

# مدل پایش انحراف پروژه‌های ساخت (مطالعه‌ی موردی: یک شرکت پیمانکاری)

جعفر قیدر خلجانی\* (دانشیار)

محمدحسین کریمی گوارشکی (دانشیار)

فاطمه ملکایی آشتیانی (دانشجوی دکتری)

مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

مدیریت پروژه به دنبال روش‌هایی برای پایش انحراف پروژه است. در پژوهش حاضر، انحراف پروژه با ارزیابی هم‌زمان انحراف هزینه، زمان، و کیفیت پایش می‌شود. اهمیت عوامل و اهم ریسک‌های پروژه در مصاحبه از خبرگان یک شرکت پیمانکاری شناسایی شده است. با روش تحلیل حالت‌های بالقوه‌ی خطا و آثار آن‌ها و منطق فازی، ارزیابی ریسک انجام شده است. همچنین، با استفاده از روش سیستم استنتاج فازی و شبکه‌های بی‌زی، انحراف پروژه با وجود وابستگی بین ریسک‌ها، کنترل و از معیار میانگین مربعات خطا برای بررسی اعتبار مدل‌ها استفاده شده است. با مقایسه‌ی درصد انحراف واقعی ۱۵ پروژه‌ی اجرا شده در شرکت مذکور با درصد انحراف برآوردی مدل‌ها، میانگین مربعات خطا در روش استنتاج فازی نسبت به روش شبکه‌ی بی‌زی کمتر به دست آمده و روش استنتاج فازی با میانگین مربعات خطا معادل با ۰/۰۱۱ نسبت به روش شبکه‌ی بی‌زی کارا تر بوده است.

kheljani@mut.ac.ir  
mh\_karimi@mut.ac.ir  
malekaee@mut.ac.ir

واژگان کلیدی: مدیریت پروژه، انحراف، حالت‌های بالقوه‌ی خطا و آثار آن‌ها، سیستم استنتاج فازی، شبکه‌ی بی‌زی.

## ۱. مقدمه

جهت پایش وضعیت پروژه به صورت پویا دارند.<sup>[۵]</sup> سازمان‌ها برای پایش انحراف پروژه از روش‌هایی مانند "طول زمان کسب‌شده"، "ارزیابی ثبات عملکرد"، و "ارزش کسب‌شده" استفاده می‌کنند؛<sup>[۶]</sup> که بیشتر آن‌ها روی یک معیار زمان یا هزینه یا تلفیق معیارهای هزینه و زمان تمرکز دارند، ولی در هیچ‌یک از روش‌های ذکر شده تمرکز همه‌جانبه بر روی معیارهای زمان، هزینه، و کیفیت وجود ندارد و بی‌توجهی به این موضوع باعث از دست رفتن اطلاعات زیادی می‌شود. هدف مطالعه‌ی حاضر، ارائه‌ی روشی برای کنترل انحراف پروژه با در نظر گرفتن وابستگی ریسک‌ها و تمرکز بر معیارهای هزینه، زمان، و کیفیت در خلال اجرای یک پروژه است. اهمیت عوامل هزینه، زمان، و کیفیت بر اساس مقایسه‌های زوجی بین خبرگان یک شرکت پیمانکاری محاسبه و ریسک‌های بالقوه‌ی پروژه با روش مصاحبه از خبرگان شناسایی شده است. سپس، با استفاده از روش تحلیل حالت‌های بالقوه‌ی خطا و آثار آن‌ها (FEMA)<sup>۱</sup> در محیط فازی به پارامترهای شدت اثر، احتمال وقوع، و

به پیاده‌سازی دانش، مهارت، و فن برای برآورده ساختن محدودیت‌های پروژه، مدیریت پروژه گفته می‌شود. سه محدودیت اصلی اجرای پروژه‌ها، مرتبط به زمان، هزینه، و کیفیت هستند.<sup>[۱]</sup> وجود ریسک، عدم قطعیت، و ... باعث انحراف پروژه در مقایسه با زمان برنامه‌ریزی می‌شود.<sup>[۲]</sup> از آنجایی که امکان حذف عدم قطعیت و ریسک در سیستم‌ها وجود ندارد، لذا شناخت و ارزیابی ریسک منجر به کاهش انحراف در دستیابی به اهداف پروژه می‌شود.<sup>[۳]</sup> ارزیابی ریسک‌های پروژه عمده‌تاً مستقل در نظر گرفته می‌شوند. همچنین وابستگی متقابل بین آن‌ها نادیده گرفته می‌شود. وجود وابستگی بین ریسک‌ها باعث انتشار یک ریسک بالادستی به ریسک‌های پایین‌دستی متعدد می‌شود، یا ممکن است یک ریسک پایین‌دستی از وقوع چند ریسک بالادستی ناشی شود.<sup>[۴]</sup> در نظر گرفتن وابستگی بین ریسک‌ها می‌تواند منجر به ارزیابی نامناسب ریسک شود؛ لذا، مدیران پروژه نیاز به ابزارهایی

\*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷، تاریخ اصلاحیه: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷.

استناد به این مقاله:

قیدر خلجانی، جعفر، کریمی گوارشکی، محمدحسین، و ملکایی آشتیانی، فاطمه، ۱۴۰۳. مدل پایش انحراف پروژه‌های ساخت (مطالعه‌ی موردی: یک شرکت پیمانکاری). مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۴۰(۲)، صص. ۷۲-۵۷. DOI:10.24200/J65.2024.62035.2347.

توانایی کشف امتیازدهی شده و عدد اولویت هر ریسک از حاصل ضرب پارامترهای شدت اثر، احتمال وقوع، و توانایی کشف به‌دست آمده است. با استفاده از عدد اولویت، هر ریسک به ۳ دسته‌ی کم، متوسط، و زیاد دسته‌بندی شده است. با استفاده از نظر خبرگان، ارتباط بین ریسک‌ها مشخص و با بهره‌مندی از رویکرد سیستم استنتاج فازی (FIS)<sup>۱</sup> و شبکه‌ی بی‌زی انحراف پروژه مقایسه شده است. در سیستم استنتاج فازی، ریسک‌های پروژه به‌عنوان متغیر ورودی و انحراف پروژه به‌عنوان متغیر خروجی مدل استنتاج در نرم‌افزار متلب<sup>۲</sup> در نظر گرفته شده است. در رویکرد شبکه‌ی بی‌زی، با استفاده از نظر خبرگان، احتمال اولیه و شرطی گره‌ها به‌دست آمده و با استفاده از شبکه‌ی بین ریسک‌ها در نرم‌افزار AgenaRisk انحراف پروژه بررسی شده است. خروجی روش‌ها با نتایج پروژه‌های اجراشده، و همچنین براساس داده‌های شبیه‌سازی شده با یکدیگر بررسی شده است. با استفاده از روش پیشنهادی، مدیران پروژه می‌توانند انحراف پروژه را پایش کنند و هر فعالیتی که باعث انحراف شود، شناسایی کنند و اقدام‌هایی جهت مرتفع‌ساختن علل انحراف پروژه انجام دهند و از صرف هزینه و زمان گزاف در انتهای پروژه جلوگیری کنند. در ادامه‌ی نوشتار حاضر، با ارائه‌ی مطالعات پیشین و نوآوری پژوهش در بخش دوم، روش پژوهش در بخش سوم، مطالعه‌ی موردی و پیاده‌سازی روش پژوهش در بخش چهارم، و در انتها نتیجه‌گیری مطرح شده است.

## ۲. مرور ادبیات

یکی از روش‌های تخمین انحراف پروژه، استفاده از شاخص‌های "طول زمان اجرا" و "کیفیت اجرا" در مقایسه با برنامه‌ی مبناست. خالدیان و مؤمنی (۲۰۲۱)<sup>۱۷</sup> در بررسی انحراف پروژه با استفاده از شاخص‌های مذکور به‌صورت فازی در شرایط ریسکی دریافته‌اند که ارزیابی انحراف پروژه با بررسی شاخص‌های طول زمان و کیفیت اجرا، نسبت به در نظر گرفتن شاخص طول زمان به‌تنهایی، دقت بالاتری دارد. پیمان و فتاحی (۲۰۱۶)<sup>۱۸</sup> با استفاده از شبکه‌ی عصبی، به تخمین انحراف هزینه‌ی پروژه پرداخته و شاخص‌های عملکردی روش "ارزش حاصل‌شده" را به‌عنوان متغیرهای ورودی شبکه‌ی عصبی در نظر گرفته‌اند. برای تحلیل حساسیت مدل از اطلاعات دو پروژه‌ی در حال اجرا استفاده کرده و دریافته‌اند که دقت مدل پیشنهادی در حد ۸۶/۲۳ و قابل‌قبول بوده است. افزایش عدم قطعیت باعث شده است که مدیران پروژه برای کاهش انحراف پروژه، از مدیریت ریسک علاوه بر روش‌های موجود نیز بهره‌مند شوند. سید و لاریشین<sup>۳</sup> (۲۰۲۰)<sup>۱۹</sup> با استفاده از مطالعه‌ی میدانی، ریسک‌های پروژه‌ی تعاونی مسکن را شناسایی و با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره، پیشنهادهایی در خصوص مدیریت ریسک و افزایش عملکرد پروژه مطرح کرده و دریافته‌اند که راهکارهای پیشنهادی، باعث کاهش انحراف پروژه از شرایط مبنا می‌شود. استاندارد (PMBOK)<sup>۴</sup> با معرفی رویکرد مدیریت ریسک، تلاش در رفع انحراف هزینه و زمان با مقدار برآوردی آن در ابتدای پروژه کرده‌اند. عالم تبریز و حمزه‌ی<sup>۵</sup> (۲۰۱۱)<sup>۱۰</sup> با استفاده از روش‌های مدیریت ریسک استاندارد FEMA و PMBOK، ریسک‌های پروژه را رتبه‌بندی کرده‌اند. سپس با استفاده از نرم‌افزار PertMaster، زمان و هزینه را برای تکمیل پروژه، شبیه‌سازی کرده و با مقایسه با برنامه‌ی مبنای

## ۳. روش پژوهش

### ۱.۳. تئوری مجموعه‌ی فازی

مجموعه‌ی فازی مفاهیم نادقیق را به زبان ریاضی تبدیل می‌کند،<sup>۱۹-۲۱</sup> و انواع مثلثی، دوزنقه‌ای و ... دارد.<sup>۲۲</sup>

<sup>۵</sup> Alam Tabriz & Hamzehi

<sup>۶</sup> Bahadori-Amjaz & Soleimani-sardo

<sup>۷</sup> Shibani

<sup>۸</sup> Guan

<sup>۱</sup> Fuzzy Inference System

<sup>۲</sup> MATLAB

<sup>۳</sup> Syed & Lawryshyn

<sup>۴</sup> Project Management Body of Knowledge

- **تعریف ۱.** مجموعه‌ی فازی A با مجموعه‌ی مرجع X و تابع درجه‌ی عضویت  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  به صورت رابطه‌ی ۱ تعریف می‌شود:<sup>[۲۳]</sup>

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

که در آن، تابع درجه‌ی عضویت به صورت رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

- **تعریف ۲.** عدد فازی مثلثی  $\tilde{A} = (l, m, u)$  با تابع درجه‌ی عضویت طبق رابطه‌ی ۳ نمایش داده می‌شود. l کمترین، m محتمل‌ترین، و u بیشترین مقدار براساس نظر خبرگان است.<sup>[۲۳ و ۲۴]</sup>

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < l \\ \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & m \leq x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (3)$$

- **تعریف ۳.** اگر اعداد فازی مثلثی  $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$  و  $\tilde{B} = (l_2, m_2, u_2)$  در نظر گرفته شوند، عملیات ریاضی بین دو عدد  $\tilde{A}$  و  $\tilde{B}$  به صورت روابط ۴ الی ۸ است:<sup>[۲۲]</sup>

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (4)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (5)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (6)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \left( \frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right) \quad (7)$$

$$\lambda \tilde{A} = (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1) \quad \lambda > 0 \quad (8)$$

- **تعریف ۴.** برای تبدیل عدد فازی  $\tilde{A} = (l, m, u)$  به یک عدد قطعی از روش بهترین عملکرد غیرفازی (BNP)<sup>۱</sup> طبق رابطه‌ی ۹ استفاده می‌شود:<sup>[۲۰]</sup>

$$BNP(\tilde{A}) = \frac{(u-l) + (m-l)}{3} + l \quad (9)$$

### ۲.۲. مدیریت ریسک

با احتمال وقوع رویدادی که منجر به عدم دستیابی به اهداف شود و نتایج غیرقطعی داشته باشد، ریسک گفته می‌شود.<sup>[۲۵-۲۷]</sup> ریسک در پروژه می‌تواند وضعیت غیرقطعی ایجاد کند و آثاری در زمان، هزینه، و کیفیت اجرا داشته باشد.<sup>[۲۸]</sup> به اقدام‌هایی که برای شناسایی، تجزیه و تحلیل، و واکنش در برابر ریسک به منظور پیشینه‌سازی وقایع مثبت و کاهش احتمال یا آثار وقوع پیامدهای ناگوار در اهداف انجام می‌شود، مدیریت ریسک گفته می‌شود.<sup>[۲۹]</sup> عدم قطعیت‌ها قبل از اینکه رخ دهند، شناسایی می‌شوند و با تحلیل‌هایی، آثار آن‌ها تعدیل می‌شود.<sup>[۳۱]</sup> روش‌هایی مانند: FTA, FEMA, و ... برای ارزیابی ریسک وجود دارد.<sup>[۳۲ و ۳۳]</sup> روش FEMA برای شناسایی حالت بالقوه‌ی خرابی، علت وقوع، آثار آن، تحلیل، و پیشگیری از عوامل بالقوه‌ی شکست است و در کاهش انحراف از اهداف مؤثر است.<sup>[۳۴ و ۳۵]</sup> از عدد اولویت ریسک (RPN)<sup>۲</sup> برای رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده می‌شود و حاصل ضرب احتمال وقوع، شدت اثر، و احتمال کشف ریسک است.<sup>[۳۴ و ۳۶-۴۰]</sup>

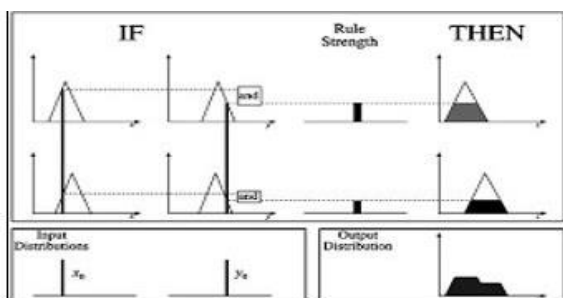
### ۳.۳. شبکه‌ی بی‌زی

شبکه‌ی بی‌زی برای بیان احتمال‌ها به کار می‌رود و یک گراف جهت‌دار بدون

دور است، که شامل مجموعه‌ای از گره و یال است. متغیرهای گسسته یا پیوسته، مجموعه‌ی گره‌ها را تشکیل می‌دهد و یال‌ها رابطه‌ی بین گره‌ها را نشان می‌دهند.<sup>[۴۱]</sup> اگر شبکه‌ی بی‌زی شامل n متغیر به صورت  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  باشد و از گره‌ی  $x_1$  به گره‌ی  $x_2$  یالی رسم شود، گره‌ی  $x_1$  والد گره‌ی  $x_2$  نامیده می‌شود و با  $Parent(x_2) = x_1$  نمایش داده می‌شود. احتمال رویداد  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  به صورت  $P(x) = \prod_{i=1}^n P(x_i | Parent(x_i))$  محاسبه می‌شود.<sup>[۴۲]</sup> نحوه‌ی ارتباط گره‌ها با کمک افراد خبره ترسیم می‌شود و اگر داده‌های عینی گذشته موجود باشد، برای تخمین احتمال‌های هر گره از تابع توزیع احتمالات استفاده می‌شود. در غیر این صورت، توزیع احتمالات از نظر کارشناسان خبره به دست می‌آید.<sup>[۴۳]</sup>

### ۴.۳. سیستم استنتاج فازی

سیستم استنتاج فازی به دلیل شبیه‌سازی تفکر انسانی می‌تواند برای پیش‌بینی پارامترهایی استفاده شود.<sup>[۴۴]</sup> در پژوهش حاضر، از سیستم استنتاج فازی برای پیش‌بینی انحراف پروژه استفاده شده است. گام‌های ساختن یک سیستم استنتاج فازی به صورت فازی سازی ورودی‌ها، تعریف توابع عضویت، بیان قواعد و غیرفازی سازی متغیر خروجی است.<sup>[۴۵]</sup> توابع عضویت باید گویای معانی واژه‌های زبانی باشند. توابع عضویت، انواع مختلفی، مانند: مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسین، و ... دارند.<sup>[۴۶]</sup> در نوشتار حاضر، متغیرها به صورت عدد فازی مثلثی هستند. پس از فازی سازی پارامترهای ورودی، قواعد ساخته می‌شود. قواعد، عبارات‌های اگر- آنگاه هستند و از ترکیب توابع عضویت متغیرها تعیین می‌شوند. تعداد قواعد موردنیاز به تعداد متغیرهای ورودی و تابع درجه‌ی عضویت هر متغیر بستگی دارد و طبق رابطه‌ی  $I = k_1 \times \dots \times k_n$  محاسبه می‌شود؛ که در آن، I تعداد قواعد، n تعداد متغیرهای ورودی، و k تعداد توابع درجه‌ی عضویت هر متغیر است.<sup>[۴۵]</sup> در سیستم استنتاج فازی سنتی، با اضافه شدن متغیرهای ورودی یا توابع درجه‌ی عضویت، تعداد قوانین رشد نمایی خواهند داشت و باعث پیچیدگی محاسباتی مدل می‌شوند.<sup>[۴۶]</sup> در مطالعه‌ی حاضر، برای مرتفع ساختن مشکل انفجار تعداد قوانین، از مدل استنتاج فازی منسجم استفاده شده است. کاربردی ترین روش استنتاج فازی، روش کمینه- بیشینه‌ی ممدانی است، که برای قواعد عطفی به کار می‌رود. از میان درجه‌ی عضویت متغیرهای ورودی، کمترین مقدار انتخاب و به خروجی انتقال می‌یابد و تابع عضویت متغیر خروجی از بیشینه‌سازی نتایج تمام قواعد تعیین می‌شود.<sup>[۴۷]</sup> در شکل ۱، سیستم استنتاج فازی کمینه- بیشینه‌ی ممدانی مشاهده می‌شود.



شکل ۱. سیستم استنتاج فازی کمینه- بیشینه‌ی ممدانی.

<sup>۲</sup> Risk Priority Number

<sup>۱</sup> Best Nonfuzzy Performance

مسئول کنترل پروژه، و ۳ مسئول دفتر فنی) به‌دست است. با مقایسه‌ی زوجی براساس طیف ۵ درجه‌ی ساعتی طبق جدول ۱، وزن عوامل طبق جدول ۲ محاسبه شده است.

#### ۲.۴.۴. شناسایی و تحلیل ریسک

ریسک‌های پروژه با مصاحبه از صاحب‌نظران در جدول ۳ ارائه شده است.

از روش FEMA برای ارزیابی ریسک استفاده شده است. برای امتیازدهی به‌احتمال وقوع، شدت اثر، و احتمال کشف با استفاده از نظر خبرگان و متغیرهای زبانی کم، متوسط، و زیاد براساس اعداد فازی مثلثی طبق جدول ۴ و میانگین‌گیری نظرهای خبرگان، امتیاز هر پارامتر به‌دست آمده است. شدت اثر ریسک با ضرب اهمیت نسبی عوامل هزینه، زمان، و کیفیت در امتیازها حاصل شده است. RPN به‌صورت حاصل‌ضرب احتمال وقوع، شدت اثر، و احتمال کشف محاسبه می‌شود. عدد اولویت هر ریسک در جدول ۵ ارائه شده است.

از عدد اولویت ریسک برای تعیین سطح ریسک استفاده می‌شود و با روش BNP به اعداد قطعی تبدیل می‌شوند. طبق نظر صاحب‌نظران، ریسک‌ها طبق جدول ۶ به کم، متوسط، و زیاد دسته‌بندی می‌شوند. ریسک‌های پروژه در جدول ۷ دسته‌بندی شده‌اند.

#### ۲.۴.۴. پیش‌بینی انحراف پروژه

برای پیش‌بینی انحراف پروژه از رویکردهای شبکه‌ی بیزی و سیستم استنتاج فازی استفاده شده است.

#### ۱.۲.۴. شبکه‌ی بیزی

رابطه‌ی بین عوامل تأثیرگذار در انحراف پروژه طبق نظر خبرگان ترسیم می‌شود. انحراف پروژه به دو حالت "دارد و ندارد" و هر یک از انحراف‌های هزینه، زمان، کیفیت و ریسک‌های پروژه به سه حالت "کم، متوسط، و زیاد" تقسیم شده است. رابطه‌ی بین گره‌های شبکه، طبق نظر خبرگان با

جدول ۱. طیف ۵ درجه‌ی ساعتی.

ارزش	مقایسه‌ی $i$ نسبت به $j$	توضیح
۱	ترجیح یکسان	$i$ و $j$ اهمیت برابر دارند.
۳	کمی مرجح	$i$ از $j$ کمی مهم‌تر است.
۵	کاملاً مرجح	$i$ از $j$ کاملاً مهم‌تر است.

جدول ۲. مقایسه‌ی زوجی عوامل: هزینه، زمان، و کیفیت.

وزن	هزینه	زمان	کیفیت	میانگین هندسی
۰/۵۷	۱	۲	۴	۲
۰/۲۸	۰/۵	۱	۲	۱
۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۵	۱	۰/۵

ماشین قدرت درک زبان انسان را ندارد، لذا نتایج تحلیل‌های فازی به اعداد قطعی تبدیل می‌شوند. به تبدیل شدن عدد فازی به عدد قطعی، غیرفازی کردن گفته می‌شود و شامل روش‌هایی، مانند: مرکز سطح، میانه‌ی مقدار بیشینه، و ... است.<sup>[۲۳]</sup> در مطالعه‌ی حاضر، از روش بهترین عملکرد برای غیرفازی‌سازی خروجی استفاده شده است.

#### ۵.۳. اعتبارسنجی مدل

در پژوهش حاضر، برای اعتبارسنجی مدل از معیار  $MSE$  طبق رابطه‌ی ۱۰ استفاده شده است؛ که در آن،  $Y_{A_i}$  مقدار واقعی خروجی نمونه‌ی  $i$  ام،  $Y_{P_i}$  مقدار پیش‌بینی مدل برای متغیر خروجی نمونه‌ی  $i$  ام، و  $n$  تعداد نمونه‌ی موردبررسی هستند. معیار  $MSE$  هر چه کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی خطای کمتر مدل است.<sup>[۱]</sup>

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{A_i} - Y_{P_i})^2}{n} \quad (10)$$

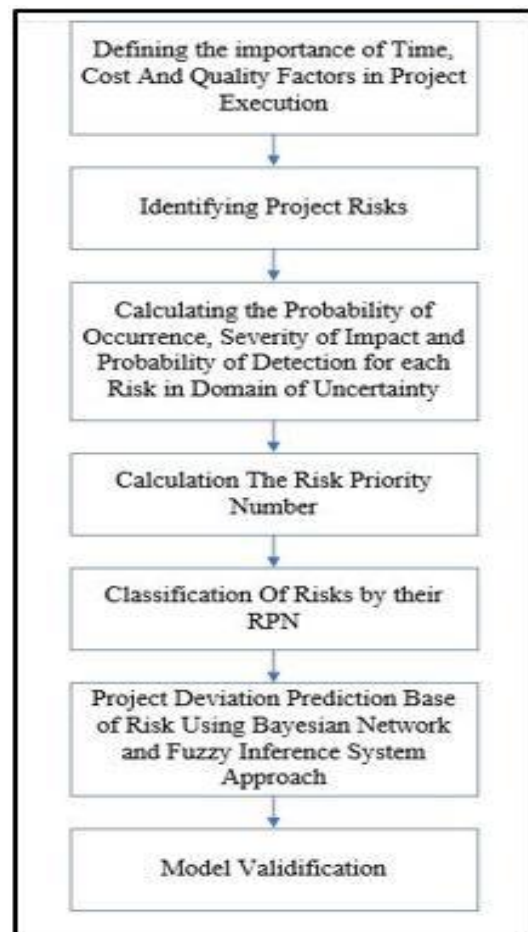
#### ۶.۳. مدل مفهومی پژوهش

مدل مفهومی پژوهش مطابق با شکل ۲ است.

#### ۴. مطالعه‌ی موردی و یافته‌ها

##### ۱.۴. تعیین اهمیت عوامل: زمان، هزینه، و کیفیت

اهمیت عوامل زمان، هزینه، و کیفیت با پرسش از نظر صاحب‌نظران یک شرکت پیمانکاری با سابقه‌ی کار بالای ۱۰ سال (شامل ۱ معاون اجرا، ۳ مدیر پروژه، ۳



شکل ۲. مدل مفهومی پژوهش.

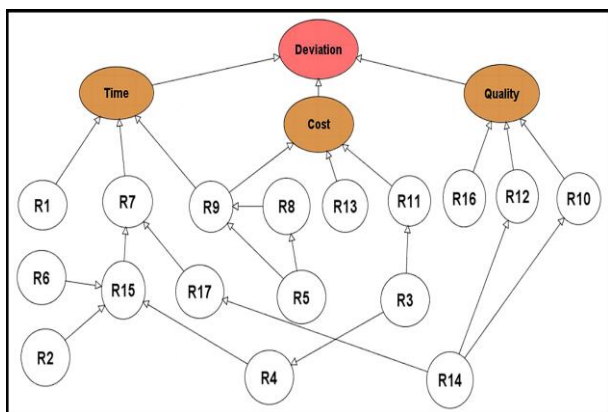
<sup>۱</sup> Mean Square Error

متوسط؛ R۸: متوسط؛ R۹: متوسط؛ R۱۰: زیاد؛ R۱۱: کم؛ R۱۲: متوسط؛ R۱۳: کم؛ R۱۴: متوسط؛ R۱۵: متوسط؛ R۱۶: متوسط؛ و R۱۷: زیاد باشند، آنگاه با احتمال ۵۲/۴۶٪، پروژه انحراف دارد.

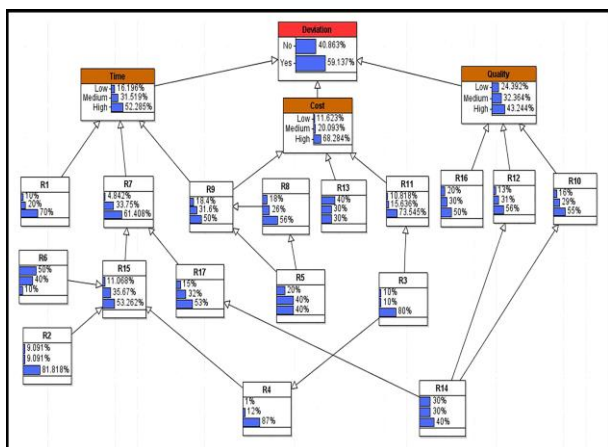
### ۲.۲.۴. سیستم استنتاج فازی

متغیرهای ورودی مدل ذکرشده، ریسک‌های پروژه هستند و انحراف پروژه به‌عنوان متغیر خروجی مدل است. متغیرهای ورودی و خروجی طبق نظر خبرگان در سه دسته‌ی کم، متوسط، و زیاد دسته‌بندی شده‌اند. تابع درجه‌ی عضویت متغیرهای مدل استنتاج فازی طبق نظر خبرگان در جدول ۲۳ ارائه شده است.

عدد فازی (۰، ۲۰۰، ۲۱۰) برای متغیر  $R_j (j=1, \dots, 17)$  در حالت کم به این معناست که کمترین عدد اولویت برابر صفر، محتمل‌ترین عدد اولویت برابر با ۲۰۰، و بیشترین عدد اولویت ریسک برابر با ۲۰۱ است. تابع عضویت متغیر  $R_j (j=1, \dots, 17)$  در حالت کم، طبق رابطه‌ی ۳ در شکل ۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۳. شبکه‌ی بیزی انحراف پروژه.



شکل ۴. نتایج احتمالات انحراف پروژه.

در نظر گرفتن همبستگی بین ریسک‌ها در نرم‌افزار AgenaRisk در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

احتمال اولیه برای گره‌های والد و احتمال شرطی برای سایر گره‌ها براساس نظر خبرگان مطابق با جدول‌های ۸ الی ۲۱ و شکل ۴ هستند.

انحراف پروژه با اعمال سناریوهای مختلف بر روی حالت‌های مختلف ریسک‌ها محاسبه می‌شود. یک سناریو و مقدار پیش‌بینی انحراف پروژه در جدول ۲۲ ارائه شده است؛ که بدین معناست که اگر احتمال رخداد‌های R۱: کم؛ R۲: متوسط؛ R۳: زیاد؛ R۴: متوسط؛ R۵: متوسط؛ R۶: متوسط؛ R۷: کم؛

### جدول ۳. اهم ریسک‌های پروژه‌ها.

ریسک	شرح ریسک
R <sub>۱</sub>	تأخیر در آزادسازی زمین و رفع معارض
R <sub>۲</sub>	تغییر طراحی در حین اجرا
R <sub>۳</sub>	نوسان‌های قیمت
R <sub>۴</sub>	کمبود مصالح و تجهیزات
R <sub>۵</sub>	تغییر قوانین سازمان کارفرما
R <sub>۶</sub>	شرایط نامناسب جوی
R <sub>۷</sub>	عدم ارسال به‌موقع اسناد مالی و فنی به مشاور و کارفرما
R <sub>۸</sub>	بررسی اسناد در زمان نامناسب توسط مشاور و کارفرما
R <sub>۹</sub>	عدم پرداخت به‌موقع تعهدهای مالی توسط کارفرما
R <sub>۱۰</sub>	اشتباه در واگذاری عملیات اجرایی به پیمانکاران جزء
R <sub>۱۱</sub>	عدم کسب ضمانت‌های معتبر از پیمانکاران جزء
R <sub>۱۲</sub>	عدم بررسی صلاحیت پیمانکار جزء در حین اجرای کار
R <sub>۱۳</sub>	عدم برآورد درست نیروی انسانی موردنیاز
R <sub>۱۴</sub>	عدم جذب نیروی انسانی شایسته و باصلاحیت
R <sub>۱۵</sub>	عدم هماهنگی بین واحدهای مختلف پروژه
R <sub>۱۶</sub>	عدم رعایت موارد HSE
R <sub>۱۷</sub>	عدم مستندسازی اسناد پروژه در پایگاه داده‌ی اطلاعاتی

### جدول ۴. رتبه‌بندی متغیر احتمال وقوع، شدت اثر، و احتمال کشف.

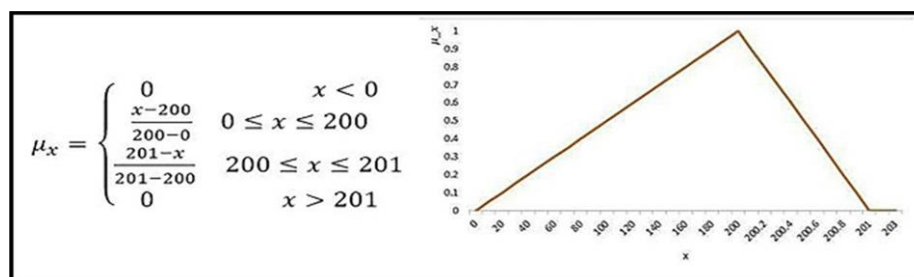
متغیر	احتمال وقوع	شدت اثر	احتمال کشف حالت خرابی	عدد فازی
کم	رخداد کمتر از ۲ بار در پروژه	پتانسیل کم برای اتلاف منابع دارد	با هیچ صرف زمانی شناسایی می‌شود	(۰، ۴، ۵)
متوسط	رخداد بین ۲ تا ۴ بار در پروژه	پتانسیل متوسط برای اتلاف منابع دارد	با صرف زمان معمولی شناسایی می‌شود	(۴، ۶، ۷)
زیاد	رخداد بیشتر از ۴ بار در پروژه	پتانسیل قابل توجه برای اتلاف منابع دارد	با صرف زمان زیادی شناسایی می‌شود	(۵، ۸، ۱۰)

## جدول ۵. ارزیابی ریسک.

ریسک	احتمال وقوع	شدت اثر هزینه	شدت اثر زمان	شدت اثر کیفیت	احتمال کشف	عدد اولویت ریسک
R <sub>۱</sub>	(۳.۶, ۴.۷, ۲.۲)	(۴.۷, ۷.۸, ۵)	(۴.۴, ۶.۸, ۸.۲)	(۴.۴, ۷.۸, ۹.۲)	(۰.۹, ۵.۶)	(۷, ۱۱۹, ۶۳۸)
R <sub>۲</sub>	(۴.۲, ۷.۸, ۶)	(۴.۵, ۶.۹, ۸)	(۵.۲, ۷.۶, ۸.۱)	(۰.۶, ۴.۲, ۵)	(۰.۴, ۵.۶)	(۰, ۱۶۵, ۵۷۹)
R <sub>۳</sub>	(۵.۸, ۷.۱, ۰.۶)	(۶.۸, ۸.۹, ۱۰.۲)	(۵.۹, ۷.۹, ۹.۸)	(۵.۶, ۶.۵, ۷.۱)	(۴.۱, ۵.۳, ۶.۴)	(۶۵, ۲۳۳, ۱۰۲۹)
R <sub>۴</sub>	(۳.۹, ۶.۴, ۸.۸)	(۶.۸, ۸.۹, ۱۰.۲)	(۶.۸, ۹.۶)	(۳.۸, ۵.۹, ۸.۶)	(۴.۱, ۵.۶, ۵)	(۴۰, ۲۰۴, ۹۲۶)
R <sub>۵</sub>	(۰.۹, ۴.۱, ۵.۶)	(۵.۸, ۸.۱, ۱۰.۲)	(۵.۲, ۸.۹, ۴)	(۲.۳, ۴.۹, ۷.۵)	(۳.۵, ۴.۶, ۶.۸)	(۶, ۱۱۱, ۵۸۸)
R <sub>۶</sub>	(۰.۴, ۳, ۴)	(۰.۸, ۲.۱, ۴.۶)	(۶.۳, ۷.۹, ۱۰)	(۰.۳, ۱.۳, ۳)	(۰.۵, ۱.۴, ۳)	(۰, ۱۳, ۱۲۰)
R <sub>۷</sub>	(۴.۷, ۷.۴, ۹.۱)	(۴.۷, ۷.۴, ۹.۱)	(۴.۱, ۶.۸, ۸.۳)	(۴.۱, ۶.۸, ۸.۳)	(۰.۸, ۴, ۵)	(۷, ۱۷۴, ۶۶۷)
R <sub>۸</sub>	(۴.۴, ۷.۴, ۹.۲)	(۴.۷, ۷.۴, ۹.۱)	(۴.۱, ۶.۸, ۸.۳)	(۴.۱, ۶.۸, ۸.۳)	(۰.۸, ۴, ۵)	(۷, ۱۷۴, ۶۶۷)
R <sub>۹</sub>	(۵, ۸, ۱۰)	(۵, ۸, ۱۰)	(۴.۷, ۷.۴, ۹.۱)	(۴.۶, ۷.۲, ۸.۸)	(۱.۳, ۵, ۶)	(۱۴, ۲۵۳, ۹۵۴)
R <sub>۱۰</sub>	(۳.۸, ۶.۸, ۸.۴)	(۴.۴, ۷.۴, ۹.۲)	(۴.۶, ۷.۲, ۸.۸)	(۴.۶, ۷.۲, ۸.۸)	(۴.۲, ۷, ۹)	(۳۳, ۲۹۱, ۱۱۵۵)
R <sub>۱۱</sub>	(۳.۲, ۶.۲, ۷.۶)	(۳.۲, ۶.۲, ۷.۶)	(۲.۱, ۵.۲, ۶.۳)	(۴, ۶, ۸)	(۲.۲, ۵, ۷)	(۱۰, ۱۵۶, ۶۶۴)
R <sub>۱۲</sub>	(۴.۷, ۷.۴, ۹.۱)	(۵.۹, ۷.۸, ۹.۷)	(۵, ۷.۶, ۹.۴)	(۶, ۸, ۹.۸)	(۲, ۵, ۶)	(۲۹, ۲۷۵, ۸۹۹)
R <sub>۱۳</sub>	(۲.۲, ۵.۳, ۵.۷)	(۴.۱, ۶.۸, ۸.۳)	(۱.۳, ۴.۸, ۵.۹)	(۰.۹, ۳.۳, ۵.۹)	(۲.۶, ۶, ۷)	(۵, ۱۳۳, ۴۵۷)
R <sub>۱۴</sub>	(۲.۲, ۶.۲, ۷.۶)	(۴.۴, ۷.۴, ۹.۲)	(۳.۷, ۶.۶, ۸.۱)	(۳.۸, ۶.۸, ۸.۴)	(۳.۶, ۶, ۸)	(۱۴, ۲۱۷, ۸۹۱)
R <sub>۱۵</sub>	(۳.۶, ۶.۴, ۷)	(۲.۶, ۳.۴, ۵.۱)	(۳.۲, ۷.۴, ۸.۵)	(۲.۱, ۵.۵, ۸.۶)	(۲.۴, ۵, ۶)	(۱۰, ۱۴۶, ۵۳۱)
R <sub>۱۶</sub>	(۴.۸, ۶.۲, ۷.۳)	(۴.۹, ۶.۳, ۹.۷)	(۳, ۷.۴, ۸.۵)	(۳.۲, ۵.۵, ۷.۸)	(۳.۱, ۴.۶, ۶.۹)	(۲۵, ۱۵۳, ۷۴۶)
R <sub>۱۷</sub>	(۲.۶, ۵.۶, ۶.۸)	(۴, ۶.۶, ۸)	(۳.۷, ۶.۶, ۸.۱)	(۱.۲, ۴.۶, ۵.۶)	(۴.۱, ۷, ۸)	(۱۴, ۱۹۵, ۶۷۳)

## جدول ۶. راهنمای دسته‌بندی ریسک.

دسته‌بندی ریسک	محدوده‌ی عدد قطعی اولویت ریسک
کم	$0 \leq RPN < 200$
متوسط	$200 \leq RPN \leq 400$
زیاد	$401 \leq RPN$



شکل ۵. تابع عضویت برای ریسک کم.

جدول ۷. دسته‌بندی ریسک‌های پروژه.

ریسک	شرح ریسک	عدد اولویت فازی	عدد اولویت قطعی	دسته‌بندی
R <sub>۱</sub>	تأخیر در آزادسازی زمین و رفع معارض	(۷,۱۱۹,۶۳۸)	۲۵۴	متوسط
R <sub>۲</sub>	تغییر طراحی در حین اجرا	(۰,۱۶۵,۵۷۹)	۲۴۸	متوسط
R <sub>۳</sub>	نوسان‌های قیمت	(۶۵,۲۳۳,۱۰۲۹)	۴۴۲	زیاد
R <sub>۴</sub>	کمبود مصالح و تجهیزات	(۴۰,۲۰۴,۹۲۶)	۳۹۰	متوسط
R <sub>۵</sub>	تغییر قوانین سازمان کارفرما	(۶,۱۱۱,۵۸۸)	۲۳۵	متوسط
R <sub>۶</sub>	شرایط نامناسب جوی	(۰,۱۳,۱۲۰)	۴۵	کم
R <sub>۷</sub>	عدم ارسال به‌موقع اسناد مالی و فنی به مشاور و کارفرما	(۷,۱۷۴,۶۶۷)	۲۸۳	متوسط
R <sub>۸</sub>	عدم بررسی اسناد در زمان مناسب توسط مشاور و کارفرما	(۷,۱۷۴,۶۶۷)	۲۸۵	متوسط
R <sub>۹</sub>	عدم پرداخت به‌موقع تعهدهای مالی توسط کارفرما	(۱۴,۲۵۳,۹۵۴)	۴۰۷	زیاد
R <sub>۱۰</sub>	اشتباه در نحوه‌ی واگذاری عملیات اجرایی به پیمانکاران جزء	(۳۳,۲۹۱,۱۱۵۵)	۴۹۳	زیاد
R <sub>۱۱</sub>	عدم کسب ضمانت‌های معتبر از پیمانکاران جزء	(۱۰,۱۵۶,۶۶۴)	۲۷۷	متوسط
R <sub>۱۲</sub>	عدم بررسی صلاحیت پیمانکار جزء در حین اجرای کار	(۲۹,۲۷۵,۸۹۹)	۴۰۱	زیاد
R <sub>۱۳</sub>	عدم برآورد درست نیروی انسانی موردنیاز	(۵,۱۳۳,۴۵۷)	۱۹۸	کم
R <sub>۱۴</sub>	عدم جذب نیروی انسانی شایسته و باصلاحیت	(۱۴,۲۱۷,۸۹۱)	۳۷۴	متوسط
R <sub>۱۵</sub>	عدم هماهنگی بین واحدهای مختلف پروژه	(۱۰,۱۴۶,۵۳۱)	۲۲۹	متوسط
R <sub>۱۶</sub>	عدم رعایت موارد HSE	(۲۵,۱۵۳,۷۴۶)	۳۰۸	متوسط
R <sub>۱۷</sub>	عدم مستندسازی اسناد پروژه در پایگاه داده‌ی اطلاعاتی	(۱۴,۱۹۵,۶۷۳)	۲۹۴	متوسط

جدول ۸. احتمال شرطی انحراف پروژه.

L									کیفیت
H			M			L			هزینه
H	M	L	H	M	L	H	M	L	زمان
۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۰/۹	۰/۹	خیر
۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	بله
M									کیفیت
H			M			L			هزینه
H	M	L	H	M	L	H	M	L	زمان
۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۴	۰/۶	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۸	خیر
۰/۷	۰/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۲	بله
H									کیفیت
H			M			L			هزینه
H	M	L	H	M	L	H	M	L	زمان
۰	۰/۴	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۵	۰/۵	خیر
۱	۰/۶	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۵	بله

جدول ۹. احتمال شرطی انحراف در کیفیت.

L									۱۲ R
H			M			L			۱۰ R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۱۶ R
۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۷	L
۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۲	۰/۳	M
۰/۶	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱	H
M									۱۲ R
H			M			L			۱۰ R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۱۶ R
۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۴	L
۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۴	۰/۳	M
۰/۶	۰/۶	۰/۴	۰/۶	۰/۳	۰/۵	۰/۸	۰/۴	۰/۳	H
H									۱۲ R
H			M			L			۱۰ R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۱۶ R
۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۲	۰/۳	۰/۳	L
۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۲	۰/۴	۰/۵	۰/۳	۰/۴	۰/۳	M
۰/۵	۰/۳	۰/۱	۰/۶	۰/۴	۰/۱	۰/۵	۰/۳	۰/۴	H

جدول ۱۰. احتمال شرطی انحراف در هزینه.

L									۹ R
H			M			L			۱۳ R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۱۱ R
۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۲	L
۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	M
۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۴	۰/۵	H
M									۹ R
H			M			L			۱۳ R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۱۱ R
۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲	L
۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۳	M
۰/۸	۰/۶	۰/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۶	۰/۵	H
H									۹ R
H			M			L			۱۳ R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۱۱ R
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	L
۰/۲	۰/۴	۰/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۴	۰/۳	M
۰/۷	۰/۵	۰/۸	۰/۷	۰/۴	۰/۷	۰/۸	۰/۴	۰/۵	H



جدول ۱۱. احتمال شرطی انحراف در زمان.

L									۱R
H			M			L			۷R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۹R
۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۳	L
۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۲	M
۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۷	۰/۵	۰/۶	H
M									۱R
H			M			L			۷R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۹R
۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲	L
۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۳	M
۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۶	۰/۵	H
H									۱R
H			M			L			۷R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۹R
۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۲	L
۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۵	M
۰/۶	۰/۴	۰/۳	۰/۶	۰/۴	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۳	H

جدول ۱۲. احتمال شرطی گره ریسک R۱۵.

L									۲R
H			M			L			۴R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۶R
۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۷	۰/۵	۰/۵	L
۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	M
۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۲	H
M									۲R
H			M			L			۴R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۶R
۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۳	L
۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	M
۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۷	۰/۶	۰/۴	H
H									۲R
H			M			L			۴R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۶R
۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	L
۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۳	۰/۳	M
۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۷	۰/۸	۰/۷	۰/۸	۰/۷	۰/۶	H

جدول ۱۳. احتمال شرطی ریسک R۹.

H			M			L			۸R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۵R
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۱	۰/۵	۰/۷	L
۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۳	M
۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۲	۰/۸	۰/۲	۰	H

جدول ۱۴. احتمال شرطی ریسک R۷.

H			M			L			۷R
H	M	L	H	M	L	H	M	L	۱۵R
۰	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰	۰/۱	۰/۱	L
۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۴	M
۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۸	۰/۶	۰/۵	H

جدول ۱۵. احتمال شرطی ریسک R۱۷ (راست) و R۱۲ (چپ).

۱۴R	L	M	H
L	۰/۲	۰/۱	۰/۱
M	۰/۵	۰/۴	۰/۱
H	۰/۳	۰/۵	۰/۸

۱۴R	L	M	H
L	۰/۳	۰/۲	۰
M	۰/۴	۰/۴	۰/۲
H	۰/۳	۰/۴	۰/۸

جدول ۱۶. احتمال شرطی ریسک R11 (راست) و R10 (چپ).

۱۴ R	L	M	H	۲ R	L	M	H
L	۰/۲	۰/۲	۰/۱	L	۰/۱	۰/۲	۰/۱
M	۰/۳	۰/۴	۰/۲	M	۰/۴	۰/۴	۰/۱
H	۰/۵	۰/۴	۰/۷	H	۰/۵	۰/۵	۰/۸

جدول ۱۷. احتمال شرطی ریسک R8 (راست) و R4 (چپ).

۲ R	L	M	H	۵ R	L	M	H
L	۰/۱	۰	۰	L	۰/۱	۰/۳	۰/۱
M	۰/۲	۰/۲	۰/۱	M	۰/۳	۰/۳	۰/۲
H	۰/۷	۰/۸	۰/۹	H	۰/۶	۰/۴	۰/۷

جدول ۱۸. احتمال ریسک R16 (راست) و R13 (چپ).

L	M	H	L	M	H
۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۵

جدول ۱۹. احتمال ریسک R6 (راست) و R2 (چپ).

L	M	H	L	M	H
۰/۱	۰/۱	۰/۸	۰/۵	۰/۴	۰/۱

جدول ۲۰. احتمال ریسک R14 (راست) و R5 (چپ).

L	M	H	L	M	H
۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۴

جدول ۲۱. احتمال ریسک R3 (راست) و R1 (چپ).

L	M	H	L	M	H
۰/۱	۰/۲	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۰/۸

جدول ۲۲. نمونه‌ی سناریو.

نتیجه‌ی پیش‌بینی	شرح سناریو
P(Deviation=Yes)= ۵۲/۴۶	$P(R_1=L)=1.00, P(R_2=M)=1.00, P(R_3=H)=1.00, P(R_4=M)=1.00, P(R_5=M)=1.00, P(R_6=M)=1.00,$ $P(R_7=M)=1.00, P(R_8=M)=1.00, P(R_9=M)=1.00, P(R_{10}=H)=1.00, P(R_{11}=L)=1.00, P(R_{12}=M)=1.00,$ $P(R_{13}=L)=1.00, P(R_{14}=M)=1.00, P(R_{15}=M)=1.00, P(R_{16}=M)=1.00, P(R_{17}=H)=1.00$

جدول ۲۳. تابع درجه‌ی عضویت متغیرهای ورودی و خروجی مدل استنتاج فازی.

نوع پارامتر	نام متغیر	متغیر زبانی	تابع درجه‌ی عضویت	مفهوم
متغیر ورودی	ریسک‌ها	کم	(۰, ۲۰۰, ۲۰۱)	عدد اولویت ریسک کمتر از ۲۰۰ است.
		متوسط	(۲۰۰, ۴۰۰, ۴۰۱)	عدد اولویت ریسک بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ است.
		زیاد	(۴۰۰, ۱۰۰۰, ۲۴۰۰)	عدد اولویت ریسک بیشتر از ۴۰۰ است.
متغیر خروجی	انحراف پروژه	کم	(۰, ۲, ۵)	میزان کل جریمه‌ی نقدی پروژه کمتر از ۵٪ مبلغ پیمان باشد.
		متوسط	(۴, ۶, ۹)	میزان کل جریمه‌ی نقدی پروژه بین ۴٪ تا ۹٪ مبلغ پیمان باشد.
		زیاد	(۹, ۱۲, ۳۰)	میزان کل جریمه‌ی نقدی پروژه بیشتر از ۹٪ مبلغ پیمان باشد.

اولین لایه میانی از  $FIS_1$ ،  $FIS_2$ ،  $FIS_3$  و  $FIS_4$  تشکیل شده است. لایه میانی دوم از  $FIS_5$ ،  $FIS_3$  و  $FIS_6$  تشکیل شده است. انحراف پروژه به صورت  $FIS_7$  در سطح نهایی قرار می گیرد. ورودی های خود را از ریسک های  $R_{15}$ ،  $R_{14}$ ،  $R_{17}$  و  $R_{16}$  می گیرد.  $FIS_2$  ورودی های خود را از ریسک های  $R_3$ ،  $R_2$ ،  $R_6$  و  $R_4$  می گیرد.  $FIS_4$  ورودی های خود را از ریسک های  $R_8$  و  $R_5$  می گیرد. خروجی های  $FIS_1$  و  $FIS_2$  برای  $FIS_3$  هستند و  $R_1$  و  $R_7$  ورودی های  $FIS_3$  هستند. خروجی  $FIS_4$  ورودی برای  $FIS_5$  است.  $R_{11}$ ،  $R_9$ ،  $R_{13}$  و ورودی های  $FIS_5$  هستند.  $FIS_6$  ورودی های خود را از ریسک های  $R_{12}$ ،  $R_{10}$  و  $R_{16}$  دریافت می کند. خروجی های  $FIS_5$ ،  $FIS_3$ ،  $FIS_6$  و ورودی برای  $FIS_7$  در سطح نهایی قرار می گیرند.<sup>[۴۸]</sup>

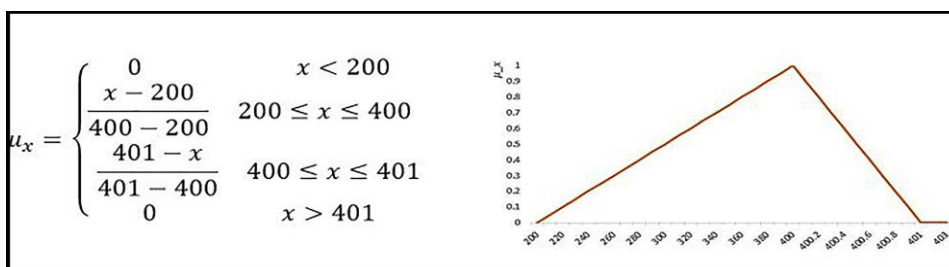
بدون طراحی سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی،  $3^{17}$  عدد قانون در یک سیستم استنتاج فازی سنتی وجود خواهد داشت؛ این در حالی است که تعداد قوانین در مدل منسجم طراحی شده برابر با  $3^3 + 3^3 + 3^3 + 3^3 + 3^3 + 3^3 + 3^3 = 3^3$  است. یک نمونه قانون استفاده شده در سیستم بررسی شده، در اینجا ارائه شده است:

تابع های عضویت برای متغیر  $R_j (j=1, \dots, 17)$  در حالت های متوسط و زیاد با اعداد فازی (۴۰۰، ۱۰۰۰، ۲۴۰۰) و (۲۰۰، ۴۰۰، ۴۰۱) و ۷ مشاهده می شوند.

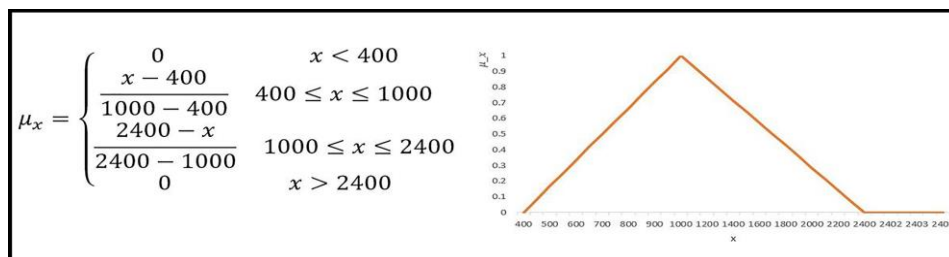
تابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی در شکل های ۸ و ۹ مشاهده می شوند.

با روش استنتاج ممدانی، قواعد لازم براساس اگر-آنگاه و ترکیب حالت های ممکن ریسک ها ساخته می شود، کل قواعد ممکن برای تعریف رفتار سیستم در مدل سیستم استنتاج سنتی برابر با  $3^{17}$  است. در مطالعه حاضر، یک سیستم استنتاج فازی منسجم برای رفع مشکل تعداد زیاد قوانین، که در حالت سنتی ایجاد می شود، ارائه شده است. مدل استنتاج فازی سنتی در شکل ۱۰ مشاهده می شود.

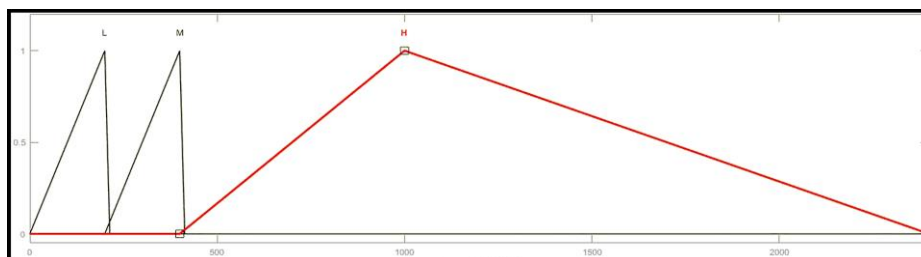
مدل پیشنهادی که از آن به عنوان مدل استنتاج فازی منسجم یاد می شود، در شکل ۱۱ مشاهده می شود. مدل مذکور از ۴ لایه ی ورودی، میانی اول، میانی دوم، و نهایی تشکیل شده است. لایه ی ورودی، شامل ۱۷ متغیر ورودی است.



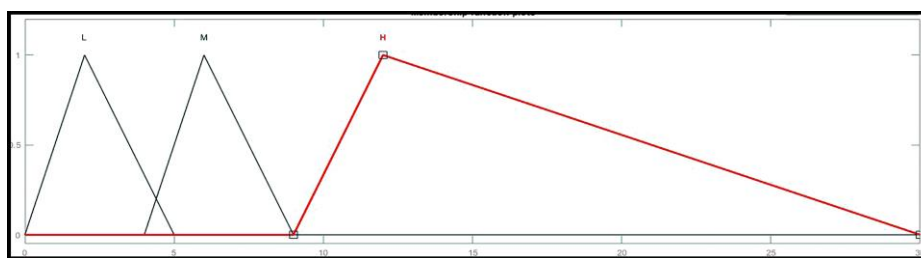
شکل ۶. تابع عضویت برای ریسک متوسط.



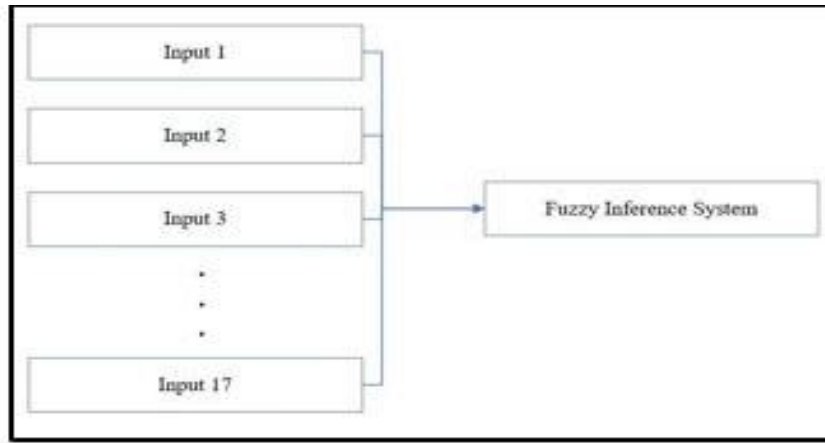
شکل ۷. تابع عضویت برای ریسک زیاد.



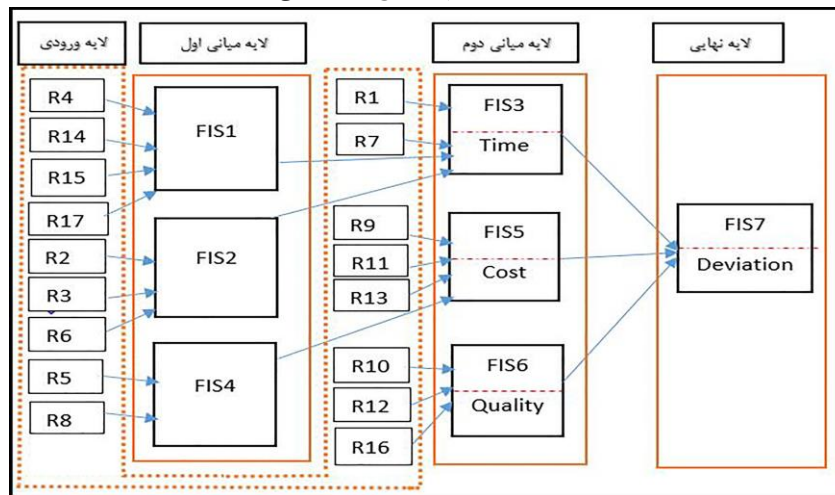
شکل ۸. تابع عضویت متغیرهای ورودی.



شکل ۹. تابع عضویت متغیر خروجی.



شکل ۱۰. سیستم استنتاج فازی سنتی.



شکل ۱۱. سیستم استنتاج فازی منسجم.

جدول ۲۴. درصد انحراف واقعی و برآوردی به همراه مقدار MSE.

درصد انحراف			پروژه‌ی اجراشده	درصد انحراف			پروژه‌ی اجراشده
فازی	بیز	واقعی		فازی	بیز	واقعی	
۶۶	۶۷	۶۸	P <sub>۹</sub>	۵۸	۵۴	۶۰	P <sub>۱</sub>
۵۱	۴۶	۵۳	P <sub>۱۰</sub>	۶۲	۵۴	۶۳	P <sub>۲</sub>
۴۴	۴۲	۴۸	P <sub>۱۱</sub>	۴۸	۴۸	۴۸	P <sub>۳</sub>
۲۷	۲۶	۲۸	P <sub>۱۲</sub>	۴۰	۴۵	۴۲	P <sub>۴</sub>
۲۳	۱۹	۲۵	P <sub>۱۳</sub>	۵۲	۴۳	۵۶	P <sub>۵</sub>
۵۴	۵۳	۵۸	P <sub>۱۴</sub>	۱۴	۱۸	۱۸	P <sub>۶</sub>
۱۶	۱۷	۱۵	P <sub>۱۵</sub>	۲۵	۱۶	۲۹	P <sub>۷</sub>
				۳۹	۳۵	۳۷	P <sub>۸</sub>
درصد میانگین مربعات خطا روش فازی = ۰/۱۱				درصد میانگین مربعات خطا روش بی‌زی = ۰/۳۴			

اگر R<sub>۱</sub> کم، R<sub>۲</sub> متوسط، R<sub>۳</sub> زیاد، R<sub>۴</sub> متوسط، R<sub>۵</sub> متوسط، R<sub>۶</sub> متوسط، R<sub>۷</sub> متوسط، R<sub>۸</sub> متوسط، R<sub>۹</sub> متوسط، R<sub>۱۰</sub> زیاد، R<sub>۱۱</sub> کم، R<sub>۱۲</sub> متوسط، R<sub>۱۳</sub> کم، R<sub>۱۴</sub> متوسط، R<sub>۱۵</sub> متوسط، R<sub>۱۶</sub> متوسط، و R<sub>۱۷</sub> زیاد باشند، آنگاه انحراف پروژه برابر با ۱۳٪ است."

### ۳.۴. اعتبارسنجی مدل

درصد انحراف واقعی ۱۵ پروژه‌ی اجراشده در شرکت مذکور مشخص است و با استفاده از اطلاعات ثبت‌شده‌ی پروژه‌های اجراشده در پایگاه داده، سطح

پس از طراحی سیستم و ساخت قوانین، انحراف پروژه با روش مرکز ثقل به یک عدد قطعی بیان می‌شود و با دراختیارداشتن مقدار عددی اولویت هر ریسک، انحراف پروژه محاسبه می‌شود." اگر R<sub>۱</sub>=۵۰، R<sub>۲</sub>=۲۸۰، R<sub>۳</sub>=۴۱۰،

آنگاه انحراف پروژه زیاد است."

جدول ۲۵. مقایسه‌ی نتایج مدل برای داده‌های شبیه‌سازی شده.

انحراف فاز (%)	انحراف بیز (%)	پروژه‌ی شبیه‌سازی	انحراف فاز (%)	انحراف بیز (%)	پروژه‌ی شبیه‌سازی
۳۹	۲۹	P۷	۷۵	۶۰	P۱
۴۵	۳۷	P۸	۲۵	۱۳	P۲
۲۴	۱۶	P۹	۴۸	۴۸	P۳
۲۱	۹	P۱۰	۴۵	۲۲	P۴
۱۳	۵	P۱۱	۴۳	۲۶	P۵
۱۱	۵	P۱۲	۲۰	۱۸	P۶

FEMA، ارزیابی ریسک انجام شده است. بر مبنای عدد اولویت ریسک، سطح ریسک طبق نظر خبرگان تعیین شده است. از آنجایی که امکان رخداد چندین ریسک به صورت هم‌زمان وجود داشته است، لذا با استفاده از رویکردهای شبکه‌ی بیزی و سیستم استنتاج فازی انحراف پروژه پیش‌بینی شده است. برای برآورد اعتبار مدل‌ها از مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی شرایط پروژه و معیار MSE استفاده شده است. در بیشتر از ۹۰٪ از نتایج مدل‌ها در شرایط داده‌های شبیه‌سازی شده، مدل بیزی انحراف کمتری نسبت به مدل استنتاج فازی داشته است. با مقایسه‌ی درصد انحراف واقعی ۱۵ پروژه‌ی اجرا شده با نتایج مدل‌ها، MSE مدل فازی از مدل بیزی کمتر بوده و برتری مدل استنتاج فازی نسبت به مدل بیزی اثبات شده است. با استفاده از روش پیشنهادی، مدیران پروژه می‌توانند انحراف کلی پروژه را با در نظر گرفتن انواع مختلفی از ریسک‌های بالقوه ارزیابی کنند و اقدام‌هایی جهت مرتفع‌ساختن علل انحراف پروژه از نظر: هزینه، کیفیت، و زمان انجام دهند و از صرف هزینه و زمان گزاف در انتهای پروژه برای مرتفع‌ساختن آن عوامل جلوگیری کنند. از آنجایی که سیستم استنتاج فازی در تعیین تابع عضویت متغیرها و قوانین براساس نظر خبرگان است و اگر در این مرحله اشتباهی صورت بگیرد، دقت مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا پیشنهاد می‌شود از روش‌های مختلف داده‌کاوی برای شناسایی روابط بین متغیرها و داده‌های ثبت شده در پایگاه‌های داده برای کشف قوانین استفاده شود و از ترکیب روش‌های فازی، عصبی، و الگوریتم‌های فراابتکاری، که قابلیت استنتاج خبرگان را حفظ کرده است و علاوه بر این ویژگی، قابلیت آموزش نیز دارند، برای برآورد انحراف استفاده شود و دقت مدل‌ها با مدل پژوهش حاضر مقایسه شود، تا یک رویکرد با نتایج مطمئن‌تر طراحی شود.

ریسک‌ها در هر یک از پروژه‌ها طبق نظر خبرگان تعیین می‌شود. با توجه به مشخص شدن ریسک‌ها در پروژه‌ها، درصد انحراف پروژه از روش سیستم استنتاج فازی و بیزی برآورد می‌شود. MSE/ طبق رابطه‌ی ۱۰ محاسبه شده است. درصد انحراف واقعی برآوردی پروژه‌ها و MSE در جدول ۲۴ ارائه شده‌اند.

مطابق جدول ۲۴ مشخص است که نتایج برآورد سیستم استنتاج فازی به داده‌های واقعی نزدیک‌تر هستند و میانگین مربعات خطای مدل، ۰/۰۱۱ است. با توجه به عدم دسترسی به پروژه‌های بیشتر برای کسب اطمینان از دقت مدل‌ها، شرایط اجرای پروژه‌ها با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار متلب بررسی شده است. برای هر ریسک، ۱۲ داده‌ی شبیه‌سازی شده ایجاد و انحراف پروژه براساس داده‌های شبیه‌سازی شده طبق جدول ۲۵ محاسبه شده است.

طبق جدول ۲۵، در بیشتر از ۹۰٪ موارد، نتایج مدل بیزی نسبت به مدل استنتاج فازی کمتر برآورد شده است و با مقایسه با جدول ۲۴ می‌توان نتیجه گرفت که مدل سیستم استنتاج فازی نسبت به شبکه‌ی بیزی قابل‌اعتمادتر است.

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ریسک در پروژه‌ها باعث وضعیت غیرقطعی می‌شود و در زمان، هزینه، و کیفیت اجرای پروژه آثاری به‌جای می‌گذارد. هدف پژوهش حاضر، پایش انحراف پروژه در شرایط وجود ریسک است. اهمیت نسبی عوامل: هزینه، زمان، و کیفیت با مقایسه‌های زوجی و پرسش نظر خبرگان یک شرکت پیمانکاری مشخص شده است. با استفاده از نظر خبرگان، اهم ریسک‌های پروژه‌ها شناسایی و با روش

## References - منابع

1. Dastgheib, S.R., Feylizadeh, M.R., Bagherpour, M. and Mahmoudi, A., 2022. Improving estimate at completion (EAC) cost of construction projects using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Canadian Journal of Civil Engineering*, 49(2), pp.222-232. <https://doi.org/10.1139/cjce-2020-0399>.
2. Tidlund, M., Spross, J. and Larsson, S., 2023. Observational method as risk management tool: the hvalfjörður tunnel project, iceland. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 17(2), pp.346-360. <https://doi.org/10.1080/17499518.2022.2046784>

3. Fazli, M., Fallah, A. and KHakbaz, A., 2020. Risk management in construction projects considering the cross-dependency project risks: utility maximization. *Industrial Management Studies*, 18(56), pp.337-374. <https://doi.org/10.22054/jims.2019.25341.1875>. [In Persian].
4. Chang, B., Kuo, C., Wu, C.H. and Tzeng, G.H., 2015. Using fuzzy analytic network process to assess the risks in enterprise resource planning system implementation. *Applied Soft Computing*, 28, pp.196-207. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.11.025>
5. Xiang, P., Xia, X. and Pang, X., 2024. Integrated risk assessment method for cross-regional mega construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 31(6), pp.2369-2391. 10.1108/ECAM-06-2022-0534
6. Castañón-Puga, M., Rosales-Cisneros, R.F., Acosta-Prado, J.C., Tirado-Ramos, A., Khatchikian, C. and Aburto-Camaclanqui, E., 2023. Earned value management agent-based simulation model. *Systems*, 11(2), p.86. <https://doi.org/10.3390/systems11020086>
7. Khaledian, F. and Momeni, M., 2021. Measuring the performance of time and quality of project execution under uncertainty. *Research in Production and Operations Management*, 12(2), pp.71-91. 10.22108/jpom.2021.128030.1359. [In Persian].
8. Peyman, F. and Fathi, A., 2016. Forecasting cost of civil engineering projects using ANN and EVA. *Journal of Dam and Hydroelectric Powerplant*, 3(10), pp.11-23. 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7 . [In Persian].
9. Syed, Z. and Lawryshyn, Y., 2020. Multi-criteria decision-making considering risk and uncertainty in physical asset management. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 65, p.104064. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104064>
10. Alam Tabriz, A. and Hamzehi, E., 2011. Project risk evaluation and analysis using risk management based on PMBOK standard and RFMEA technique. *Industrial Management Studies*, 9(23), pp.1-19. 20.1001.1.22518029.1390.9.23.1.2. [In Persian].
11. Bahadori-Amjaz, F. and Soleimani-sardo, M., 2021. Evaluation of the environmental risks of jiroft dam during the utilization phase. *Geography and Environmental Planning*, 32(4), pp.45-64. 10.22108/gep.2021.129846.1446. [In Persian].
12. Boateng, A., Ameyaw, C. and Mensah, S., 2022. Assessment of systematic risk management practices on building construction projects in ghana. *International Journal of Construction Management*, 22(16), pp.3128-3136. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1842962>
13. Shibani, A., Hasan, D., Saaifan, J., Sabboubeh, H., Eltaip, M., Saidani, M. and Gherbal, N., 2024. Financial risk management in the construction projects. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 36(8), pp.552-561. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2022.05.001>
14. Zhang, Y., 2016. Selecting risk response strategies considering project risk interdependence. *International Journal of Project Management*, 34(5), pp.819-830. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.03.001>
15. Qazi, A., Shamayleh, A., El-Sayegh, S. and Formanek, S., 2021. Prioritizing risks in sustainable construction projects using a risk matrix-based monte carlo simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, 65, p.102576. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102576>
16. Chen, L., Lu, Q., Li, S., He, W. and Yang, J., 2021. Bayesian monte carlo simulation-driven approach for construction schedule risk inference. *Journal of Management in Engineering*, 37(2), p.04020115. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000884](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000884)
17. Adedipe, T., Shafiee, M. and Zio, E., 2020. Bayesian network modelling for the wind energy industry: an overview. *Reliability Engineering & System Safety*, 202, p.107053. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107053>
18. Guan, L., Abbasi, A. and Ryan, M.J., 2021. Simulation-based risk interdependency network model for project risk assessment. *Decision Support Systems*, 148, p.113602. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113602>
19. Sharifi Ghazvini, M., Ghezavati, V., Makui, A. and Raissi, S., 2018. New multi-objective model for projects portfolio optimization considering integrated efficiency-risk approach using NSGA-II. *Research in Production and Operations Management*, 9(2), pp.139-157. 10.22108/jpom.2018.109207.1107. [In Persian].

20. Nieto-Morote, A. and Ruz-Vila, F., 2011. Fuzzy approach to construction project risk assessment. *International journal of project management*, 29(2), pp.220-231. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.02.002>
21. Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), pp.338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
22. Xu, Z., Khoshgoftaar, T.M. and Allen, E.B., 2003. Application of fuzzy expert systems in assessing operational risk of software. *Information and Software Technology*, 45(7), pp.373-388. [https://doi.org/10.1016/S0950-5849\(03\)00010-7](https://doi.org/10.1016/S0950-5849(03)00010-7)
23. Jafarzadeh Ghoushchi, S., Ab Rahman, M.N., Raeisi, D., Osgooei, E. and Jafarzadeh Ghoushji, M., 2020. Integrated decision-making approach based on SWARA and GRA methods for the prioritization of failures in solar panel systems under z-information. *Symmetry*, 12(2), p.310. <https://doi.org/10.3390/sym12020310>
24. Kahraman, C., Cebeci, U. and Ruan, D., 2004. Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of turkey. *International Journal of Production Economics*, 87(2), pp.171-184. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00099-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00099-9)
25. Batar, M., Birant, K.U. and Işık, A.H., 2021. Development of rule-based software risk assessment and management method with fuzzy inference system. *Scientific Programming*, 2021(1), p.5532197. <https://doi.org/10.1155/2021/5532197>
26. Nicholas, J.M. and Steyn, H., 2020. *Project management for engineering, business and technology*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429297588>
27. Izadi, B. and Shafie, M., 2018. Decision support system for evaluation and prioritization, the import risks to manage the effects of sanctions on iran (case study: farabi pharmaceutical company). *Research in Production and Operations Management*, 9(1), pp.79-106. 10.22108/jpom.2018.92395.0. [In Persian].
28. Vakilzadeh, M., Shayanfar, M., ZabihiSamani, M. and Ravanshadian, M., 2022. Providing a model for safety risk in construction projects using fuzzy expert system and genetic algorithm. *The Journal of Productivity Management*, 16(62), pp.99-122. 10.30495/qjopm.2021.1929803.3145. [In Persian].
29. Gheidar-Kheljani, J., Karimi Govareski, M.H., Babaei, M. and Masjedi, S., 2021. Risk assessment in production process of benzoic acid using HAZOP technique and fuzzy mathematics. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 20(118), pp.50-65. 10.22034/ijche.2021.269203.1089. [In Persian].
30. Rose, K.H., 2013. Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). *Project management Journal*, 44(3), pp.e1-e1. 10.1002/pmj.21345
31. R Nik, E. and Elmi, F., 2021. Developmene of a d ecision support system framework and project risk a ssesment with a combined multi-criteria decision-m aking and simulation approach. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, 36(2.2), pp.49-61. 10.24200/j65.2020.54821.2074. [In Persian].
32. Ghasemi, F., Doosti-Irani, A. and Aghaei, H., 2023. Applications, shortcomings, and new advances of job safety analysis (JSA): findings from a systematic review. *Safety and Health at Work*, 14(2), pp.153-162. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2023.03.006>. [In Persian].
33. Ghoushchi, S.J., Yousefi, S. and Khazaeili, M., 2019. Extended FMEA approach based on the z-moora and fuzzy bwm for prioritization of failures. *Applied Soft Computing*, 81, p.105505. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105505>
34. Cruz-Rivero, L., Méndez-Hernández, M.L., Mar-Orozco, C.E., Aguilar-Lasserre, A.A., Barbosa-Moreno, A. and Sánchez-Escobar, J., 2022. Functional evaluation using fuzzy FMEA for a non-invasive measurer for methane and carbone dioxide. *Symmetry*, 14(2), p.421. <https://doi.org/10.3390/sym14020421>
35. Baghery, M., Yousefi, S. and Rezaee, M.J., 2018. Risk measurement and prioritization of auto parts manufacturing processes based on process failure analysis, interval data envelopment analysis and grey relational analysis. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(8), pp.1803-1825. <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1214-1>
36. Jafarzadeh-Ghoushchi, S. and Rahman, M.N.A., 2016. Performance study of artificial neural network modelling to predict carried weight in the transportation system. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 24(2), pp.200-212. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2016.076473>
37. Hosseinzadeh, M., Mehregan, M.R. and Ghomi, M., 2019. Identifying and analyzing supply chain risks of saipa automobile company using the coso model and social network analysis (SNA). *Research in*

- Production and Operations Management*, 10(1), pp.111-132. 10.22108/jpom.2018.107972.1093. [In Persian].
38. Dabbagh, R. and Yousefi, S., 2019. Hybrid decision-making approach based on FCM and MOORA for occupational health and safety risk analysis. *Journal of Safety Research*, 71, pp.111-123. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.09.021>
39. Tsai, S.B., Yu, J., Ma, L., Luo, F., Zhou, J., Chen, Q. and Xu, L., 2018. Study on solving the production process problems of the photovoltaic cell industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp.3546-3553. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.105>
40. Golkhani, F., Ghotbi Ravandi, M.R., Baesmat, S. and Abasi Balochkhane, F., 2018. The use of failure mode effects analysis (FMEA) and analytic hierarchy process (AHP) methods to determine the most important safety hazards. *Health Education and Health Promotion*, 6(1), pp.17-21. 10.29252/HEHP.6.1.17. [In Persian].
41. Jeet, K. and Dhir, R., 2012. Bayesian and fuzzy approach to assess and predict the maintainability of software: a comparative study. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), p.202980. 10.5402/2012/202980
42. Grossman, D. and Domingos, P., 2004. Learning bayesian network classifiers by maximizing conditional likelihood. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine learning*, pp. 46. <https://doi.org/10.1145/1015330.1015339>
43. Adusei-Poku, K., 2005. Operational risk management-implementing a bayesian network for foreign exchange and money market settlement (doctoral dissertation, Niedersächsische Staats-und Universitätsbibliothek Göttingen). <http://dx.doi.org/10.53846/goediss-3010>
44. Yekkeh, H., Jafari, S.M., Mahmoudi, S.M. and ShamiZanjani, M., 2021. Designing the adaptive fuzzy-neural inference system to measure the benefits of knowledge management in the organization. *Iranian Journal of Information Processing and Management*, 37(1), pp.288-303. <https://doi.org/10.52547/jipm.37.1.288>. [In Persian].
45. Zaman, M. and Hassan, A., 2021. Fuzzy heuristics and decision tree for classification of statistical feature-based control chart patterns. *Symmetry*, 13(1), p.110. <https://doi.org/10.3390/sym13010110>
46. Zarandi, M.F., Alaeddini, A. and Turksen, I.B., 2008. Hybrid fuzzy adaptive sampling-run rules for shewhart control charts. *Information Sciences*, 178(4), pp.1152-1170. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.09.028>
47. Bhowmik, P., Udgata, G. and Trivedi, S., 2022. Risk assessment in construction industry using a fuzzy logic. *In Recent Developments in Sustainable Infrastructure (ICRDSI-2020)—Structure and Construction Management: Conference Proceedings from ICRDSI-2020, 1*, pp. 517-526. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-8433-3\\_44](https://doi.org/10.1007/978-981-16-8433-3_44)
48. Nikmanesh, M., Feili, A. and Sorooshian, S., 2023. Employee productivity assessment using fuzzy inference system. *Information*, 14(7), p.423. <https://doi.org/10.3390/info14070423>