24	6	8
8	P3	تأثیر تحریم‌ها در مراکز تأمین منابع	69/50	25/22	11	11
9	P4	خطا در انتخاب تأمین‌کننده و سازنده تجهیزات	82/39	55/18	9	5
10	P5	افزایش زمان تأمین	86/95	28/31	8	9

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

ردیف	کد ریسک	عنوان ریسک (علل بالقوه شکست)	RPN		اولویت	
			FMEA	ANP-FMEA	FMEA	ANP-FMEA
11	C1	عدم دریافت به موقع متریال و تجهیزات مورد نیاز	119/53	36/98	3	7
12	C2	عدم دریافت به موقع مدارک مهندسی	132/13	58/01	2	4
13	C3	وقوع حوادث غیر مترقبه	96/41	150/30	7	1
14	C4	توقف عملیات اجرایی در کارگاه	116/06	131/50	5	2
15	C5	افزایش رقم بودجه در بخش C به نسبت برآورد در زمان مناقصه	205/35	97/77	1	3

با ملاحظه جدول بالا، یافته‌های زیر در مورد تفاوت و انطباق روش‌های FMEA و ANP-FMEA قابل بیان خواهد بود:

مقادیر RPN مربوط به ANP-FMEA از مقادیر FMEA کوچک‌تر هستند. این امر نشان می‌دهد که در صورت اعمال وزن‌های درست برای هریک از پارامترها، درجه ریسک‌زایی آنها از آنچه که به نظر می‌رسد، کمتر خواهد بود. به این مفهوم که گاه در یک الگوی شکست، انجام اقدام اصلاحی روی یک پارامتر (آن که وزن بیشتری دارد، به‌طور مثال شناسایی) از اعمال اقدام‌های اصلاحی اضافی روی پارامترهای کمتر ریسک‌زای دیگر در جهت رسیدن به سطح ریسک پایین‌تر جلوگیری می‌کند.

از منظری دیگر، ANP-FMEA می‌تواند باعث ایجاد کلاسه‌بندی‌هایی برای RPN شود؛ یعنی با توجه به زمینه‌ای که در آن به کار گرفته می‌شود می‌توان طبقات جداگانه‌ای را برای آن در نظر گرفت. به این صورت که به فرض یک صنعت معین از دامنه به خصوصی از وزن‌ها برای پارامترهای روش بهره ببرد تا اقدام‌های اصلاحی متناسب با آن حوزه کاری، کاراتر و مؤثرتر واقع شوند.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

5- نتیجه‌گیری

پروژه‌ها ابعاد استراتژیک اقتصادی دارند و در راستای تحقق اهداف از پیش تعیین شده با ریسک‌هایی در رابطه با عناصر کلیدی پروژه مواجه می‌باشند. ریسک پروژه، پدیده‌ای جداناپذیر از پروژه است. از این رو تحلیل و مدیریت آن ضروری می‌باشد. با به کارگیری فرایند تحلیل و مدیریت ریسک می‌توان ادعا کرد که مدیریت پروژه بر شرایط غیر قطعی آن اشراف دارد نه آنکه شرایط و اتفاقات بر مدیریت پروژه مسلط باشند. تحلیل و مدیریت ریسک علاوه بر مزایا و نتایج متعددی که در پی خواهد داشت با تعریف جامعی که از شناسایی و تعریف ریسک تا کنترل و مهار آن در سازمان ارائه می‌دهد می‌توان مرجع ورودی مهمی برای برنامه‌ریزی‌های سازمان باشد. روش ANP-FMEA ابزار پیشرفته‌ای برای تحلیل ریسک است که منطقی ساده و بدیع دارد. این روش بر مبنای تکنیک FMEA بنا نهاده شده و برای سازگاری بیشتر با دنیای واقعی تعدیل پیدا کرده است. با تلفیق صورت گرفته، روش ANP-FMEA ارزش بیشتری در فرایند مدیریت ریسک به دست می‌دهد. نبود توجه به ارتباط متقابل عوامل سبب ریسک و لحاظ وزن یکسان برای پارامترهای FMEA می‌تواند تا حد زیادی از اثربخشی اقدام‌های اصلاحی بکاهد. این نقیصه در پرتوی به‌کارگیری روش ANP برطرف می‌شود. ANP-FMEA مفهوم ساده نمره اولویت ریسک را گسترش داده و برای پارامترهای FMEA در قالب توان، اهمیت‌های متفاوتی قائل است. مقدار RPN حاصل با شرایط سیستمی که در آن به کار گرفته می‌شود، سازگاری بهتری خواهد داشت.

مهم‌ترین پیشنهادهای کاربردی این تحقیق، ارائه اقدام‌های اصلاحی برای آن دسته از فعالیت‌هایی است که منجر به حذف یا کاهش عامل یا عامل‌های بالقوه شکست شوند. به روشنی در اتخاذ تصمیم‌ها در مورد انجام اقدام‌های اصلاحی، تقدم با عامل‌هایی است که از اولویت ریسک‌زایی بیشتری برخوردار هستند. پس از اصلاح آنها، در گام بعد پرداختن به عامل‌های مخاطره‌آمیز دارای اولویت کمتر، منطقی خواهد بود. در این بخش 5 ریسک با بالاترین نمره اولویت در روش ANP- FMEA به‌ترتیب اولویت بررسی می‌شوند.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

1- وقوع حوادث غیر مترقبه

این ریسک رویدادهای غیرقابل پیش‌بینی و به دور از انتظار مانند سیل، زلزله، آتش‌سوزی و ... را شامل می‌شود که در صورت وقوع می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری به بار آورد و باعث افزایش زمان اتمام پروژه و تحمیل هزینه‌های مالی در پروژه شود. اقدام‌های کنترلی در این زمینه ایجاد واحد HSE قوی در سازمان و تأمین مالی و تهیه تجهیزات ایمنی در سازمان می‌باشد تا در صورت بروز این ریسک به سرعت اقدام‌های لازم برای جبران خسارت‌ها انجام شود.

2- افزایش رقم بودجه در بخش C به نسبت برآورد در زمان مناقصه

از علل به وجود آمدن این ریسک توقف‌های عملیات اجرایی، عدم تأمین به موقع منابع مالی، عدم ارائه به موقع مدارک مهندسی، عدم استفاده از نفرات و پیمانکاران قوی و وقوع حوادث غیر مترقبه خارج از عرف می‌باشد. برای کنترل این ریسک باید مدارک مهندسی، متریال و منابع مالی برای جلوگیری از تأخیر پیگیری شوند، موانع عملیات اجرایی رفع شوند و میان ارکان پروژه هماهنگی مؤثری ایجاد شود.

3- توقف عملیات اجرایی در کارگاه

این ریسک نیز در صورت بروز سبب افزایش زمان اتمام پروژه و تحمیل هزینه‌های مالی بر پروژه می‌شود و اغلب به دلیل عدم وجود پیمانکاران خبره و کارامد، عدم تأمین مالی و تهیه تجهیزات ایمنی، عدم ارائه به موقع مدارک مهندسی و عدم دریافت به موقع تجهیزات و متریال به وجود می‌آید که برای کنترل آن باید مدارک مهندسی جهت جلوگیری از تأخیر در ارسال به طور مداوم پیگیری شود. پیگیری و هماهنگی‌های لازم برای تأمین مالی از سوی کارفرما و تهیه تجهیزات ایمنی انجام گیرد و همچنین اقدام‌های لازم برای حذف پیمانکاران ضعیف و جایگزین کردن پیمانکاران خبره انجام شود.

4- عدم دریافت به موقع مدارک مهندسی

این ریسک به دلیل تغییر در مدارک اولیه پروژه و مهندسی ضعیف، تغییر در استانداردها و شیوه‌نامه‌های کارفرما، ضعف در سیستم DCC و انتقال مدارک و عدم تأمین مالی پروژه به وجود می‌آید و سبب افزایش زمان اتمام پروژه و تغییر در زمان‌بندی و برنامه‌ریزی در

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

واحدهای درگیر در پروژه و همچنین افزایش احتمال خطا در ساخت خواهد شد. برای کنترل این ریسک می‌توان به اقدام‌هایی نظیر پیش‌بینی تغییرات احتمالی، جاری‌سازی سازوکارهای صحیح انتقال مدارک و داده‌ها، تعیین گروه مهندسی قوی، کنترل پروژه مؤثر برای نظارت بر تهیه مدارک مهندسی و رفع منابع مالی واحد مهندسی اشاره کرد.

5- خطا در انتخاب تأمین‌کننده و سازنده تجهیزات

این ریسک نیز باعث افزایش هزینه‌های پروژه، افزایش زمان اتمام پروژه و از بین بردن اعتبار صرف منابع مالی و انسانی پیش از پیش‌بینی می‌شود که از دلایل به وجود آمدن این ریسک می‌توان به عدم وجود فهرست تأمین‌کنندگان معتبر و عدم وجود مکانیزم صحیح انتخاب تأمین‌کننده در سازمان اشاره کرد. اقدام‌های لازم کنترل و جلوگیری از این ریسک تهیه فهرست تامین‌کنندگان مورد تأیید، ایجاد شیوه‌نامه ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، پایش مستمر تأمین‌کنندگان و انجام اقدام‌های اصلاحی می‌باشد.

6- پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده

- با توجه به اینکه ریسک‌های واحدهای مهندسی، تدارکات و اجرا در این پروژه شناسایی شده‌اند، می‌توان در پژوهش‌های آینده عوامل ایجاد ریسک و تأثیر آنها بر اهداف پروژه را بررسی کرد؛
- استفاده از روش تلفیقی ANP-FMEA در سایر زمینه‌ها مانند اولویت‌بندی پیمانکاران در بخش تدارکات؛
- استفاده از روش تلفیقی ANP-FMEA در سایر شرکت‌های EPC رقیب و مقایسه نتایج با هم؛
- استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری همانند روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه گندله‌سازی گل گهر و مقایسه نتایج با هم؛
- استفاده از روش تلفیقی ANP-FMEA با به‌کارگیری منطق فازی یا تئوری خاکستری به منظور لحاظ کردن عدم قطعیت و به دست آوردن نتایج واقعی‌تر.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

7- منابع

[1] عباس‌نیا رضا، اشتهاردیان احسان، ایمان شعار داریوش (1387) شناسایی و طبقه‌بندی ریسک پرورژه‌های EPC و تعامل آنها با اهداف پروژه، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تهران،.

[2] Liu HC, Liu L., Liu N. (2013) "Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: a literature review", Expert System and Application, 40(2): 828–838.

[3] Saaty Thomas L., Vargas Luis G. (2013) "Decision making with the analytic network process", Springer Press.

[4] امیدوار محسن، نیرومند فرشته (1396) «ارزیابی ریسک با استفاده از روش FMEA مبتنی بر اصول تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) منطق فازی و تئوری خاکستری- مطالعه موردی جرثقیل‌های سقفی»، *فصلنامه بهداشت و ایمنی کار*، 7 (1): 63-76.

[5] ثابت‌مطلق محمد، ایازی سیدعلی، حسینی‌دهشیری سیدجلال‌الدین (1396) "ارائه یک رویکرد ترکیبی برای ارزیابی و رتبه‌بندی حالت‌های شکست با استفاده از FMEA تعدیل‌شده و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مورد مطالعه: یک شرکت تولیدکننده چرخ‌دنده و گیربکس‌های صنعتی فعال در قم)"، *فصلنامه مدیریت استاندارد و کیفیت*، 7 (25): 19-30.

[6] کاظمی نسترن، بزرگی امیری علی، محمدپورعمران محمد (1396)"ارائه یک مدل ترکیبی از ANP فازی بازه‌ای، FMEA فازی بازه‌یی و TOPSIS فازی بازه‌یی برای انتخاب تأمین‌کنندگان تحت شرایط ریسک"، شریف، 33/1 (1/1): 123-134.

[7] جعفری اسکندری میثم، علی بیگی لیلا (1395) «ارائه رویکرد تحلیل ریسک پروژه‌های شرکت‌های دانش‌بنیان با استفاده از تکنیک ANP-RFMEA»، فصلنامه رشد فناوری، 12 (48): 29-37.

[8] دری بهروز، معزز هاشم، سلامی هادی (1389) "رویکردی تلفیقی در تحلیل ریسک با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن (FMEA) و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)"، *فصلنامه پژوهش‌های مدیریت در ایران*، 14(4): 107-136.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

[9] H.-W Lo, J.J.H Liou (2018) "A novel multiple-criteria decision-making-based
FMEA model for risk assessment", *Applied Soft Computing Journal*, 73: 684-696.

[10] Zhang-peng Tian, Jian-qiang Wang, Hong-yu Zhang (2018) "An integrated approach for failure mode and effects analysis based on fuzzy
best-worst, relative entropy, and VIKOR methods", *Applied Soft Computing*
Journal, 72: 636-646.

[11] H.C Liu, L.E Wang, Z.W. Li,Y.P. Hu (2019) "Improving risk evaluation in FMEA with Cloud Model and Hierarchical TOPSIS Method", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27(1):84-95.

[12] Kang Jichun, Liping Sun, Chunlin Wu (2017) "Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA", *Ocean Engineering*, 129(1):382-388.

[13] Safari H., Faraji Z., Majidian S. (2016) "Identifying and evaluating enterprise architecture risks using FMEA and fuzzy VIKOR", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(2): 475–486

[14] Chang B., Kuo C., Wu CH.,Tzeng GH (2015) "Using fuzzy analytic network process to assess the risks in enterprise resource planning system implementation", *Applied Soft Computing*, 28(C): 196-207.

[15] Liu Hu-Chen, Jian-Xin You, Xue-Feng Ding, Qiang Su, "Improving risk evaluation in FMEA with a hybrid multiple criteria decision making method", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32 (7) :763-782.

[16] Vahdani B., Salimi M., Charkhchian M. (2015) "A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1-4): 357–368.

[17] Ilangkumaran M., Shanmugam P., Sakthivel G., Visagavel K. (2014) "Failure mode and effect analysis using fuzzy analytic hierarchy process", *International Journal of Productivity and Quality Management*, 14(3): 296–313.

[18] Zammori F., Gabbrielli R. (2011) "ANP/RPN: A multi criteria evaluation of the risk priority number", *Quality and Reliability Engineering International*, 28: 85–104.

[19] Abdelgawad M., Fayek AR (2010) "Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP", *Journal of Construction Engineering and Management*, 136 (9):1028–1036.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]

[20] Sachdeva A., Kumar D., Kumar P. (2009) "Multi-factor failure mode critically analysis using TOPSIS", *Journal of Industrial Engineering International*, 5(8): 1–9.
[21] Chen J. K. (2007). "Utility priority number evaluation for FMEA", *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 7(5): 321–328.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1398.9.1.4.3]