

ارزیابی، رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک عملیات تونل‌سازی سد و نیروگاه سیمره با استفاده از روش ELECTRE

احمدرضا صیادی^{۱*}، محمد حیاتی^۲، مسعود منجزی^۳

۱- استادیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن، Email: Sayadi@modares.ac.ir

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، بخش مهندسی معدن، Email: Mohammad_hayaty@yahoo.com

۳- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن، Email: Monjezi@modares.ac.ir

(دریافت ۱۵ فروردین ۱۳۸۹، پذیرش ۱۷ بهمن ۱۳۸۹)

چکیده

ارزیابی ریسک یکی از مراحل مهم مدیریت پروژه بوده و با توجه به ماهیت نامطمئن پروژه‌های تونل‌سازی و لزوم صرف بهینه منابع، اهمیت زیادی دارد. ارزیابی، رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک، برتری هر ریسک را بر اساس شاخص‌های مرتبط مشخص کرده و در نتیجه امکان ارائه پاسخ مناسب برای هر ریسک فراهم می‌گردد. در این تحقیق ضمن شناسایی و تعیین معیارهای اندازه‌گیری ریسک‌های عملیات تونل‌سازی سد سیمره، اهمیت نسبی هر ریسک با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ELECTRE تعیین شده است. جمع‌آوری و تجمیع نظرات خبرگان بر اساس روش تصمیم‌گیری گروهی و میانگین وزنی انجام گرفته است. بر اساس نتایج تحقیق، ریسک‌ها در قالب هشت خوشه، دسته‌بندی شده و ریسک‌های اقتصادی، ریسک‌های با منشاء کارفرما و ریسک‌های فنی در بحرانی‌ترین خوشه قرار گرفتند.

کلمات کلیدی

مدیریت ریسک، رتبه‌بندی، خوشه‌بندی، ELECTRE، تونل‌سازی، سد سیمره.

* نویسنده مسئول و عهده‌دار مکاتبات

۱- مقدمه

ریسک پروژه‌های تونل‌سازی همواره قابل توجه بوده و از طریق مدیریت مناسب می‌توان احتمال وقوع یا تاثیر پیامدهای نامطلوب آن‌ها را کمینه نمود. از جمله علل اصلی طولانی‌تر شدن و افزایش هزینه‌های پروژه‌های تونل‌سازی، مدیریت ناقص و ضعیف به‌ویژه مدیریت ریسک گزارش شده است [۱]. مدیریت ریسک مستلزم شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های مختلف است. رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌ها، قسمت کلیدی این فرایند به شمار می‌رود. زیرا با انجام رتبه‌بندی، برتری هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها مشخص و در نتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک برنامه‌ریزی نماید [۲]. این مراحل به کمک طراحی ساختار شکست ریسک^۱ (RBS)، تعریف معیارها و شاخص‌های مختلف اندازه‌گیری ریسک و نهایتاً به‌کارگیری یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه انجام می‌پذیرد.

ساختار شکست ریسک یک ساختار سلسله مراتبی از ریسک‌های پروژه است و می‌تواند برای سازماندهی و هدایت فرایند مدیریت ریسک به کار گرفته شود [۳]. با توجه به تنوع و تعداد زیاد ریسک‌هایی که عملیات تونل‌سازی را تحت‌تاثیر قرار می‌دهند عملاً مدیریت ریسک بدون شناسایی و تهیه ساختار شکست ریسک امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل در سال‌های اخیر روش RBS به عنوان ابزار مؤثری برای شناسایی هدفدار و طبقه‌بندی شده ریسک مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیقات متعددی به ارزیابی ریسک به طور عام و در پروژه‌های تونل‌سازی به طور خاص پرداخته شده است. این تحقیقات را می‌توان به چند دسته تقسیم نمود:

- مطالعاتی که در آن‌ها ریسک به عنوان حاصل ضرب احتمال در اثر یک رخداد محسوب شده و دو شاخص «میزان تاثیر» و «احتمال وقوع» ریسک در قالب ماتریس احتمال - اثر ریسک^۲ مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۴] و [۵]. اثر رخداد معمولاً بر زمان و یا هزینه پروژه بررسی شده و در برخی از موارد تحلیل به صورت احتمالاتی صورت گرفته است [۶]. چگونگی پاسخ به برخی از ریسک‌ها نیز مورد توجه قرار گرفته است [۷] و [۸].

- در تحقیقاتی دیگر به برخی از ضعف‌ها در خصوص روش اندازه‌گیری ریسک در مطالعات فوق اشاره شده است: از جمله بر غیرقابل اطمینان بودن این روند تأکید شده است [۹]. یکی دیگر از مشکلات ذکر شده، امکان نادیده گرفتن اهمیت ریسک‌های با احتمال کم و اثر مهم است. زیرا طی این تکنیک، ریسک‌هایی که احتمال زیاد و اثر غیر مهم دارند با ریسک‌هایی

که احتمال کم و اثر مهم دارند معادل فرض می‌شوند که این لزوماً نظر تصمیم‌گیرنده نیست [۱۰].

- با این وجود، در برخی دیگر از تحقیقات انجام شده، شاخص‌های دیگری نظیر «توانایی سازمان در واکنش به ریسک» [۱۱]، «درجه عدم قطعیت تخمین» [۱۲] و «سرعت مقابله با ریسک» نیز مطرح شده‌اند [۱۳]. احتمال و میزان تاثیر بر هزینه و کیفیت پروژه نیز در رتبه‌بندی به‌کار برده شده‌اند [۱۴]. اثر رخداد بر دیگر اهداف پروژه مانند کارآمدی و کیفیت پیشنهاد شده [۱۵] و شاخص‌های تکمیلی دیگری نظیر مدیریت‌پذیری و نزدیکی وقوع ریسک پروژه در برخی از تحقیقات دیگر مورد توجه واقع شده است [۱۶] و [۱۷]. در برخی دیگر از منابع در زمینه ارزیابی ریسک زیست‌محیطی از شاخص‌های اثرات اجتماعی اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی استفاده کرده‌اند [۱۸].

- مطالعاتی که به ساختار شکست ریسک عملیات تونل‌سازی پرداخته‌اند و آن‌را در قالب یک سیستم سه‌گانه شامل ریسک‌های سازه‌ای، قراردادی و عملکردی [۱۹] و یا سیستم چهارگانه شامل ریسک‌های طبیعی (سیل، زلزله و ...)، خارجی (اقتصادی، سیاسی و ...)، داخلی (استراتژیک، طرح ریزی و ...) و نیروی انسانی (سوانح منجر به آسیب) [۲۰] بیان نموده‌اند. سیستم چهارگانه دیگری در قالب ریسک‌های آسیب (پرسنل و تجهیزات)، عدم دستیابی به استانداردها و معیارها، ریسک‌های تاخیر و ریسک‌های افزایش هزینه نیز ارائه شده است [۲۱]. در تحقیق دیگری ساختار شکست ریسک به صورت ریسک‌های ساخت و طراحی، درآمد و تقاضا، عملیات و نگهداری و سایر ریسک‌ها (نظیر تغییرات در قوانین، مالیات و ...) تنظیم شده است [۱]. در یک ارزیابی کلی، این مطالعات به صورت بخشی بوده و یک ساختار جامع شکست ریسک را ارائه نمی‌کنند.

در مواردی که با مجموعه قابل توجهی از متغیرها سر و کار داشته و نیاز به اولویت‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری بر اساس اهمیت نسبی‌شان داشته باشیم، بهره‌گیری از افراد مختلف با تخصص‌ها، تجربیات و دیدگاه‌های علمی گوناگون، با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی و چندمعیاره (نظیر روش ELECTRE^۳) ابزار مناسبی برای رتبه‌بندی و تصمیم‌گیری صحیح‌تر و علمی به شمار می‌رود [۲۲]. در تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی از نظریات چندین خبره به جای یک خبره استفاده شده و جزییات زیادی در تجزیه و تحلیل‌های تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شود. جهت تجمیع نظرات خبرگان از روش‌های مختلفی نظیر میانگین‌گیری استفاده می‌شود [۲۳].

قبل از انجام محاسبات بالا باید توجه داشت چنانچه ماتریس تصمیم‌گیری از شاخص‌های با جنبه مثبت و منفی مطلوبیت برخوردار باشد، برای یکسان شدن تعبیر و تفسیر محاسبات لازم است مقادیر اندازه‌گیری شده مربوط به شاخص‌های منفی معکوس شوند. به این ترتیب هر چه مقادیر موجود در ماتریس تصمیم بزرگتر باشد مطلوبیت بیشتر و هر چه این مقادیر کوچکتر باشد مطلوبیت کمتری را در مورد شاخص مربوطه نشان می‌دهد.

گام دوم: تشکیل ماتریس بی‌مقیاس وزنی^۹

در این مرحله با استفاده از ماتریس قطری W_{mn} (وزن شاخص‌ها) و از طریق رابطه $V = N_D \times W_{mn}$ ماتریس بی‌مقیاس وزنی به دست می‌آید. به طوری که N_D ماتریسی است که امتیازات شاخص‌ها در آن بی‌مقیاس و قابل مقایسه شده است و W_{mn} ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر می‌باشد. در تمامی روابط m تعداد شاخص‌ها و n تعداد گزینه‌ها می‌باشد.

$$V = N_D \times W_{mn} = \begin{pmatrix} V_{11} & \dots & V_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{m1} & \dots & V_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

عناصر قطر ماتریس W (وزن شاخص‌ها) را به دو طریق می‌توان به دست آورد:

۱- مستقیماً توسط تصمیم‌گیرنده، میزان اهمیت شاخص‌ها بیان می‌شود. ۲- از روش‌هایی مانند آنتروپی شانون^{۱۰}، بردار ویژه^{۱۱}، کمترین مجذورات وزنی^{۱۲} و روش لین‌مپ^{۱۳} استفاده کرد.

با توجه به تجربه و دید علمی کارشناسان و خبرگان پروژه مورد نظر نسبت به مسئله، در این تحقیق برای بدست آوردن وزن شاخص‌ها، از روش اول یعنی نظر سنجی خبرگان استفاده شده است.

گام سوم: مشخص نمودن مجموعه هماهنگ^{۱۴} و ناهماهنگ^{۱۵} در این مرحله کلیه گزینه‌ها به صورت زوجی نسبت به تمام شاخص‌ها ارزیابی می‌شوند و مجموعه هماهنگ و ناهماهنگ تشکیل می‌شود.

$$S_{KL} = \left\{ \left| \begin{matrix} r_{kj} \geq r_{lj} \\ r_{kj} < r_{lj} \end{matrix} \right. \right\} \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3)$$

$$D_{KL} = \left\{ \left| \begin{matrix} r_{kj} < r_{lj} \\ r_{kj} \geq r_{lj} \end{matrix} \right. \right\}$$

مجموعه هماهنگ S_{KL} از گزینه‌های K و L شامل کلیه شاخص‌هایی است که بر اساس آن گزینه K بر گزینه L برتری و مطلوبیت بیشتری دارد. مجموعه ناهماهنگ D_{KL} شامل

در این تحقیق به منظور ارزیابی ریسک‌های عملیات تونل‌سازی سد سیمره در جنوب غرب ایران، ضمن طراحی یک ساختار جامع شکست ریسک و پیشنهاد مجموعه‌ای از شاخص‌ها برای اندازه‌گیری ریسک، نظرات خبرگان در خصوص ریسک‌ها با روش تصمیم‌گیری گروهی و میانگین وزنی به ترتیب جمع‌آوری و تجمیع شده است. جهت رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌ها نیز از روش ELECTRE استفاده شده است. جهت تعریف شاخص‌های ارزیابی نخست حوزه اثرگذاری ریسک بر اهداف زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه با وزن‌های متفاوت لحاظ شده است. سپس به منظور ارزیابی دقیق‌تر ریسک‌ها، شاخص‌های تکمیلی اثرات اجتماعی اقتصادی، اثرات زیست محیطی، نزدیکی وقوع ریسک، میزان مواجهه با ریسک، عدم اطمینان تخمین و میزان مدیریت‌پذیری ریسک نیز در نظر گرفته شده است.

۲- روش ELECTRE

روش ELECTRE یکی از مهم‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه^۴ (MADM) و از دسته مدل‌های جبرانی^۵ است که در آن‌ها تبادل بین شاخص‌ها صورت می‌گیرد. به این معنی که تغییر در یک شاخص توسط تغییری مخالف (در جهت عکس) در شاخص یا شاخص‌های دیگر جبران می‌شود. کاربرد روش ELECTRE که روش مجموعه‌های هماهنگ نیز نامیده می‌شود بر مبنای مفهوم روابط غیررتبه‌ای^۶ است. به عبارتی کلیه گزینه‌ها با استفاده از مقایسه‌های غیر رتبه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. اهمیت این تکنیک نسبت به برخی دیگر از روش‌ها در ایجاد تعامل با تصمیم‌گیرنده است، به عبارت دیگر در روش‌های دیگر پس از جمع‌آوری داده‌ها و وزن‌ها، تصمیم‌گیرنده هیچ ارتباطی با اطلاعات خروجی نداشته و اطلاعات حاصل به عنوان ملاک تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. در حالی که در این روش، تصمیم‌گیرنده در سه مرحله می‌تواند در شیوه تحلیل دخالت کند و تحلیل را جهت‌دهی نماید [۲۴]. مراحل اجرای این تکنیک عبارتند از [۲۵]:

گام اول: نرمال‌سازی

در این مرحله ماتریس تصمیم با استفاده از نرم اقلیدسی^۷ به یک ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده^۸ (N_D) (رابطه ۱) تبدیل می‌شود.

$$N_D = [n_{ij}] \quad \text{و} \quad n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2}} \quad (1)$$

در این رابطه، r_{ij} درایه‌های ماتریس تصمیم و n_{ij} درایه‌های ماتریس بی‌مقیاس شده و m تعداد گزینه‌ها می‌باشد.

شاخص‌هایی است که بر اساس آن گزینه L بر گزینه K مطلوبیت بیشتری دارد.

گام چهارم: محاسبه ماتریس هماهنگ

ماتریس هماهنگ یا همخوان، ماتریسی است به ابعاد $m \times m$ که قطر آن فاقد عنصر و سایر عناصر از مجموع وزن‌های به-دست آمده برای شاخص‌های متعلق به مجموعه هماهنگ K و L حاصل می‌شود که مؤلفه‌های آن عبارتند از:

$$I_{KL} = \sum_{j \in S_{K,L}} W_j \quad (4)$$

معیارهای هماهنگی I_{KL} منعکس کننده اهمیت نسبی گزینه K به گزینه L است بطوریکه $0 < I_{KL} < 1$ خواهد بود.

گام پنجم: محاسبه ماتریس ناهماهنگ

ماتریسی ناهماهنگ یا ناهمخوان، ماتریسی است به ابعاد $m \times m$ که قطر آن فاقد عنصر و سایر عناصر با استفاده از عناصر ماتریس بی مقیاس وزنی V طبق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$NI_{KL} = \frac{\text{Max}_{j \in D_{KL}} |V_{Kj} - V_{Lj}|}{\text{Max}_{j \in j} |V_{Kj} - V_{Lj}|} \quad (5)$$

ماتریس NI_{KL} نسبت عدم مطلوبیت مجموعه ناهماهنگ K و L را به کل ناهماهنگی در شاخص‌ها بیان می‌کند. به عبارتی دیگر این ماتریس بیان‌گر عدم مطلوبیت نسبت به مجموعه ناهماهنگ می‌باشد. لازم به ذکر است که اطلاعات موجود در I و NI با یکدیگر اختلاف فاحش داشته و مکمل یکدیگرند.

گام ششم: ایجاد ماتریس هماهنگ مؤثر

ابتدا حد آستانه^{۱۶} تصمیم‌گیری (\bar{I}) تعریف می‌شود. آستانه بدست آمده برای ماتریس هماهنگ بیان‌گر این مفهوم است که تصمیم‌گیرنده از یک مقدار مشخص به بعد گزینه K را به گزینه L ترجیح دهد. با این وجود یکی از روش‌های متعارف برای محاسبه آن، متوسط‌گیری از ماتریس هماهنگ است که بصورت زیر بیان می‌گردد:

$$\bar{I} = \sum_{K=1}^m \sum_{L=1}^m \frac{I_{KL}}{m(m-1)} \quad (6)$$

چنانچه هر عنصر ماتریس I بزرگتر از آستانه باشد، آن عنصر واحد در ماتریس F (ماتریس هماهنگ مؤثر) مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر خواهد گرفت یعنی:

$$\begin{aligned} \text{IF } I_{KL} \geq \bar{I} &\Rightarrow F_{KL} = 1 \\ \text{IF } I_{KL} < \bar{I} &\Rightarrow F_{KL} = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

قطر ماتریس F فاقد عنصر خواهد بود. بنابراین هر عنصر واحد در ماتریس F نشان‌دهنده یک گزینه مؤثر و مسلط بر دیگری است.

گام هفتم: ایجاد ماتریس ناهماهنگ مؤثر

ماتریس ناهماهنگ مؤثر با مقدار آستانه \bar{NI} سنجیده می‌شود. برای محاسبه \bar{NI} نیز از روش میانگین‌گیری از ماتریس ناهماهنگ به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\bar{NI} = \sum_{K=1}^m \sum_{L=1}^m \frac{NI_{KL}}{M(M-1)} \quad (8)$$

چنانچه هر عنصر ماتریس NI بزرگتر از آستانه باشد آن عنصر واحد در ماتریس G (ماتریس ناهماهنگ مؤثر) مقدار صفر و در غیر این صورت مقدار یک خواهد گرفت یعنی:

$$\begin{aligned} \text{IF } NI_{KL} \leq \bar{NI} &\Rightarrow G_{KL} = 1 \\ \text{IF } NI_{KL} > \bar{NI} &\Rightarrow G_{KL} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

گام هشتم: مشخص نمودن ماتریس کلی مؤثر (H)

$$H_{KL} = F_{KL} \times G_{KL} \quad (10)$$

ماتریس H، عناصر مشترک دو ماتریس F و G می‌باشد. این ماتریس نشان دهنده ترتیب برتری‌های نسبی از گزینه‌ها می‌باشد. بدان معنی که اگر $H_{KL} = 1$ باشد یعنی گزینه K بر گزینه L هم از نظر معیار هماهنگی و هم از نظر معیار ناهماهنگی برتر است.

گام نهم: حذف گزینه‌های نامؤثر

شرط اینکه گزینه K یک گزینه مؤثر باشد عبارت است از:

$$\begin{aligned} H_{KL} = 1 & \quad \text{برای حداقل یک } L \\ H_{KL} = 0 & \quad \text{برای کلیه } L \end{aligned} \quad (11)$$

احتمال رخداد دو شرط فوق به طور هم‌زمان کم است و گزینه مؤثر را می‌توان به سادگی تعیین کرد. هر ستون از ماتریس H که حداقل یک عنصر واحد دارد حذف می‌شود، زیرا آن ستون تحت تسلط ردیف یا ردیف‌هایی می‌باشد. لذا گزینه مطلوب و برتر گزینه ای است که ستون آن دارای حداقل صفر یا سطر آن دارای حداقل یک باشد.

برخی از پی‌فرض‌های به‌کارگیری این تکنیک [۲۶] عبارتند از: ۱- بردار معلوم (W) برای این روش به‌عنوان ورودی بوده و خروجی آن به‌صورت رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. ۲- ارزش‌های آستانه تقریباً دلخواه است، بطوریکه با کوچک‌تر کردن \bar{I} و افزایش \bar{NI} می‌توان تعداد گزینه‌های مؤثر را کاهش داد تا به یک گزینه منحصر به فرد رسید. ۳- در این تکنیک نظرات تصمیم‌گیرنده در طول فرایند حل اعمال می‌شود. به عبارتی دیگر در این روش با تصمیم‌گیرنده تعامل برقرار می‌شود.

۳- فرایند ارزیابی ریسک

فرایند ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک عملیات تونل‌سازی در قالب ۴ مرحله به صورت زیر قابل انجام است (شکل ۱).

مرحله اول

در این مرحله، ساختار شکست ریسک پروژه‌های تونل‌سازی شامل دو دسته کلی ریسک‌های داخلی و خارجی در قالب هدفه سطح اصلی (شکل ۲) و ۱۹۶ زیرسطح طراحی شده است. این ساختار، چارچوب پرسش‌نامه جمع‌آوری نظرات خبرگان را تشکیل می‌دهد.

مرحله دوم

با توجه به معیارهای احتمال وقوع ریسک و میزان اثرگذاری ریسک بر اهداف پروژه شامل زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه، می‌توان یک شاخص اولیه ریسک^{۱۷} (PIR) به ازای هر ریسک در هر گروه را تعریف نمود (رابطه ۱۲).

$$PIR = \sum [W_i (P \times I_i)] \quad (12)$$

P، احتمال وقوع ریسک و I_1 الی I_4 میزان اثرگذاری ریسک به ترتیب بر زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه می‌باشند. W_1 الی W_4 نیز وزن اهمیت معیار اثر ریسک به ترتیب بر زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه را نشان می‌دهند و مجموع آن‌ها برابر یک است.

در ادامه این شاخص‌ها با استفاده از روش میانگین وزنی تجمیع شده و شاخص اولیه تجمیعی ریسک^{۱۸} (APIR) به ازای هر کدام از ریسک‌ها بر اساس رابطه ۱۳ به دست می‌آید.

$$APIR = \frac{\sum_{j=1}^m (n_j \times PIR_j)}{N} \quad (13)$$

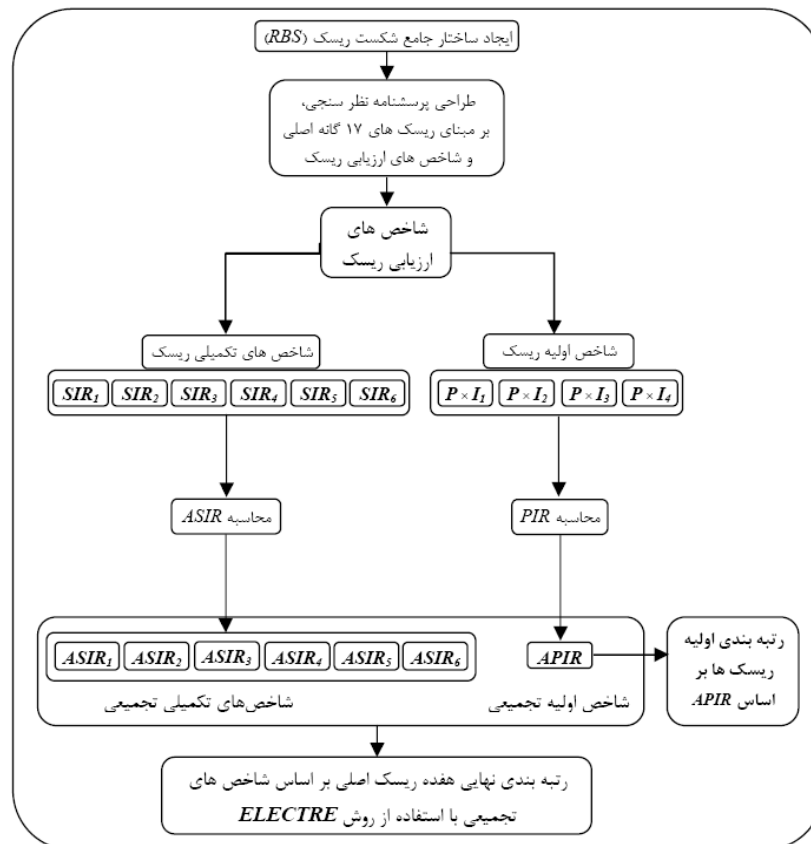
شاخص اولیه تجمیعی ریسک به ازای هر یک از

ریسک‌های ۱۷ گانه

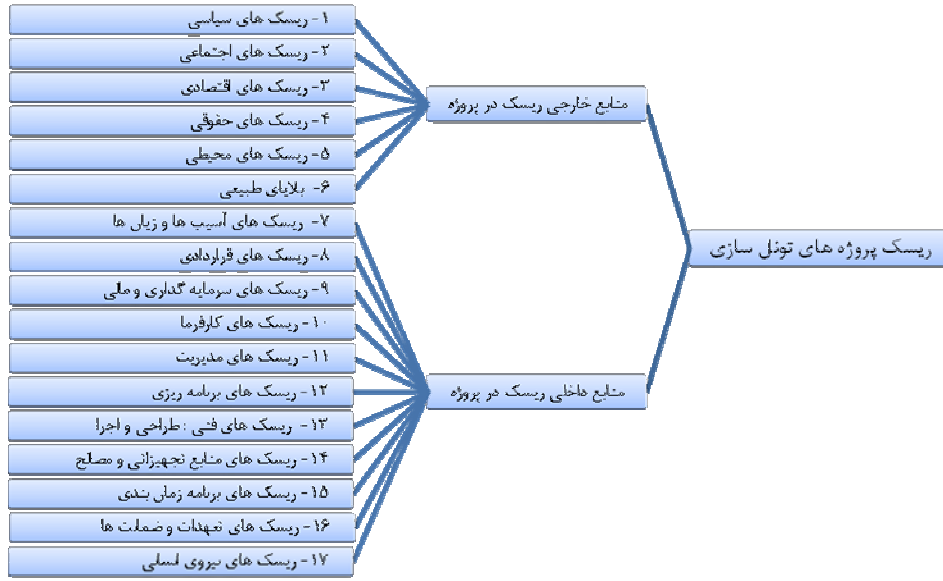
شاخص اولیه ریسک به ازای هر ریسک در گروه $j = PIR_j$

$n_j = j$ تعداد افراد در گروه $j = 1, 2, 3, \dots, m$

$m =$ تعداد گروه‌های خبره $N =$ تعداد کل افراد خبره



شکل ۱: مدل ارزیابی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی



شکل ۲: ساختار شکست ریسک پروژه های تونل سازی (۱۷ ریسک اصلی)

به طور مشابهی برای سایر معیارهای اثرات زیست محیطی، نزدیکی زمان وقوع، میزان مواجهه با ریسک، درجه عدم قطعیت تخمین و مدیریت پذیری، شاخص های $ASIR_1$ الی $ASIR_6$ به دست می آید: مرحله چهارم در این مرحله رتبه بندی نهایی ریسک ها با استفاده از ۷ شاخص شامل شاخص $APIR$ و شاخص های $ASIR_1$ الی $ASIR_6$ بر مبنای روش ELECTRE انجام می گردد.

۴- مطالعه موردی

سد سیمره در ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان دره شهر و در ۶۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان ایلام واقع است. محل ساختگاه در زون زاگرس چین خورده و در بخش جنوب-غربی آن قرار گرفته است. سنگ بستر از نوع سنگ های آهکی سازند آسماری شهبازان می باشد. این سد دارای ۲ تونل انحراف به طول مجموعاً ۸۷۱ متر با قطر تقریباً ۹ متر، تونل آب بر نیروگاه به طول ۱۴۷۶ متر با قطر ۱۱ متر و ۶ گالری تزریق در طرفین بدنه سد می باشد. ارزش وزنی فعالیت های حفاری تونل در این پروژه ۲۴ درصد از کل فعالیت ها است. با توجه به شکل ۱، ارزیابی، رتبه بندی و خوشه بندی عوامل ریسک عملیات تونل سازی این پروژه در قالب ۴ مرحله زیر انجام شده است:

مرحله اول

در این مرحله با استفاده از این شاخص امکان یک رتبه بندی مقدماتی ریسک ها فراهم می شود. مشاهده می شود که تعریف ساده و اولیه ریسک یعنی (احتمال \times اثر گذاری ریسک) در شاخص PIR و در نتیجه در شاخص $APIR$ لحاظ شده ولی حوزه اثرگذاری به چهار معیار "زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد" با وزن های متفاوت گسترش داده شده است. مرحله سوم

همان طور که در قسمت مقدمه ذکر شد، شاخص های مرسوم احتمال وقوع و میزان تأثیر نتیجه جامع، قابل اعتماد و معتبری به دست نمی دهد لذا در این تحقیق ۷ شاخص تکمیلی برای جبران کمبود گفته شده پیشنهاد شده است. در این مرحله نظرات خبرگی شاخص های ثانویه تکمیلی به ازای هر یک از ریسک های ۱۷ گانه را بررسی کرده و با استفاده از روش میانگین وزنی، میزان تجمیعی هر شاخص محاسبه شده است. در این راستا میزان تجمیعی شاخص اثرات اجتماعی اقتصادی^{۱۹} ($ASIR_1$) طبق رابطه ۱۴ به دست می آید.

$$ASIR_1 = \frac{\sum_{j=1}^m (n_j \times SIR_j)}{N} \quad (14)$$

$ASIR_1$ میزان تجمیعی شاخص اثرات اجتماعی اقتصادی به ازای هر ریسک SIR_j میزان شاخص اثرات اجتماعی اقتصادی به ازای هر ریسک در گروه

$$n_j = \text{تعداد افراد در گروه } j \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$N = \text{تعداد کل افراد خبره} \quad m = \text{تعداد گروه های خبره}$$

پرسشنامه تهیه شده شامل ۱۷ سطر و ۱۱ ستون است. سطرهای این جدول شامل ریسک‌های ۱۷ گانه اصلی (شکل ۲) و ستون‌ها شامل شاخص‌های مختلف جهت ارزیابی ریسک می‌باشد. این شاخص‌ها عبارتند از: اثرات اجتماعی- اقتصادی، اثرات زیست‌محیطی، نزدیکی زمان وقوع ریسک، میزان مواجهه با ریسک، درجه عدم قطعیت تخمین، احتمال وقوع ریسک، میزان مدیریت‌پذیری ریسک، میزان اثرگذاری ریسک بر زمان پروژه، میزان اثرگذاری ریسک بر هزینه پروژه، میزان اثرگذاری ریسک بر کیفیت پروژه و میزان اثرگذاری ریسک بر عملکرد پروژه. نظرات خبرگان با بهره‌مندی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی نظیر تکنیک دلفی، روش کنفرانس و طوفان فکری (در قالب ۱ گروه کارشناسی ۸ نفره، ۲ گروه ۵ نفره و ۳ گروه ۴ نفره، جمعاً ۳۰ نفر در ۶ گروه با تخصص‌های مختلف) جمع‌آوری شده است. نظرسنجی و امتیازدهی در خصوص میزان هر یک از شاخص‌ها به ازای هرکدام از ریسک‌ها مطابق با طیف پنج‌گانه لیکرت^{۲۰} از خیلی کم، تا خیلی زیاد به ترتیب با امتیاز ۰،۱ الی ۰،۹ انجام گرفته است [۲۷]. همچنین نظرسنجی در خصوص میزان تاثیر ریسک‌ها بر اهداف هزینه، زمان، کیفیت و عملکرد و احتمال وقوع مطابق با استاندارد^{۲۱} PMBOK [۳] صورت گرفته است (جدول ۱).

مرحله دوم

در این مرحله نخست نظرات خبرگی به‌دست آمده در

میزان شاخص‌های ASIR_۱ الی ASIR_۶ در جدول ۵ آورده شده است. همچنین شاخص APIR نیز در ستون آخر این جدول ذکر شده است. این جدول به عنوان ماتریس تصمیم برای رتبه‌بندی نهایی (مرحله چهارم) مورد استفاده قرار خواهد گرفت. افزایش میزان شاخص‌های مدیریت‌پذیری (ASIR_۶) و درجه عدم قطعیت تخمین (ASIR_۵) برای هر ریسک موجب کاهش رتبه ریسک می‌گردد. ولی زیاد بودن میزان سایر شاخص‌ها موجب افزایش رتبه ریسک می‌شود.

جدول ۱: میزان احتمال و اثرگذاری ریسک بر فاکتورهای پروژه و طیف امتیازدهی لیکرت

استاندارد PMBOK	احتمال				هزینه		زمان		عملکرد		کیفیت				
	کمتر از ۰.۵٪	بین ۰.۲۵ تا ۰.۵٪	بین ۰.۵۰ تا ۰.۷۵٪	بین ۰.۷۵ تا ۱.۰٪	افزایش ناچیز	افزایش کمتر از ۰.۵٪ منابع و زمان پیمان	افزایش از ۰.۵ تا ۱.۰٪ منابع و زمان پیمان	افزایش از ۱.۰ تا ۲.۰٪ منابع و زمان پیمان	افزایش بیش از ۲.۰٪ منابع و زمان پیمان	کاهش کیفیت نا محسوس	کاهش کیفیت کم	کیفیت نیاز به تایید کارفرما دارد	کیفیت غیر قابل قبول کارفرما	کیفیت غیر قابل استفاده	
طیف لیکرت	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹

جدول ۳: حاصلضرب احتمال در اثرات چهار گانه برای گروه اول

معیار ریسک	$(P \times I_1)$	$(P \times I_2)$	$(P \times I_3)$	$(P \times I_4)$
ریسک ۱	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۱۵
ریسک ۲	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۰۹	۰/۴۵
ریسک ۳	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۲۷	۰/۴۵
ریسک ۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
ریسک ۵	۰/۴۵	۰/۶۳	۰/۰۹	۰/۴۵
ریسک ۶	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۳۵
ریسک ۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
ریسک ۸	۰/۲۵	۰/۴۵	۰/۰۵	۰/۲۵
ریسک ۹	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۰۹	۰/۴۵
ریسک ۱۰	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۰۹	۰/۴۵
ریسک ۱۱	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۳۵	۰/۳۵
ریسک ۱۲	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۲۵
ریسک ۱۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۳۵
ریسک ۱۴	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۵
ریسک ۱۵	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۰۷	۰/۳۵
ریسک ۱۶	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۲۵
ریسک ۱۷	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱

جدول ۲: نظرات خبرگی گروه اول بر اساس تصمیم‌گیری گروهی

گروه اول تعداد خبره ۸ نفر	(P)	(I ₁)	(I ₂)	(I ₃)	(I ₄)
ریسک ۱	۰/۳	۰/۹	۰/۹	۰/۱	۰/۵
ریسک ۲	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۱	۰/۵
ریسک ۳	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۳	۰/۵
ریسک ۴	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
ریسک ۵	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۱	۰/۵
ریسک ۶	۰/۷	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۵
ریسک ۷	۰/۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
ریسک ۸	۰/۵	۰/۵	۰/۹	۰/۱	۰/۵
ریسک ۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۱	۰/۵
ریسک ۱۰	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۱	۰/۵
ریسک ۱۱	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۵	۰/۵
ریسک ۱۲	۰/۵	۰/۹	۰/۹	۰/۵	۰/۵
ریسک ۱۳	۰/۷	۰/۹	۰/۹	۰/۵	۰/۵
ریسک ۱۴	۰/۵	۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۵
ریسک ۱۵	۰/۷	۰/۹	۰/۹	۰/۱	۰/۵
ریسک ۱۶	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۵
ریسک ۱۷	۰/۷	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳

جدول ۴: رتبه‌بندی مقدماتی ریسک‌ها بر مبنای شاخص اولیه تجمیعی ریسک

شماره ریسک	PIR ₁	PIR ₂	PIR ₃	PIR ₄	PIR ₅	PIR ₆	APIR	رتبه ریسک
ریسک ۱	۰,۲۲۸	۰,۲۰۷	۰,۲۰۴	۰,۳۹	۰,۲۰۴	۰,۲۱۹	۰,۲۳۸	۱۱
ریسک ۲	۰,۶۸۴	۰,۶۸۴	۰,۶۲۱	۰,۶۱۲	۰,۷۰۲	۰,۵۱۱	۰,۶۴۳	۳
ریسک ۳	۰,۷۰۲	۰,۶۷۵	۰,۵۳۲	۰,۷۰۲	۰,۶۳۹	۰,۷۰۲	۰,۶۶۱	۱
ریسک ۴	۰,۰۳۰	۰,۰۵۱	۰,۰۳	۰,۰۶۵	۰,۰۳۶	۰,۰۵۴	۰,۰۴۲	۱۷
ریسک ۵	۰,۴۸۶	۰,۵۴۹	۰,۴۵۹	۰,۳۲۲	۰,۴۸۶	۰,۴۸۶	۰,۴۷۰	۶
ریسک ۶	۰,۲۱۷	۰,۱۹۶	۰,۲۳۱	۰,۲۷۳	۰,۱۹	۰,۲۱۷	۰,۲۲۰	۱۲
ریسک ۷	۰,۰۹۰	۰,۰۹۰	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۹	۰,۱۵۳	۰,۰۹۲	۱۶
ریسک ۸	۰,۳۱۰	۰,۲۹۵	۰,۳۱	۰,۲۷	۰,۳۸۵	۰,۳۱	۰,۳۱۲	۱۰
ریسک ۹	۰,۶۸۴	۰,۵۳۲	۰,۶۲۱	۰,۵۱۱	۰,۶۵۷	۰,۶۸۴	۰,۶۲۲	۴
ریسک ۱۰	۰,۶۸۴	۰,۶۸۴	۰,۶۱۲	۰,۶۸۴	۰,۵۳۲	۰,۷۱۱	۰,۶۵۵	۲
ریسک ۱۱	۰,۴۵۵	۰,۴۳۴	۰,۴۵۵	۰,۴۵۵	۰,۴۵۵	۰,۳۸۵	۰,۴۳۰	۸
ریسک ۱۲	۰,۴۰۰	۰,۵۰۴	۰,۴	۰,۴	۰,۴	۰,۴	۰,۴۱۷	۹
ریسک ۱۳	۰,۵۶۰	۰,۵۶۰	۰,۴۹	۰,۷۲	۰,۵۱۱	۰,۵۳۹	۰,۵۶۰	۵
ریسک ۱۴	۰,۱۴۰	۰,۱۴۰	۰,۱	۰,۱۲۵	۰,۰۷۸	۰,۱۴	۰,۱۲۳	۱۵
ریسک ۱۵	۰,۵۳۲	۰,۳۸۰	۰,۵۳۲	۰,۴۹	۰,۲۹	۰,۴۶۲	۰,۴۵۹	۷
ریسک ۱۶	۰,۱۵۵	۰,۱۵۵	۰,۰۶۹	۰,۱۴	۰,۰۶۳	۰,۱۵۵	۰,۱۲۶	۱۴
ریسک ۱۷	۰,۲۱۰	۰,۲۱۰	۰,۱۸۹	۰,۲۷	۰,۲۱	۰,۱۰۵	۰,۲۰۱	۱۳

جدول ۵: ماتریس حاصل از تلفیق نظرات خبرگان

شماره ریسک	ASIR ₁	ASIR ₂	ASIR ₃	ASIR ₄	ASIR ₅	ASIR ₆	APIR
ریسک ۱ (R1)	۰,۲۴۰	۰,۱۶۰	۰,۸۷۳	۰,۸۷۳	۰,۱۲۷	۰,۴۶۷	۰,۲۳۸
ریسک ۲ (R2)	۰,۸۴۰	۰,۱۳۳	۰,۸۴۷	۰,۶۷۳	۰,۱۰۰	۰,۷۳۳	۰,۶۴۳
ریسک ۳ (R3)	۰,۸۴۷	۰,۴۷۳	۰,۸۴۰	۰,۵۳۳	۰,۱۳۳	۰,۴۷۳	۰,۶۶۱
ریسک ۴ (R4)	۰,۱۳۳	۰,۱۲۷	۰,۲۲۷	۰,۱۲۷	۰,۱۲۷	۰,۵۳۳	۰,۰۴۲
ریسک ۵ (R5)	۰,۱۰۰	۰,۸۷۳	۰,۸۷۳	۰,۸۷۳	۰,۱۰۰	۰,۳۳۳	۰,۴۷۰
ریسک ۶ (R6)	۰,۴۷۳	۰,۸۶۷	۰,۳۳۳	۰,۳۳۳	۰,۲۷۳	۰,۴۷۳	۰,۲۲۰
ریسک ۷ (R7)	۰,۶۷۳	۰,۴۷۳	۰,۸۶۷	۰,۸۶۷	۰,۱۰۰	۰,۷۲۷	۰,۰۹۲
ریسک ۸ (R8)	۰,۴۶۷	۰,۱۳۳	۰,۳۳۳	۰,۱۳۳	۰,۴۷۳	۰,۷۲۷	۰,۳۱۲
ریسک ۹ (R9)	۰,۷۰۰	۰,۲۷۳	۰,۸۷۳	۰,۷۳۳	۰,۱۰۰	۰,۵۶۰	۰,۶۲۲
ریسک ۱۰ (R10)	۰,۸۴۷	۰,۴۷۳	۰,۸۴۰	۰,۸۶۷	۰,۱۲۷	۰,۱۳۳	۰,۶۵۵
ریسک ۱۱ (R11)	۰,۶۷۳	۰,۲۷۳	۰,۹۰۰	۰,۷۳۳	۰,۱۰۰	۰,۸۷۳	۰,۴۳۰
ریسک ۱۲ (R12)	۰,۶۳۳	۰,۷۲۷	۰,۳۳۳	۰,۳۲۷	۰,۳۲۷	۰,۸۶۷	۰,۴۱۷
ریسک ۱۳ (R13)	۰,۸۶۷	۰,۸۷۳	۰,۷۳۳	۰,۶۷۳	۰,۱۰۰	۰,۸۷۳	۰,۵۶۰
ریسک ۱۴ (R14)	۰,۶۶۷	۰,۱۲۷	۰,۴۶۷	۰,۴۶۷	۰,۲۷۳	۰,۴۷۳	۰,۱۲۳
ریسک ۱۵ (R15)	۰,۸۱۳	۰,۲۴۰	۰,۶۴۷	۰,۶۴۰	۰,۳۰۰	۰,۶۴۰	۰,۴۵۹
ریسک ۱۶ (R16)	۰,۴۳۳	۰,۲۴۰	۰,۴۴۷	۰,۶۴۷	۰,۴۴۰	۰,۶۴۷	۰,۱۲۶
ریسک ۱۷ (R17)	۰,۸۴۰	۰,۱۲۷	۰,۶۲۰	۰,۶۳۳	۰,۱۲۷	۰,۶۴۰	۰,۲۰۱

مرحله چهارم

در آخرین مرحله به منظور رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌ها از روش ELECTRE استفاده شده است. به دلیل حجم زیاد جداول از ذکر تمامی گام‌های این روش خودداری شده است. برخی از مراحل به‌کارگیری این تکنیک برای مسئله مورد نظر به شرح زیر می‌باشد.

وزن هر کدام از شاخص‌ها (W_1 الی W_7) بر اساس نظر سنجی خبرگان مطابق جدول ۶ می‌باشد، به‌گونه‌ای که مجموع وزن‌ها برابر یک است.

بعد از تشکیل ماتریس بی‌مقیاس وزنی و مشخص نمودن مجموعه هماهنگ و ناهماهنگ و محاسبه ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ مقادیر حد آستانه $\bar{I} = 0.481$ (رابطه ۶)

و $\bar{NI} = 0.684$ (رابطه ۸) به‌دست آمدند. در این راستا ماتریس F (ماتریس هماهنگ موثر) با توجه به رابطه ۷ و ماتریس G (ماتریس ناهماهنگ موثر) بر اساس رابطه ۹ مطابق جداول ۷ و ۸ به‌دست می‌آیند. به‌گونه‌ای که اگر هر عنصر ماتریس I بزرگ‌تر یا مساوی از آستانه (0.481) باشد آن عنصر واحد در ماتریس F مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌گیرد و همچنین اگر هر عنصر ماتریس NI بزرگ‌تر از آستانه (0.684) باشد آن عنصر واحد در ماتریس G مقدار صفر و در غیر این صورت مقدار یک خواهد گرفت. همان‌گونه که ذکر شد قطر ماتریس‌های F، G و H فاقد عنصر می‌باشد.

جدول ۶: وزن شاخص‌های ($ASIR_1$ - $ASIR_6$) و APIR بر اساس نظر خبرگان

W_7 (وزن APIR)	W_6 (وزن $ASIR_6$)	W_5 (وزن $ASIR_5$)	W_4 (وزن $ASIR_4$)	W_3 (وزن $ASIR_3$)	W_2 (وزن $ASIR_2$)	W_1 (وزن $ASIR_1$)
۰/۲۶	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۸۰

جدول ۷: ماتریس همابنگ موثر (F)

-	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۰	-	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۰	۱	-	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۱	۱	۱	-	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	-	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱
۰	۱	۰	۱	۰	۱	-	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	-	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	-	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	-	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	۱	۰
۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	-	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	-	۰	۱	۰
۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	-	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	-	۰
۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	-

جدول ۸: ماتریس ناهمابنگ موثر (G)

-	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰
۱	-	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱
۱	۱	-	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۰	۰	۱	-	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	-	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	۱	-	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	-	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱
۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	-	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	-	۰	۰	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	-	۰	۱	۰	۱	۰
۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	-	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-	۰	۱	۰
۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	-	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-	۰
۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	-

بحرانی بودن) ریسک‌ها بر اساس تعداد ارقام یک در سطر مربوط به هر یک از آن‌ها می‌باشد.

رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌ها در جدول ۱۰ ارائه شده است. می‌توان ملاحظه نمود که ریسک‌های ۱۷ گانه در قالب ۸ خوشه دسته‌بندی شده به طوری که ریسک‌های هم رتبه (ریسک‌هایی با بزرگی نسبتاً یکسان) در یک دسته قرار گرفته-

در نهایت با استفاده از رابطه ۱۰ ماتریس کلی مؤثر H بدست می‌آید (جدول ۹). همان‌طور که اشاره شد ماتریس H ، عناصر مشترک دو ماتریس F و G می‌باشد. این ماتریس نشان دهنده ترتیب برتری‌های نسبی از ریسک‌ها می‌باشد. به این معنی که اگر H_{KL} برابر با یک باشد یعنی ریسک K بر ریسک L هم از نظر معیار همابنگی و هم از نظر معیار ناهمابنگی برتر است. با توجه به این ماتریس، ترتیب ارجحیت (میزان

اند. بر این اساس، ریسک‌های اقتصادی، ریسک‌های با منشاء کارفرما و ریسک‌های فنی در بحرانی‌ترین خوشه قرار گرفته‌اند.

جدول ۹: ماتریس کلی مؤثر (H) و رتبه نهایی هر ریسک

تعداد عدد یک در هر سطر	R17	R16	R15	R14	R13	R12	R11	R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	شماره ریسک
۴	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	-	R1
۷	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	-	۱	R2
۱۲	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	-	۱	۱	R3
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	R4
۱۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	-	۱	۰	۰	۱	R5
۵	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	-	۰	۱	۰	۰	۰	R6
۳	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-	۰	۰	۱	۰	۰	۰	R7
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	R8
۸	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	-	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	R9
۱۲	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	-	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	R10
۷	۱	۱	۱	۱	۰	۰	-	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	R11
۵	۰	۱	۰	۱	۰	-	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	R12
۱۲	۱	۱	۱	۱	-	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	R13
۰	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	R14
۵	۱	۱	-	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	R15
۰	۰	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	R16
۳	-	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	R17

جدول ۱۰: خوشه‌بندی ریسک‌ها در ۸ خوشه بر اساس روش ELECTRE

خوشه	رتبه	عنوان ریسک	شماره ریسک
۱	۱۲	ریسک‌های اقتصادی	R3
	۱۲	ریسک‌های کارفرما	R10
	۱۲	ریسک‌های فنی (طراحی و اجرا)	R13
۲	۱۱	ریسک‌های محیطی	R5
۳	۸	ریسک‌های سرمایه‌گذاری و مالی	R9
۴	۷	ریسک‌های اجتماعی	R2
	۷	ریسک‌های مدیریت	R11
۵	۵	بلایای طبیعی	R6
	۵	ریسک‌های برنامه‌ریزی	R12
	۵	ریسک‌های برنامه زمان‌بندی	R15
۶	۴	ریسک‌های سیاسی	R1
۷	۳	ریسک‌های آسیب‌ها و زیان‌ها	R7
	۳	ریسک‌های منابع انسانی	R17
۸	۰	ریسک‌های حقوقی	R4
	۰	ریسک‌های قراردادی	R8
	۰	ریسک‌های منابع تجهیزاتی و مصالح	R14
	۰	ریسک‌های تعهدات و ضمانت‌ها	R16

۵- نتیجه گیری

فقدان یا مدیریت ناقص ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی منجر به پیامدهای منفی از جمله طولانی شدن پروژه و افزایش هزینه‌ها می‌گردد. رتبه‌بندی و در نتیجه دسته‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌ها از ارکان اصلی مدیریت ریسک پروژه و ارائه پاسخ مناسب به ریسک‌های مرتبط است. ساختار شکست طراحی شده مدل مناسبی برای تعیین مجموعه عوامل ریسک‌زا در پروژه‌های تونل‌سازی است. تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی اعتبار کافی برای جمع‌آوری نظرات خبرگان را دارد و روش میانگین وزنی امکان تجمیع نظرات خبرگان را فراهم می‌کند. در نظر گرفتن حوزه اثر ریسک بر اهداف زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه با وزن‌های متفاوت و همچنین تعریف شاخص‌های تکمیلی اثرات اجتماعی اقتصادی، اثرات زیست محیطی، نزدیکی وقوع ریسک، میزان مواجهه با ریسک، درجه عدم قطعیت تخمین و میزان مدیریت‌پذیری ریسک منجر به ارزیابی دقیق ریسک‌ها می‌شود. روش ELECTRE رتبه‌بندی قابل اعتمادی ارائه داده و خوشه‌بندی ریسک‌ها توسط این روش بر اساس میزان بحرانی بودن و نزدیکی تاثیر و تاثرات ریسک‌ها صورت می‌گیرد. این اعتبار به‌واسطه امکان در نظر گرفتن هم‌زمان چندین شاخص، لحاظ نمودن وزن‌های متفاوت برای شاخص‌ها، تبادل بین شاخص‌ها انعطاف‌پذیری روش و نیز تحلیلی بودن نتایج آن می‌باشد.

منابع

- [6] Isaksson, T., Stille, H; 2005; "Model for Estimation of Time and Cost for Tunnel Projects Based on Risk Evaluation", Rock Mechanic and Rock Engineering, Vol. 38, No. 5, pp. 373-398.
- [7] ITIG (The International Tunneling Insurance Group); 2006; "A Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works". Available on: http://www.munichre.com/publications/tunnel_code_of_practice_en.pdf
- [8] Beard, A. N; 2010; "Tunnel safety, risk assessment and decision-making". Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 25, pp. 91-94.
- [9] Chapman, C. B., Ward, S C; 2003; *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*, Second edition, John Wiley, UK: Chichester.
- [10] Pipattanapiwong, J.; 2004; *Development of multi-party risk and uncertainty management process for an infrastructure project*, Doctoral dissertation, Kochi University of Technology.
- [11] McDermott, R E. , Mikulak, R J. , Beaugard, M R; 1996; *The basics of FMEA*, Quality Resources, New York.
- [12] Klein, J. H., Cork, R B; 1998; "An approach to technical risk assessment". International Journal of Project Management, Vol.16, No.6, PP. 345-351.
- [13] Waterland, L R., Venkatesh, S. , Unnasch, S; 2003; *Safety and Performance Assessment of Ethanol/Diesel Blends (E-Diesel)*, Cupertino, California.
- [14] Baccarini, D., Archer, R; 2001; "The risk ranking of projects: a methodology". International Journal of Project Management, Vol. 19, pp. 139-145.
- [15] Lambert, J. H., Haimes, Y Y. , Li, D. , Schooff, R M. , Tulsiani, V; 2001; "Identification, ranking, and management of risks in a major system acquisition". Reliability Engineering and System Safety, No.72, PP. 315-325.
- [16] Haimes, Y. Y.; 2008; *Risk Modeling, Assessment, and Management*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [17] Pertmaster Software; 2002; *Pertmaster Project Risk v7.5: Tutorial, manual and help*, Available on: <http://www.pertmaster.com/>
- [18] Xu, L., Liu, G; 2009; "The study of a method of regional environmental risk assessment". Journal of environmental assessment, Vol. 90, No. 11, pp. 3290-3296.
- [19] Duddeck H.; 1987; "Risk assessment and risk sharing in tunnelling". Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 2, pp. 315-317.
- [20] Yogaranpan, Y. M.; 1996; *Risk Management, the Key to Success in Management of Construction*
- [1] Wagner, H.; 2006. "Risk Evaluation and Control in Underground Construction"; International Symposium on Underground Excavation and Tunneling. 2-4 February, Bangkok: Thailand.
- [2] Ghosh, S., Jintanapanont, J; 2004. "Identifying and assessing the critical risk factors in an underground rail project in Thailand: a factor analysis approach"; International Journal of Project Management, Vol. 22, pp. 633-643.
- [3] PMI (Project Management Institute); 2004; *a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Pennsylvania, Newtown Square.
- [4] ITA/AITES; 2004; "Guidelines for tunneling risk management: International Tunneling Association, Working Group No. 2", Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 19, pp. 217-237.
- [5] Reilly, j. j., Brown, j; 2004; "Management and control of cost and risk for tunneling and infrastructure projects", Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 19 (B18), pp. 1-8.

مدیریت گرایش تحقیق در عملیات، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

[۲۵] اصغرپور، محمدجواد؛ ۱۳۷۷؛ **تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره**؛ انتشارات دانشگاه تهران؛ تهران.

[۲۶] وفائی، فرهاد؛ ۱۳۸۶؛ **طراحی یک مدل ریاضی برای اندازه‌گیری کارائی مدل‌های جبرانی MADM به کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها**، رساله دوره دکتری مدیریت گرایش تحقیق در عملیات، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

[27] Hwang, C., Yoon, K; 1981; *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A state Of the Art Survey*, Verlag, New York.

Projects in General and Underground Projects in Particular, Project Manager, Australian Water Technologies Pty. Ltd. Available on: <http://www.ats.org.au/>

[21] Reilly, J. J., Parker, H W; 2007; "*Benefits and Life-Cycle Costs of Underground Projects. Proceedings*", AITES-ITA World Tunnel Congress, Prague, Vol. 1, pp. 679-684.

[22] Pomerol, J. C., Romero, S B; 2000; *Multi-criterion decision in management: Principles and practice*, Netherlands: Kluwer Academic, Dordrecht.

[23] Saaty, T. L., Vargas, L G; 2006; *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*, Springer, New York.

[۲۴] میرفرخالدینی، سیدحیدر؛ ۱۳۸۶؛ **تحلیل داده‌ها در شش‌سیگما با رویکرد MADM**، رساله دوره دکتری

پی‌نوشت

- ¹ Risk Breakdown Structure
- ² Probability-impact risk rating matrix
- ³ Elimination and Choice Translating Reality
- ⁴ Multi Attribute Decision Making
- ⁵ Compensatory Methods
- ⁶ Out ranking
- ⁷ Euclidean norm
- ⁸ Normalized decision matrix
- ⁹ Weighted Normalization Matrix
- ¹⁰ Shannon Entropy
- ¹¹ Eigenvector
- ¹² Least Square
- ¹³ Linear Programming for Multidimensional Analysis of preferences
- ¹⁴ Concordance
- ¹⁵ Discordance
- ¹⁶ Threshold
- ¹⁷ Primary Index Risk
- ¹⁸ Aggregate Primary Index Risk
- ¹⁹ Aggregate Secondary Index Risk
- ²⁰ Likert type scale
- ²¹ Project Management Body of Knowledge