Civil and Project Journal, 2022, 4(1), 55-72
https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.01.1122

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Research Article

Risk Management Model Based on Fuzzy FMEA in Construction Projects

Somayeh Ghorbani Noe

Master of Engineering and Construction Management, Payam Noor University of Alborz

Received: 07 December 2021; Revised: 30 April 2022; Accepted: 30 April 2022; Published: 30 April 2022

Abstract

Nowadays, there is risk in all aspects of life and construction projects are not excluded of this rule. Existence of risks and uncertainties in different stages of work is the main reason for the project's failure to achieve its predetermined goals. Project risk management is the science of identifying, analyzing, and responding to risk over the life of a project that is used to reduce or eliminate the likelihood or effects of adverse outcomes on project time, cost, and quality targets. The FMEA technique is one of the methods of determining the value of risk that not only identifies the errors and defects that are hidden and obvious in the system and process, but also searches to reduce or eliminate them by taking the correct preventive measures. To analyze the risks in construction projects, we are faced with uncertainties such as ambiguity, and fuzzy theory provides the necessary mathematical tools to deal with vague and ambiguous data. Accordingly, in this study, a model consisting of seven basic steps based on the combination of FMEA technique and fuzzy logic was proposed. The risks in construction projects were identified with the help of previous studies and researches and the effective parameters on the risks were quantified by experts. By calculating the risk priority number, the risks were ranked. In addition, a method for calculating and mapping the level of risks was introduced, which identifies not only critical risks but also all high-risk components of the project risk Breakdown structure. Also, in order to reduce or eliminate the negative consequences of high-priority risks, corrective measures were investigated in the research.

Keywords:

Risk Management, FMEA, Fuzzy Logic, Risk Priority Number, Risk Breakdown Structure, Corrective Measures

Cite this article as: Ghorbani Noe, S. (2022). Risk Management Model Based on Fuzzy FMEA in Construction Projects. Civil and Project Journal, 4(1), 55-72. https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.01.1122.

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2022 by the author.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address:so.ghorbani@gmail.com

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۱، ۴(۱)، ۵۵-۷۲
https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.01.1122

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

مدل مدیریت ریسک مبتنی بر FMEA فازی در پروژه‌های ساخت

سمیه قربانی نوع

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه پیام نور البرز

تاریخ دریافت: ۱۶ آذر ۱۴۰۰؛ تاریخ بازنگری: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

در عصر حاضر ریسک در تمام جنبه‌های زندگی وجود داشته و پروژه‌های عمرانی نیز از این قاعده مستثنی نیستند. وجود ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها در مراحل مختلف کار، عامل اصلی به موفقیت نرسیدن پروژه در دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده‌ی آن است. مدیریت ریسک پروژه علم شناسایی، تحلیل و پاسخ‌دهی به ریسک در طول عمر یک پروژه بوده که به منظور کاهش و یا حذف احتمال یا اثرات وقوع پیامدهای منفی بر اهداف زمان، هزینه و کیفیت پروژه به کار گرفته می‌شود. تکنیک FMEA یکی از روش‌های تعیین ارزش ریسک می‌باشد که نه تنها خطاها و نواقصی که در سیستم و فرایند به صورت نهفته و آشکار وجود دارند را شناسایی می‌کند، بلکه با اتخاذ تدابیر پیشگیرانه صحیح در صدد کاهش یا حذف آن‌ها نیز بر می‌آید. برای تجزیه و تحلیل ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی با عدم قطعیت‌هایی از نوع ابهام رو به رو هستیم و تئوری فازی ابزارهای ریاضی لازم را برای مقابله با داده‌های نامشخص و مبهم فراهم می‌کند. بر این اساس در این پژوهش مدلی مشتمل بر هفت گام اساسی بر مبنای تلفیق تکنیک FMEA و منطق فازی پیشنهاد گردید. ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی به کمک مطالعات و تحقیقات پیشین شناخته شد و پارامترهای مؤثر بر ریسک‌ها توسط خبرگان مقدار دهی گردید. با محاسبه عدد اولویت ریسک، رتبه‌بندی ریسک‌ها انجام گردید. علاوه بر این روشی برای محاسبه و نگاشت سطح ریسک‌ها، معرفی شد که نه تنها ریسک‌های بحرانی بلکه تمام اجزای پرخطر ساختار شکست ریسک پروژه را نیز شناسایی می‌کند. همچنین در راستای کاهش و یا حذف پیامدهای منفی ریسک‌های با اولویت بالا، اقدامات اصلاحی در تحقیق بررسی گردید.

کلمات کلیدی:

مدیریت ریسک، FMEA، منطق فازی، عدد اولویت ریسک، ساختار شکست ریسک ، اقدامات اصلاحی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: so.ghorbani@gmail.com

۱- مقدمه

در دنیای کنونی تمامی جنبه‌های زندگی از ریسک برخوردار است. یکی از این جنبه‌ها صنعت ساخت و ساز است، جایی که خطر یک عنصر ذاتی است. بنابراین، قبل از اجرای هر پروژه باید تجزیه و تحلیل ریسک همراه با شناسایی خطرات احتمالی انجام پذیرد. شناسایی خطرات در پروژه‌های ساخت و ساز بر این اساس تعیین می‌شود که چه نوع خطراتی ممکن است بر روی اهداف پروژه اثر بگذارد. ریسک پروژه، رویداد غیرقطعی است که در صورت وقوع، اثر مثبت یا منفی بر هدف پروژه می‌گذارد. (مولایی باروق و خادمی‌شیراز، ۱۳۹۶).

هر چه عدم قطعیت‌های یک پروژه دقیق‌تر مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند، مدیریت آن آسان‌تر، کاراتر و البته علمی‌تر خواهد بود و در مقابل، عدم تجزیه و تحلیل رخداد حالات غیر قطعی می‌تواند عواقب خطرناکی به دنبال داشته باشد تا جایی که ممکن است پس از صرف زمان و هزینه‌های کلان حتی اثر بخشی خود را از دست داده و انتظارات و اهداف از پیش تعریف شده را برآورده نسازد. (نقاش طوسی و سبط، ۱۳۸۸).

برای مدیریت ریسک استانداردها و دستورالعمل‌های متفاوتی توسط مؤسسات مختلف ارائه شده است. مقایسه فرایند رویکردهای مدیریت ریسک نشان می‌دهد فرایندهای شناسایی ریسک، ارزیابی، پاسخگویی و پایش و کنترل ریسک تقریباً در همه روش‌ها مشترک بوده و به عنوان فرایند مستقل و بعضاً با ادبیاتی متفاوت مطرح شده است. (جابری و نظری، ۱۳۹۴).

روش‌های مختلفی برای تعیین ارزش هر ریسک با در نظر گرفتن پارامترهای متفاوت مطرح شده است. تکنیک تجزیه و تحلیل حالت خطا و اثر شکست (FMEA) ابزاری برای شناخت، تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی ریسک‌ها در راستای پاسخ‌دهی مناسب قبل از وقوع آن‌ها می‌باشد. در این روش به کمک پارامترهای احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک فاکتوری به نام عدد اولویت ریسک محاسبه می‌شود. با توجه به مواجهه با پارامترهای غیرقطعی و همچنین اختلاف نظر در نسبت دادن عددی مشخص به هر یک از عوامل مؤثر در عدد ریسک، به نظر می‌رسد نظریه فازی قادر است متغیرهای نادقیق و مبهم مورد نیاز برای محاسبات را با استفاده از دانش و تجربه افراد خبره صورت ریاضی بخشد و زمینه را برای اولویت‌بندی و کنترل نهایی فراهم آورد. در این پژوهش مدل پیشنهادی مدیریت ریسک بر مبنای تلفیق FMEA و منطق فازی بررسی گردیده است.

۲- منطق فازی

انسان‌ها همواره از کلمات و عباراتی در محاورات خود استفاده می‌کنند که مرزهای روشنی برای خود ندارند، کلماتی نظیر خوب، بد، ضعیف و یا قوی و نیز قیدهایی از قبیل اکثراً، معمولاً و به ندرت نمونه‌هایی از این کلمات هستند. برای برخورد با چنین کلمات و عبارات مبهمی از منطق فازی بهره گرفته می‌شود. تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی را اولین بار پرفسور لطفی عسگرزاده در رساله‌ای به نام (مجموعه‌های فازی- اطلاعات و کنترل) در سال ۱۹۶۵ معرفی نمود. هدف اولیه او، توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف فرایند پردازش زبان‌های طبیعی بود. او مفاهیم و اصلاحاتی همچون مجموعه‌های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی‌سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی نمود. (علیپوری و همکاران، ۱۳۹۴)

با توجه به اینکه در پروژه‌های ساخت، بیشتر داده‌های تاریخی موجود نیستند، پارامترهای مؤثر بر ریسک‌ها با استفاده از نظرات افراد خبره و با به کارگیری منطق فازی تعیین شده است. تئوری مجموعه‌های فازی را می‌توان شکل تعمیم یافته‌ی تئوری مجموعه کلاسیک دانست. در تئوری مجموعه‌ی کلاسیک، عضویت مفهومی محض برای یک مجموعه است. یعنی یک عنصر یا متعلق به مجموعه است و یا متعلق به آن مجموعه نیست. با وجود این، عضویت در مجموعه‌های فازی می‌تواند مفهوم منعطف‌تری داشته باشد. هسته مرکزی نظریه‌ی مجموعه‌های فازی تابع عضویت است، که نشان دهنده‌ی درجه‌ی عددی تعلق هر عضو به مجموعه است. (نصیرزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

بنابراین نظریه‌ی فازی موقعیت‌هایی را در بر می‌گیرد که عضویت در یک مجموعه را نمی‌توان فقط با بله یا خیر توصیف کرد. در مجموعه‌های فازی، هر عضو می‌تواند درجه عضویتی بین ۰ و ۱ را اختیار کند. در این پژوهش برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها و ابهام مرتبط با متغیرها از منطق فازی و تئوری مجموعه‌های مربوط به آن استفاده می‌گردد.

۳- تکنیک تجزیه و تحلیل حالت خطا و اثر شکست

تکنیک تجزیه تحلیل حالت و اثر شکست (FMEA)[1] اولین بار توسط ارتش آمریکا در صنایع هوا و فضا در دهه ۱۹۶۰ ارائه گردید. FMEA یک روش کیفی و استقرایی در شناسایی خطرات اجزاء یک سیستم و ارزیابی اثرات حالات خطرهای اجزاء مختلف یک سیستم می‌باشد که به منظور حذف یا کاهش احتمال وقوع خطر و مستندسازی آن‌ها در سیستم تحت بررسی اجرا می‌شود. این روش به عنوان ابزاری نظام یافته و یک روش پیشگیرانه براساس کار تیمی است. به عبارت دیگر این تکنیک تحلیلی و مبتنی بر قانون پیشگیری قبل از وقوع است که برای شناسایی عوامل بالقوه شکست بکار می‌رود. هدف FMEA انجام قابل اطمینان فرایند از طریق پیشگیری از بروز نقص‌های شناسایی شده و کاهش پیامدهای نامطلوب ناشی از آن‌هاست. در این روش پس از بدست آوردن مؤلفه‌های شدت Severity، احتمال وقوع Occurrence و نرخ احتمال کشف خطر Detection، عدد اولویت ریسک (RPN)[2] محاسبه می‌گردد. نمره اولویت ریسک به منظور طبقه‌بندی اقدامات اصلاحی لازم برای کاهش یا حذف خطرات در نظر گرفته می‌شود. این ضریب عبارت است از توانایی کشف و ردیابی یک ریسک به همراه زمان کافی برای یک برنامه‌ریزی اقتضایی به منظور پاسخگویی به ریسک، میزان عدد اولویت ریسک از حاصل‌ضرب سه مؤلفه شدت، احتمال وقوع و میزان احتمال کشف به دست می‌آید و هر ریسکی که شاخص آن بالاتر باشد در اولویت بالاتری جهت بررسی قرار می‌گیرد. پس در حالت کلی خواهیم داشت:

RPN = Occurrence * Severity * Detection

پس از انجام اقدامات اصلاحی لازم، یک RPN جدید با ارزیابی مجدد انجام می‌گیرد که آن را RPN منتج شده می‌نامند. اقدامات بهینه‌سازی و اصلاح تا آنجا ادامه می‌یابد که RPN منتج شده به سطح قابل قبولی برای سازمان برسد. اگرچه معمولاً یک فرد مسئولیت هماهنگی فرایند را برعهده دارد، اما اساس و مبنای فرایند بر گروه استوار است. در پژوهش حاضر از این روش با هدف اولویت‌بندی سطح ریسک و ارائه اقدامات اصلاحی و کنترل مستمر ریسک در پروژه‌ها استفاده گردیده است. و به جهت تکامل محاسبات و داده‌ها از منطق فازی و مفاهیم منعطف توابع عضویت بهره می‌گیریم.

٤- روش پژوهش

همانطور که عنوان شد در این پژوهش جهت ایجاد مدلی کارآمد برای مدیریت ریسک پروژه‌های ساخت از تلفیق روش‌های FMEA و منطق فازی کمک گرفته شد. جهت پیاده‌سازی مدل پیشنهادی، ابتدا با کمک از منابع کتابخانه‌ای، مستندات موجود در پروژه‌ها و نظرات متخصصان امر، در جلسه طوفان فکری با جمعی از کارشناسان، ریسک‌های محتمل در پروژه‌های عمرانی بررسی و شناسایی گردید. سپس با توزیع لیست ریسک‌های شناسایی شده در بین خبرگان و اتخاذ رأی ایشان لیست ریسک‌های شناسایی شده نهایی و پرسشنامه مربوطه جهت تعیین اولویت ریسک‌ها تنظیم گردید. پرسشنامه در اختیار مدیران و صاحب نظران شرکت‌های کارفرمایی، مشاور و پیمانکار جامعه آماری مربوطه قرارگرفت و از آن‌ها خواسته شد تا پارامترهای احتمال وقوع و شدت تأثیر و قابلیت کشف هر ریسک را با توجه به پنج مقیاس زبانی "بسیار کم"، " کم"، "متوسط"، "زیاد" و "بسیار زیاد" امتیازدهی کنند. سپس برای محاسبه درجه اولویت ریسک و به دست آوردن ریسک‌های با عدد ریسک بالاتر، پارامترهای امتیاز داده شده توسط خبرگان از پرسشنامه‌های مربوطه استخراج شده و با استفاده از توابع عضویت مناسب، فازی شده تا بتوان درجه‌ی عضویت هر یک از ورودی‌ها را تعیین کرد. در محله بعد خروجی فازی عدد اولویت ریسک(FRPN) بر اساس روابط ریاضی

[1] Failure Mode and Effects Analysis
[2] Risk Priority Number

موجود در منطق فازی محاسبه شده و در نهایت به منظور تعیین عدد قطعی اولویت ریسک غیرفازی می‌شوند. در ادامه هفت گام اصلی مدل پیشنهادی بر مبنای تلفیق روش‌های FMEA و منطق فازی شرح داده می‌شوند.

- شناسایی ریسک‌های پروژه‌های عمرانی
- تنظیم و توزیع پرسشنامه
- تعیین توابع عضویت فازی معیارها
- محاسبه فازی عدد اولویت ریسک (FRPN)
- غیرفازی نمودن عدد اولویت ریسک (RPN)
- تعیین سطح ریسک جهت انجام اقدامات اصلاحی
- پاسخ‌دهی به ریسک‌های با اولویت بالا

۴-۱- گام اول- شناسایی ریسک‌های پروژه‌های عمرانی

در مرحله شناسایی ریسک‌های پروژه‌های عمرانی و گردآوری اطلاعات، یافته‌های کتابخانه‌ای و میدانی جمع‌آوری شده و سپس طبقه‌بندی و تحلیل گردید و فرضیه‌های تدوین شده مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های گردآوری اطلاعات در این تحقیق را می‌توان به دو گروه اطلاعات کتابخانه‌ای-آرشیوی و اطلاعات میدانی تقسیم کرد. مطالعات اکتشافی در این تحقیق شامل بررسی متون و ادبیات تحقیق و مصاحبه‌های اکتشافی می‌باشد. برای بررسی متون از کتاب‌ها، مجلات و مقالات مرتبط، پایان‌نامه‌ها و مستندات موجود در پروژه‌ها استفاده شده است. همچنین از اطلاعات کسب شده از طریق مصاحبه و مشورت با متخصصان و خبرگان امر در جریان تحقیق استفاده شده است.

۴-۲- گام دوم- تنظیم و توزیع پرسشنامه

یکی از روش‌های بسیار متداول در گردآوری اطلاعات، روش پرسشنامه‌ای است که امر گردآوری اطلاعات را در سطح وسیعی امکان پذیر می‌سازد. در این پژوهش نیز، برای دریافت آمار و اطلاعات مستند از وضعیت ریسک‌های پروژه‌های ساخت، از پرسشنامه استفاده شده است. برای این منظور پرسشنامه مذکور شامل وضعیت شغلی پاسخ‌دهندگان اعم از کارفرما، مشاور و پیمانکار، میزان تجربه در صنعت ساخت و میزان تحصیلات و سؤالات مربوط به شناسایی ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی می‌باشد. در بخش سؤالات مربوط به ریسک‌های شناسایی شده در پروژه‌های عمرانی پاسخ دهندگان احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف هر ریسک، را به صورت مقیاس‌های زبانی در قالب پنج حالت "بسیار کم"، " کم"، "متوسط"، "زیاد" و "بسیار زیاد" مشخص می‌نمایند.

جامعه‌ی آماری این پژوهش شامل کارشناسان و مدیران میانی و ارشد پروژه‌های عمرانی درسازمان‌های کارفرمایی، شرکت‌های مشاور و پیمانکار رتبه یک استان تهران است که تعداد آن‌ها با توجه به لیست سازمان برنامه‌ریزی در زمینه راه، راه آهن و ساختمان، توأمان به حدود ۸۰ شرکت می‌رسد. لازم به ذکر است انتخاب جامعه آماری مذکور به دلیل در نظر گرفتن دیدگاه مهندسان خبره دخیل در طرح و اجرا در کنار یکدیگر برای تشخیص جامعی از ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی طی چرخه عمر پروژه از برنامه‌ریزی تا بهره‌برداری می‌باشد و از آنجایی که بالغ بر ۸۰ درصد پروژه‌های عمرانی در زمینه راه، راه‌آهن و ساختمان می‌باشند این تلفیق به منظور دستیابی به دانش هر سه گروه کارفرما، مشاور و پیمانکار در نظر گرفته شده است.

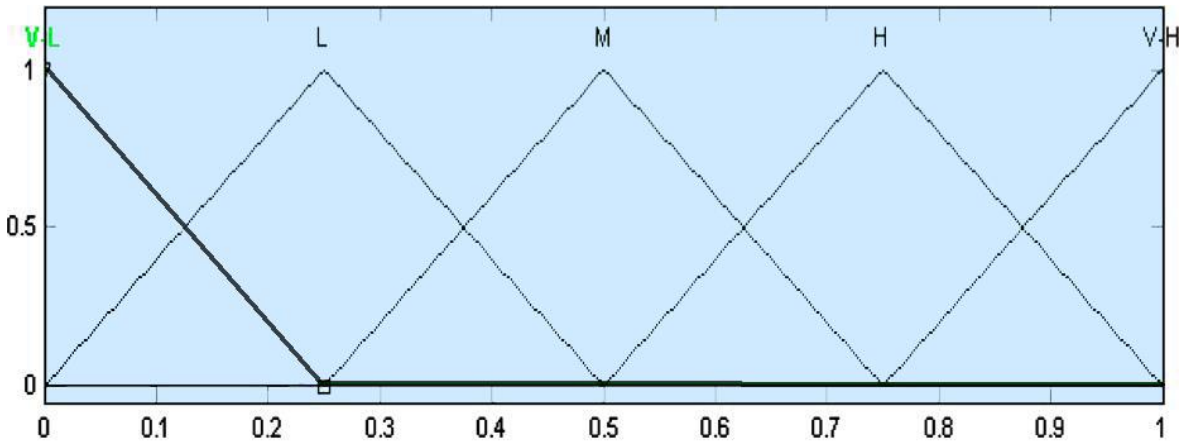
برای محاسبه حجم نمونه آماری در این پژوهش از فرمول محاسباتی کوکران یکی از پرکاربردترین روش‌های مبتنی بر کفایت تعداد نمونه‌های مورد نیاز از جامعه استفاده شده است. به این ترتیب حجم نمونه معادل ۶۶ فقره محاسبه می‌شود. نمونه مذکور با روش تصادفی ساده انتخاب و پرسشنامه جهت تکمیل توسط متخصصان مربوطه تهیه و توزیع گردید.

جهت سنجش روایی پرسشنامه از خبرگان و صاحب‌نظران در پروژه‌های ساخت اخذ مشورت شد تا در رابطه با میزان ارتباط هر یک از پرسش‌ها، نظر خود را اعلام نمایند. همچنین ایشان قادر بودند تا پرسش‌های مورد نظر خود را به لیست اصلی اضافه نمایند که در نهایت مرتبط‌ترین سوالات، انتخاب شده و روایی پرسشنامه از لحاظ محتوایی مورد تأیید قرار گرفت.

پایایی پرسشنامه این تحقیق به کمک نرم افزار SPSS و به روش آلفای کرونباخ محاسبه شده است و عدد آزمون برابر با ۰.۹۳۳ می‌باشد که نشان می‌دهد پرسشنامه، از میزان پایایی و به عبارتی، همسازی درونی بالایی برخوردار می‌باشد.

۴-۳- گام سوم- تعیین توابع عضویت فازی معیارها

برای تعیین توابع عضویت فازی عوامل مؤثر در درجه اولویت ریسک اعم از احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف ریسک با استفاده از منابع کتابخانه‌ای، پایان‌نامه‌ها، مقالات مرتبط و استفاده از نظر کارشناسان خبره از پنج متغیر زبانی"بسیار کم"، " کم"، "متوسط"، "زیاد" و "بسیار زیاد" استفاده شده است. شکل توابع فازی مورد استفاده در شکل ۱ و اطلاعات آن‌ها نیز در جدول ۱ ارائه شده است. در اشکال مذکور، محور افقی نشان دهنده‌ی ارزش کیفی بین ۰ تا ۱ برای عاملی است که باید ارزیابی شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود از توابع مثلثی برای این منظور استفاده شده است. دلیل انتخاب تابع عضویت مثلثی سادگی نسبی محاسبات و در عین حال فراوانی استفاده از این توابع در مطالعات مربوط به حوزه‌ی مدیریت ساخت و مقبولیت آن است. در عین حال این تذکر لازم است که در صورت نیاز می‌توان شکل تابع مورد استفاده را براساس نیازهای سازمانی و نظرات خبرگان و تصمیم گیرندگان پروژه‌ها تغییر داد.



شکل ۱- توابع فازی احتمال وقوع، شدت اثر ریسک و قابلیت کشف ریسک

جدول ۱- مقادیر فازی معادل ارزش‌های زبانی احتمال وقوع، شدت اثر ریسک و قابلیت کشف ریسک

ارزش زبانی احتمال وقوع، شدت اثر ریسک و قابلیت کشف ریسک		تابع عضویت فازی مثلثی
بسیار کم	VL	(0, 0, 0,25)
کم	L	(0, 0,25, 0,5)
متوسط	M	(0,25, 0,5, 0,75)
زیاد	H	(0,5, 0,75, 1)
بسیار زیاد	VH	(0,75, 1, 1)

احتمال وقوع یا رخداد ریسک، مشخص می‌کند که یک ریسک با چه تواتری و چقدر رخ می‌دهد. بررسی مدارک و سوابق گذشته در این زمینه بسیار مفید می‌باشد. بررسی فرآیندهای کنترلی، استاندارد، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آن‌ها برای دست یافتن به این عدد مناسب است.

تعاریفی که برای درجه‌بندی وخامت و اثر ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد سازگار با ماهیت و طبیعت سازمان یا پروژه است. وخامت بیشتر می‌تواند نشان دهنده بالا بودن شدت تأثیر ریسک در حد ایجاد چالش‌هایی در هزینه، زمان و کیفیت برای پروژه، باشد.

همانطور که در جدول برای احتمال وقوع و شدت اثر ریسک آمده توابع فازی کوچک‌تر نشان دهنده احتمال وقوع و شدت تأثیر کم ریسک در پروژه بوده و توابع فازی بزرگ‌تر بیانگر احتمال رخداد و تأثیر زیاد ریسک بر پروژه هستند.

قابلیت کشف و تشخیص ریسک برآوردی است از شانس اینکه کنترل‌های جاری تا چه اندازه می‌توانند ریسک را قبل از اینکه رخ دهد، شناسایی نمایند. برای تمام پارامترهای FMEA توابع فازی بزرگ‌تر نشان دهنده وضعیت بد و توابع فازی کوچک‌تر تعبیری برای وضعیت خوب هستند. توابع کوچک‌تر برای احتمال کشف به معنای آن است که ریسک قبل از وقوع، بسیار ساده مورد شناسایی و کشف قرار می‌گیرد. بنابراین بیشترین تابع عضویت در جدول امتیازدهی مبین بسیار سخت بودن قابلیت شناسایی ریسک است.

۴-۴- گام چهارم- محاسبه عدد اولویت ریسک (FRPN)

با توجه به ساده و مفهومی بودن روش حاصل‌ضرب سه عدد فازی مثلثی در این تحقیق از این روش برای محاسبه عدد اولویت ریسک استفاده شده است. در این روش ابتدا با استفاده از عملیات ضرب اعداد فازی مثلثی، سه پارامتر احتمال وقوع[۳]، شدت اثر[۴] و قابلیت کشف[۵] ریسک به صورت فازی در هم ضرب شده و RPN به صورت یک عدد فازی مثلثی محاسبه می‌گردد. به عبارت دیگر هر متغیر زبانی به صورت یک عدد فازی مثلثی به شرح زیر تعریف می‌گردد:

$M = (l, m, u)$

که در آن M یک متغیر زبانی و m مقدار متغیر زبانی با عدد عضویت یک و l کران پایین و u کران بالای آن است.

ضرب عوامل عدد اولویت ریسک به صورت فازی و از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

$RPN = Occurrence * Severity * Detection$

$FRPN = (lO, mO, uO) *(lS, mS, uS) *(lD, mD, uD)$

$FRPN = (lO* lS* lD, mO* mS* mD, uO* uS* uD)$

۴-۵- گام پنجم- غیرفازی نمودن عدد اولویت ریسک (RPN)

در سیستم‌های فازی، نتایج استدلال به صورت مجموعه فازی و تقریبی ارائه می‌شود. برای رتبه‌بندی عدد اولویت ریسک لازم است خروجی فازی سیستم تبدیل به یک عدد غیر فازی و قطعی گردد. جهت تبدیل یک عدد فازی به یک مقدار دقیق یا به اصطلاح فازی‌زدایی روش‌های مختلفی از جمله روش مرکز ثقل، روش بیشترین تابع عضویت، روش امتیاز دهی به چپ و راست عدد فازی و ... وجود دارد. در این تحقیق از روش مقدار عدد فازی (رابطه ۲)، یکی از متداول‌ترین روش‌های فازی‌زدایی اعداد فازی که در مراجع بسیاری از جمله اردشیر و همکاران (۲۰۱۵)، لین و لی (۲۰۰۶) و دلگادو (۱۹۹۶) آمده است؛ استفاده خواهد شد.

$$\mathrm{Def}(M) = \frac{(l_{FRPN} + 4 * m_{FRPN} + u_{FRPN})}{6}$$

3 Occurrence
4 Severity
5 Detection

۴-۶- گام ششم- تعیین سطح ریسک جهت انجام اقدامات اصلاح

در راستای انجام اقدامات اصلاحی شاخصی برای بیان اهمیت نسبی ریسک‌ها و اقدامات کنترلی مورد نیاز تعیین می‌شود. مقدار این شاخص به پذیرش ریسک سازمان و ماهیت پروژه‌ها بستگی دارد و بنابراین، هر سازمان بر اساس قوانین و مقررات خود و میزان توانایی در تأمین هزینه‌های مورد نیاز پروژه، سطح بحرانی ریسک را بررسی و تعیین می‌کند. در این پژوهش برای تعیین میزان ریسک پذیری نگاشتی در جدول ۲ با توجه به ادبیات پژوهش و نظرات خبرگان برای سطوح مختلف ریسک از بسیار کم تا بسیار زیاد در نظر گرفته شده است. اقدامات اصلاحی با استفاده از نظر کارشناسان برای ریسک‌های با سطح "متوسط" به بالا در این تحقیق اعمال می‌گردد.

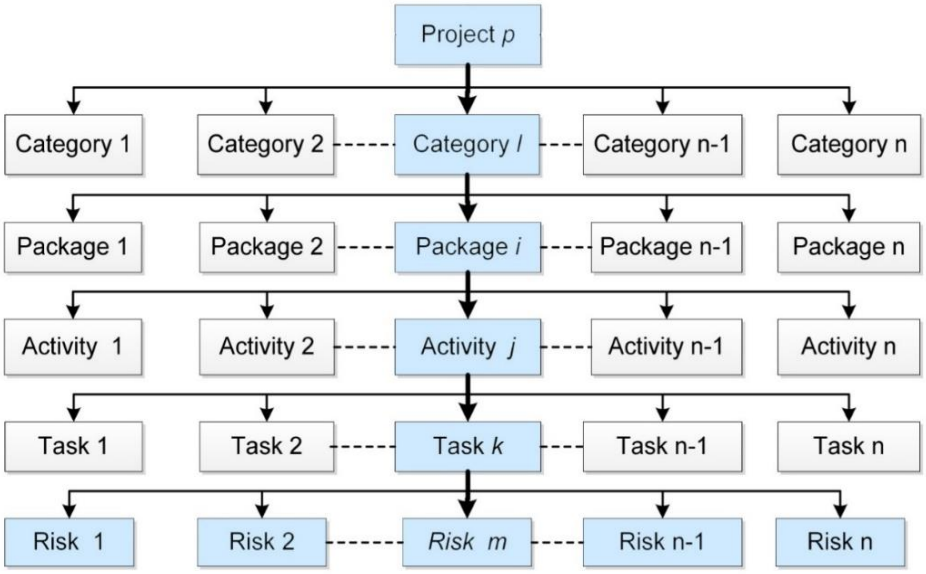
جدول ۲- مقادیر اهمیت نسبی ریسک‌ها

ارزش زبانی درجه ریسک پذیری		مقیاس نگاشت سطح ریسک
بسیار کم	VL	۰,۲۰RPN <
کم	L	0.20< RPN <0.25
متوسط	M	0.25< RPN <0.30
زیاد	H	0.30< RPN <0.35
بسیار زیاد	VH	۰,۳۵RPN >

۴-۷- گام هفتم- پاسخ‌دهی به ریسک‌های با اولویت بالا

متناظر با سطح ریسک به دست آمده از روش فازی برای هر ریسک، در صورت لزوم اقدامات اصلاحی صورت می‌گیرد. برنامه‌ریزی واکنش به ریسک فرآیند تکوین انتخاب‌ها و تعیین اقداماتی جهت افزایش فرصت‌ها و کاهش تهدیدها بر اهداف پروژه است. این فرآیند در برگیرنده شناسایی و تخصیص افراد یا قسمت‌هایی به منظور پذیرش مسئولیت واکنشی مورد توافق به ریسک می‌باشد و اطمینان می‌دهد که به ریسک‌های شناسایی شده به نحو شایسته‌ای پرداخته می‌شود. ایده اقدامات پیشنهادی در FMEA به منظور کاهش یا حذف احتمال وقوع و شدت اثر همچنین افزایش و بهبود قابلیت کشف و تشخیص ریسک می‌باشد. اغلب انتخاب بهترین واکنش به ریسک از میان گزینه‌های مختلف و بر اساس استراتژی‌های پاسخ به ریسک اعم از اجتناب، کاهش، انتقال و پذیرش ریسک برای ریسک‌های منفی و بهره‌برداری از ریسک، تقسیم و بهسازی ریسک برای ریسک‌های مثبت انجام می‌پذیرد.

علاوه بر این در این پژوهش روش جدیدی برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های سنتی در نظر گرفته شده است. در روش‌های سنتی تنها به بررسی میزان ریسک در پایین‌ترین سطوح ساختار شکست ریسک پرداخته می‌شود و این در صورتی مفید است که تعداد محدودی ریسک در پروژه و تحلیل ریسک درگیر باشند. بنابراین، روش‌های سنتی هیچ گونه اطلاعاتی در مورد سطح ریسک در سایر اجزای پروژه (به عنوان مثال، بخش‌ها، متولیان یا دسته‌ها) ارائه نمی‌دهد. روش نگاشت ریسک توسعه یافته برگرفته از پژوهش "مدیریت ریسک مبتنی بر مجموعه فازی برای پروژه‌های عمرانی" (صلاح، ۲۰۱۵) با ارائه تصویری جدید، اطلاعاتی در مورد میزان ریسک در سطوح مختلف پروژه ارائه می دهد، و بر این محدودیت‌ها غلبه می‌کند. نگاشت توسعه یافته از ارزش کیفی ریسک استفاده می‌کند و به صورت گرافیکی اهمیت هر جزء پروژه را از سطح ریسک تا سطح پروژه، که در این تحقیق به ترتیب سطح پنج تا یک بوده است را نشان می‌دهد. طرح نگاشت جدول ۲ و ساختار شکست ریسک معرفی شده در شکل ۲، به طور مشترک امکان ایجاد تصویری از میزان ریسک در سطوح مختلف پروژه‌های عمرانی را فراهم می‌سازد.



شکل ۲- تشریح ساختار شکست ریسک پروژه

با توجه به دقت محاسبات ریاضی در روش FMEA فازی برای تجمیع میزان ریسک در لایه‌های بالاتر، از روابط ریاضی و مفاهیم فازی بهره گرفتیم. ارزش ریسک هر جزء پروژه با استفاده از میانگین وزنی مقادیر ریسک زیر مجموعه‌های مرتبط با آن با معادله زیر محاسبه می شود.

$$\tilde{R}_{\mathrm{j}} = \sum_{j=1}^{j=n} W_i \times \tilde{R}_{\mathrm{ij}}$$

که در آن، Wi نشان دهنده وزن زیر جزء "i" ام مربوط به جزء "j" ام پروژه است.

وزن هر جزء فرعی "i" به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$W_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^{i=n} R_{ij}}$$

که در آن، R_{ij} ارزش قطعی عدد اولویت ریسک زیر جزء "i" ام مرتبط با جزء "j" ام پروژه است.

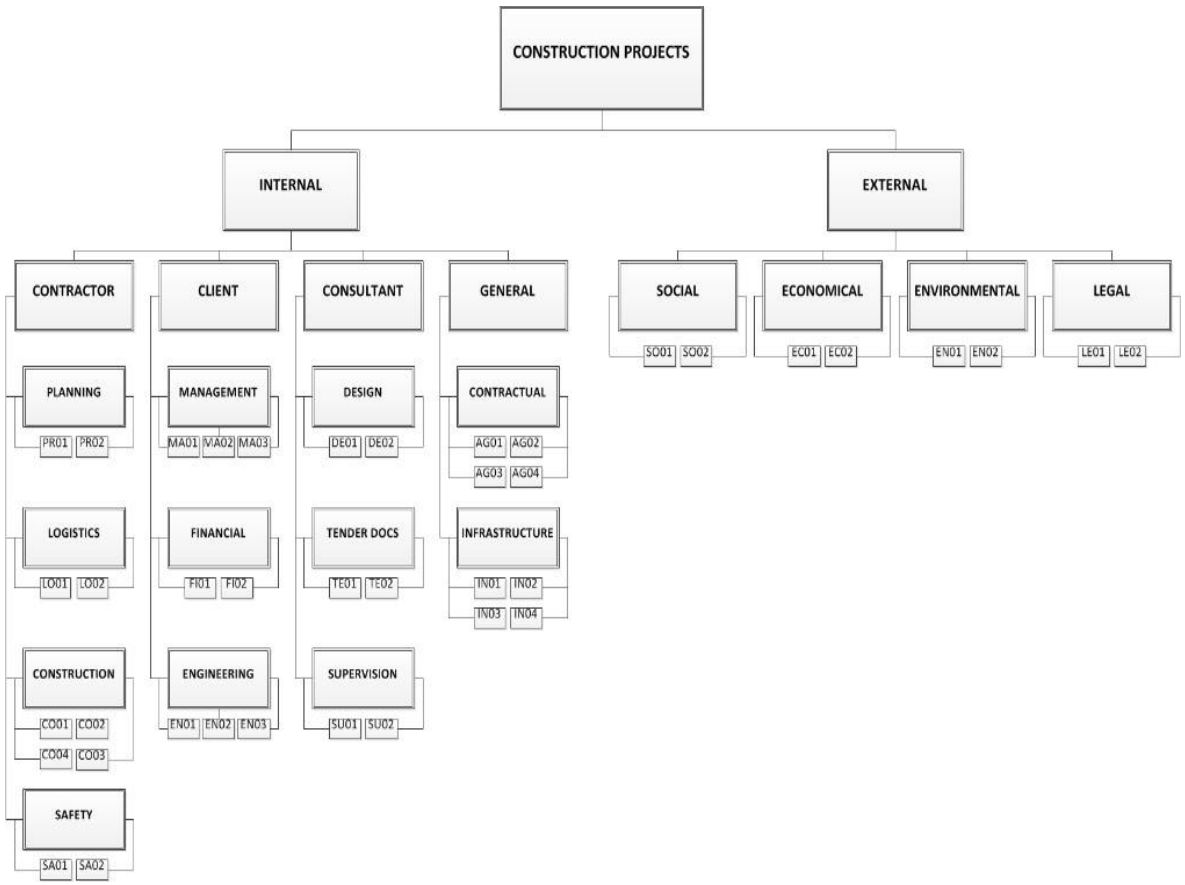
۵- پیاده‌سازی مدل پیشنهادی بر مبنای تلفیق روش‌های FMEA و منطق فازی

در این بخش به پیاده‌سازی و اجرای مراحل هفت‌گانه مدل پیشنهادی مدیریت ریسک در پروژه‌های ساخت به کمک روش تحلیلی FMEA فازی می‌پردازیم.

۵-۱- پیاده‌سازی گام اول- شناسایی ریسک‌های پروژه‌های عمرانی

به منظور سهولت در انجام کار و نظام‌مند شدن فعالیت، یک ساختار شکست ریسک برای پروژه‌های عمرانی طراحی شده است. در سطح اول این ساختار ریسک‌های پروژه‌های عمرانی قرار می‌گیرد. در سطح دوم ریسک‌ها به دو بخش درونی و بیرونی تقسیم‌بندی می‌شوند. در سطح سوم که بر اساس متولیان ریسک تعیین شده است، ریسک‌های درونی به ریسک‌های مرتبط با پیمانکار، کارفرما، مشاور و ریسک‌های عمومی تقسیم شده و ریسک‌های بیرونی به ریسک‌های اجتماعی، اقتصادی ، عوامل منطقه‌ای و زیست محیطی و ریسک‌های قانونی تقسیم‌بندی شده‌است. در سطح چهارم این ساختار ریسک‌های درونی مرتبط با هر یک از متولیان به بخش‌های زیر تقسیم شده‌اند:

- ریسک‌های درونی با متولی پیمانکار: به چهار بخش برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، پشتیبانی و لجستیک، ساخت و ایمنی
- ریسک‌های درونی با متولی کارفرما: به سه بخش مدیریتی، مالی و مهندسی
- ریسک‌های درونی با متولی مشاور: به سه بخش طراحی، تهیه اسناد مناقصه و نظارت
- ریسک‌های درونی عمومی: به دو بخش قراردادی و زیر ساخت



شکل ۳- ساختار شکست ریسک پروژه‌های عمرانی

در سطح پنجم ریسک‌های بالقوه شناسایی شده در پروژه‌های عمرانی برای هر بخش از فعالیت‌ها با مشورت خبرگان و بر اساس مطالعات انجام شده محققینی چون (اوتوبو، ۲۰۱۶)، (فاضیلی، ۲۰۱۳)، (گاجوسکا و روپل، ۲۰۱۱)، (الصایق، ۲۰۰۸)، (مورانو، ۲۰۰۶)، (ابوموسی، ۲۰۰۵)، (انشاسی و مایر، ۲۰۰۱)، (تاه و کار، ۲۰۰۱) تفکیک شده است. شکل ۳ و جدول ۳ پنج سطح این ساختار شکست ریسک را نشان می‌دهد.

۵-۲- پیاده‌سازی گام دوم- تنظیم و توزیع پرسشنامه

همانطور که در بخش قبل اشاره شد به منظور ارزیابی ریسک‌ها در پروژه‌های عمرانی پرسشنامه‌ای تدوین و در بین جامعه آماری مورد بررسی توزیع گردید که جمعاً در حدود ۱۵۰ نفر از کارشناسان خبره این صنعت در این نظرسنجی شرکت نمودند. در ادامه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل ویژگی‌های جامعه‌ی نمونه شامل توزیع فراوانی میزان تحصیلات، سمت شغلی اعم از کارفرما، مشاور و پیمانکار و میزان تجربه پاسخ‌دهندگان در صنعت ساخت ارائه می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های پاسخ‌دهندگان منطبق بر ویژگی‌های در نظر گرفته شده برای جامعه‌ی آماری بوده است.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل توزیع فراوانی میزان تحصیلات پاسخ دهندگان نشان می‌دهد، ۳۹ درصد افراد لیسانس، ۵۲ درصد افراد فوق لیسانس و ۹ درصد از افراد دکترا و بالاتر بوده‌اند.

همچنین نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل توزیع فراوانی سمت شغلی پاسخ دهندگان نشان می‌دهد، ۱۸ درصد افراد پیمانکار، ۴۴ درصد افراد کارفرما و ۳۸ درصد از افراد مشاور بوده‌اند.

در ادامه بررسی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل توزیع فراوانی میزان تجربه پاسخ دهندگان نشان می‌دهد، ۳۵ درصد افراد ۱۰ تا ۲۰ سال سابقه، ۶۲ درصد افراد بالای ۲۰ سال سابقه و ۳ درصد از افراد با سابقه‌ی زیر ۱۰ سال بوده‌اند.

جدول ۳- پنج سطح ساختار شکست ریسک در پروژه‌های عمرانی

پروژه‌های عمرانی	دسته	متولی	بخش	شرح ریسک
سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴	سطح ۵
ریسک در پروژه‌های عمرانی	درونی	پیمانکار	برنامه‌ریزی و کنترل	عدم تأمین نقدینگی لازم توسط پیمانکاران، فرآیندهای نامناسب برنامه‌ریزی و کنترل پروژه
			پشتیبانی/ لجستیک	عدم تجهیز مناسب کارگاه اعم از ماشین آلات، تجهیزات و مصالح، کمبود و بهره وری پایین نیروهای متخصص
			ساخت	کیفیت ضعیف در اجرا، انتخاب نامناسب روش اجرای پروژه، عدم کنترل و تطبیق طراحی با اجرا، ضعف مدیریت کارگاه و سایت
			ایمنی	عدم رعایت HSE در اجرا، عدم رعایت موارد بهداشت عمومی
		کارفرما	مدیریتی	تأخیر در تحویل زمین و عدم رفع معارضین در زمان مناسب، افتتاح زودهنگام و اجبار به تکمیل پروژه، تصمیم گیری‌های غیر تخصصی و اعمال سلیقه در پروژه
			مالی	عدم تامین نقدینگی و تأخیر کارفرما در پرداختهای مالی، در نظر نگرفتن تعدیل در شرایط تورم
			مهندسی	عدم انجام مطالعات اقتصادی مناسب و مهندسی پایه، ارزیابی و واگذاری پروژه به مشاور یا پیمانکار نامناسب، تأخیر در ابلاغ دستور کارها، صورت مجالس و مکاتبات
		مشاور	طراحی	تأخیر در تحویل مطالعات و نقشه‌های اجرایی، ضعف طراحی و عدم ساخت پذیری طرح
			تهیه اسناد مناقصه	تفاوت متره و برآورد با مقادیر واقعی، عدم ارائه مشخصات فنی کافی در اسناد مناقصه
			نظارت	ضعف فنی پرسنل نظارت کارگاهی مشاور، عدم حضور مرتب و مؤثر ناظر
		عمومی	قراردادی	برآورد نادرست مبلغ قرارداد، انتخاب نامناسب نوع پیمان، خواسته‌های خارج از محدوده قرارداد، اختلافات قراردادی
			زیر ساخت	عدم هماهنگی بین گروه‌های درگیر پروژه، شرایط رقابتی دشوار و ارائه پیشنهاد قیمت پایین در مناقصه، ضعف سیستم اطلاعاتی مدیریتی و آرشیو مستندات، عدم انجام مطالعات ریسک در پروژه
	بیرونی	اجتماعی	اجتماعی	نا امنی و سرقت، تعارضات فرهنگی و کارشکنی ساکنین منطقه
		اقتصادی	اقتصادی	مواجه شدن با تورم و افزایش قیمت غیر قابل پیش‌بینی، تحریم اقتصادی
		عوامل منطقه ای و زیست محیطی	عوامل منطقه ای و زیست محیطی	فورس ماژور (حوادث طبیعی سیل، زلزله، همه گیری، ...)، شرایط آب و هوایی نامساعد و صعوبت دسترسی به سایت
		قانونی	قانونی	تغییرات در مقررات و دستورالعمل‌های ابلاغی، عدم همکاری ادارات و سازمان‌های اثرگذار در اجرای پروژه‌های عمرانی

۵-۳- پیاده‌سازی گام سوم- تعیین توابع عضویت فازی معیارها

جهت اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده در ابتدا اطلاعات کل پرسشنامه‌ها به یک پرسشنامه تجمیع شده تبدیل خواهد شد. با توجه به اینکه پرسشنامه به صورت فازی طراحی گردیده است و نظرات خبرگان به صورت زبانی از "خیلی کم" تا "خیلی زیاد" بر روی هر معیار ریسک دریافت شده است، در این مرحله معادل فازی امتیازدهی زبانی افراد به معیارها در نظر گرفته شده و سپس تجمیع نظرات انجام خواهد شد. به منظور تجمیع نظر خبرگان در معیارها، از روش تجمیع اعدد فازی استفاده می‌گردد.

در این تحقیق برای تجمیع نظرات خبرگان از تکنیک ارزش متوسط که با میانگین‌گیری بین نقاط حد بالا، وسط و حد پایین هر معیار انجام می‌گردد، به دلیل ارائه بازه و نتایج مناسب در اعداد فازی بهره گرفته شده است. در نهایت تمامی پرسشنامه‌ها به یک پرسشنامه فازی واحد برای معیارهای مؤثر در درجه اولویت ریسک اعم از احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک تبدیل گردیده است.

۵-۴- پیاده‌سازی گام چهارم- محاسبه عدد اولویت ریسک (FRPN)

در این مرحله با توجه به اینکه در مرحله قبل نظرات خبرگان تجمیع گردید برای هر یک از پارامترهای احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک‌ها یک عدد فازی تجمیع شده به دست آمده است. با استفاده از عملیات ضرب اعداد فازی مثلثی، سه پارامتر احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک به صورت فازی بر اساس روابط ارائه شده، با ضرب مقادیر کمینه در هم، مقادیر میانی در هم و مقادیر بیشینه در هم، به دست آمده و FRPN به صورت یک عدد فازی مثلثی محاسبه می‌گردد (جدول ۴). لازم به ذکر است مقادیر فازی مثلثی قید شده برای هر یک از پارامترهای ریسک در این جدول نتیجه تجمیع در مرحله قبل می‌باشد.

۵-۵- پیاده‌سازی گام پنجم- غیرفازی نمودن عدد اولویت ریسک (RPN)

برای رتبه‌بندی عدد اولویت ریسک لازم است خروجی فازی سیستم تبدیل به یک عدد غیر فازی و قطعی گردد. در این مرحله مقادیر FRPN محاسبه شده در گام قبلی برای هر ریسک با استفاده از رابطه مقدار عدد فازی که از حاصل جمع حد پایین، چهار برابر حد وسط و حد بالای FRPN تقسیم بر عدد ۶ بدست می‌آید به اعداد قطعی تبدیل می‌گردند. جدول ۴ محاسبات را برای چند نمونه از کدهای ریسک نشان می‌دهد.

جدول ۴- محاسبه عدد اولویت ریسک

کد ریسک	احتمال وقوع ریسک			شدت اثر ریسک			قابلیت کشف ریسک			FRPN			FRPN
	uO	mO	lO	uS	mS	lS	uD	mD	lD	u	m	l	Defuzzified
PR01	0.89	0.71	0.46	0.91	0.73	0.48	0.70	0.46	0.25	0.57	0.24	0.05	0.26
PR02	0.89	0.69	0.45	0.89	0.70	0.45	0.74	0.51	0.28	0.58	0.25	0.06	0.27
LO01	0.80	0.58	0.35	0.83	0.61	0.37	0.65	0.40	0.20	0.43	0.14	0.03	0.17
LO02	0.83	0.64	0.40	0.88	0.68	0.44	0.73	0.50	0.27	0.53	0.22	0.05	0.24
CO01	0.86	0.67	0.43	0.89	0.72	0.48	0.74	0.52	0.29	0.58	0.26	0.06	0.28
CO02	0.84	0.63	0.39	0.86	0.66	0.41	0.77	0.53	0.29	0.56	0.22	0.05	0.25
CO03	0.82	0.62	0.37	0.87	0.67	0.42	0.71	0.48	0.26	0.51	0.20	0.04	0.22

۵-۶- پیاده‌سازی گام ششم- تعیین سطح ریسک جهت انجام اقدامات اصلاحی

باتوجه به اینکه یکی از اهداف تحقیق به حداقل رساندن پیامدهای ناشی از ریسک‌ها بر روی اهداف پروژه می‌باشد در نتیجه باید در جهت حذف یا کاهش ریسک‌هایی که در ناحیه بحرانی قرار دارند با در نظر گرفتن سطح ریسک اقدامات کنترلی انجام شود. یادآور می‌شود که معمولاً سطح ریسک قابل قبول برای هر سازمان یا هر پروژه متفاوت بوده و بستگی به منابع مالی و اقتصادی، محدودیت‌های تکنولوژیکی و ساخت، عوامل انسانی مجرب، صلاحدید و تصمیم مدیریت و ذینفعان دارد. در این تحقیق مقادیر درجه ریسک پذیری با توجه به محدوده اعداد به دست آمده از مرحله قبل و مشورت با خبرگان و در نظر گرفتن شرایط حاکم بر پروژه‌ها و میزان پذیرش ریسک سازمان‌ها در جدول ۵ آورده شده است و با رنگ‌بندی به جهت نمایش نگاشت سطح ریسک مشخص می‌گردند. نتایج ارزیابی ریسک نشان داد که ۱۷ مورد از ریسک‌ها دارای سطح متوسط به بالا هستند که با توجه به سیاست کلی تحقیق در جهت حذف و یا کاهش ریسک‌های پروژه‌های عمرانی در ناحیه بحرانی قرار دارند و نیازمند نظارت و مراقبت بیشتر می‌باشند.

جدول ۵- راهنمای تعیین سطح ریسک جهت انجام اقدامات اصلاحی

ارزش زبانی درجه ریسک پذیری		مقیاس نگاشت سطح ریسک Mapping Scale	رنگ نگاشت سطح ریسک Mapping Color
بسیار کم	VL	۰,۲۰R<	
کم	L	0.20<R<0.25	
متوسط	M	0.25<R<0.30	
زیاد	H	0.30<R<0.35	
بسیار زیاد	VH	۰,۳۵R>	

۵-۷- پیاده‌سازی گام هفتم- پاسخ‌دهی به ریسک‌های با اولویت بالا

فرآیند برنامه‌ریزی واکنش به ریسک متناظر با سطح ریسک به دست آمده برای هر ریسک و در صورت لزوم به انجام اقدامات اصلاحی اطمینان می‌دهد که به ریسک‌های شناسایی شده به نحو شایسته‌ای پرداخته می‌شود. افزایش یا کاهش ریسک‌ها در پروژه اثر بخشی این واکنش را تعیین خواهد نمود. این برنامه می‌بایست متناسب با شدت ریسک بوده و در مواجهه با چالش‌ها از نظر هزینه‌ای اثر بخش باشد، همچنین برای موفق بودن باید به هنگام و با توجه به شرایط پروژه واقع‌بینانه باشد. ضمناً باید مورد توافق همه‌ی ذینفعان و قسمت‌های درگیر پروژه بوده و توسط یک شخص مسئول پذیرفته شده باشد. همانگونه که اشاره شد و در جدول ۶ مشاهده می‌گردد ۱۷ مورد از ریسک‌های ارزیابی شده دارای سطح متوسط به بالا هستند و در طول حیات پروژه نیازمند توجه و نظارت بیشتر می‌باشند. در ادامه این پژوهش جهت حذف و یا کاهش سه ریسک دارای سطح بسیار بالا راهکارهایی ارائه می‌گردد.

ریسک مواجه شدن با تورم و افزایش قیمت غیر قابل پیش‌بینی (EC01)

تورم بر روی کلیه مصالح و تجهیزات و خدمات مورد نیاز در اجرای پروژه‌ها در طی سال‌های اخیر اثر گذاشته اما تغییر برخی اقلام به صورت غیر قابل پیش‌بینی مانند تغییرات سال‌های اخیر در قیمت فولاد، سیمان، قیر و ... تأثیر بسزایی در ایجاد تأخیر و حتی خاتمه پروژه‌ها داشته است. در ادامه برخی از راهکارها و اقدامات اصلاحی اعلام شده توسط خبرگان این صنعت ارائه گردیده است.

- لحاظ نمودن تعدیل در قراردادها ، علی‌رغم افزایش قیمت نهایی پروژه
- لحاظ نمودن تورم در قیمت پیشنهادی توسط پیمانکاران در قراردادهای فاقد تعدیل
- انتقال بخشی از تورم به پیمانکاران جزء با قراردادهای مناسب و رعایت انصاف
- انتقال بخشی از تورم به تأمین کنندگان با پیش خرید تجهیزات و مصالح
- ایجاد اطمینان در ذینفعان پروژه‌های عمرانی در سطح کشور با صدور به موقع بخشنامه‌های متناسب از سوی سازمان برنامه و بودجه جهت پرداخت مابه التفاوت‌های ناشی از تغییر قیمت اقلام اساسی پروژه‌ها
- قرار گرفتن تأمین بخشی از مصالح فوق در تعهد کارفرما

ریسک عدم تأمین نقدینگی و تأخیر کارفرما در پرداخت‌های مالی (FI01)

در سال‌های جاری و با توجه به وضعیت اقتصادی کشور و همچنین تعریف پروژه‌های غیر ضروری و فاقد اولویت، عدم وجود نقدینگی کافی جهت احداث پروژه‌های عمرانی دارای اولویت و عملکرد نامناسب و کج رفتاری‌هایی از سوی کارفرمایان در تأمین نقدینگی پروژه‌ها و پرداخت‌های صورت وضعیت پیمانکاران و مشاوران مشاهده می‌گردد. با این مقدمه سعی می‌گردد تا نسبت به ارائه اقدامات اصلاحی در پاسخ به ریسک مذکور اقدام گردد.

- لزوم انجام مطالعات فنی و اقتصادی دقیق جهت تعیین اولویت‌ها و بازگشت سرمایه پروژه‌ها
- کاهش بروکراسی اداری در راستای پرداخت سریع‌تر صورت وضعیت‌ها
- اولویت‌بندی مناسب پروژه‌های اجرایی و حذف پروژه‌های فاقد اولویت

- جذب سرمایه‌گذار در پروژه‌ها از طریق فاینانس و BOT و غیره
- اخذ تسهیلات در پروژه‌های دارای بازده اقتصادی
- پیش‌بینی جریان نقدینگی قبل از واگذاری پروژه و تخصیص بودجه آن
- انتخاب پیمانکاران دارای توان مالی مناسب در راستای نوسان‌گیری تأخیرات پرداخت کارفرما

جدول ۵- رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی در روش FMEA فازی

ردیف	شرح ریسک	کد ریسک	Defuzzified FRPN	Risk Level
1	مواجه شدن با تورم و افزایش قیمت غیر قابل پیش‌بینی	EC01	0.42	VH
2	عدم تأمین نقدینگی و تأخیر کارفرما در پرداختهای مالی	FI01	0.41	VH
3	تحریم اقتصادی	EC02	0.38	VH
4	در نظر نگرفتن تعدیل در شرایط تورم	FI02	0.34	H
5	ارزیابی و واگذاری پروژه به مشاور یا پیمانکار نامناسب	EG02	0.33	H
6	عدم انجام مطالعات اقتصادی مناسب و مهندسی پایه	EG01	0.33	H
7	شرایط رقابتی دشوار و ارائه پیشنهاد قیمت پایین در مناقصه	IN02	0.32	H
8	تصمیم گیری‌های غیر تخصصی و اعمال سلیقه در پروژه	MA03	0.32	H
9	کیفیت ضعیف در اجرا	CO01	0.28	M
10	ضعف مدیریت کارگاه و سایت پروژه	CO04	0.28	M
11	فرآیندهای نامناسب برنامه‌ریزی و کنترل پروژه	PR02	0.27	M
12	اختلافات قراردادی	AG04	0.27	M
13	برآورد نادرست مبلغ قرارداد	AG01	0.27	M
14	عدم تأمین نقدینگی لازم توسط پیمانکاران	PR01	0.26	M
15	عدم انجام مطالعات ریسک در پروژه	IN04	0.26	M
16	عدم همکاری ادارات و سازمان‌های اثرگذار در اجرای پروژه‌ها	LE02	0.25	M
17	انتخاب نامناسب روش اجرای پروژه	CO02	0.25	M
18	کمبود و بهره وری پایین نیروهای متخصص	LO02	0.24	L
19	خواسته‌های خارج از محدوده قرارداد	AG03	0.24	L
20	فورس ماژور (حوادث طبیعی سیل، زلزله، همه گیری، ...)	EN01	0.24	L
21	تفاوت متره و برآورد با مقادیر واقعی	TE01	0.24	L
22	عدم ارائه مشخصات فنی کافی در اسناد مناقصه	TE02	0.24	L
23	عدم هماهنگی بین گروه‌های درگیر پروژه	IN01	0.23	L
24	ضعف طراحی و عدم ساخت پذیری طرح	DE02	0.23	L
25	افتتاح زود هنگام و اجبار به تکمیل پروژه	MA02	0.23	L
26	عدم کنترل و تطبیق طراحی با اجرا	CO03	0.22	L
27	ضعف فنی پرسنل نظارت کارگاهی مشاور	SU01	0.22	L
28	تأخیر در ابلاغ دستور کارها، صورت مجالس و مکاتبات	EG03	0.22	L
29	تأخیر در تحویل زمین و عدم رفع معارضین در زمان مناسب	MA01	0.21	L
30	تأخیر در تحویل مطالعات و نقشه‌های اجرایی	DE01	0.20	L
31	انتخاب نامناسب نوع پیمان	AG02	0.20	L
32	ضعف سیستم اطلاعاتی مدیریتی و آرشیو مستندات	IN03	0.19	VL
33	عدم حضور مرتب و مؤثر ناظر	SU02	0.18	VL
34	عدم رعایت HSE در اجرا	SA01	0.18	VL
35	عدم تجهیز مناسب کارگاه اعم از ماشین آلات، تجهیزات و مصالح	LO01	0.17	VL
36	تعارضات فرهنگی و کارشکنی ساکنین منطقه	SO02	0.17	VL
37	تغییرات در مقررات و دستورالعمل‌های ابلاغی	LE01	0.16	VL
38	نا امنی و سرقت	SO01	0.14	VL
39	شرایط آب و هوایی نامساعد و صعوبت دسترسی به سایت	EN02	0.12	VL
40	عدم رعایت موارد بهداشت عمومی	SA02	0.11	VL

ریسک تحریم اقتصادی (EC02)

تحریم‌ها علیرغم فراز و نشیب در دوره‌های مختلف، همواره اثرات سوءی بر روی تأمین مصالح و تجهیزات خاص در پروژه‌های عمرانی کشور از قبیل راه‌آهن، ساختمان، خطوط لوله نفت و گاز و پتروشیمی و پالایشگاه‌ها و کارخانجات صنعتی و ... داشته است. برخی اقدامات اصلاحی به شرح زیر است.

- پیش‌بینی راهکارهای تأمین تجهیزات و کالاهای تحریمی قبل از واگذاری پروژه
- پذیرش هزینه‌های سنگین تأمین تجهیزات اصلی از کشورهای ثالث و تأمین بودجه لازم
- واگذاری پروژه به صورت سرمایه‌گذاری به پیمانکاران خارجی
- افزایش سهم خریدهای داخلی و حذف کالاهای خارجی
- سرمایه‌گذاری کلان کشور در ایجاد شرکت‌های دانش بنیان در راستای تولید تجهیزات خاص در داخل کشور

علاوه بر تعیین سطح هر ریسک در لایه‌ی پایین ساختار شکست می‌توان به بررسی و تجمیع میزان ریسک در لایه‌های بالاتر ساختار شکست ریسک نیز پرداخت تا علاوه بر آگاهی از سطوح پایین دست، نگاهی جامع به تأثیر ریسک‌ها در لایه‌های بالاتر مشتمل بر بخش‌ها، متولیان، دسته‌های درونی و برونی و به صورت کلی بررسی سطح و میزان ریسک در پروژه‌های عمرانی داشت. در ادامه تحقیق به تجمیع ریسک در لایه‌ها و سطوح مختلف می‌پردازیم تا سطح ریسک در کل ساختار شکست مدل و مشخص گردد.

پروژه	دسته	متولی	بخش	کد ریسک	FRPN Defuzzified	وزن ریسک Weight of risk value	مقدار فازی ریسک بخش Fuzzy Risk Value of Section			مقدار دفازی ریسک بخش Defuzzified Risk Value of Section	وزن بخش Weight of Section Value	مقادیر فازی ریسک متولی Fuzzy Risk Value of Trustee			مقدار دفازی ریسک متولی Defuzzified Risk Value of Trustee	وزن متولی Weight of Trustee	مقدار فازی ریسک دسته Fuzzy Risk Value of Category			مقدار دفازی ریسک دسته Defuzzified Risk Value of Category	وزن دسته Weight of Category	مقدار فازی ریسک پروژه های عمرانی Fuzzy Risk Value of Construction Projects			مقدار دفازی ریسک پروژه های عمرانی Defuzzified Risk Value of Construction Projects
پروژه های عمرانی	درونی	پیمانکار	برنامه ریزی و کنترل	PR01	۰.۲۶	۰.۴۹	۰.۶۸	۰.۲۴	۰.۰۶	۰.۲۲	۰.۳۰	۰.۵۲	۰.۲۱	۰.۰۵	۰.۱۳	۰.۲۳	۰.۵۵	۰.۲۹	۰.۰۶	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۰۶	۰.۲۶	۰.۵۵	۰.۲۲۲
				PR02	۰.۲۷	۰.۵۱																			
			پشتیبانی الجستیک	LO01	۰.۱۲	۰.۴۱	۰.۴۹	۰.۱۹	۰.۰۴	۰.۲۱	۰.۲۴														
				LO02	۰.۲۴	۰.۵۹																			
			ساخت	CO01	۰.۲۸	۰.۴۷	۰.۵۶	۰.۲۳	۰.۰۵	۰.۲۹															
				CO02	۰.۲۵	۰.۴۴																			
				CO03	۰.۲۲	۰.۴۲																			
				CO04	۰.۲۸	۰.۴۷																			
			ایمنی	SA01	۰.۱۸	۰.۶۲	۰.۳۸	۰.۱۳	۰.۰۲	۰.۱۵	۰.۱۷														
				SA02	۰.۱۱	۰.۲۸																			
		کارفرما	مدیریتی	MA01	۰.۲۱	۰.۲۸	۰.۵۵	۰.۲۴	۰.۰۶	۰.۲۶	۰.۲۸														
				MA02	۰.۲۲	۰.۳۰																			
				MA03	۰.۲۲	۰.۲۲																			
			مالی	FI01	۰.۳۰	۰.۵۵	۰.۶۷	۰.۳۷	۰.۱۱	۰.۲۵	۰.۲۰	۰.۶۲	۰.۲۱	۰.۰۸	۰.۲۱	۰.۳۳	۰.۳۱									
				FI02	۰.۳۴	۰.۴۵																			
			مهندسی	EN01	۰.۳۳	۰.۳۸	۰.۶۱	۰.۲۹	۰.۰۷	۰.۳۱	۰.۳۲														
				EN02	۰.۳۳	۰.۳۸																			
				EN03	۰.۲۲	۰.۲۴																			
		مشور	مشاوره	DE01	۰.۲۰	۰.۴۷	۰.۵۰	۰.۱۹	۰.۰۴	۰.۲۲	۰.۲۲	۰.۵۰	۰.۲۰	۰.۰۴	۰.۲۲	۰.۲۲	۰.۲۱									
				DE02	۰.۱۳	۰.۵۳																			
			تهیه اسناد مناقصه	TE01	۰.۱۲	۰.۵۰	۰.۵۳	۰.۲۱	۰.۰۴	۰.۲۴	۰.۲۶														
				TE02	۰.۱۲	۰.۵۰																			
			نظارت	SU01	۰.۲۲	۰.۵۵	۰.۴۸	۰.۱۸	۰.۰۴	۰.۲۰	۰.۳۱														
				SU02	۰.۱۸	۰.۴۵																			
		عمومی	قراردادی	AG01	۰.۲۷	۰.۲۷	۰.۵۴	۰.۲۲	۰.۰۵	۰.۲۵	۰.۴۹	۰.۵۴	۰.۲۳	۰.۰۵	۰.۲۳	۰.۲۵	۰.۲۱									
				AG02	۰.۲۰	۰.۲۷																			
				AG03	۰.۱۲	۰.۲۵																			
				AG04	۰.۲۷	۰.۲۸																			
			زیر ساخت	IN01	۰.۱۳	۰.۲۳	۰.۵۴	۰.۲۴	۰.۰۶	۰.۲۶	۰.۵۱														
				IN02	۰.۳۲	۰.۳۲																			
				IN03	۰.۱۹	۰.۱۹																			
				IN04	۰.۲۶	۰.۲۶																			
	بیرونی	اجتماعی	اجتماعی	SO01	۰.۱۴	۰.۴۵	۰.۴۹	۰.۱۳	۰.۰۲	۰.۱۵	۱.۰۰	۰.۳۹	۰.۱۳	۰.۰۲	۰.۱۵	۰.۱۶	۰.۵۴	۰.۵۲	۰.۲۷	۰.۲۸	۰.۰۷	۰.۲۷	۰.۲۶	۰.۵۵		
				SO02	۰.۱۷	۰.۵۵																			
		اقتصادی	اقتصادی	TC01	۰.۱۲	۰.۵۳	۰.۶۸	۰.۲۰	۰.۱۳	۰.۴	۱.۰۰	۰.۶۸	۰.۲۰	۰.۱۳	۰.۴	۰.۴۱										
				EC02	۰.۲۵	۰.۴۷																			
		عوامل منطقه ای و زیست محیطی	عوامل منطقه ای و زیست محیطی	EN01	۰.۱۲	۰.۴۷	۰.۴۴	۰.۱۸	۰.۰۴	۰.۲۰	۱.۰۰	۰.۴۴	۰.۱۸	۰.۰۴	۰.۲۰	۰.۲۱										
				EN02	۰.۱۲	۰.۲۳																			
		قانونی	قانونی	LE01	۰.۱۶	۰.۳۹	۰.۴۹	۰.۱۹	۰.۰۴	۰.۲۲	۱.۰۰	۰.۴۹	۰.۱۹	۰.۰۴	۰.۲۲	۰.۲۲										
				LE02	۰.۲۵	۰.۶۱																			

جدول ۶- سطح ریسک مربوط به هر جزء پروژه در ساختار شکست ریسک

تجمیع ریسک در لایه‌های بالاتر با توجه به روابط ریاضی فازی اشاره شده انجام می‌گردد. در این راستا از نگاشت سطح ریسک معرفی شده برای نشان دادن سطوح ریسک مربوط به هر جزء پروژه در جدول ۷ و شکل ۴ استفاده شده است. مقدار ریسک فازی هر جزء نیز با استفاده از روابط مطروحه در بخش قبل محاسبه می‌شود. به طور مشابه، سطح ریسک مربوط به هر یک از اجزاء ساختار شکست مشتمل بر بخش، متولی و دسته محاسبه و مطابق مقیاس نگاشت ارائه شده تعیین می‌شود.

مقدار ریسک فازی به دست آمده برای پروژه‌های عمرانی در این تحقیق برابر است با (0,55 , 0,26 , 0,06) و مقدار غیرفازی و قطعی شده‌ی مربوط به آن برابر 0,272 است. این بدان معناست که سطح کلی ریسک مربوط به پروژه‌های عمرانی متوسط است.

٦- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

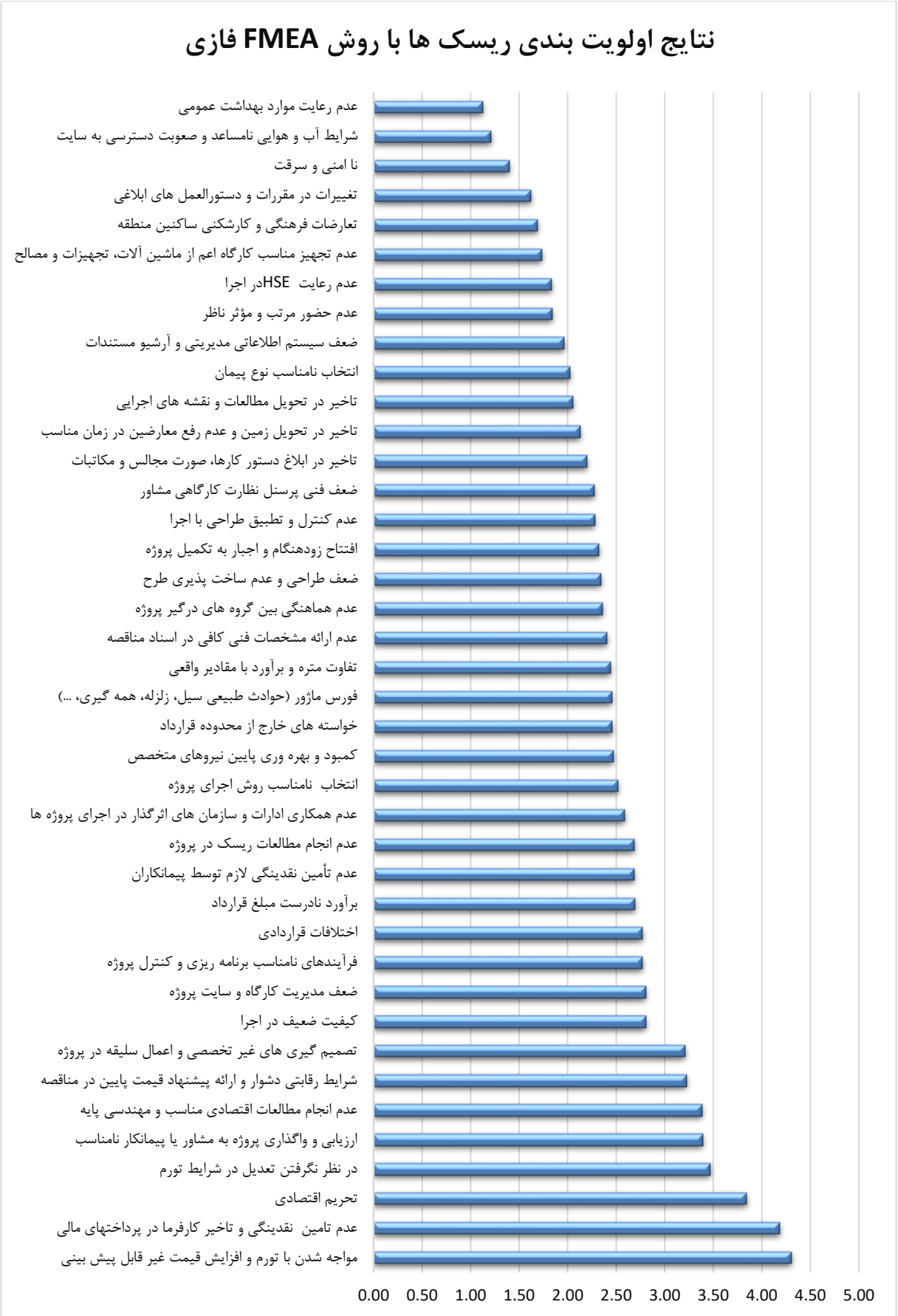
این تحقیق مدلی برای مدیریت ریسک بر مبنای منطق فازی ارائه می‌دهد. بر اساس یافته‌های تحلیل به روش FMEA فازی و با توجه به مقیاس نگاشت سطح ریسک همانطور که در نمودار مربوط شکل ۵ قابل مشاهده است از میان ۱۷ ریسک ناحیه بحرانی، سه ریسک "مواجه شدن با تورم و افزایش قیمت غیر قابل پیش‌بینی"، "عدم تأمین نقدینگی و تأخیر کارفرما در پرداخت‌های مالی" و "تحریم اقتصادی" دارای سطح ریسک بسیار زیاد هستند.

برای ایجاد نگاهی جامع به تأثیر ریسک‌ها در لایه‌های بالاتر ساختار شکست ریسک پروژه‌های عمرانی در این تحقیق، علاوه بر تعیین سطح هر ریسک در لایه‌ی پایین به بررسی و تجمیع میزان ریسک در سطوح بالاتر ساختار شکست ریسک نیز پرداخته شده است تا زوایای پنهان تأثیر ریسک در سطوح مختلف بخش‌ها، متولیان و همچنین دسته‌های درونی و بیرونی مشخص گردد.

بر این پایه و با توجه به مقیاس نگاشت تحقیق، سطح ریسک بدست آمده برای پروژه‌های ساخت متوسط می‌باشد. از یافته‌های تحقیق دریافت می‌شود که بسیاری از ریسک‌های بحرانی و مهم را می‌توان مربوط به متولیانی چون مسائل اقتصادی و کارفرمایی با سطوح "بسیار زیاد" و "زیاد" دانست. بخش‌های مالی، مهندسی و مدیریت کارفرما به ترتیب دارای سطوح بالاتری از "بسیار زیاد"، "زیاد" و "متوسط" نسبت به بقیه می‌باشند. همچنین بخش‌های برنامه‌ریزی و ساخت در حوزه پیمانکار، و موارد قراردادی و زیر ساخت در حوزه موارد عمومی دارای سطح ریسک متوسط بوده و نیاز به حساسیت و مراقبت بیشتر در برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک پروژه دارند.

در نهایت یافته‌های پژوهش جهت اعتبارسنجی در اختیار خبرگان امر قرار گرفت و ایشان پس از بررسی، مطابقت نتایج حاصله با تجارب و واقعیت‌های مشاهده شده را تأیید کردند.

شکل ۴- نگاشت ریسک پروژه‌های عمرانی و اجزای ساختار شکست ریسک



شکل ۵- نتایج اولویت‌بندی ریسک‌ها به روش FMEA فازی

منابع

Jaberi Majid, Nazari Ahad, Introduction and Comparison of Risk Management Models and Processes, Organizational Risk Management Conference, Shahid Beheshti International Conference Center, Tehran, September 2015. Persian.

Abu Mousa Hmaid, Risk Management in Construction Projects from Contractors and Owners" perspectives A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in construction Management., The Islamic University of Gaza – Palestine, March, 2005.

Alipouri, Yaqub, Ardeshir, Abdullah, Sibt, Mohammad Hassan, Fazel Zarandi, Mohammad Hussein. (1394). Application of fuzzy expert system and genetic algorithm to score the performance of safety management in Iranian construction workshops: a study of safety environment factors and personal experience. Sharif Civil Engineering, 31.2 (4.1), 31-39. Persian.

Ardeshir A.; M. Mohajeri and M. Amiri, Evaluation of safety risks in construction using Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FFMEA), Sharif University of Technology, 2016.

Delgado, M., F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martinez, Combining Numerical and Linguistic Information in Group Decision-Making, Journal of Information Sciences, 1998, Vol. 107, No. 1, pp. 177-194.

Fadhili, Ally, RISK MANAGEMENT IN CONSTRUCTION PROJECT Case study of building and civil contractors‟ in partial fulfillment of the requirements for the award of the master‟s degree of „construction economics and management', 2013.

Gajewska Ewelina, Mikaela Ropel, Risk Management Practices in a Construction Project– a case study, Master of Science Thesis in the Master's Programme Design and Construction Project Management, Department of Civil and Environmental Engineering Division of Construction Management Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2011.

Lin, H.F. and Lee, G.G. \A study of service quality evaluation model for virtual knowledge communities", E-Commerce Study, 4(2), pp. 211-234 (2006).

Molaei Barough, Armin and Mozaffar Khademi Shiraz, 2017, Risk Management in Development Projects; Case Study, 2nd International Congress of Contemporary Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Dubai, University of Naples, Italy - EMU University of Cyprus - Zhio Studies Center. Persian.

Naghash Tusi, Hossein and Mohammad Hassan Sabt, 2009, Presenting an Executive Method for Implementing the Risk Management Process and Applying It in the Management of Construction Projects - Case Study: 1000-unit Residential Complex, First National Conference on Construction Engineering and Management, Tehran, Amirkabir University of Technology. Persian.

Nasirzadeh, Farnad, Khanzadi, Mostafa, Afshar, Abbas. (1393). Simulate the simultaneous consequences of risks on project cost and time, taking into account uncertainties. Sharif Civil Engineering, Volume 2-30 (1.1), 3-11. Persian.

Otobo Odimabo, Onengiyeofori, Risk Management System to Guide Building Construction Projects' In Developing Countries: A Case Study Of Nigeria PhD February, 2016

Salah Ahmad, Fuzzy Set-based Risk Management for Construction Projects A Thesis In the Department of Building, Civil, and Environmental Engineering Presented in Partial Fulfilment of the Requirements For the Degree of Doctor of Philosophy (Building Engineering) at Concordia University Montreal, Quebec, Canada, June 2015

V. Carr, J.H.M. Tah, A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system, Civil-Comp Ltd and Elsevier Science Ltd, 2001.