



Research Article

Risk Management Based on Fuzzy Expert Systems in Construction Projects

Somayeh Ghorbani Noe

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

Received: 07 December 2021; Revised: 26 April 2022; Accepted: 26 April 2022; Published: 26 April 2022

Abstract

As projects grow and develop and become more complex, new tools are needed to help manage projects. One of these tools is risk management, because in an unstable and uncertain environment, one can expect Out-of-schedule and unexpected events at any time. Experts' knowledge is often used to assess the risk of projects, but humans always use words and phrases in their conversations that have no clear boundaries. Fuzzy logic is used to deal with such ambiguous words and phrases. Fuzzy set theory is a method that has proven effective in managing uncertainties similar to those mentioned in construction projects. A fuzzy expert system is an expert or knowledge-based system that uses a set of fuzzy membership functions and rules to reason data instead of binary logic. For systems with high uncertainty where sufficient and accurate information is not available, the fuzzy approximation reasoning approach is proposed. Fuzzy system input can be inaccurate information and system processing is done using approximate reasoning. In this study, the risks in construction projects were investigated by obtaining the opinions of experts in the fields of clients, consultants and contractors. By providing steps, we have tried to identify risks, evaluate them, and control high-priority risks using fuzzy logic and expert systems.

Keywords:

Risk Management; Fuzzy Logic; Uncertainty; Expert Systems; Approximate Reasoning

Cite this article as: Ghorbani Noe, S. (2022). Risk Management Based on Fuzzy Expert Systems in Construction Projects. *Civil and Project Journal*, 4(1), 11-28. <https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.01.1121>

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.



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

مدیریت ریسک مبتنی بر سیستم‌های خبره فازی در پروژه‌های ساخت

سمیه قربانی نوع

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه پیام نور البرز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۶ آذر ۱۴۰۰؛ تاریخ بازنگری: ۰۶ اردیبهشت ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۰۶ اردیبهشت ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۶ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

با گسترش و توسعه روز افزون پروژه‌ها و پیچیده‌تر شدن آن‌ها، نیاز به ابزارهای جدید برای کمک به مدیریت پروژه‌ها الزامی است. از جمله‌ی این ابزارها مدیریت ریسک است، چرا که در یک محیط بی‌ثبات و نامعین، هر لحظه می‌توان انتظار وقوع رخداد‌های خارج از برنامه و غیر منتظره را داشت. غالباً از دانش افراد خبره برای ارزیابی ریسک پروژه‌ها استفاده می‌گردد اما انسان‌ها همواره از کلمات و عباراتی در محاورات خود استفاده می‌کنند که مرزهای روشنی برای خود ندارند. برای برخورد با چنین کلمات و عبارات مبهمی از منطق فازی بهره گرفته می‌شود. تئوری مجموعه‌های فازی روشی است که کارایی خود را برای مدیریت عدم قطعیت‌هایی مشابه موارد ذکر شده در مورد پروژه‌های ساخت نشان داده است. سیستم خبره‌ی فازی عبارت است از یک سیستم خبره یا سیستم مبتنی بر دانش که برای استدلال داده‌ها از مجموعه‌ی از توابع عضویت و قواعد فازی به جای منطق دودویی استفاده می‌کند. برای سیستم‌های با عدم قطعیت زیاد که اطلاعات کافی و دقیقی نیز در دسترس نیست، رویکرد استدلال تقریبی فازی مطرح می‌شود. ورودی سیستم فازی می‌تواند اطلاعات نادقیق باشد و پردازش‌های سیستم نیز با بهره‌گیری از استدلال تقریبی انجام می‌شوند. در این تحقیق به بررسی ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی از طریق کسب نظرات خبرگان حوزه‌های کارفرمایی، مشاور و پیمانکاری پرداخته شد. با ارائه گام‌بندی سعی در شناسایی ریسک‌ها، ارزیابی آن‌ها و کنترل ریسک‌های با اولویت بالا با استفاده از منطق فازی و سیستم‌های خبره داشته‌ایم.

کلمات کلیدی:

مدیریت ریسک، منطق فازی، عدم قطعیت، سیستم‌های خبره، استدلال تقریبی

۱- مقدمه

با گسترش و توسعه روز افزون پروژه‌ها و پیچیده‌تر شدن آن‌ها، نیاز به ابزارهای جدید برای کمک به مدیریت پروژه‌ها الزامی است. از جمله‌ی این ابزارها مدیریت ریسک است، چرا که در یک محیط بی‌ثبات و نامعین، هر لحظه می‌توان انتظار وقوع رخداد‌های خارج از برنامه و غیر منتظره را داشت.

با رشد تئوری‌های مدیریت و برنامه‌ریزی و گسترش به کارگیری آن‌ها، لزوم استفاده از ابزارهای مدیریت و شناسایی ریسک خصوصاً در محیط‌های پروژه‌های عمرانی به شدت احساس می‌گردد. در این راستا تلاش برای شناسایی، آموزش و به کارگیری ابزارها و تکنیک‌های مدیریت ریسک پروژه طی سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای داشته است (فلاح و همکاران، ۱۳۹۳).

در سازمان‌های پروژه محور، مدیریت مؤثر پروژه‌ها برای حفظ کسب و کاری پایدار ضروری است. اعتقاد بر این است، که اجرای خوب مدیریت ریسک پروژه به عنوان یکی از عوامل مهم در موفقیت پروژه و عامل موفقیت بلند مدت شرکت است (خانزادی؛ حسین پور؛ گلشن و وزیر نی، ۱۳۹۶). هر چند پیاده‌سازی مدیریت ریسک پروژه در فرایند ساخت و ساز با دغدغه‌های فراوانی همراه است، لیکن پیاده‌سازی آن می‌تواند مزایایی همچون کسب درآمد و سود بسیار را در برداشته باشد (سلیمانپور هاشمی و هجرتی، ۱۳۹۵).

هدف مدیریت ریسک پروژه کاهش احتمال شکست پروژه در رسیدن به اهداف خود است. این کار با کمینه کردن ضررها و تبعات ناشی از خطرها و بیشینه استفاده کردن از موقعیت‌ها است (عدمیان؛ زینلیان و امینی، ۱۳۹۴).

غالباً از دانش افراد خبره برای ارزیابی ریسک پروژه‌ها استفاده می‌گردد اما انسان‌ها همواره از کلمات و عباراتی در محاورات خود استفاده می‌کنند که مرزهای روشنی برای خود ندارند. کلماتی نظیر خوب، بد، ضعیف، قوی، زشت، زیبا و نیز قیدهایی از قبیل اکثراً، معمول 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 روشی است که کارایی خود را برای مدیریت عدم قطعیت‌هایی مشابه موارد ذکر شده در مورد پروژه‌های ساخت نشان داده است و چارچوب مناسبی برای ارزیابی ریسک در این شرایط فراهم ساخته که مورد توجه پژوهش‌های متعددی بوده است (میرشکاری و همکاران، ۱۳۹۵).

سیستم خبره‌ی فازی عبارت است از یک سیستم خبره یا سیستم مبتنی بر دانش که برای استدلال داده‌ها از مجموعه‌ی از توابع عضویت و قواعد فازی به جای منطق دودویی (بولی) استفاده می‌کند. ثابت شده است که سیستم‌های خبره‌ی فازی سیستم‌های قابل اعتمادی هستند و پیاده‌سازی آنها به راحتی ممکن است (علیپوری و همکاران، ۱۳۹۴).

عدم قطعیت‌های غیر تصادفی توسط روش‌های مبتنی بر سیستم استنتاج فازی مدیریت می‌شوند. برای سیستم‌های با پیچیدگی بالا و عدم قطعیت زیاد که اطلاعات کافی و دقیقی نیز در دسترس نیست، رویکرد استدلال تقریبی فازی مطرح می‌شود (پنگ چنگ و همکاران، ۲۰۱۰) ورودی سیستم فازی می‌تواند اطلاعات نادقیق باشد و پردازش‌های سیستم نیز با بهره‌گیری از استدلال تقریبی انجام می‌شوند (نادرپور و همکاران، ۱۳۹۸).

در این تحقیق با بررسی ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی از طریق کسب نظرات متخصصان و مدیران کارفرما و چندین شرکت پیمانکار و مشاور و چگونگی تأثیر آن‌ها بر پروژه، سعی در ارائه راه کار و گام‌بندی برای تعیین و شناسایی ریسک‌ها، تأثیر کمی و کیفی آنها و کنترل ریسک‌ها با استفاده از منطق فازی و سیستم‌های خبره داشته‌ایم. با تعیین روشی بر مبنای سیستم‌های خبره‌ی فازی مبتنی بر قواعد و قوانین استنتاجی و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در پروژه‌های ساخت به رتبه‌بندی ریسک‌ها بر مبنای بزرگی آن‌ها پرداخته تا بتوانیم در بهینه‌سازی پروژه‌های ساخت اعم از زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی و ... قدمی هر چند کوچک برداشته و منجر به حداکثر بهره‌وری و جلوگیری از هدر رفت سرمایه‌های ملی و ذی‌نفعان پروژه شویم.

۲- منطق فازی

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. در سال ۱۹۷۳، نوشتار دیگری نیز منتشر شد که در آن با جزئیات بیشتری در مورد منطق و ریاضیات فازی و به کارگیری آن در سیستم کنترل بحث شده بود. در دهه‌ی ۱۹۷۰، اولین کاربردهای منطق فازی ظاهر شد. ابراهیم ممدانی، اولین سیستم فازی را در انگلستان ارائه کرد. در دهه‌ی ۱۹۸۰، ژاپنی‌ها این سیستم‌ها را برای کنترل استفاده و تا سال ۱۹۹۰، بیش از ۱۰۰ محصول با کاربردهای کنترل فازی ارائه کردند (علیپوری و همکاران، ۱۳۹۴).

برای تعیین پیامدهای ناشی از ریسک‌های مختلف، باید پارامترهای مؤثر بر هر یک از ریسک‌ها را تعیین کرد تا بتوان میزان تأثیر آن‌ها در اهداف پروژه را تعیین کرد. میزان این پارامترها قطعی نیست و مقادیر آنها را می‌توان با استفاده از منطق فازی تعیین کرد. اما با توجه به اینکه در پروژه‌های ساخت، بیشتر داده‌های تاریخی موجود نیستند، میزان این پارامترها با استفاده از نظرات افراد خبره و با به کارگیری منطق فازی تعیین می‌گردد. 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 (نصیرزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

یک مجموعه‌ی فازی A در مجموعه‌ی جهانی U توسط تابع عضویت $\mu_A(x)$ مشخص می‌شود، که این تابع عضویت، مقدار عضویت x را در مجموعه‌ی A مشخص می‌کند. مقادیر این تابع عضویت در بازه‌ی $[0,1]$ قرار دارد.

عدد فازی مثلثی $A = (a, b, c)$ ، یک مجموعه‌ی فازی در R یا تابع عضویت مثلثی به صورت رابطه‌ی ۱ است:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{if } a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & \text{if } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{if } x > c, \text{ or } x < a \end{cases} \quad (1)$$

و به طور مشابه، عدد فازی ذوزنقه‌یی $A = (a, b, c, d)$ ، یک مجموعه‌ی فازی در R با تابع عضویت ذوزنقه‌یی در رابطه‌ی ۲ آمده است:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{if } b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c) & \text{if } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{if } x > d, \text{ or } x < a \end{cases} \quad (2)$$

بنابراین نظریه‌ی فازی موقعیت‌هایی را در بر می‌گیرد که عضویت در یک مجموعه را نمی‌توان فقط با بله یا خیر توصیف کرد. در مجموعه‌های کلاسیک، درجه‌ی عضویت یک عضو دو مقدار ۱ یا ۰ دارد. این در حالی است که در بسیاری از مجموعه‌ها مانند مجموعه‌های مصالح با کیفیت، روش‌های اجرایی کم هزینه، طراحی‌های مناسب و ... نمی‌توان به صورت قطعی عضویت در مجموعه را بیان کرد. همان گونه که شرح داده شد، در مجموعه‌های فازی، هر عضو می‌تواند درجه عضویتی بین ۰ و ۱ را اختیار کند. با توجه به موارد ذکر شده، در این پژوهش برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها و ابهام مرتبط با متغیرها از منطق فازی و تئوری مجموعه‌های مربوط به آن استفاده می‌کنیم.

۳- سیستم خبره‌ی فازی

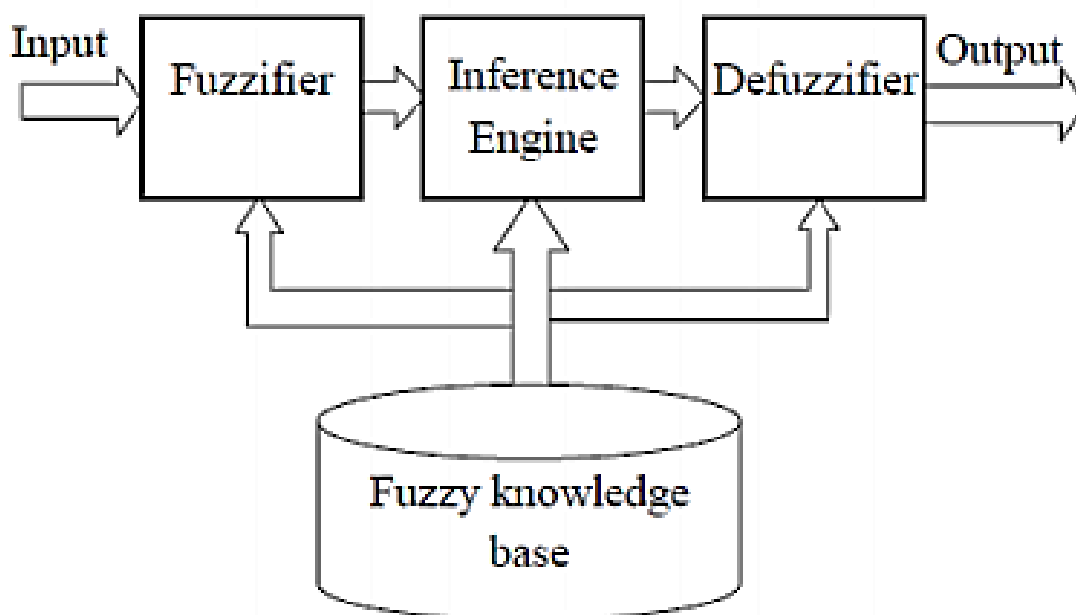
سیستم خبره یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی است که با گردآوری دانش تخصصی و اطلاعات کارشناسان در حوزه‌ای خاص و با استفاده از منطق می‌کوشد تا در کنار متخصصان به عرضه خدمات تخصصی بپردازد. به عبارت دیگر، سیستم‌های خبره،

سیستم‌هایی هستند که از دانش افراد خبره برای حل مشکلات دنیای واقعی، که به هوش انسان نیاز دارند، استفاده می‌کنند. این نوع سیستم‌ها در حال حاضر نقش بسیار مهمی را در سیستم‌های هوشمند بازی می‌کنند و معمولاً برای اهداف برنامه‌ریزی، طراحی، تشخیص خطا و غیره استفاده می‌شوند.

سیستم استنتاج فازی، فرایندی سیماتیک برای تبدیل یک پایگاه دانش به یک نگاشت غیر خطی را فراهم می‌آورد. به همین علت، از سیستم‌های مبتنی بر دانش سیستم‌های فازی در کاربردهای مهندسی و تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در سال ۱۹۷۵، برای کنترل ترکیب یک موتور بخار و بویلر با استفاده از ترکیب قواعد کنترل زبانی در تجربیات عملگرهای انسانی، از وجود سیستم استنتاج فازی استفاده شده است. در سال ۱۹۷۸ نیز نخستین کنترل‌کننده فازی برای کنترل یک فرایند صنعتی کامل، یعنی کوره‌ی سیمان، به کار برده شده است. از آن پس بود که کنترل‌کننده‌های فازی در بسیاری از دستگاه‌ها و فرایندهای صنعتی، مانند مترو و روباتیک و بسیاری از مسائلی که به تصمیم‌گیری نیاز داشت، به کار برده شد (نادریور و همکاران، ۱۳۹۸). پیشینه‌ی به کارگیری این سیستم‌ها در سطح وسیع به اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ باز می‌گردد و تا قبل از این تاریخ بیشتر سیستم‌های خبره‌ی شناخته شده، آزمایشی و آکادمیک بوده‌اند.

تفاوت اصلی سیستم‌های خبره با دیگر نرم‌افزارها در این است که سیستم خبره، دانش را پردازش می‌کند در حالی که دیگر نرم‌افزارها اطلاعات و داده‌ها را پردازش می‌کنند. کاربر سیستم خبره واقعیت‌ها یا دیگر اطلاعات را برای سیستم فراهم و در پاسخ، یک توصیه یا نظر تخصصی را دریافت می‌کند. سیستم‌های خبره شامل دو عنصر اصلی هستند که عبارت‌اند از: پایگاه دانش و موتور استنتاج. از تخصص و دانش افراد خبره جهت ساخت پایگاه دانش استفاده می‌شود. دانش افراد خبره به شکل قوانین و داده‌ها در بخش دانش ذخیره می‌شوند. موتور استنتاج برنامه‌ی است که با تجزیه و تحلیل قوانین و داده‌ها در پایگاه دانش، نتایج منطقی را ارائه می‌کند (علیپوری و همکاران، ۱۳۹۴).

معماری سیستم خبره فازی نشان می‌دهد (شکل ۱) سیستم از اجزاء فازی ساز، موتور استنتاج فازی و دفازی ساز تشکیل شده است. روند تبدیل متغیرهای صریح به متغیرهای زبانی را فازی سازی گویند. موتور استنتاج با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج، قوانین را ارزیابی و استنتاج می‌کند و پس از جمع قوانین خروجی توسط واحد دفازی ساز به مقدار صریح یا عددی تبدیل می‌شود.



شکل ۱- معماری سیستم خبره فازی

۴- شرح روش تحقیق

برای تعیین ارزش هر ریسک روش‌های مختلفی مطرح شده است. در این پژوهش با در نظر گرفتن سه پارامتر احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک سعی در افزایش دقت محاسبه ارزش ریسک خواهد شد. در نظر گرفتن سه پارامتر اشاره شده مربوط به یکی از تکنیک‌های ارزیابی ریسک بوده که توسط استانداردهای فراوانی مانند استاندارد وزارت دفاع آمریکا، توصیه شده است.

از دیدگاه مدیریت پروژه در این روش واژه‌ی ریسک برای اشاره به حالت اختلال به کار گرفته می‌شود که عبارت است از یک اتفاق یا شرایط غیر قطعی که در صورت وقوع، طبق تعریف PMBOK دست کم در یکی از اهداف پروژه مانند زمان، هزینه و کیفیت اثری مثبت یا منفی خواهد داشت.

تکنیک FMEA ابزاری برای شناخت، تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی شکست‌ها است 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 صحیح در صدد حذف آن‌ها نیز بر می‌آید. در بسیاری از موارد، وقتی با یک مشکل مواجه می‌شویم، ممکن است برای حذف آن، اقدامات اصلاحی تعریف و اجرا شود. این اقدامات، واکنشی است در برابر آنچه اتفاق افتاده است. در چنین مواردی حذف همیشگی مشکل، به هزینه و منابع زیاد نیاز دارد؛ زیرا حرکت از وضعیت موجود به سمت شرایط بهینه اینرسی زیادی خواهد داشت، اما در اجرای FMEA با پیش‌بینی مشکلات بالقوه اقداماتی در جهت حذف و یا کاهش میزان وقوع آن‌ها تعریف و اجرا می‌شود.

این برخورد پیشگیرانه، کنشی است در برابر آنچه که ممکن است در آینده رخ دهد و مسلماً اعمال اقدامات اصلاحی در مراحل اولیه پروژه، هزینه و زمان بسیار کم‌تری در برخواهد داشت. علاوه بر این، هر تغییری در مراحل اولیه بر روی طرح یا فرآیند به راحتی انجام شده و در نتیجه احتمال نیاز به تغییرات اساسی در آینده را حذف و یا کاهش خواهد داد.

روش FMEA مزایای بسیاری چون کاهش زمان تحویل پروژه با شناسایی موانع در مراحل آغازین کار و پیشگیری از وقوع آن‌ها، کاهش هزینه‌های مرتبط با عدم تطابق و دوباره‌کاری، رواج کار تیمی درون سازمان پروژه و در نتیجه افزایش رضایت کارفرما به دلیل تجربه کمتر مشکلات در طول عمر پروژه دارد.

اما با وجود استقبال چشمگیر از این تکنیک و کارایی بسیار بالای آن در بسیاری از صنایع، در سال‌های اخیر بسیاری از افراد و سازمان‌های به کار گیرنده این تکنیک، با مشکلات و کاستی‌هایی چون دشوار بودن تعیین اهمیت نسبی هر فاکتور به صورت عددی با توجه به این که اکثر اطلاعات موجود به صورت زبانی مطرح می‌شوند و یا مقادیر گسسته اعداد اولویت ریسک که از حاصل ضرب سه فاکتور احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک حاصل می‌شوند مواجه بوده‌اند.

برای حل این ایرادات و با هدف ارائه مدلی کارآمد جهت مدیریت و ارزیابی ریسک در پروژه‌های عمرانی، از منطق فازی و سیستم‌های خبره فازی در کنار تکنیک FMEA بهره گرفته شد (روغنیان و مجیبیان، ۲۰۱۵)، (توکلان، ۲۰۱۵)، (فادیله و پریبادی، ۲۰۱۸). ابتدا به منظور شناسایی ریسک‌ها در پروژه‌های عمرانی از منابع کتابخانه‌ای، پایان‌نامه و مقالات مرتبط، مستندات موجود در پروژه‌ها و نظرات خبرگان در این زمینه استفاده شد و بر این اساس پرسشنامه مربوطه تهیه گردید. پرسشنامه‌های مورد استفاده در پژوهش بر اساس مدل تحقیق و رویکرد تجزیه و تحلیل عوامل شکست بوده و شامل اطلاعات جمعیت شناختی، تعیین احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت کشف ریسک‌ها می‌باشد. سپس نظرات خبرگان از عبارات کلامی به اعداد فازی تبدیل و تجمیع میانگین نظرات انجام می‌شود. در مرحله بعدی محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی با استفاده از تکنیک FMEA و منطق فازی توسط پایگاه دانش و قوانین سیستم خبره انجام پذیرفته و اولویت‌بندی ریسک‌ها پس از قطعی‌سازی و دفازی نمودن داده‌ها در سیستم استنتاج فازی صورت می‌گیرد. در نهایت با توجه به اولویت ریسک‌ها و منشأهای آن‌ها راهکارهایی نیز جهت مدیریت ریسک‌های با اولویت بالا ارائه می‌شود.

۵- مدل پیشنهادی بر مبنای سیستم خبره‌ی فازی

سیستم خبره‌ی فازی عبارت است از یک سیستم خبره یا سیستم مبتنی بر دانش که برای استدلال داده‌ها از مجموعه‌ای از توابع عضویت و قواعد فازی استفاده می‌کند. سیستم‌های خبره‌ی فازی سیستم‌های قابل اعتمادی هستند که پیاده‌سازی آن‌ها به راحتی امکان‌پذیر بوده و در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش نیز برای پیاده‌سازی مدل پیشنهادی تحقیق و محاسبه‌ی اعداد اولویت ریسک برای رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های ساخت می‌توان از سیستم‌های خبره و استنتاج فازی بهره گرفت. اجزاء تشکیل دهنده‌ی سیستم خبره‌ی فازی عبارتند از فازی ساز، پایگاه دانش و قوانین فازی، موتور استنتاج فازی، فازی زدا و رابط کاربر. اجزاء فازی ساز و فازی زدا اجزاء فرعی و داخلی سیستم بوده و سه جزء دیگر که در ارتباط مستقیم با کاربر هستند اجزاء اصلی آن می‌باشند. (علیپوری و همکاران، ۱۳۹۴). در ادامه به بررسی هر یک از اجزاء سیستم خبره‌ی فازی و نحوه‌ی به کارگیری آن‌ها در مدل سیستم خبره‌ی پیشنهادی پرداخته شده است.

رابط کاربر به کاربران یک سیستم خبره کمک می‌کند تا مقدار موردنظر خود را برای هر یک از پارامترهای ورودی وارد سیستم خبره می‌کنند. بخش محاسبات فازی نرم‌افزار متلب به گونه‌ای طراحی شده که ورودی‌ها توسط کاربر وارد سیستم شده و عمل محاسبات و استنتاج بر روی ورودی‌ها توسط سیستم خبره انجام و در نهایت نتیجه‌ی به دست آمده با استفاده از رابط کاربر نمایش داده می‌شود. در این مرحله برای تعیین اعداد اولویت ریسک، سه ورودی احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک بر اساس پنج مقیاس زبانی "بسیار کم"، "کم"، "متوسط"، "زیاد" و "بسیار زیاد" وارد سیستم می‌شوند.

فازی ساز یک سیستم خبره‌ی فازی در قسمت ورودی قرار دارد و متغیرهایی با مقادیر زبانی را به یک مجموعه‌ی فازی تبدیل می‌کند. در این مرحله متغیرهای ورودی با استفاده از توابع عضویت تعریف شده مانند آنچه در روش تحلیلی قبل در نظر گرفته شده بود و از طریق واحد فازی ساز به اعداد فازی تبدیل می‌شوند.

پایگاه دانش و قوانین فازی از ترکیب دانش خبرگان در مورد موضوع تحت بررسی به وجود می‌آید و شامل مجموعه‌ای از قوانین با متغیرهای زبانی است. شکل عمومی یک قانون فازی به صورت رابطه‌ی زیر است (محمد و مختار، ۲۰۱۸):

If condition1 and condition2 and condition3 ... Then action1, action2, action3

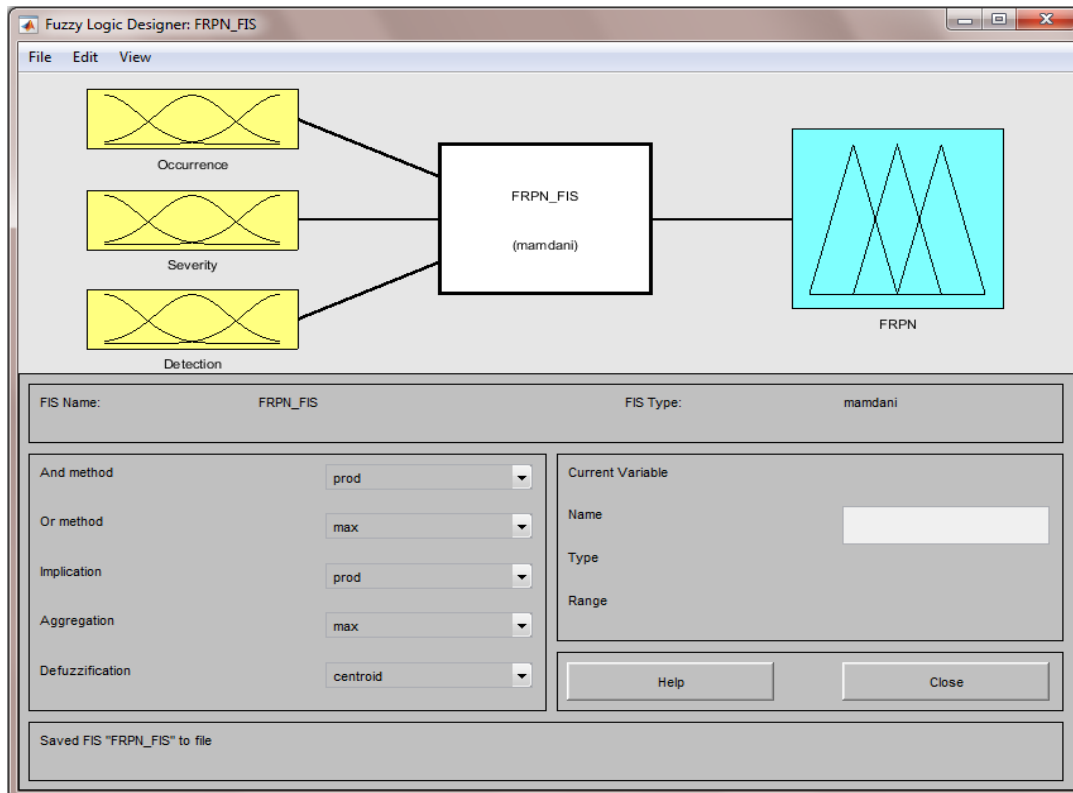
برای تشکیل مجموعه‌ای از این قواعد و قوانین، نظریات خبرگان جمع‌آوری و با استفاده از آن‌ها و به کارگیری عملگرهای «و»، «یا» و «نه» فازی در میان آن‌ها، قوانین «اگر - آنگاه» ایجاد می‌شود و این قوانین برای ارتباط بین مجموعه‌های فازی ورودی و خروجی استفاده می‌شوند. در این مرحله قوانین و روابط حاکم بین پارامترهای احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک در ورودی و عدد اولویت ریسک در خروجی توسط خبرگان تعیین شده و به عنوان قواعد سیستم در نظر گرفته می‌شود.

موتور استنتاج فازی جزء تصمیم گیرنده‌ی سیستم خبره‌ی فازی است و قابلیت استنتاج خروجی‌ها از قواعد و عملگرهای فازی را دارد. در واقع، موتور استنتاج برنامه‌ای است که قوانین و دانش موجود در پایگاه دانش را تحلیل کرده و در نهایت، یک نتیجه‌گیری منطقی ارائه می‌دهد. انواع مختلفی از موتورهای استنتاج وجود دارند، که پرکاربردترین آن‌ها موتور استنتاج ممدانی می‌باشد و در این نوشتار با بهره‌گیری از نرم‌افزار متلب از این موتور استنتاج استفاده شده است. درجه‌ی عضویت هر یک از ورودی‌ها در قوانین به کار رفته توسط این بخش سیستم محاسبه و مقدار اعداد اولویت ریسک فازی توسط نرم‌افزار تعیین می‌گردد.

فازی زدا جزء فازی زدای سیستم خبره‌ی فازی بوده و عملکرد آن عکس جزء فازی ساز آن می‌باشد. به این معنی که فازی زدا مقدار قطعی خروجی را از مجموعه‌های فازی خروجی موتور استنتاج تولید می‌کند. در این بخش از روش فازی زدای مرکز ثقل برای رسیدن به جواب قطعی و نهایی مدل استفاده شده است. بدین ترتیب مقادیر اعداد اولویت ریسک محاسبه شده در مرحله‌ی قبل به مقادیر قطعی جهت اولویت‌بندی و رتبه‌دهی به ریسک‌های موجود در پروژه‌های ساخت تبدیل می‌گردند.

۶- پیاده‌سازی مدل پیشنهادی بر مبنای سیستم خبره فازی

در این بخش به پیاده‌سازی مدل پیشنهادی مدیریت ریسک در پروژه‌های ساخت به کمک سیستم خبره فازی پرداخته شده است. جهت پیاده‌سازی مدل پیشنهادی تحقیق، برای محاسبه عدد الویت ریسک و به دست آوردن ریسک‌های با درجه بالاتر در پروژه‌های ساخت می‌توان از سیستم‌های خبره فازی استفاده نمود. بدین منظور طراحی سیستم خبره فازی پیشنهادی و محاسبه عدد اولویت ریسک با کمک نرم افزار متلب انجام گرفته است. با توجه به اینکه موتور استنتاج ممدانی به عنوان پرکاربردترین روش استنتاج فازی شناخته شده است در این پژوهش در صدد هستیم تا از جعبه ابزار منطق فازی نرم افزار متلب که بر این پایه طراحی گردیده است، برای این منظور بهره گیریم. در ابتدای کار تولید سیستم خبره فازی، تعیین ساختار سیستم انجام می‌گردد. بدین منظور تعداد قوانین و متغیرهای ورودی و خروجی مشخص می‌شوند. ساختار سیستم استنتاج فازی ممدانی طراحی شده در شکل ۲ نمایش داده شده است.



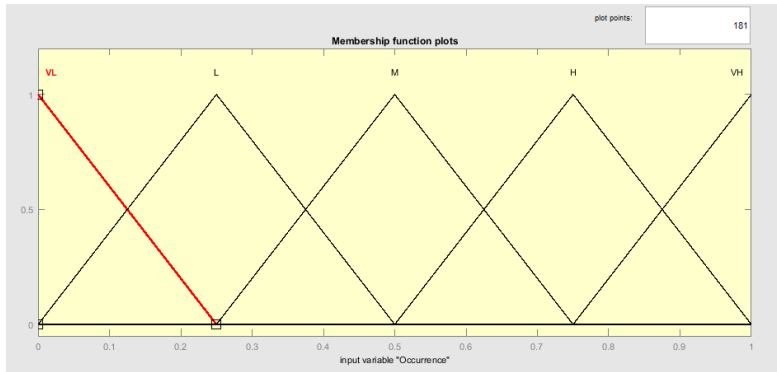
شکل ۲- ساختار سیستم استنتاج فازی ممدانی

پس از تعیین ساختار، نوبت به شناسایی ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی و کسب نظر خبرگان جهت امتیازدهی به پارامترهای مؤثر بر ریسک‌ها اعم از احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف برای هر یک از ریسک‌ها می‌رسد. ابتدا با کمک از منابع کتابخانه‌ای 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)، همچنین 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 (جدول ۱). 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 قرار گرفت 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.

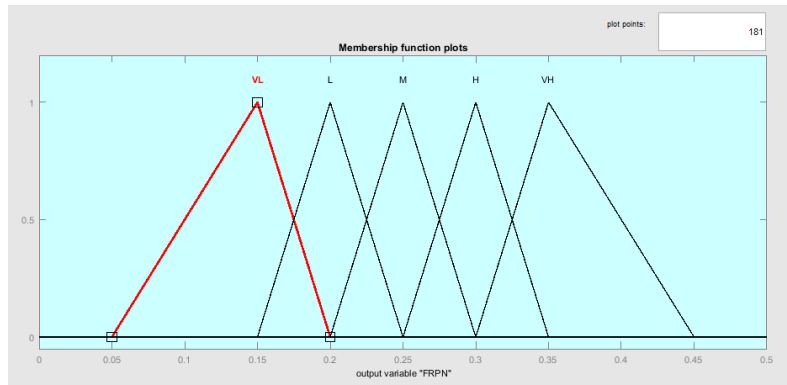
جدول ۱- لیست کدگذاری شده ریسک‌های مؤثر شناسایی شده در پروژه‌های عمرانی

کد ریسک	شرح ریسک	کد ریسک	شرح ریسک
PR01	عدم تأمین نقدینگی لازم توسط پیمانکاران	TE01	تفاوت متره و برآورد با مقادیر واقعی
PR02	فرآیندهای نامناسب برنامه‌ریزی و کنترل پروژه	TE02	عدم ارائه مشخصات فنی کافی در اسناد مناقصه
LO01	عدم تجهیز مناسب کارگاه	SU01	ضعف فنی پرسنل نظارت کارگاهی مشاور
LO02	کمبود و بهره‌وری پایین نیروهای متخصص	SU02	عدم حضور مرتب و مؤثر ناظر
CO01	کیفیت ضعیف در اجرا	AG01	برآورد نادرست مبلغ قرارداد
CO02	انتخاب نامناسب روش اجرای پروژه	AG02	انتخاب نامناسب نوع پیمان
CO03	عدم کنترل و تطبیق طراحی با اجرا	AG03	خواسته‌های خارج از محدوده قرارداد
CO04	ضعف مدیریت کارگاه و سایت پروژه	AG04	اختلافات قراردادی
SA01	عدم رعایت HSE در اجرا	IN01	عدم هماهنگی بین گروه‌های درگیر پروژه
SA02	عدم رعایت موارد بهداشت عمومی	IN02	شرایط رقابتی دشوار و ارائه پیشنهاد قیمت پایین
MA01	تأخیر در تحویل زمین و عدم رفع معارضین	IN03	ضعف سیستم اطلاعاتی مدیریتی و آرشیو مستندات
MA02	افتتاح زود هنگام و اجبار به تکمیل پروژه	IN04	عدم انجام مطالعات ریسک در پروژه
MA03	تصمیم‌گیری‌های غیر تخصصی و اعمال سلیقه در پروژه	SO01	نا امنی و سرقت
FI01	عدم تأمین نقدینگی و تأخیر کارفرما در پرداخت‌های مالی	SO02	تعارضات فرهنگی و کارشناسی ساکنین منطقه
FI02	در نظر نگرفتن تعدیل در شرایط تورم	EC01	مواجه شدن با تورم و افزایش قیمت غیر قابل پیش‌بینی
EG01	عدم انجام مطالعات اقتصادی مناسب و مهندسی پایه	EC02	تحریم اقتصادی
EG02	ارزیابی و واگذاری پروژه به مشاور یا پیمانکار نامناسب	EN01	فورس ماژور (حوادث طبیعی سیل، زلزله، همه‌گیری، ...)
EG03	تأخیر در ابلاغ دستور کارها، صورت‌مجلس و مکاتبات	EN02	شرایط آب و هوایی نامساعد و صعوبت دسترسی به سایت
DE01	تأخیر در تحویل مطالعات و نقشه‌های اجرایی	LE01	تغییرات در مقررات و دستورالعمل‌های ابلاغی
DE02	ضعف طراحی و عدم ساخت پذیری طرح	LE02	عدم همکاری ادارات و سازمان‌های اثرگذار در اجرای پروژه

گام بعدی تعیین توابع عضویت فازی مورد استفاده در سیستم خبره و نوع عملگرهای مورد استفاده می‌باشد. جهت تعیین توابع عضویت فازی با بهره‌گیری از مشورت، همفکری و تأیید خبرگان امر و با توجه به منطق ریسک در پروژه‌های ساخت تصمیم گرفته شد که از اعداد فازی مثلثی برای متغیرهای زبانی مورد استفاده در ورودی و خروجی هر یک از قوانین پایگاه دانش استفاده شود. توابع عضویت فازی مثلثی برای متغیرهای احتمال وقوع، شدت اثر، قابلیت کشف ریسک به صورت شکل ۳ و تابع عضویت خروجی، مربوط به عدد اولویت ریسک به صورت شکل ۴ در نظر گرفته شده‌اند. پس از تعیین توابع و تعریف پارامترهای مؤثر برای سیستم خبره فازی، با توجه به اجزاء سیستم، می‌توان کار طراحی نهایی سیستم و استفاده از جعبه ابزار منطق فازی متلب را انجام داد.



شکل ۳- توابع عضویت ورودی‌های سیستم خبره‌ی فازی



شکل ۴- تابع عضویت خروجی سیستم خبره‌ی فازی

گام بعدی مدل، محاسبه‌ی عدد اولویت ریسک‌ها و قطعی‌سازی آن می‌باشد. در پیاده‌سازی مدل با استفاده از سیستم خبره‌ی فازی این گام در بخش پایگاه دانش و به وسیله‌ی قوانین تعریف شده انجام می‌گردند. برای تعیین ساختار قوانین لازم است روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی و تعداد قوانین مورد نیاز مشخص شوند. سه پارامتر احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک به عنوان متغیرهای ورودی و عدد اولویت ریسک به عنوان خروجی با پنج مقیاس زبانی "بسیار کم"، "کم"، "متوسط"، "زیاد" و "بسیار زیاد"، برای سیستم خبره‌ی فازی پیشنهادی مطرح هستند. قوانین مورد استفاده در پایگاه دانش سیستم، از ساختار نشان داده شده در جدول ۲ تبعیت می‌کنند. و بدین ترتیب در مجموع، برای سه متغیر ورودی با پنج حالت زبانی تعریف شده، ۱۲۵ مجموعه قانون وجود خواهد داشت.

جدول ۲- ساختار قوانین و روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی

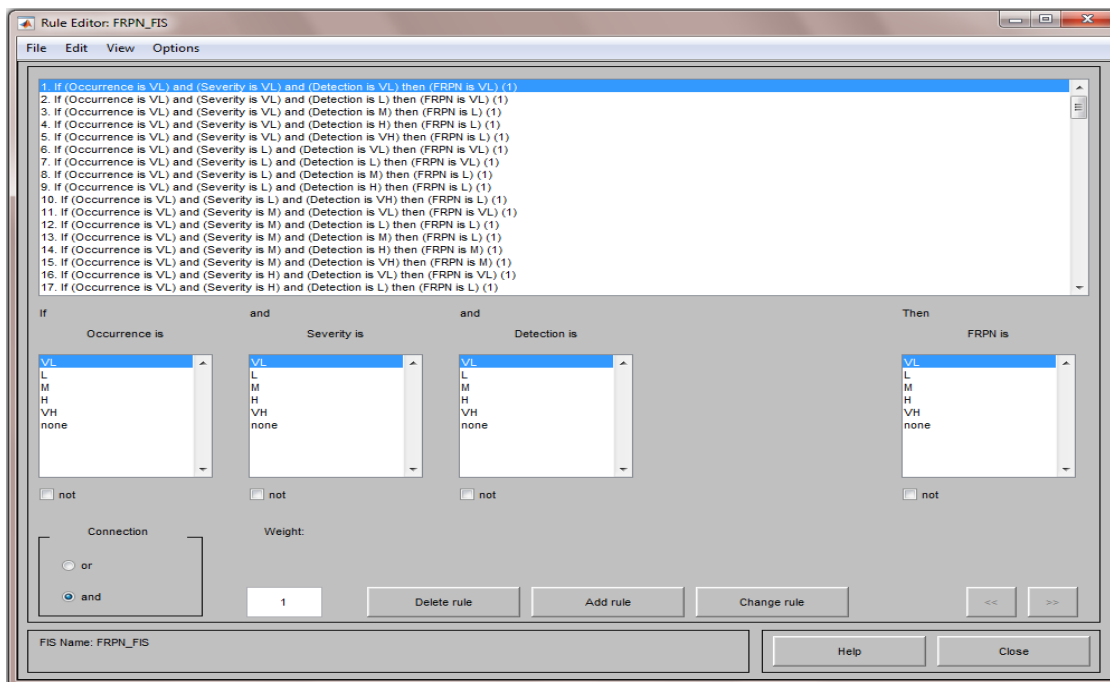
احتمال وقوع					مقدار ریسک		
خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	شدت اثر		
کم	کم	کم	خیلی کم	خیلی کم			خیلی کم
متوسط	متوسط	کم	کم	خیلی کم			کم
زیاد	زیاد	متوسط	کم	کم			متوسط
زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	کم			زیاد
خیلی زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	کم			خیلی زیاد

برای مثال قانون شماره ۲۰ عنوان می‌کند اگر احتمال وقوع ریسک بسیار کم و شدت اثر آن زیاد و قابلیت کشف ریسک بسیار زیاد باشد آنگاه عدد اولویت ریسک متوسط خواهد بود. یک دسته از مجموعه قوانین استفاده شده در سیستم خبره‌ی پیشنهادی به عنوان نمونه در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- یک دسته از مجموعه قوانین برای مقاردهی به عدد اولویت ریسک

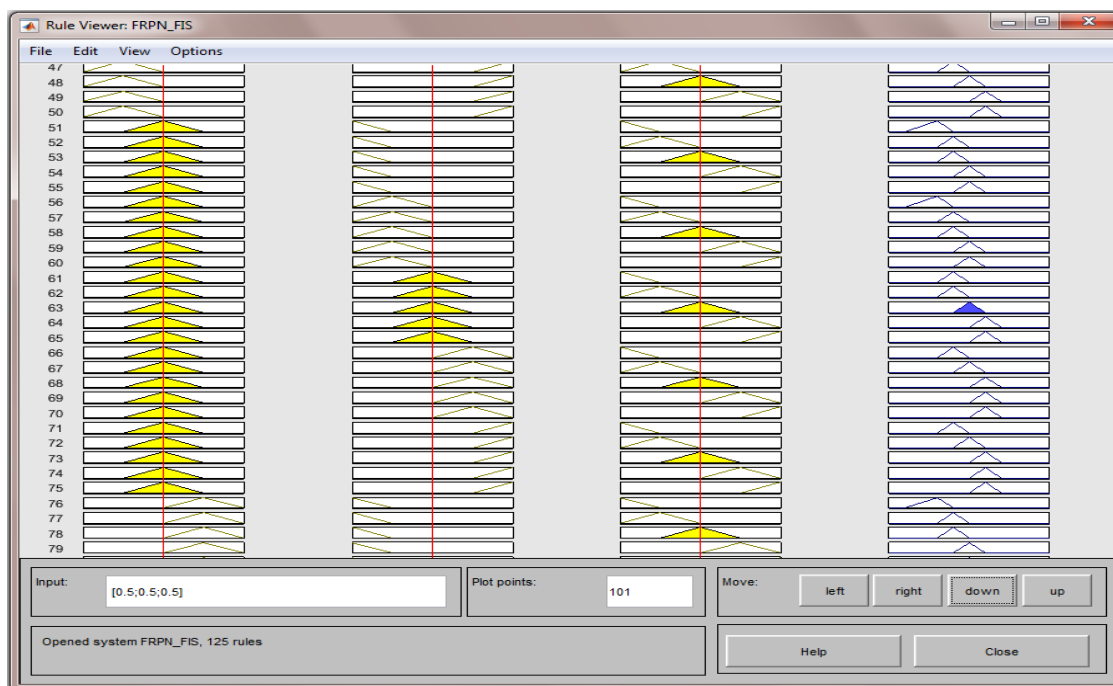
شماره قانون	احتمال وقوع	شدت اثر	قابلیت کشف	مقدار ریسک
1	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم
2	خیلی کم	خیلی کم	کم	خیلی کم
3	خیلی کم	خیلی کم	متوسط	کم
4	خیلی کم	خیلی کم	زیاد	کم
5	خیلی کم	خیلی کم	خیلی زیاد	کم
6	خیلی کم	کم	خیلی کم	خیلی کم
7	خیلی کم	کم	کم	خیلی کم
8	خیلی کم	کم	متوسط	کم
9	خیلی کم	کم	زیاد	کم
10	خیلی کم	کم	خیلی زیاد	کم
11	خیلی کم	متوسط	خیلی کم	خیلی کم
12	خیلی کم	متوسط	کم	کم
13	خیلی کم	متوسط	متوسط	کم
14	خیلی کم	متوسط	زیاد	متوسط
15	خیلی کم	متوسط	خیلی زیاد	متوسط
16	خیلی کم	زیاد	خیلی کم	خیلی کم
17	خیلی کم	زیاد	کم	کم
18	خیلی کم	زیاد	متوسط	کم
19	خیلی کم	زیاد	زیاد	متوسط
20	خیلی کم	زیاد	خیلی زیاد	متوسط
21	خیلی کم	خیلی زیاد	خیلی کم	خیلی کم
22	خیلی کم	خیلی زیاد	کم	کم
23	خیلی کم	خیلی زیاد	متوسط	کم
24	خیلی کم	خیلی زیاد	زیاد	متوسط
25	خیلی کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط

بخش ویرایشگر قوانین که به ثبت این قوانین در نرم افزار متلب می پردازد نیز در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵- پنل ویرایشگر قوانین در نرم افزار متلب

گام بعدی مدل مربوط به تعیین سطح ریسک‌ها می‌باشد، و با استفاده از قوانین پایگاه دانش سیستم استنتاج فازی در نمودارهای خروجی نرم افزار متلب نمایش داده می‌شود (شکل ۶). در این مرحله با وارد کردن مقادیر میانگین توابع عضویت مثلثی برای پارامترهای ورودی، احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک که از تجمیع پرسشنامه‌ها حاصل شده بود، مقادیر دفازی شده اعداد اولویت ریسک توسط سیستم محاسبه و به دست می‌آید. با توجه به مقادیر درجه اولویت به دست آمده ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی رتبه‌بندی شده و در جدول ۴ قرار گرفته‌اند.

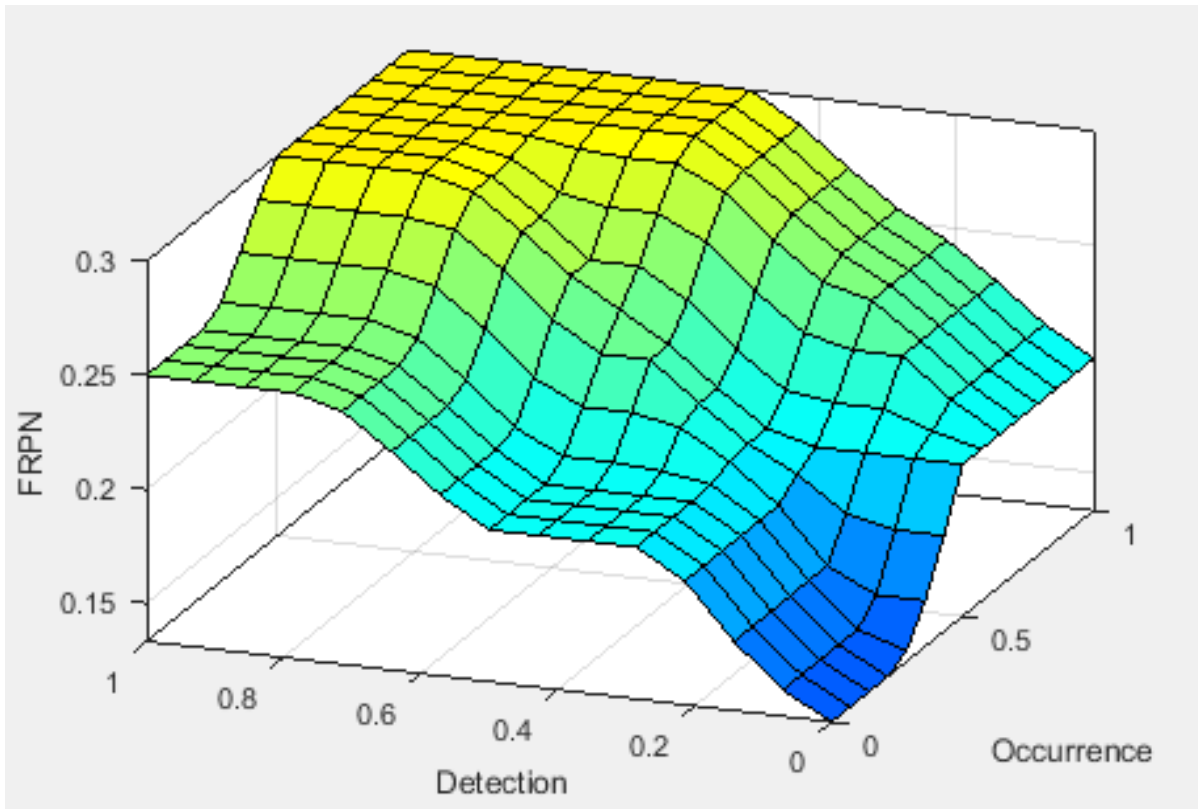


شکل ۶- نمودارهای خروجی نرم افزار متلب

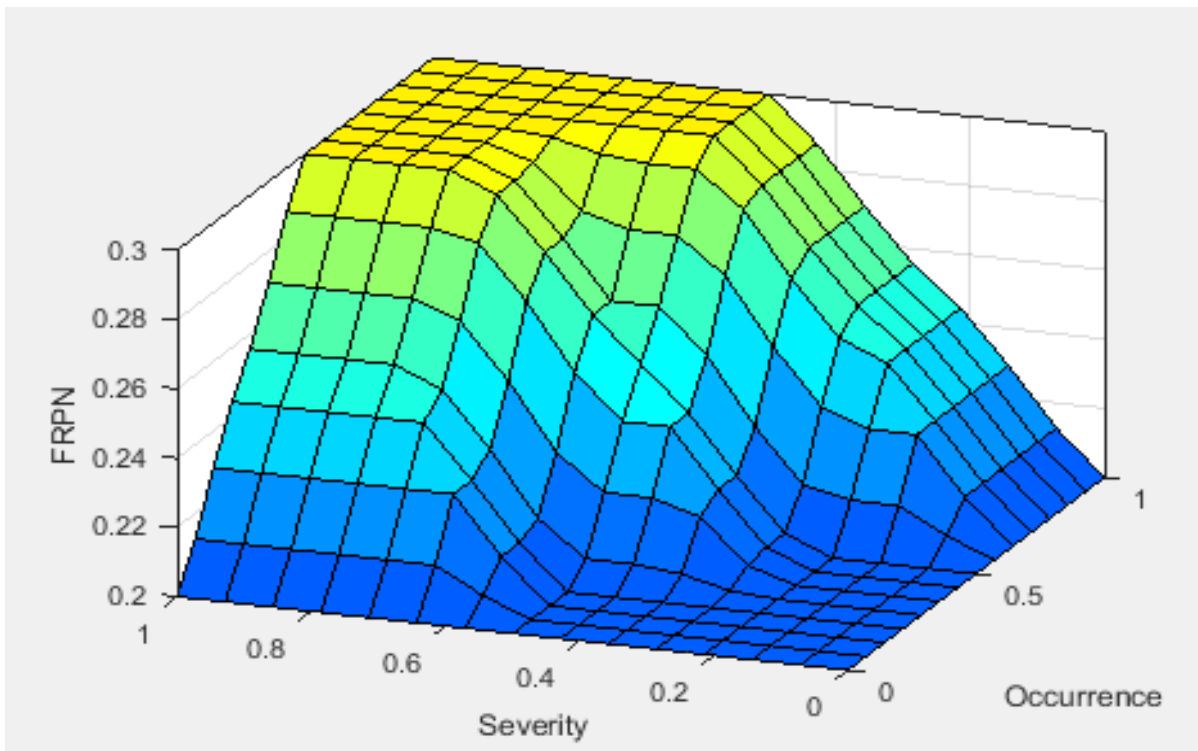
جدول ۴- رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی در سیستم خبره‌ی فازی

Defuzzified FRPN	قابلیت کشف ریسک			شدت اثر ریسک			احتمال وقوع ریسک			کد ریسک
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
0.300	0.34	0.57	0.76	0.62	0.87	0.96	0.62	0.86	0.95	EC01
0.300	0.35	0.57	0.76	0.60	0.85	0.97	0.60	0.85	0.96	FI01
0.300	0.34	0.57	0.77	0.55	0.79	0.91	0.58	0.83	0.95	EC02
0.300	0.32	0.53	0.74	0.56	0.81	0.93	0.52	0.77	0.92	FI02
0.300	0.31	0.54	0.75	0.56	0.80	0.94	0.50	0.75	0.90	EN02
0.300	0.34	0.57	0.78	0.50	0.75	0.90	0.50	0.75	0.90	EN01
0.300	0.27	0.50	0.72	0.55	0.79	0.93	0.53	0.76	0.92	IN02
0.300	0.32	0.56	0.76	0.49	0.74	0.90	0.49	0.73	0.90	MA03
0.298	0.29	0.52	0.74	0.48	0.72	0.89	0.43	0.67	0.86	CO01
0.297	0.29	0.52	0.76	0.45	0.69	0.89	0.45	0.69	0.87	CO04
0.297	0.28	0.51	0.74	0.45	0.70	0.89	0.45	0.69	0.89	PR02
0.297	0.28	0.50	0.75	0.44	0.68	0.86	0.47	0.71	0.87	IN04
0.295	0.31	0.54	0.76	0.43	0.67	0.87	0.45	0.69	0.87	AG04
0.293	0.25	0.46	0.70	0.48	0.73	0.91	0.46	0.71	0.89	PR01
0.292	0.38	0.61	0.78	0.45	0.70	0.86	0.30	0.53	0.75	EN01
0.291	0.29	0.53	0.75	0.42	0.66	0.85	0.43	0.67	0.87	LE02
0.291	0.25	0.49	0.72	0.41	0.65	0.84	0.43	0.68	0.87	TE01
0.291	0.23	0.47	0.71	0.44	0.68	0.87	0.41	0.66	0.84	IN01
0.290	0.22	0.44	0.68	0.52	0.76	0.91	0.48	0.72	0.90	AG01
0.290	0.27	0.50	0.73	0.44	0.68	0.88	0.40	0.64	0.83	LO02
0.290	0.22	0.45	0.69	0.46	0.70	0.88	0.44	0.67	0.88	TE02
0.289	0.26	0.49	0.72	0.44	0.69	0.88	0.37	0.61	0.82	DE02
0.287	0.26	0.48	0.71	0.40	0.64	0.84	0.44	0.67	0.85	MA02
0.287	0.22	0.44	0.67	0.42	0.66	0.86	0.44	0.69	0.88	SU01
0.284	0.29	0.53	0.77	0.41	0.66	0.86	0.39	0.63	0.84	CO02
0.284	0.26	0.48	0.71	0.42	0.67	0.87	0.37	0.62	0.82	CO03
0.279	0.33	0.56	0.78	0.36	0.60	0.82	0.40	0.64	0.84	AG03
0.278	0.24	0.45	0.68	0.42	0.66	0.86	0.38	0.62	0.83	MA01
0.276	0.25	0.48	0.71	0.36	0.61	0.84	0.39	0.64	0.87	EN03
0.275	0.25	0.47	0.71	0.40	0.64	0.84	0.35	0.58	0.79	AG02
0.274	0.22	0.43	0.65	0.38	0.61	0.80	0.43	0.66	0.85	IN03
0.272	0.23	0.45	0.69	0.39	0.64	0.84	0.36	0.61	0.83	DE01
0.261	0.20	0.41	0.64	0.40	0.63	0.82	0.38	0.61	0.81	SA01
0.259	0.18	0.37	0.61	0.41	0.64	0.84	0.41	0.65	0.85	SU02
0.253	0.20	0.40	0.65	0.37	0.61	0.83	0.35	0.58	0.80	LO01
0.253	0.29	0.52	0.73	0.30	0.54	0.77	0.26	0.48	0.72	LE01
0.250	0.19	0.42	0.66	0.33	0.57	0.79	0.34	0.58	0.80	SO02
0.233	0.18	0.38	0.62	0.30	0.53	0.76	0.32	0.55	0.77	SO01
0.230	0.19	0.38	0.61	0.30	0.53	0.76	0.24	0.46	0.71	EN02
0.221	0.16	0.34	0.59	0.24	0.47	0.70	0.31	0.54	0.75	SA02

روابط بین پارامترهای ورودی و خروجی برحسب نیاز توسط سیستم قابل تولید بوده و در گراف‌های مربوطه به شکل دو بعدی و سه بعدی قابل مشاهده می‌باشند. شکل‌های ۷ و ۸ بیانگر رابطه‌ی بین پارامترهای ورودی احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف ریسک با مقدار عدد اولویت ریسک یا همان FRPN می‌باشند.



شکل ۷- گراف رابطه‌ی احتمال وقوع و قابلیت کشف با عدد اولویت ریسک



شکل ۸- گراف رابطه‌ی احتمال وقوع و شدت اثر با عدد اولویت ریسک

۷- پیشنهادات کاربردی تحقیق

با توجه به آنالیزهای صورت گرفته و نتایج حاصل از مدل به کار گرفته شده همانگونه که در فصل قبل ذکر گردید برخی از ریسک‌ها در ناحیه بحرانی قرار گرفتند و با بررسی آن‌ها می‌توان پیشنهادات کاربردی به ذینفعان پروژه‌های عمرانی ارائه داد که در این بخش سعی بر تشریح این موارد می‌گردد:

- ریسک‌های مالی مهم‌ترین ریسک‌ها در پروژه‌های عمرانی هستند لذا لازم است تا کلیه‌ی ذینفعان به خصوص کارفرمایان به این مهم توجه نموده و حتی‌الامکان با فراهم نمودن نقدینگی لازم و در نظر گرفتن جریان نقدینگی در طول پروژه، تعدیل، هزینه‌های تحریم و تورم مهم‌ترین ریسک‌های پروژه‌ها را حذف و یا کاهش دهند.

- ۶ عدد از ریسک‌های بحرانی از ۲۰ ریسک مهم پروژه مربوط به توانایی فنی و مالی پیمانکار است، لذا پیشنهاد می‌گردد کارفرمایان، مدیران طرح و مشاوران در انتخاب پیمانکاران حساسیت بیشتری نشان داده و با انتخاب پیمانکاران توانمند از نظر مالی و فنی ریسک‌های مربوطه را کاهش و یا حذف نمایند. در این خصوص لازم است تا انتخاب نهایی پیمانکار، صرفاً بر اساس قیمت نبوده و با بکارگیری آیین‌نامه حذف قیمت‌های نامتناسب به صورت قانونی در این جهت گام بردارند و هم‌زمان شرایط رقابت عادلانه تری را در زمینه واگذاری پروژه‌ها فراهم آورند.

- بخش عمده‌ی دیگر از ریسک‌ها در پروژه‌های عمرانی را می‌توان مرتبط با دانش فنی ذینفعان در تهیه اسناد مطالعاتی و قراردادی پروژه دانست و اهمیت یافتن این ریسک‌ها بیانگر لزوم بالا بردن دانش فنی عوامل همه ذینفعان و تهیه اسناد مطالعاتی و قراردادی با کمترین انحراف از واقعیات پروژه می‌باشد. بدیهی است در این میان نقش کارفرمایان در اخذ خروجی‌های با کیفیت از مشاوران و همچنین عقد قراردادهای شفاف و تفسیرناپذیر بسیار حیاتی است. نکته قابل توجه این است که رعایت این مهم بسیاری از ریسک‌های با اهمیت کمتر را نیز کاهش داده و یا حذف می‌نماید.

- بخش دیگری از ریسک‌ها ناشی از تأخیراتی است که هریک از ذینفعان پروژه در اجرای وظایف خود مرتکب می‌گردند، که این مهم بیانگر اهمیت کنترل پروژه و رعایت زمان‌های اعلام شده در شرایط عمومی و قانونی از سوی کلیه ذینفعان است که بایستی مورد توجه ایشان واقع گردد.

- مورد دیگر ریسک فورس مازور (حوادث طبیعی سیل، زلزله، همه‌گیری و ...) است که بایستی با تمهیدات مناسب از قبیل بیمه پروژه، اقدامات ایمنی و بهداشتی اثرات آن را تا حد امکان کاهش داد.

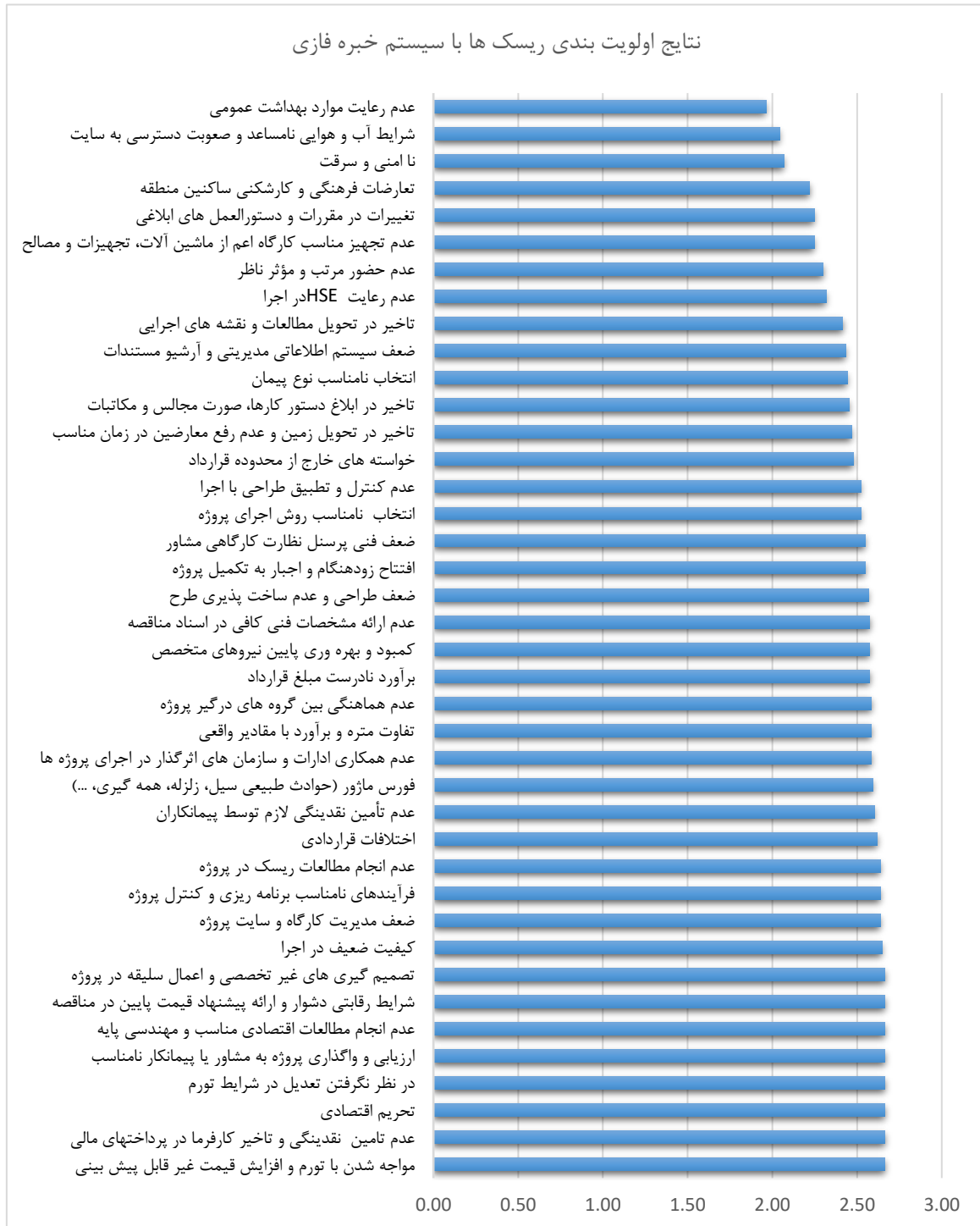
۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این تحقیق مدلی برای مدیریت ریسک بر مبنای منطق فازی ارائه می‌دهد. همانگونه که اشاره شد این مدل شامل شناسایی ریسک‌های پروژه‌های عمرانی، تنظیم و توزیع پرسشنامه جهت امتیازدهی به پارامترهای مؤثر در ریسک، تعیین توابع عضویت فازی معیارها، محاسبه عدد اولویت ریسک‌ها با استفاده از تکنیک FMEA و منطق فازی (FRPN)، غیرفازی نمودن عدد اولویت ریسک (RPN) و اولویت‌بندی ریسک‌های عمرانی بر اساس نتایج حاصله، انجام اقدامات اصلاحی و پاسخ‌دهی به ریسک‌های با اولویت بالا است.

بر اساس یافته‌های تحلیل همانطور که در جدول ۵ و نمودار شکل ۹ قابل مشاهده است، ۸ ریسک "مواجه شدن با تورم و افزایش قیمت غیر قابل پیش‌بینی"، "عدم تأمین نقدینگی و تأخیر کارفرما در پرداخت‌های مالی" و "تحریم اقتصادی"، "در نظر نگرفتن تعدیل در شرایط تورم"، "ارزیابی و واگذاری پروژه به مشاور یا پیمانکار نامناسب"، "عدم انجام مطالعات اقتصادی مناسب

و مهندسی پایه"، "شرایط رقابتی دشوار و ارائه پیشنهاد قیمت پایین در مناقصه" و "تصمیم‌گیری‌های غیر تخصصی و اعمال سلیقه در پروژه" دارای سطح ریسک بالاتری هستند.

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. بر این اساس و به جهت مدیریت هر چه بهتر ریسک در پروژه‌های عمرانی پس از مشورت با خبرگان و بهره‌گیری از تجربیات موجود در سازمان‌های ذیربط، پیشنهادهای در راستای انجام اقدامات اصلاحی و پاسخ‌دهی به ریسک‌های با اولویت بالا مطرح گردید.



شکل ۹- نتایج اولویت‌بندی ریسک‌ها به کمک سیستم خبره فازی

منابع

- 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.
- Admian, Mohammad Hadi; Mehran Zeinalian and Mohammad Javad Amini, 2015, Risk planning, analysis and management in construction projects using program risk analysis method and advanced APRAM model in terms of risks throughout the project life cycle, 10th International Congress of Civil Engineering, Tabriz, University of Tabriz Faculty of Civil Engineering, 2015, Persian.
- Alipouri, Yaqub, Ardeshir, Abdullah, Sibte, 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, 2015, Persian.
- Daud Mohamad, Fatin Liyana Mukhtar, Weighted Mamdani-type Fuzzy Inference System Based on Relative Ideal Preference System, Journal of Soft Computing and Decision Support Systems, Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Selangor, Malaysia, August 2018.
- 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.
- Fadilah Najwa Nina, Apol Pribadi Subriadi, A Need to Modify the Method of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Risk Management, International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, Surabaya, Indonesia, IJSRCSEIT, Volume 3, Issue 6, ISSN : 2456-3307, 2018 .
- Fallah, Ahmad Ali, Masoud Zeini, Kamran Farrokhi and Morteza Hassannejad, Identification and Analysis of Dam Risks Using FMEA Technique, Case Study of Alborz Babol Dam, 3rd International Conference on New Approaches to Energy Conservation 2014, Persian.
- 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.
- Khanzadi, Mustafa; Sajjad Hosseinpour; Ali Golshan and Yasin Vazirinia, 2017, Risk Management and Stakeholders' Perspectives on Civil Projects, International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning in Contemporary Iran, Tehran, Osweh University - Tehran - Shahid Beheshti University, 2017, Persian.
- Naderpour, Abbas, Mofid, Massoud, Sardrood injured, Javad. (1398). Integrating risk management and fuzzy inference system to estimate project execution time in gas refineries (Case study: Khangiran Campus Complex construction project). Sharif Civil Engineering. 35.2 (1.2), 41-49, 2019, 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, 2014, Persian.
- Otobo Odumabo, Onengiyeofori, Risk Management System To Guide Building Construction Projects' In Developing Countries: A Case Study Of Nigeria PhD February, 2016
- Peng-cheng Li, Chen Guo-hua, Dai Li-caio, Zhang Li, Fuzzy logic-based approach for identifying the risk importance of human error, Institute of Safety Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Elsevier Ltd., 2010.
- Roghanian Emad, Fatemeh Mojibian, Using fuzzy FMEA and fuzzy logic in project risk management, Iranian Journal of Management Studies (IJMS), Vol. 8, No. 3, Print ISSN: 2008-7055, pp: 373-395, July 2015.
- Soleimanpour Hashemi, Neda and Seyed Mohammad Hijrati, 2016, Risk Management of Construction Projects Based on PMBOK Standard Project on Construction of the Panoramic Museum of Jerusalem, International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Landscape, Turkey-Istanbul University, Permanent Secretariat of the Conference, Istanbul University, 2016, Persian.
- Tavakolan Mehdi, Construction Risk Management Framework using Fuzzy sets and Failure Mode and Effect Analysis, University of Tehran, 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.
- Zahraei, Banafsheh, Roozbehani, Abbas, Mirshakari, Mostafa. (1395). Provide a risk analysis model based on fuzzy expert systems for managing construction projects. Sharif Civil Engineering. Volume 2-32, Number 1/4, Winter, Pages 61 to 70, 2016, Persian.