مدل پایش انحراف پروژه‌های ساخت، مطالعه موردی: یک شرکت پیمانکاری

Deviation monitoring model of construction projects, case study: a contracting company

1*. جعفر قیدرخلجانی، 2. محمدحسین کریمی گوارشکی، 3. فاطمه ملکایی آشتیانی

۱*. Jafar Gheidar-Kheljani, ۲. Mohammad Hossein Karimi Gavareshki, ۳. Fateme Malekaee Ashtiyani

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

۱*.Associate Professor, Indutrial Engineering and Management Department, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

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

۲.Associate Professor, Indutrial Engineering and Management Department, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

3. دانشجوی دکتری کیفیت و بهره‌وری، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

۳.Phd Student in Quality and Productivity, Indutrial Engineering and Management Department, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

Email: Kheljani@mut.ac.ir; Mh_karimi@mut.ac.ir; Malekaee@mut.ac.ir

چکیده:

مدیریت پروژه به دنبال روش‌هایی برای پایش انحراف پروژه است. در این پژوهش انحراف پروژه با ارزیابی هم‌زمان انحراف هزینه، زمان و کیفیت، پایش می‌شود. اهمیت فاکتورها و اهم ریسک‌های پروژه در مصاحبه از خبرگان یک شرکت پیمانکاری شناسایی‌شده است. با روش تحلیل حالات بالقوه خطا و اثرات آن‌ها و منطق فازی، ارزیابی ریسک انجام‌شده است و با استفاده از روش سیستم استنتاج فازی و شبکه‌های بیزی، انحراف پروژه باوجود وابستگی بین ریسک‌ها کنترل می‌شود. از معیار میانگین مربعات خطا برای بررسی اعتبار مدل‌ها استفاده‌شده است. با مقایسه درصد انحراف واقعی 15 پروژه اجراشده در شرکت مذکور با درصد انحراف برآوردی مدل‌ها، میانگین مربعات خطا در روش استنتاج فازی نسبت به روش شبکه بیزی کمتر به‌دست‌آمده است و روش استنتاج فازی با میانگین مربعات خطا معادل با 0/0011 نسبت به روش شبکه بیزی کاراتر هست.

کلمات کلیدی: مدیریت پروژه، انحراف، حالات بالقوه خطا و اثرات آن‌ها، سیستم استنتاج فازی ، شبکه بیزی

ABSTRACT*:*

Project management is always looking for ways to complete project on time, quality and cost according to the project contract .Due to the existence of various risks and increased uncertainty in business environments, a high percentage of the projects have deviations when compared with the base plan. The purpose of this research is to continously monitoring the deviation of the project by evaluating the deviation of cost, time and quality simultaneously under the conditions of uncertainty. By conducting a pairwise comparison between cost, time and quality factors and interviewing experts of a contractor company, the relative importance of these factors has been determined. The most important risks of the project have been identified by interviewing experts in the contractor company. The risk assessment has been carried out with the failure mode and effect analysis and fuzzy logic method. By using the approach of fuzzy inference system and Bayesian networks, project deviation is predicted. In the fuzzy inference system, project risks are considered as input variables in the form of triangle fuzzy number and project deviation is obtained as the output variable of the cohesive fuzzy inference system in Matlab software. In the Bayesian network approach, the initial and conditional probabilities of the nodes have been obtained by using the experts' opinion and the project deviation has been investigated using the network between risks in AgenaRisk software. To estimate the validity of the results of the models, the mean square error criterion was used. By comparing the actual deviation percentage of 15 projects implemented in the mentioned company with the estimated deviation percentage of the models, the mean squared error in the fuzzy inference method is less compared to the Bayesian network method, and the fuzzy inference method with the mean squared error equal to 0/0011 is more efficient than the Bayesian network method.

Key Word: Project Management, Deviation, Failure Mode and Effect Analysis, Fuzzy Inference System, Bayesian Network

1. مقدمه

به پیاده‌سازی دانش، مهارت و فن برای برآورده نمودن محدودیت‌های پروژه، مدیریت پروژه گفته می‌شود. سه محدودیت اصلی اجرای پروژه‌ها، مرتبط به زمان، هزینه و کیفیت هستند[1]. وجود ریسک، عدم قطعیت و ... باعث انحراف پروژه در مقایسه با زمان برنامه‌ریزی می‌شود [2]. ازآنجایی‌که 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 [3]. ارزیابی ریسک‌های پروژه عمدتاً مستقل در نظر گرفته شده و 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 چندین ریسک بالادستی ناشی شود [4]. عدم در نظرگیری وابستگی بین ریسک‌ها می‌تواند منجر به ارزیابی نامناسب ریسک شود، لذا مدیران پروژه نیاز به ابزارهایی جهت پایش وضعیت پروژه به‌صورت پویا دارند [5]. سازمان‌ها برای پایش انحراف پروژه از روش‌هایی مانند "طول زمان کسب‌شده"، "ارزیابی ثبات عملکرد" و "ارزش کسب‌شده"، استفاده می‌کنند [6] . اکثر این روش‌ها روی یک معیار زمان یا هزینه یا تلفیق معیارهای هزینه و زمان تمرکز دارند، ولی در هیچ‌یک از این روش‌ها تمرکز همه‌جانبه بر روی معیارهای زمان، هزینه و کیفیت وجود ندارد و عدم توجه به این موضوع باعث از دست رفتن اطلاعات زیادی می‌شود. هدف این مطالعه، ارائه روشی برای کنترل انحراف پروژه با در نظرگیری وابستگی ریسک‌ها و تمرکز بر معیارهای هزینه، زمان و کیفیت در خلال اجرای یک پروژه است. اهمیت فاکتورهای هزینه، زمان و کیفیت بر اساس مقایسات زوجی بین خبرگان یک شرکت پیمانکاری محاسبه‌شده و ریسک‌های بالقوه پروژه با روش مصاحبه از خبرگان شناسایی‌شده است و با استفاده از روش تحلیل حالات بالقوه خطا و اثرات آن‌ها ($FMEA$)[1] در محیط فازی به پارامترهای شدت اثر، احتمال وقوع و توانایی کشف، امتیازدهی شده است و عدد اولویت هر ریسک از حاصل‌ضرب پارامترهای شدت اثر، احتمال وقوع و توانایی کشف به‌دست‌آمده است. با استفاده از عدد اولویت، هر ریسک به سه دسته کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی‌شده است. با استفاده ازنظر خبرگان ارتباط بین ریسک‌ها مشخص‌شده و با بهره‌مندی از رویکرد سیستم استنتاج فازی (FIS)[2] و شبکه بیزی انحراف پروژه مورد مقایسه قرارگرفته است. در سیستم استنتاج فازی، ریسک‌های پروژه به‌عنوان متغیر ورودی و انحراف پروژه به‌عنوان متغیر خروجی مدل استنتاج در نرم‌افزار $Matlab$ در نظر گرفته‌شده است. در رویکرد شبکه بیزی، با استفاده ازنظر خبرگان، احتمال اولیه و شرطی گره‌ها به‌دست‌آمده است و با استفاده از شبکه بین ریسک‌ها در نرم‌افزار $AgenaRisk$ انحراف پروژه موردبررسی قرارگرفته است. خروجی روش‌ها با نتایج پروژه‌های اجراشده، و همچنین بر اساس داده‌های شبیه‌سازی‌شده با یکدیگر موردبررسی قرارگرفته است. با استفاده از روش پیشنهادی، مدیران پروژه می‌توانند انحراف پروژه را پایش نمایند و هر فعالیتی که باعث انحراف شود، شناسایی نمایند و اقداماتی جهت مرتفع نمودن علل انحراف پروژه انجام دهند و از صرف هزینه و زمان گزاف در انتهای پروژه جلوگیری نمایند. ادامه مطالب این مقاله با ارائه مطالعات گذشته و نوآوری پژوهش در بخش دوم، روش پژوهش در بخش سوم، مطالعه موردی و پیاده‌سازی روش پژوهش در بخش چهارم و در انتها نتیجه‌گیری مطرح‌شده است.

2. مرور ادبیات

یکی از روش‌های تخمین انحراف پروژه استفاده از شاخص‌های "طول زمان اجرا" و "کیفیت اجرا" در مقایسه با برنامه مبنا است. در مطالعه‌ای به بررسی انحراف پروژه با استفاده از این شاخص‌ها به‌صورت فازی در شرایط ریسکی پرداخته‌شده است و نتایج نشان می‌دهد که ارزیابی انحراف پروژه با بررسی شاخص‌های طول زمان و کیفیت اجرا، نسبت به در نظرگیری شاخص طول زمان به‌تنهایی، دارای دقت بالاتری هست [7]. در مطالعه‌ای با استفاده از شبکه عصبی، به تخمین انحراف هزینه پروژه پرداخته‌شده است و شاخص‌های عملکردی روش "ارزش حاصله" به‌عنوان متغیرهای ورودی شبکه عصبی در نظر گرفته‌شده است. برای تحلیل حساسیت مدل از اطلاعات 2 پروژه در حال اجرا استفاده‌شده است و نتایج نشان می‌دهد که دقت مدل پیشنهادی در حد 86.23% و قابل‌قبول است [8]. افزایش عدم قطعیت باعث شده است که مدیران پروژه برای کاهش انحراف پروژه، از مدیریت ریسک علاوه بر روش‌های موجود نیز بهره‌مند شوند. در پژوهشی با استفاده از مطالعه میدانی، ریسک‌های پروژه تعاونی مسکن شناسایی‌شده است و با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره، پیشنهادهایی در خصوص مدیریت ریسک و افزایش عملکرد پروژه مطرح‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که راهکارهای پیشنهادی، باعث کاهش انحراف پروژه از شرایط مبنا می‌شود[9]. استاندارد $PMBOK$)[3] با معرفی رویکرد مدیریت ریسک تلاش در رفع انحراف هزینه و زمان با مقدار

برآوردی آن در ابتدای پروژه نموده است. در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های مدیریت ریسک استاندارد *PMBOK* و *FMEA* ریسک‌های پروژه رتبه‌بندی شده است و با استفاده از نرم‌افزار *PertMaster* زمان و هزینه برای تکمیل پروژه شبیه‌سازی‌شده است و با مقایسه با برنامه مبنا انحراف پروژه بررسی‌شده و با استفاده از روش طوفان فکری، پاسخ‌های مناسب برای ریسک‌ها در نظر گرفته‌شده است [10]. در مطالعه‌ای دیگر با مصاحبه از خبرگان، ریسک‌های پروژه سد جیرفت شناسایی شده و با استفاده از روش *FMEA* فازی، احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف به‌دست‌آمده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد ریسک‌های زیست‌محیطی به دلیل شرایط اقلیمی دارای عدد اولویت بالاتری هستند [11]. ریسک، به‌عنوان احتمال وقوع حادثه‌ای که به امکان‌سنجی پروژه آسیب برساند توصیف می‌شود. پروژه‌های ساختمانی با خطرات قابل‌توجهی روبرو هستند و ممکن است اجرای پروژه در معرض خطر هزینه پیش‌بینی‌نشده، طولانی شدن زمان اجرا و استاندارد ضعیف اجرا قرار بگیرد [12]. مطالعه‌ای در کشور لبنان باهدف شناسایی، طبقه‌بندی و تجزیه‌وتحلیل ریسک‌های صنعت ساختمان انجام‌شده است. نتایج نشان داد که این صنعت در معرض خطرات داخلی و خارجی قرار دارد که مهم‌ترین آن‌ها نوسانات ارز، تورم و عدم توانایی پرداخت بدهی هست. وقوع این ریسک‌ها منجر به انحراف پروژه از شرایط قراردادی خواهد شد [13]. رخداد ریسک‌ها با روابط علت و معلولی پیچیده مرتبط هستند [14] و حلقه‌هایی از ریسک‌ها وجود دارند که چندین ریسک در یک مسیر علت و معلولی قرار دارند و ارزیابی ریسک به‌صورت مستقل برای این‌گونه مسائل کارآمد نخواهد بود [15]. در اکثر مطالعات ذکرشده، به روابط بین ریسک‌ها توجهی نشده است. یکی از روش‌های مدل‌سازی ریسک به‌صورت شبکه، رویکرد شبکه بیزی هست که شرایط پروژه را بر اساس شبکه‌ای از ریسک‌ها پیش‌بینی می‌کند [16]، [17]. در مطالعه‌ای با روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو به بررسی انحراف پروژه با در نظرگیری وابستگی ریسک‌ها پرداخته‌شده است و اعتبار مدلی که ریسک‌ها را به‌صورت یک شبکه در نظر گرفته است نسبت به حالتی که ریسک‌ها مجزا در نظر گرفته‌شده‌اند، بیشتر است [18]. با بررسی مطالعات مشخص می‌شود که عملکرد پروژه متأثر از ریسک هست و تلاش‌هایی برای سنجش انحراف پروژه شده است. در برخی روش‌ها، انحراف پروژه از بعد زمان، هزینه و کیفیت به‌صورت جداگانه یا ترکیب دوتایی شاخص‌ها ارزیابی‌شده است. یکی از انتقاداتی که به این روش‌ها وارد می‌شود، این است که تمام ابعاد پروژه در نظر گرفته نشده است و نتایج قابل‌اعتماد نیست. در برخی مطالعات با تلفیق روش‌های شبکه عصبی و ارزیابی ریسک به پیش‌بینی انحراف پروژه پرداخته‌شده است، ولی در این روش‌ها، ارتباط بین ریسک‌ها در نظر گرفته نشده است و انحراف پروژه در صورت رخداد هر ریسک به‌صورت مستقل بررسی می‌شود. در این مقاله با در نظرگیری ریسک‌ها و ارزیابی انحراف زمان، هزینه و کیفیت پروژه با مدل‌های "سیستم استنتاج فازی" و "شبکه بیزی" انحراف پروژه بررسی‌شده است .

3. روش پژوهش

3.1. تئوری مجموعه فازی

مجموعه فازی مفاهیم نادقیق را به زبان ریاضی تبدیل می‌کند [19] ، [20]، [21] و دارای انواع مثلثی، ذوزنقه‌ای و ... هست [22].

تعریف 1: مجموعه فازی A با مجموعه مرجع X و تابع درجه عضویت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ به‌صورت رابطه 1 تعریف می‌شود [23].

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

در تعریف 1، تابع درجه عضویت به‌صورت رابطه 2 تعریف می‌شود.

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

تعریف 2: عدد فازی مثلثی $\tilde{A}=(l,m,u)$ با تابع درجه عضویت طبق رابطه 3 نمایش داده می‌شود. l کمترین، m محتمل‌ترین و u بیشترین مقدار بر اساس نظر خبرگان هست [23]، [24]

$$\begin{cases}0 & x<l\\ \frac{x-l}{m-l} & l\le x\le m\\ \frac{u-x}{u-m} & m\le x\le u\\ 0 & x>u\end{cases} \qquad (3)$$

تعریف 3: اگر اعداد فازی مثلثی $\tilde{A}$ $\tilde{B}$ به‌صورت $\tilde{A}=(l_1,m_1,u_1)$ و $\tilde{B}=(l_2,m_2,u_2)$ در نظر گرفته شوند، عملیات ریاضی بین این دو عدد به‌صورت روابط 4 تا 8 هست [23]

.

$$\tilde{A}\oplus\tilde{B}=(L_1+L_2,m_1+m_2,u_1+u_2) \qquad (4)$$

$$\tilde{A}\otimes\tilde{B}=(L_1L_2,m_1m_2,u_1u_2) \qquad (5)$$

$$\tilde{A}\ !\ \tilde{B}=(L_1-u_2,m_1-m_2,u_1-l_2) \qquad (6)$$

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

$$\lambda\tilde{A}=(\lambda L_1,\lambda m_1,\lambda u_1)\qquad \lambda>0 \qquad (8)$$

تعریف 4: برای تبدیل عدد فازی $\tilde{A}=(l,m,u)$ به یک عدد قطعی از روش بهترین عملکرد غیر فازی(BNP)[4] طبق رابطه 9 استفاده می‌شود [20].

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

3.2. مدیریت ریسک

به‌احتمال وقوع رویدادی که منجر به عدم دستیابی به اهداف شود و دارای نتایج غیرقطعی باشد، ریسک گفته می‌شود [25]، [26]، [27]. ریسک در پروژه می‌تواند وضعیت غیرقطعی ایجاد نماید و اثراتی بر زمان، هزینه و کیفیت اجرا داشته باشد، [28]. به اقداماتی که برای شناسایی، تجزیه‌وتحلیل و واکنش در برابر ریسک به‌منظور بیشینه‌سازی وقایع مثبت و کاهش احتمال یا اثرات وقوع پیامدهای ناگوار بر اهداف انجام می‌شود، مدیریت ریسک گفته می‌شود [29]، [30]. عدم قطعیت‌ها قبل از اینکه رخ دهند، شناسایی می‌شوند و با تحلیل‌هایی، اثرات آن‌ها تعدیل می‌شود [31]. روش‌هایی مانند $FTA, FMEA$ و ... برای ارزیابی ریسک وجود دارد [32]، [33]. روش $FMEA$ برای شناسایی حالت بالقوه خرابی، علت وقوع، اثرات آن، تحلیل و پیشگیری از عوامل بالقوه شکست است و در کاهش انحراف از اهداف مؤثر است [34]، [35]. از عدد اولویت ریسک (RPN)[5] برای رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده می‌شود و حاصل‌ضرب احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف ریسک هست [34]، [36]، [37]، [38]، [39]، [40].

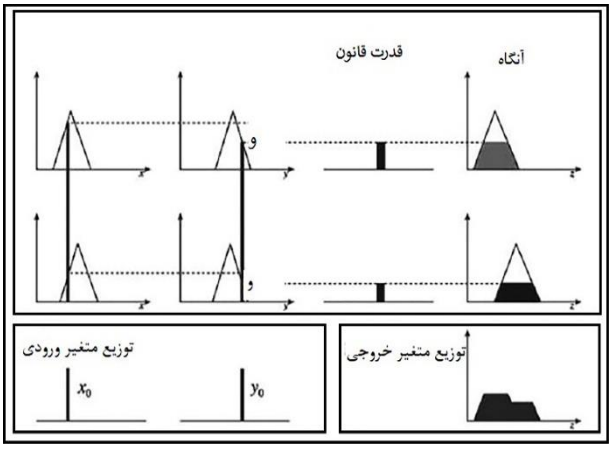
3.3. شبکه بیزی

شبکه بیزی برای بیان احتمالات به کار می‌رود و یک گراف جهت‌دار بدون دور است که شامل مجموعه‌ای از گره و یال هست. متغیرهای گسسته یا پیوسته مجموعه گره‌ها را تشکیل می‌دهد و یال‌ها رابطه بین گره‌ها را نشان می‌دهند [41]. اگر شبکه بیزی شامل n متغیر به‌صورت $\{x_1,x_2,\ldots,x_n\}$ باشد و از گره x_1 به گره x_2 یالی رسم شود، گره x_1 والد گره x_2 نامیده می‌شود و با $x_1=Parent(x_2)$ نمایش داده می‌شود. احتمال رویداد $X=(x_1,x_2,\ldots x_n)$ به‌صورت $P(x)=\prod_{i=1}^{n}P(x_i \mid Parent(x_i))$ محاسبه می‌شود [42].

نحوه ارتباط گره‌ها با کمک افراد خبره ترسیم می‌شود و اگر داده‌های عینی گذشته موجود باشد برای تخمین احتمالات هر گره از تابع توزیع احتمالات استفاده می‌شود. در غیر این صورت، توزیع احتمالات ازنظر کارشناسان خبره به دست می‌آید [43].

3.4. سیستم استنتاج فازی

سیستم استنتاج فازی به دلیل شبیه‌سازی تفکر انسانی می‌تواند برای پیش‌بینی پارامترهایی استفاده شود [44]. در این پژوهش از سیستم استنتاج فازی برای پیش‌بینی انحراف پروژه استفاده‌شده است. گام‌های ساختن یک سیستم استنتاج فازی به‌صورت فازی‌سازی ورودی‌ها، تعریف توابع عضویت، بیان قواعد سیستم استنتاج فازی و غیر فازی‌سازی متغیر خروجی هست [45]. توابع عضویت باید گویای معانی واژه‌های زبانی باشند. توابع عضویت دارای انواع مثلثی، ذوزنقه‌ای، گوسین و ... هستند [46]. در این مقاله، متغیرها به‌صورت عدد فازی مثلثی می‌باشند. پس از فازی‌سازی پارامترهای ورودی، قواعد ساخته می‌شود. قواعد عبارت‌های اگر-آنگاه است و از ترکیب توابع عضویت متغیرها تعیین می‌شود. تعداد قواعد موردنیاز به تعداد متغیرهای ورودی و تابع درجه عضویت هر متغیر بستگی دارد و طبق رابطه $I=k_1\times\ldots\times k_n$ محاسبه می‌شود. در این رابطه I تعداد قواعد، n تعداد متغیرهای ورودی و k تعداد توابع درجه عضویت هر متغیر هست [45]. در سیستم استنتاج فازی سنتی، با اضافه شدن متغیرهای ورودی یا توابع درجه عضویت، تعداد قوانین رشد نمایی خواهند داشت و باعث پیچیدگی محاسباتی مدل می‌شود [46]. در این مطالعه برای مرتفع نمودن مشکل انفجار تعداد قوانین، از مدل استنتاج فازی منسجم استفاده شده است. کاربردی‌ترین روش استنتاج فازی، روش حداقل حداکثر ممدانی است. این روش برای قواعد عطفی به کار می‌رود. از میان درجه عضویت متغیرهای ورودی، کمترین مقدار انتخاب‌شده و به خروجی انتقال داده می‌شود و تابع عضویت متغیر خروجی از حداکثر نمودن نتایج تمام قواعد تعیین می‌شود [47]. در شکل 1 سیستم استنتاج فازی حداقل حداکثر ممدانی ارائه‌شده است.



شکل 1. سیستم استنتاج فازی حداقل حداکثر ممدانی

ماشین قدرت درک زبان انسان را ندارد، لذا نتایج تحلیل‌های فازی به اعداد قطعی تبدیل می‌شود. به تبدیل‌شدن عدد فازی به عدد قطعی، غیر فازی کردن گفته می‌شود و شامل روش‌هایی مانند مرکز سطح، میانه مقدار حداکثر و ... هست [23]. در این مطالعه از روش بهترین عملکرد، برای غیر فازی‌سازی خروجی استفاده‌شده است.

3.5. اعتبارسنجی مدل

در این پژوهش برای اعتبارسنجی مدل از معیار MSE 6 طبق رابطه 10استفاده‌شده است. در این رابطه Y_{A_i} مقدار واقعی خروجی نمونه iآم، Y_{P_i} مقدار پیش‌بینی مدل برای متغیر خروجی نمونه iآم و nتعداد نمونه موردبررسی است. این معیار هرچه کم‌تر باشد، نشان‌دهنده خطای کمتر مدل هست [1].

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

3.6. مدل مفهومی پژوهش

مدل مفهومی پژوهش مطابق با شکل 2 هست.

شکل 2. مدل مفهومی پژوهش

4 .مطالعه موردی و یافته‌ها

4.1 . تعیین اهمیت فاکتورهای زمان، هزینه و کیفیت

اهمیت فاکتورهای زمان، هزینه و کیفیت با پرسش از نظر صاحب‌نظران یک شرکت پیمانکاری باسابقه کار بالای۱۰سال، (شامل ۱ معاون اجرا، ۳ مدیر پروژه، ۳ مسئول کنترل پروژه و ۳ مسئول دفتر فنی) به دست است. با مقایسه زوجی بر اساس طیف۵ درجه ساعتی طبق جدول1، وزن فاکتورها طبق جدول 2 محاسبه‌شده است.

جدول1. طیف 5درجه ساعتی

ارزش	مقایسه i نسبت به j	توضیح
1	ترجیح یکسان	iو j اهمیت برابر دارند
3	کمی مرجح	iاز j کمی مهم‌تر است
5	کاملاً مرجح	iاز j کاملاً مهم‌تر است

جدول 2 . مقایسات زوجی فاکتورهای هزینه، زمان و کیفیت

	هزینه	زمان	کیفیت	میانگین هندسی	وزن
هزینه	1	2	4	2	0.57
زمان	0.5	1	2	1	0.28
کیفیت	0.25	0.5	1	0.5	0.15

4.2 . شناسایی و تحلیل ریسک

ریسک‌های پروژه با مصاحبه از صاحب‌نظران به شرح جدول 3 است.

جدول 3. اهم ریسک‌های پروژه‌ها

ریسک	شرح ریسک
$R1$	تأخیر در آزادسازی زمین و رفع معارض
$R2$	تغییر طراحی در حین اجرا
$R3$	نوسانات قیمت
$R4$	کمبود مصالح و تجهیزات
$R5$	تغییر قوانین سازمان کارفرما
$R6$	شرایط نامناسب جوی
$R7$	عدم ارسال به‌موقع اسناد مالی و فنی به مشاور و کارفرما
$R8$	عدم بررسی اسناد در زمان مناسب توسط مشاور و کارفرما
$R9$	عدم پرداخت به‌موقع تعهدات مالی توسط کارفرما
$R10$	اشتباه در نحوه واگذاری عملیات اجرایی به پیمانکاران جزء
$R11$	عدم کسب ضمانت‌های معتبر از پیمانکاران جزء
$R12$	عدم بررسی صلاحیت پیمانکار جزء در حین اجرای کار
$R13$	عدم برآورد درست نیروی انسانی موردنیاز
$R14$	عدم جذب نیروی انسانی شایسته و باصلاحیت
$R15$	عدم هماهنگی بین واحدهای مختلف پروژه

شرح ریسک	ریسک
عدم رعایت موارد HSE	$R16$
عدم مستندسازی اسناد پروژه در پایگاه داده اطلاعاتی	$R17$

از روش $FMEA$برای ارزیابی ریسک استفاده‌شده است. برای امتیازدهی به‌احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف با استفاده ازنظر خبرگان و متغیرهای زبانی کم، متوسط و زیاد بر اساس اعداد فازی مثلثی طبق جدول 4 و میانگین‌گیری نظرات خبرگان، امتیاز هر پارامتر به‌دست‌آمده است. شدت اثر ریسک با ضرب اهمیت نسبی فاکتورهای هزینه، زمان و کیفیت در امتیازها حاصل‌شده است. RPNبه‌صورت حاصل‌ضرب احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف محاسبه می‌شود. عدد اولویت هر ریسک طبق جدول 5 است.

جدول 4. 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*	$(0,4,5)$
متوسط	*رخداد بین ۲ تا ۴ بار در پروژه*	*پتانسیل متوسط برای اتلاف منابع دارد*	*با صرف زمان معمولی شناسایی می‌شود*	$(4,6,7)$
زیاد	*رخداد بیشتر از ۴ بار در پروژه*	*پتانسیل قابل‌توجه برای اتلاف منابع دارد*	*با صرف زمان زیادی شناسایی می‌شود*	$(5,8,10)$

جدول 5. ارزیابی ریسک

ریسک	احتمال وقوع	شدت اثر هزینه	شدت اثر زمان	شدت اثرکیفیت	احتمال کشف	عدد اولویت ریسک
$R1$	$(3.6,4,7.2)$	$(4.7,7,8.5)$	$(4.4,6.8,8.2)$	$(4.4,7.4,9.2)$	$(0.9,5,6)$	$(7,119,638)$
$R2$	$(4.2,7,8.6)$	$(4.5,6.9,8)$	$(5.2,7.6,8.1)$	$(0.6,4.2,5)$	$(0,4.5,5.6)$	$(0,165,579)$
$R3$	$(5.8,7,10.6)$	$(6.8,8.9,10.2)$	$(5.9,7,9.3)$	$(5.6,6.5,7.1)$	$(4.1,5.3,6.4)$	$(65,233,1029)$
$R4$	$(3.9,6.4,8.8)$	$(6.8,8.9,10.2)$	$(6,8,9.6)$	$(3.8,5.9,8.6)$	$(4.1,5,6.5)$	$(40,204,926)$
$R5$	$(0.9,4.1,5.6)$	$(5.8,8.1,10.2)$	$(5.2,8,9.4)$	$(2.3,4.9,7.5)$	$(3.5,4.6,6.8)$	$(6,111,588)$
$R6$	$(0.4,3,4)$	$(0.8,2.1,4.6)$	$(6.3,7.9,10)$	$(0.3,1.3,3)$	$(0.5,1.4,3)$	$(0,13,120)$
$R7$	$(4.7,7.4,9.1)$	$(4.7,7.4,9.1)$	$(4.1,6.8,8.3)$	$(4.1,6.8,8.3)$	$(0.8,4,5)$	$(7,174,667)$
$R8$	$(4.4,7.4,9.2)$	$(4.7,7.4,9.1)$	$(4.1,6.8,8.3)$	$(4.1,6.8,8.3)$	$(0.8,4,5)$	$(7,174,674)$
$R9$	$(5,8,10)$	$(5,8,10)$	$(4.7,7.4,9.1)$	$(4.6,7.2,8.8)$	$(1.3,5,6)$	$(14,253,954)$
$R10$	$(3.8,6.8,8.4)$	$(4.4,7.4,9.2)$	$(4.6,7.2,8.8)$	$(4.6,7.2,8.8)$	$(4.2,7,9)$	$(33,291,1155)$
$R11$	$(3.2,6.2,7.6)$	$(3.2,6.2,7.6)$	$(2.1,5.2,6.3)$	$(4,6.6,8)$	$(2.2,5,7)$	$(10,156,664)$
$R12$	$(4.7,7.4,9.1)$	$(5.9,7.8,9.7)$	$(5,7.6,9.4)$	$(6,8,9.8)$	$(2,5,6)$	$(29,275,899)$
$R13$	$(2.2,5.3,5.7)$	$(4.1,6.8,8.3)$	$(1.3,4.8,5.9)$	$(0.9,3.3,5.9)$	$(2.6,6,7)$	$(5,133,457)$
$R14$	$(2.2,6.2,7.6)$	$(4.4,7.4,9.2)$	$(3.7,6.6,8.1)$	$(3.8,6.8,8.4)$	$(3.6,6,8)$	$(14,217,891)$
$R15$	$(3.6,6.4,7)$	$(2.6,3.4,5.1)$	$(3.2,7.4,8.5)$	$(2.1,5.5,8.6)$	$(2.4,5,6)$	$(10,146,531)$
$R16$	$(4.8,6.2,7.3)$	$(4.9,6.3,9.7)$	$(3,7.4,8.5)$	$(3.2,5.5,7.8)$	$(3.1,4.6,6.9)$	$(25,153,746)$
$R17$	$(2.6,5.6,6.8)$	$(4,6.6,8)$	$(3.7,6.6,8.1)$	$(1.2,4.6,5.6)$	$(4.1,7,8)$	$(14,195,673)$

از عدد اولویت ریسک برای تعیین سطح ریسک استفاده می‌شود و با روش BNPبه اعداد قطعی تبدیل می‌شوند. طبق نظر صاحب‌نظران ریسک‌ها طبق جدول 6 به کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی می‌شود. ریسک‌های پروژه در جدول 7 دسته‌بندی‌شده است.

جدول 6 .راهنمای دسته‌بندی ریسک

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

جدول 7. دسته‌بندی ریسک‌های پروژه

کد ریسک	شرح ریسک	عدد اولویت فازی	عدد اولویت قطعی	دسته‌بندی
$R1$	تأخیر در آزادسازی زمین و رفع معارض	$(7,119,638)$	254	متوسط
$R2$	تغییر طراحی در حین اجرا	$(0,165,579)$	248	متوسط
$R3$	نوسانات قیمت	$(65,233,1029)$	442	زیاد
$R4$	کمبود مصالح و تجهیزات	$(40,204,926)$	390	متوسط
$R5$	تغییر قوانین سازمان کارفرما	$(6,111,588)$	235	متوسط
$R6$	شرایط نامناسب جوی	$(0,13,120)$	45	کم
$R7$	عدم ارسال به‌موقع اسناد مالی و فنی به مشاور و کارفرما	$(7,174,667)$	283	متوسط
$R8$	عدم بررسی اسناد در زمان مناسب توسط مشاور و کارفرما	$(7,174,674)$	285	متوسط
$R9$	عدم پرداخت به‌موقع تعهدات مالی توسط کارفرما	$(14,253,954)$	407	زیاد
$R10$	اشتباه در نحوه واگذاری عملیات اجرایی به پیمانکاران جزء	$(33,291,1155)$	493	زیاد
$R11$	عدم کسب ضمانت‌های معتبر از پیمانکاران جزء	$(10,156,664)$	277	متوسط
$R12$	عدم بررسی صلاحیت پیمانکار جزء در حین اجرای کار	$(29,275,899)$	401	زیاد
$R13$	عدم برآورد درست نیروی انسانی موردنیاز	$(5,133,457)$	198	کم
$R14$	عدم جذب نیروی انسانی شایسته و باصلاحیت	$(14,217,891)$	374	متوسط
$R15$	عدم هماهنگی بین واحدهای مختلف پروژه	$(10,146,531)$	229	متوسط
$R16$	عدم رعایت موارد HSE	$(25,153,746)$	308	متوسط
$R17$	عدم مستندسازی اسناد پروژه در پایگاه داده اطلاعاتی	$(14,195,673)$	294	متوسط

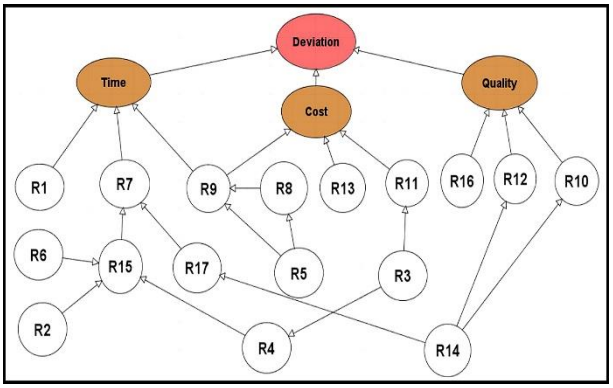
4.2. پیش‌بینی انحراف پروژه

برای پیش‌بینی انحراف پروژه از رویکردهای شبکه بیزی و سیستم استنتاج فازی استفاده‌شده است.

4.2.1. شبکه بیزی

رابطه بین عوامل تأثیرگذار بر انحراف پروژه طبق نظر خبرگان ترسیم می‌شود. انحراف پروژه به دو حالت "دارد و ندارد" و هریک از انحراف هزینه، زمان، کیفیت و ریسک‌های پروژه به سه حالت "کم، متوسط و زیاد" تقسیم‌شده است. رابطه بین گره‌های شبکه طبق نظر خبرگان طبق شکل 3 با در نظر گرفتن همبستگی بین ریسک‌ها در نرم‌افزار $AgenaRisk$ در نظر گرفته است.

احتمال اولیه برای گره‌های والد و احتمال شرطی برای سایر گره‌ها بر اساس نظر خبرگان مطابق با جدول 8 تا 21 و شکل 4 می‌باشند.



شکل 3. شبکه بیزی انحراف پروژه

جدول 8. احتمال شرطی انحراف پروژه

Quality	*L*								
Cost	*L*			*M*			*H*		
Time	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
No	0.9	0.9	0.7	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
Yes	0.1	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
Quality	*M*								
Cost	*L*			*M*			*H*		
Time	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*

H	0.6	0.5	0.7	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	۰,۷
*R*1	*M*								
*R*7	*L*			*M*			*H*		
*R*9	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
M	0.3	0.3	0.1	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
H	0.5	0.6	0.8	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7
*R*1	*H*								
*R*7	*L*			*M*			*H*		
*R*9	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
M	0.5	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5	0.3
H	0.3	0.5	0.7	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.6

جدول12. احتمال شرطی گره ریسک *R*15

*R*2	*L*								
*R*4	*L*			*M*			*H*		
*R*6	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.5	0.5	0.7	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
M	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3
H	0.2	0.2	0.1	0.3	0.4	0.6	0.4	0.5	0.6
*R*2	*M*								
*R*4	*L*			*M*			*H*		
*R*6	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
M	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3
H	0.4	0.6	0.7	0.5	0.6	0.6	0.4	0.5	0.6
*R*2	*H*								
*R*4	*L*			*M*			*H*		
*R*6	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
M	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.4	0.4	0.3
H	0.6	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7

جدول13. احتمال شرطی ریسک *R*9

*R*8	*L*			*M*			*H*		
*R*5	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.7	0.5	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
M	0.3	0.3	0.1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3
H	0	0.2	0.8	0.2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6

جدول14. احتمال شرطی ریسک *R*7

*R*17	*L*			*M*			*H*		
*R*15	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.1	0.1	0	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0
M	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4
H	0.5	0.6	0.8	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6

جدول15. احتمال شرطی ریسک *R*17 (راست) و *R*12 (چپ)

*R*14	*L*	*M*	*H*
L	0.2	0.1	0.1
M	0.5	0.4	0.1
H	0.3	0.5	0.8

*R*14	*L*	*M*	*H*
L	0.3	0.2	0
M	0.4	0.4	0.2
H	0.3	0.4	0.8

No	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.4	0.6	0.5	0.3
Yes	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.6	0.4	0.5	0.7
Quality	*H*								
Cost	*L*			*M*			*H*		
Time	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
No	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.5	0.4	0
Yes	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.5	0.6	1

جدول9. احتمال شرطی انحراف در کیفیت

*R*12	*L*								
*R*10	*L*			*M*			*H*		
*R*16	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.7	0.6	0.4	0.5	0.5	0.2	0.4	0.3	0.2
M	0.1	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2
H	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.5	0.2	0.3	0.6
*R*12	*M*								
*R*10	*L*			*M*			*H*		
*R*16	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.4	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1
M	0.3	0.4	0.1	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3
H	0.3	0.4	0.8	0.5	0.3	0.6	0.4	0.6	0.6
*R*12	*H*								
*R*10	*L*			*M*			*H*		
*R*16	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.3	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2
M	0.3	0.4	0.3	0.5	0.4	0.2	0.5	0.4	0.3
H	0.4	0.3	0.5	0.1	0.4	0.6	0.1	0.3	0.5

جدول10. احتمال شرطی انحراف در هزینه

*R*9	*L*								
*R*13	*L*			*M*			*H*		
*R*11	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
M	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
H	0.5	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7
*R*9	*M*								
*R*13	*L*			*M*			*H*		
*R*11	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
M	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1
H	0.5	0.6	0.8	0.5	0.5	0.8	0.5	0.6	0.8
*R*9	*H*								
*R*13	*L*			*M*			*H*		
*R*11	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
M	0.3	0.4	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2
H	0.5	0.4	0.8	0.7	0.4	0.7	0.8	0.5	0.7

جدول11. احتمال شرطی انحراف در زمان

*R*1	*L*								
*R*7	*L*			*M*			*H*		
*R*9	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*	*L*	*M*	*H*
L	0.2	0.2	0.1	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
M	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2

جدول16. احتمال شرطی ریسک $R11$ (راست) و $R10$ (چپ)

$R14$	L	M	H
L	0.2	0.2	0.1
M	0.3	0.4	0.2
H	0.5	0.4	0.7

$R3$	L	M	H
L	0.1	0.2	0.1
M	0.4	0.4	0.1
H	0.5	0.5	0.8

جدول 17. احتمال شرطی ریسک $R8$ (راست) و $R4$ (چپ)

$R3$	L	M	H
L	0.1	0	0
M	0.2	0.2	0.1
H	0.7	0.8	0.9

$R5$	L	M	H
L	0.1	0.3	0.1
M	0.3	0.3	0.2
H	0.6	0.4	0.7

جدول18. احتمال ریسک $R16$ (راست) و $R13$ (چپ)

L	M	H
0.4	0.3	0.3

L	M	H
0.2	0.3	0.5

جدول19. احتمال ریسک $R6$ (راست) و $R2$ (چپ)

L	M	H
0.1	0.1	0.8

L	M	H
0.5	0.4	0.1

جدول 20 . احتمال ریسک $R14$ (راست) و $R5$ (چپ)

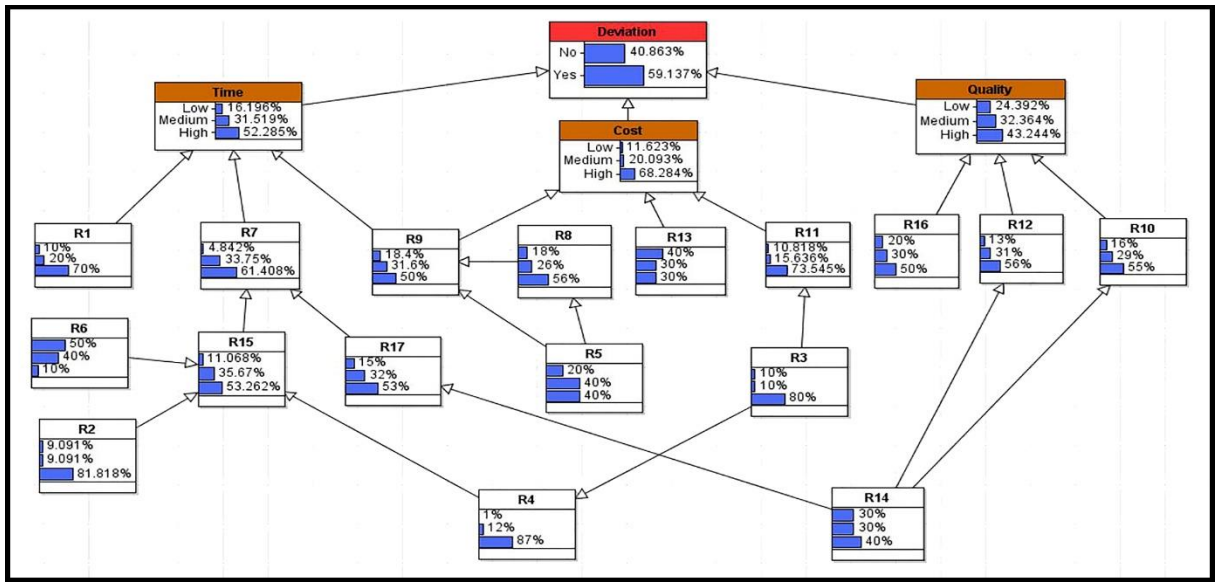
L	M	H
0.2	0.4	0.4

L	M	H
0.3	0.3	0.4

جدول21 . احتمال ریسک $R3$ (راست) و $R1$ (چپ)

L	M	H
0.1	0.2	0.7

L	M	H
0.1	0.1	0.8



شکل 4. نتایج احتمالات انحراف پروژه

انحراف پروژه با اعمال سناریوهای مختلف بر روی حالت‌های مختلف ریسک‌ها محاسبه می‌شود. یک سناریو و مقدار پیش‌بینی انحراف پروژه مطابق با جدول 22 است و به این معنی است که اگر احتمال رخداد $R1$ کم، $R2$ متوسط، $R3$ زیاد، $R4$ متوسط، $R5$ متوسط، $R6$ متوسط، $R7$ متوسط، $R8$ متوسط، $R9$ متوسط، $R10$ زیاد، $R11$ کم، $R12$ متوسط، $R13$ کم، $R14$ متوسط، $R15$ متوسط، $R16$ متوسط و $R17$ زیاد باشند، آنگاه با احتمال 52.46% پروژه دارای انحراف هست.

جدول 22 . نمونه سناریو

شرح سناریو	نتیجه پیش‌بینی
$P(R1=L)=100, P(R2=M)=100, P(R3=H)=100\ P(R4=M)=100, P(R5=M)=100, P(R6=M)=100,$ $P(R7=M)=100, P(R8=M)=100, P(R9=M)=100, P(R10=H)=100, P(R11=L)=100, P(R12=M)=100,$ $P(R13=L)=100, P(R14=M)=100, P(R15=M)=100, P(R16=M)=100,\ P(R17=H)=100$	$P(\text{Deviation}=\text{Yes})=52.46$

4.2.2.سیستم استنتاج فازی

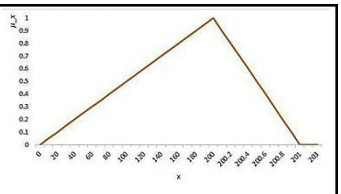
متغیرهای ورودی این مدل، ریسک‌های پروژه می‌باشند و انحراف پروژه به‌عنوان متغیر خروجی مدل هست. متغیرهای ورودی و خروجی طبق نظر خبرگان در سه دسته کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی‌شده‌اند. تابع درجه عضویت متغیرهای مدل استنتاج فازی طبق نظر خبرگان مطابق با جدول 23 در نظر گرفته‌شده است.

جدول 23. تابع درجه عضویت متغیرهای ورودی و خروجی مدل استنتاج فازی

نوع پارامتر	نام متغیر	متغیر زبانی	تابع درجه عضویت	مفهوم
متغیر ورودی	ریسک‌ها	کم	$(0,200,201)$	عدد اولویت ریسک کمتر از 200 است.
		متوسط	$(200,400,401)$	عدد اولویت ریسک بین 200 تا 400 است.
		زیاد	$(400,1000,2400)$	عدد اولویت ریسک بیشتر از 400 است.
متغیر خروجی	انحراف پروژه	کم	$(0,2,5)$	میزان کل جریمه نقدی پروژه کمتر از 5% مبلغ پیمان باشد.
		متوسط	$(4,6,9)$	میزان کل جریمه نقدی پروژه بین 4% تا 9% مبلغ پیمان باشد.
		زیاد	$(9,12,30)$	میزان کل جریمه نقدی پروژه بیشتر از 9% مبلغ پیمان باشد.

عدد فازی $(0,200,201)$ برای متغیر $R_j\ (j=1,...,17)$ در حالت کم به این معنی است که کمترین عدد اولویت برابر صفر ، محتمل‌ترین عدد اولویت برابر با 200 و بیشترین عدد اولویت ریسک برابر با 201 است. تابع عضویت متغیر $R_j\ (j=1,...,17)$ در حالت کم، طبق رابطه 3 به‌صورت *شکل* 5 است.

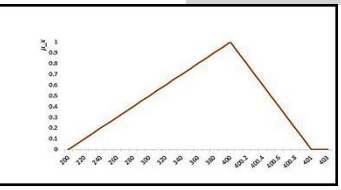
$$\mu_x=\begin{cases}0 & x<0\\ \frac{x-200}{200-0} & 0\le x\le 200\\ \frac{201-x}{201-200} & 200\le x\le 201\\ 0 & x>201\end{cases}$$



شکل 5. تابع عضویت برای ریسک کم

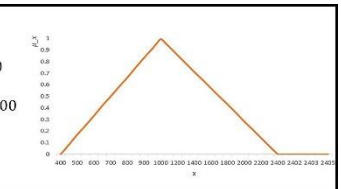
تابع عضویت برای متغیر $R_j\ (j=1,...,17)$ در حالت متوسط و زیاد با اعداد فازی $(200,400,401)$ و $(400,1000,2400)$ در *شکل‌های* 6 *و* 7 رسم شده است.

$$\mu_x=\begin{cases}0 & x<200\\ \frac{x-200}{400-200} & 200\le x\le 400\\ \frac{401-x}{401-400} & 400\le x\le 401\\ 0 & x>401\end{cases}$$



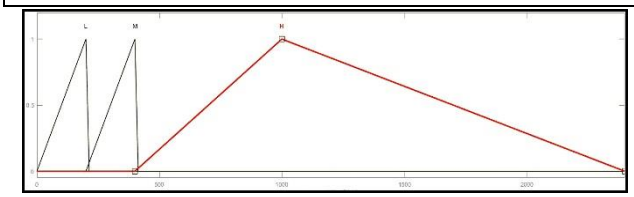
شکل 6. تابع عضویت برای ریسک متوسط

$$\mu_x=\begin{cases}0 & x<400\\ \frac{x-400}{1000-400} & 400\le x\le 1000\\ \frac{2400-x}{2400-1000} & 1000\le x\le 2400\\ 0 & x>2400\end{cases}$$

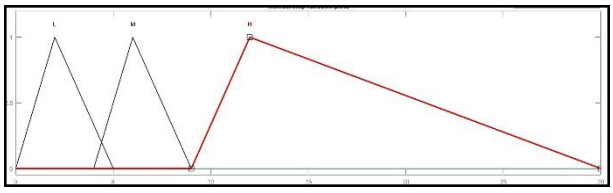


شکل 7. تابع عضویت برای ریسک زیاد

تابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی در *شکل‌های* 8 *و* 9 رسم شده است.

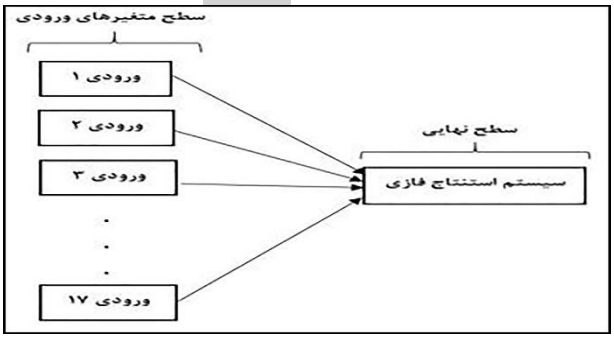


شکل 8. تابع عضویت متغیرهای ورودی



شکل 9. تابع عضویت متغیر خروجی

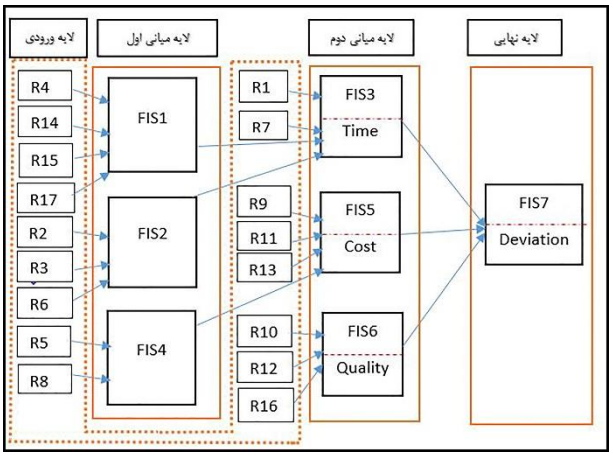
با روش استنتاج ممدانی، قواعد لازم بر اساس اگر- آنگاه و ترکیب حالت‌های ممکن ریسک‌ها ساخته می‌شود، کل قواعد ممکن برای تعریف رفتار سیستم در مدل سیستم استنتاج سنتی برابر با 3^{17} هست. در این مطالعه، یک سیستم استنتاج فازی منسجم برای رفع مشکل تعداد زیاد قوانین که در حالت سنتی ایجاد می‌شود، ارائه‌شده است. مدل استنتاج فازی سنتی در *شکل* 10 نشان داده‌شده است.



شکل 10. سیستم استنتاج فازی سنتی

مدل پیشنهادی که از آن به‌عنوان مدل استنتاج فازی منسجم یاد می‌شود، در *شکل* 11 نشان داده‌شده است. این مدل از 4 لایه تشکیل‌شده است. لایه ورودی، لایه میانی اول، لایه میانی دوم و لایه نهایی. لایه ورودی شامل 17 متغیر ورودی هست. اولین لایه میانی

از $FIS\,1, FIS\,2$ و $FIS\,4$ تشکیل‌شده است. لایه میانی دوم از $FIS\,3, FIS\,5$ و $FIS\,6$ تشکیل‌شده است. انحراف پروژه به‌صورت $FIS\,7$ در سطر نهایی قرار می‌گیرد. $FIS\,1$ ورودی‌های خود را از ریسک‌های $R15, R14, R4$ و $R17$ می‌گیرد. $FIS\,2$ ورودی‌های خود را از ریسک‌های $R2, R3$ و $R6$ می‌گیرد. $FIS\,4$ ورودی‌های خود را از ریسک‌های $R5$ و $R8$ می‌گیرد. خروجی‌های $FIS\,1$ و $FIS\,2$ ورودی برای $FIS\,3$ است و $R1$ و $R7$ ورودی‌های $FIS\,3$ می‌باشند. خروجی $FIS\,4$ ورودی برای $FIS\,5$ است. $R9, R11$ و $R13$ ورودی‌های $FIS\,5$ می‌باشند. $FIS\,6$ ورودی‌های خود را از ریسک‌های $R10, R12$ و $R16$ دریافت می‌کند. خروجی $FIS\,3, FIS\,5$ و $FIS\,6$ ورودی برای $FIS\,7$ در سطح نهایی قرار می‌گیرد [48].



شکل 11. سیستم استنتاج فازی منسجم

بدون طراحی سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی، 3^{17} تعداد قانون در یک سیستم استنتاج فازی سنتی وجود خواهد داشت، این در حالی است که تعداد قوانین در مدل منسجم طراحی‌شده برابر با $3^3+3^3+3^4+3^4+3^2+3^3+3^4 = 333$ است. یک نمونه قانون استفاده‌شده در سیستم موردبررسی مطابق زیر است.

"اگر $R1$ کم، $R2$ متوسط، $R3$ زیاد، $R4$ متوسط، $R5$ متوسط، $R6$ متوسط، $R7$ متوسط، $R8$ متوسط، $R9$ متوسط، $R10$ زیاد، $R11$ کم، $R12$ متوسط، $R13$ کم، $R14$ متوسط، $R15$ متوسط، $R16$ متوسط و $R17$ زیاد باشند، آنگاه انحراف پروژه زیاد هست."

پس از طراحی سیستم و ساخت قوانین، انحراف پروژه با روش مرکز ثقل به یک عدد قطعی بیان می‌شود و با در اختیار داشتن مقدار عددی اولویت هر ریسک، انحراف پروژه قابل‌محاسبه است. "اگر $R1=50, R2=280, R3=410, R4=302, R5=33, R6=6$، $R7=8, R8=245, R9=44, R10=412, R11=12, R12=24$، $R13=9, R14=31, R15=37, R16=25$ و $R17=49$ باشند، آنگاه انحراف پروژه برابر با ۱۳٪ هست."

4.3 . اعتبارسنجی مدل

درصد انحراف واقعی ۱۵ پروژه اجراشده در شرکت مذکور مشخص است و با استفاده از اطلاعات ثبت‌شده پروژه‌های اجراشده در پایگاه داده، سطح ریسک‌ها در هریک از پروژه‌ها طبق نظر خبرگان تعیین می‌گردد. با توجه به مشخص شدن ریسک‌ها در پروژه‌ها، درصد انحراف پروژه از روش سیستم استنتاج فازی و بیزی برآورد می‌شود. $MSE\%$ طبق رابطه ۱۰ قابل‌محاسبه هست. درصد انحراف واقعی، برآوردی پروژه‌ها و MSE در جدول 24 نشان داده‌شده است.

جدول 24. درصد انحراف واقعی و برآوردی به همراه مقدار MSE

پروژه اجرا شده	درصد انحراف			پروژه اجرا شده	درصد انحراف		
	واقعی	بیز	فازی		واقعی	بیز	فازی
$P1$	60	54	58	$P9$	68	67	66
$P2$	63	54	62	$P10$	53	46	51
$P3$	48	48	48	$P11$	48	42	44
$P4$	42	45	40	$P12$	28	26	27
$P5$	56	43	52	$P13$	25	19	23
$P6$	18	18	14	$P14$	58	53	54
$P7$	29	16	25	$P15$	15	17	16
$P8$	37	35	39				
درصد میانگین مربعات خطا روش بیزی= 0.34				درصد میانگین مربعات خطا روش فازی= 0.11			

مطابق با جدول 24 مشخص است نتایج برآورد سیستم استنتاج فازی به داده‌های واقعی نزدیک‌تر بوده است و میانگین مربعات خطا مدل 0.0011 هست، با توجه به عدم دسترسی به پروژه‌های بیشتر برای کسب اطمینان از دقت مدل‌ها، شرایط اجرای پروژه‌ها با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار *Matlab* بررسی می‌شود. برای هر ریسک 12 داده شبیه‌سازی‌شده ایجاد می‌شود و انحراف پروژه بر اساس داده‌های شبیه‌سازی‌شده طبق جدول 25 محاسبه می‌شود.

جدول 25 .مقایسه نتایج مدل برای داده‌های شبیه‌سازی‌شده

پروژه شبیه سازی	انحراف بیز (%)	انحراف فازی (%)	پروژه شبیه سازی	انحراف بیز (%)	انحراف فازی (%)
$P1$	60	75	$P7$	29	39

پروژه شبیه سازی	انحراف بیز (%)	انحراف فازی (%)	پروژه شبیه سازی	انحراف بیز (%)	انحراف فازی (%)
$P2$	13	25	$P8$	37	45
$P3$	48	48	$P9$	16	24
$P4$	22	45	$P10$	9	21
$P5$	26	43	$P11$	5	13
$P6$	18	20	$P12$	5	11

طبق جدول 25، در بیشتر از ۹۰ درصد، نتایج مدل بیزی نسبت به مدل استنتاج فازی کمتر برآورد شده است و با مقایسه با جدول 24 می‌توان نتیجه گرفت که مدل سیستم استنتاج فازی نسبت به شبکه بیزی قابل‌اعتمادتر هست.

5. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ریسک در پروژه‌ها باعث وضعیت غیرقطعی می‌شود و بر زمان، هزینه و کیفیت اجرا پروژه اثراتی می‌گذارد. هدف این پژوهش پایش انحراف پروژه در شرایط وجود ریسک هست. اهمیت نسبی فاکتورهای هزینه، زمان و کیفیت با مقایسات زوجی و پرسش نظر خبرگان یک شرکت پیمانکاری مشخص‌شده است. با استفاده ازنظر خبرگان، اهم ریسک‌های پروژه‌ها شناسایی‌شده است و با روش *FMEA*، ارزیابی ریسک انجام‌شده است. بر مبنای عدد اولویت ریسک، سطح ریسک طبق نظر خبرگان تعیین‌شده است. ازآنجایی‌که امکان رخداد چندین ریسک به‌صورت هم‌زمان وجود دارد، لذا با استفاده از رویکردهای شبکه بیزی و سیستم استنتاج فازی، انحراف پروژه پیش‌بینی می‌شود. برای برآورد اعتبار مدل‌ها از مقایسه نتایج شبیه‌سازی شرایط پروژه و معیار *MSE* استفاده‌شده است. در بیشتر از ۹۰ درصد از نتایج مدل‌ها در شرایط داده‌های شبیه‌سازی‌شده، مدل بیزی انحراف کمتری نسبت به مدل استنتاج فازی برآورد شده است. با مقایسه درصد انحراف واقعی 15 پروژه اجراشده با نتایج مدل‌ها، *MSE* مدل فازی از مدل بیزی کمتر هست وبرتری مدل استنتاج فازی نسبت مدل بیزی اثبات می‌شود. با استفاده از روش پیشنهادی، مدیران پروژه می‌توانند انحراف کلی پروژه را با در نظرگیری انواع مختلفی از ریسک‌های بالقوه مورد ارزیابی قرار دهند و اقداماتی جهت مرتفع نمودن علل انحراف پروژه ازنظر هزینه، کیفیت و زمان را انجام دهند و از صرف هزینه و زمان گزاف در انتهای پروژه برای مرتفع نمودن آن عوامل جلوگیری نمایند. ازآنجایی‌که سیستم استنتاج فازی در تعیین تابع عضویت متغیرها و قوانین بر اساس نظر خبرگان هست 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 ثبت‌شده در پایگاه‌های داده برای کشف قوانین استفاده شود و از ترکیب روش‌های فازی، عصبی و الگوریتم‌های فرا ابتکاری که قابلیت استنتاج خبرگان را حفظ کرده است و علاوه بر این ویژگی، دارای قابلیت آموزش نیز می‌باشند، برای برآورد انحراف استفاده شود و دقت مدل‌ها با مدل این پژوهش مورد مقایسه قرار داده شود تا یک رویکرد با نتایج متقن تر طراحی شود.

پانوشت‌ها

1. *Failure Mode and Effect Analysis*
2. *Fuzzy Inference System*
3. *Project Management Body of Knowledge*
4. *Best Non fuzzy Performance*
5. *Risk Priority Number*
6. *Mean Square Error*

منابع

1. Dastgheib, S.R., Feylizadeh, M.R., Bagherpour, M. and Mahmoudi, A., ۲۰۲۲. Improving estimate at completion (EAC) cost of construction projects using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). **Canadian Journal of Civil Engineering, ٤٩(٢), pp.٢٢٢-٢٣٢.** https://doi.org/١٠,١١٣٩/cjce-٢٠٢٠-٠٣٩٩.

2. Tidlund, M., Spross, J. and Larsson, S., ۲۰۲۳. Observational method as risk management tool: the Hvalfjörður tunnel project, Iceland. Georisk. **Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards**, ١٧(٢), **pp.٣٤٦-٣٦٠.** https://doi.org/١٠,١٠٨٠/١٧٤٩٩٥١٨,٢٠٢٢,٢٠٤٦٧٨٤

3. Fazli, M., Fallah, A. and KHakbaz, A., ۲۰۲۰. Risk Management in Construction Projects Considering the Cross-Dependency Project Risks: Utility Maximization. ***Industrial Management Studies, 18(56), pp.337-374.*** [In Persian]. https://doi.org/١٠,٢٢٠٥٤/jims.٢٠١٩,٢٥٣٤١,١٨٧٥

4. Chang, B., Kuo, C., Wu, C.H. and Tzeng, G.H., ۲۰۱۵. 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/١٠,١٠١٦/j.asoc.٢٠١٤,١١,٠٢٥

5. Xiang, P., Xia, X. and Pang, X., ٢٠٢٣. An integrated risk assessment method for cross-regional mega construction projects. ***Engineering, Construction and Architectural Management***. ١٠,١١٠٨/ECAM-٠٦-٢٠٢٢-٠٥٣٤

6. Castañón-Puga, M., Rosales-Cisneros, R.F., Acosta-Prado, J.C., Tirado-Ramos, A., Khatchikian, C. and Aburto-Camacllanqui, E., ٢٠٢٣. Earned Value Management Agent-Based Simulation Model. ***Systems, 11(2), p.86.*** https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/systems١١٠٢٠٠٨٦

7. Khaledian, F. and Momeni, M., ٢٠٢١. Measuring the performance of time and quality of project execution under uncertainty. ***Production and Operations Management, 12(2), pp.71-91.*** [In Persian]. ١٠,٢٢١٠٨/jpom.٢٠٢١,١٢٨٠٣٠,١٣٥٩

8. Peyman, F. and Fathi, A., ٢٠١٦. Forecasting Cost of Civil Engineering Projects Using ANN and EVA. ***Journal of Dam and Hydroelectric Powerplant, 3(10), pp.11-23.*** [In Persian]. ٢٠,١٠٠١,١,٢٣٢٢٥٨٨٢,١٣٩٥,٣,١٠,٥,٧

9. Syed, Z. and Lawryshyn, Y., ٢٠٢٠. 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/١٠,١٠١٦/j.jlp.٢٠٢٠,١٠٤٠٦٤

10. Alam Tabriz, A. and Hamzehi, E., ٢٠١١. Project Risk Evaluation and Analysis Using Risk Management Based on PMBOK Standard and RFMEA Technique. **Industrial Management Studies, ٩(٢٣), pp.١-١٩**. [In Persian]. ٢٠,١٠٠١,١,٢٢٥١٨٠٢٩,١٣٩٠,٩,٢٣,١,٢

11. Bahadori-Amjaz, F. and Soleimani-sardo, M., ٢٠٢١. Evaluation of the Environmental Risks of Jiroft Dam During the Utilization Phase. **Geography and Environmental Planning, ٣٢(٤), pp.٤٥-٦٤**. [In Persian]. ١٠,٢٢١٠٨/gep.٢٠٢١,١٢٩٨٤٦,١٤٤٦

12. Boateng, A., Ameyaw, C. and Mensah, S., ٢٠٢٢. Assessment of systematic risk management practices on building construction projects in Ghana. **International Journal of Construction Management, ٢٢(١٦), pp.٣١٢٨-٣١٣٦.** https://doi.org/١٠,١٠٨٠/١٥٦٢٣٥٩٩,٢٠٢٠,١٨٤٢٩٦٢

13. Shibani, A., Hasan, D., Saaifan, J., Sabboubeh, H., Eltaip, M., Saidani, M. and Gherbal, N., ٢٠٢٢. Financial risk management in the construction projects. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.jksues.٢٠٢٢,٠٥,٠٠١

14. Zhang, Y., ٢٠١٦. Selecting risk response strategies considering project risk interdependence. **International Journal of Project Management, ٣٤(٥), pp.٨١٩-٨٣٠.** https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.ijproman.٢٠١٦,٠٣,٠٠١

15. Qazi, A., Shamayleh, A., El-Sayegh, S. and Formaneck, S., ٢٠٢١. Prioritizing risks in sustainable construction projects using a risk matrix-based Monte Carlo Simulation approach. **Sustainable Cities and Society, ٦٥, p.١٠٢٥٧٦.** https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.scs.٢٠٢٠,١٠٢٥٧٦

16. Chen, L., Lu, Q., Li, S., He, W. and Yang, J., ٢٠٢١. Bayesian Monte Carlo simulation–driven approach for construction schedule risk inference. ***Journal of Management in Engineering, 37(2), p.04020115.***https://doi.org/١٠,١٠٦١/(ASCE)ME.١٩٤٣-٥٤٧٩,٠٠٠٠٨٨٤

17. Adedipe, T., Shafiee, M. and Zio, E., ٢٠٢٠. Bayesian network modelling for the wind energy industry: An overview. ***Reliability Engineering & System Safety, 202, p.107053***. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.ress.٢٠٢٠,١٠٧٠٥٣

18. Guan, L., Abbasi, A. and Ryan, M.J., ٢٠٢١. A simulation-based risk interdependency network model for project risk assessment. **Decision Support Systems, ١٤٨, p.١١٣٦٠٢.** https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.dss.٢٠٢١,١١٣٦٠٢

19. Sharifi Ghazvini, M., Ghezavati, V., Makui, A. and Raissi, S., ٢٠١٨. A New Multi-objective Model for Projects Portfolio Optimization considering Integrated Efficiency-risk Approach using NSGA-II. **Production and Operations Management, ٩(٢), pp.١٣٩-١٥٧**. [In Persian]. ١٠,٢٢١٠٨/jpom.٢٠١٨,١٠٩٢٠٧,١١٠٧

20. Nieto-Morote, A. and Ruz-Vila, F., ٢٠١١. A fuzzy approach to construction project risk **assessment. International journal of project**

management, ۲۹(۲), pp.۲۲۰-۲۳۱. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ijproman.۲۰۱۰,۰۲,۰۰۲

21. Zadeh, L.A., ۱۹٦٥. Fuzzy sets. **Information and control**, **۸(۳), pp.۳۳۸-۳٥۳.** https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/S۰۰۱۹-۹۹٥۸(٦٥)۹۰۲٤۱-X

22. Xu, Z., Khoshgoftaar, T.M. and Allen, E.B., ۲۰۰۳. Application of fuzzy expert systems in assessing operational risk of software. **Information and software technology, ٤٥(۷), pp.۳۷۳-۳۸۸.** https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/S۰۹٥۰-٥۸٤۹(۰۳)۰۰۰۱۰-۷

23. Jafarzadeh Ghoushchi, S., Ab Rahman, M.N., Raeisi, D., Osgooei, E. and Jafarzadeh Ghoushji, M., ۲۰۲۰. Integrated decision-making approach based on SWARA and GRA methods for the prioritization of failures in solar panel systems under Z-information. **Symmetry, ۱۲(۲), p.۳۱۰-۳۳۱.** https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/sym۱۲۰۲۰۳۱۰

24. Kahraman, C., Cebeci, U. and Ruan, D., ۲۰۰٤. Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. **International journal of production economics, ۸۷(۲), pp.۱۷۱-۱۸٤.** https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/S۰۹۲٥-٥۲۷۳(۰۳)۰۰۰۹۹-۹

25. Batar, M., Birant, K.U. and Işık, A.H., ۲۰۲۱. Development of rule-based software risk assessment and management method with fuzzy inference system. **Scientific Programming, ۲۰۲۱, pp.۱-۱٤.** https://doi.org/۱۰,۱۱٥٥/۲۰۲۱/٥٥۳۲۱۹۷

26. Nicholas, J.M. and Steyn, H., ۲۰۲۰. Project management for engineering, business and technology (٦th Ed). **Routledge**. https://doi.org/۱۰,٤۳۲٤/۹۷۸۰٤۲۹۲۹۷٥۸۸

27. Izadi, B. and Shafie, M., ۲۰۱۸. A Decision Support System for evaluation and prioritization, the import risks to manage the effects of sanctions on Iran (Case Study: Farabi Pharmaceutical Company). **Production and Operations Management, ۹(۱), pp.۷۹-۱۰٦.** [In Persian]. ۱۰,۲۲۱۰۸/jpom.۲۰۱۸,۹۲۳۹٥,۰

28. Vakilzadeh, M., Shayanfar, M., ZabihiSamani, M. and Ravanshadnia, M., ۲۰۲۲. Providing a Model for Safety Risk in Construction Projects Using Fuzzy Expert System and Genetic Algorithm. **The Journal of Productivity Management, ۱٦(٦۲), pp.۹۹-۱۲۲.** [In Persian]. ۱۰,۳۰٤۹٥/qjopm.۲۰۲۱,۱۹۲۹۸۰۳,۳۱٤٥

29. Gheidar-Kheljani, J., Karimi Govareshki, M.H., Babaei, M. and Masjedi, S., ۲۰۲۱. Risk Assessment in Production Process of Benzoic Acid Using HAZOP Technique and Fuzzy Mathematics. **Iranian Chemical Engineering Journal, ۲۰(۱۱۸), pp.٥۰-٦٥.** [In Persian]. ۱۰,۲۲۰۳٤/ijche.۲۰۲۱,۲٦۹۲۰۳,۱۰۸۹

30. Rose, K.H., ۲۰۱۳. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)—Fifth Edition. **Project management journal, ۳(٤٤), pp.e۱-e۱.** ۱۰,۱۰۰۲/pmj.۲۱۳٤٥

31. R Nik, E. and Elmi, F., ۲۰۲۱ Development OF A Decision Support System Framework and Project Risk Assessment with A Combined Multi-Criteria Decision-Making and Simulation Approach. **Sharif Journal of Industrial Engineering & Management, ۳٦(۲,۲), pp.٤۹-٦۱.** [In Persian]. ۱۰,۲٤۲۰۰/j٦٥,۲۰۲۰,٥٤۸۲۱,۲۰۷٤

32. Ghasemi, F., Doosti-Irani, A. and Aghaei, H., ۲۰۲۳. Applications, shortcomings, and new advances of Job Safety Analysis (JSA): findings from a systematic review. **Safety and Health at Work.** [In Persian]. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.shaw.۲۰۲۳,۰۳,۰۰٦

33. Ghoushchi, S.J., Yousefi, S. and Khazaeili, M., ۲۰۱۹. An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and fuzzy BWM for prioritization of failures. **Applied soft computing, ۸۱, p.۱۰٥٥۰٥.**https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.asoc.۲۰۱۹,۱۰٥٥۰٥

34. Cruz-Rivero, L., Méndez-Hernández, M.L., Mar-Orozco, C.E., Aguilar-Lasserre, A.A., Barbosa-Moreno, A. and Sánchez-Escobar, J., ۲۰۲۲. Functional evaluation using fuzzy FMEA for a non-invasive measurer for methane and carbone dioxide. **Symmetry**, **۱٤(۲), p.٤۲۱.** https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/sym۱٤۰۲۰٤۲۱

35. Baghery, M., Yousefi, S. and Rezaee, M.J., ۲۰۱۸. 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, ۲۹(۸), pp.۱۸۰۳-**

١٨٢٥. https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s١٠٨٤٥-٠١٦-١٢١٤-١

36. Jafarzadeh-Ghoushchi, S. and Rahman, M.N.A., ٢٠١٦. Performance study of artificial neural network modelling to predict carried weight in the transportation system. **International Journal of Logistics Systems and Management, ٢٤(٢), pp.٢٠٠-٢١٢.** https://doi.org/١٠,١٥٠٤/IJLSM.٢٠١٦,٠٧٦٤٧٣

37. Hosseinzadeh, M., Mehregan, M.R. and Ghomi, M., ٢٠١٩. Identifying and Analyzing Supply Chain Risks of Saipa Automobile Company using the Coso Model and Social Network Analysis (SNA). **Production and Operations Management, ١٠(١), pp.١١١-١٣٢.** [In Persian]. ١٠,٢٢١٠٨/jpom.٢٠١٨,١٠٧٩٧٢,١٠٩٣

38. Dabbagh, R. and Yousefi, S., ٢٠١٩. A hybrid decision-making approach based on FCM and MOORA for occupational health and safety risk **analysis. Journal of safety research, ٧١, pp.١١١-١٢٣.** https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.jsr.٢٠١٩,٠٩,٠٢١

39. Tsai, S.B., Yu, J., Ma, L., Luo, F., Zhou, J., Chen, Q. and Xu, L., ٢٠١٨. A study on solving the production process problems of the photovoltaic cell industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews, ٨٢, pp.٣٥٤٦-٣٥٥٣.** https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.rser.٢٠١٧,١٠,١٠٥

40. Golkhani, F., Ghotbi Ravandi, M.R., Baesmat, S. and Abasi Balochkhane, F., ٢٠١٨. 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, ٦(١), pp.١٧-٢١.** [In Persian]. ١٠,٢٩٢٥٢/HEHP.٦,١,١٧

41. Jeet, K. and Dhir, R., ٢٠١٢. Bayesian and fuzzy approach to assess and predict the maintainability of software: a comparative study. **International Scholarly Research Notices, ٢٠١٢.** ١٠,٥٤٠٢/٢٠١٢/٢٠٢٩٨٠

42. Grossman, D. and Domingos, P., ٢٠٠٤, July. Learning Bayesian network classifiers by maximizing conditional likelihood. **In Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning, p. ٤٦-٥٢.** https://doi.org/١٠,١١٤٥/١٠١٥٣٣٠,١٠١٥٣٣٩

43. Adusei-Poku, K., ٢٠٠٥. 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/١٠,٥٣٨٤٦/goediss-٣٠١٠

44. Yekkeh, H., Jafari, S.M., Mahmoudi, S.M. and ShamiZanjani, M., ٢٠٢١. Designing the adaptive fuzzy-neural inference system to measure the benefits of knowledge management in the organization. **Iranian Journal of Information processing and Management, ٣٧(١), pp.٢٨٨-٣٠٣.** [In Persian]. https://doi.org/١٠,٥٢٥٤٧/jipm.٣٧,١,٢٨٨

45. Zaman, M. and Hassan, A., ٢٠٢١. Fuzzy heuristics and decision tree for classification of statistical feature-based control chart patterns. **Symmetry, ١٣(١), p.١١٠.** https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/sym١٣٠١٠١١٠

46. Zarandi, M.F., Alaeddini, A. and Turksen, I.B., ٢٠٠٨. A hybrid fuzzy adaptive sampling–run rules for Shewhart control charts. **Information Sciences, ١٧٨(٤), pp.١١٥٢-١١٧٠.** https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.ins.٢٠٠٧,٠٩,٠٢٨

47. Bhowmik, P., Udgata, G. and Trivedi, S., ٢٠٢٢. Risk Assessment in Construction Industry Using a Fuzzy Logic. **In Recent Developments in Sustainable Infrastructure (ICRDSI-٢٠٢٠) Structure and Construction Management: Conference Proceedings from ICRDSI-٢٠٢٠ ١, pp. ٥١٧-٥٢٦. Singapore: Springer Nature Singapore.** https://doi.org/١٠,١٠٠٧/٩٧٨-٩٨١-١٦-٨٤٣٣-٣_٤٤

٤٨. Nikmanesh, M., Feili, A. and Sorooshian, S., ٢٠٢٣. Employee Productivity Assessment Using Fuzzy Inference System. **Information, ١٤(٧), p.٤٢٣.** https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/info١٤٠٧٠٤٢٣