

## مدیریت ریسک ساخت تونل با استفاده از تکنیک‌های MADM

احمدرضا صیادی<sup>۱</sup>، محمد حیاتی<sup>۲</sup>، مسعود منجزی<sup>۳</sup>

**چکیده:** ارزیابی ریسک از قسمت‌های کلیدی مدیریت پروژه بوده و امکان رتبه‌بندی ریسک‌ها را بر اساس میزان بحرانی بودن آنها و ارائه پاسخ مناسب فراهم می‌کند. در روش کلاسیک ماتریس احتمال - اثر ریسک، ارزیابی ریسک تنها بر اساس دو مؤلفه اصلی احتمال رخداد و میزان اثر ریسک انجام می‌شود که نتایج معتبری به دست نمی‌دهند. در این پژوهش مجموعه نسبتاً کاملی از معیارها جهت استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه معرفی و ریسک‌های مرتبط با عملیات تونل‌سازی سد سیمره در جنوب غرب ایران ارزیابی و رتبه‌بندی شده است. نظرات خبرگان در قالب چندین گروه با استفاده از روش تصمیم‌گیری گروهی جمع‌آوری شده است. جهت تعیین رتبه ریسک‌ها از روش‌های تخصیص خطی، شباهت به گزینه ایده‌آل و مجموع وزین ساده استفاده شده است. در نهایت جهت نیل به یک رتبه‌بندی واحد، روش‌های و تلفیق و ادغام به کار گرفته شده‌اند. ریسک‌های ناشی از عوامل اقتصادی و تعهدات - ضمانت‌ها به ترتیب بیشترین و کمترین رتبه ریسک را به خود اختصاص می‌دهند

*واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، تصمیم‌گیری چند شاخصه، تخصیص خطی، شباهت به گزینه ایده‌آل، مجموع وزین ساده، تونل‌سازی.*

۱. استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۰/۰۴/۲۰

نویسنده مسئول مقاله: احمدرضا صیادی

E-mail: sayadi@modares.ac.ir

**مقدمه**

طرح‌های احداث تونل در محیطی با عدم قطعیت بالا انجام شده و همواره با درصد بالایی از ریسک همراه هستند. به‌عنوان نمونه در برخی از کشورها ۴۰ درصد پروژه‌های تونل‌سازی از نظر بودجه یا زمان از مقدار تعیین شده تجاوز کرده‌اند و در بیش از ۶۰ درصد آنها نیز مدیریت ریسک سازمان ضعیف ارزیابی شده است [۳۰]. مدیریت ریسک موجب حداقل کردن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی بر اهداف پروژه می‌شود. ارزیابی ریسک یکی از ارکان مدیریت ریسک پروژه بوده و هدف آن اندازه‌گیری ریسک‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف است. رتبه‌بندی ریسک‌ها، قسمت کلیدی این فرآیند به‌شمار می‌رود و امکان مقابله با هر ریسک را فراهم می‌کند [۱۰]. ارزیابی ریسک به‌طور عمده با استفاده از روش کلاسیک ماتریس احتمال - اثر ریسک<sup>۱</sup> انجام می‌شود. در این روش، یک شاخص (R) بر اساس حاصلضرب میزان احتمال رخداد ریسک (P) و میزان اثر ریسک (I) تعریف شده (رابطه ۱) و رتبه‌بندی بر اساس آن انجام می‌شود.

$$R = P \times I \quad \text{رابطه ۱}$$

هر چند که این روش ساده بوده و به‌راحتی قابل استفاده است ولی نتایج قابل اعتمادی به‌دست نمی‌دهد [۸]؛ زیرا تنها از دو معیار استفاده شده و از سایر جنبه‌ها و معیارهای مؤثر چشم‌پوشی می‌شود. یکی از دیگر مشکلات این است که ریسک‌هایی که احتمال زیاد و اثر کم دارند با ریسک‌هایی که احتمال کم و اثر زیاد دارند معادل فرض شده و می‌تواند باعث بروز خطای سیستماتیک شود [۲۰]. علاوه بر این امکان تخصیص وزن‌های متفاوت برای معیارهای وجود ندارد. بدین ترتیب استفاده از روش‌های معتبرتر ضروری است.

بدین منظور روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM)<sup>۲</sup> با استفاده از نظرات خبرگان متعدد ابزار قابل اعتمادی جهت ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک است [۲۲][۲۵]. در این روش‌ها امکان در نظر گرفتن کلیه معیارهای مرتبط با اوزان متفاوت و تبادل بین آنها وجود داشته و در نتیجه نتایج واقع‌گرایانه به‌دست می‌دهند.

در این پژوهش مدلی جهت ارزیابی ریسک پروژه‌های تونل‌سازی با نگرشی ویژه به عملیات ساخت تونل سد سیمره در جنوب غرب ایران با استفاده از برخی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تخصیص خطی، شباهت به گزینه ایده‌آل و مجموع وزین ساده ارائه شده است. در نهایت با توجه به اینکه به‌کارگیری روش‌های گوناگون چند معیاره به رتبه‌بندی متفاوتی از

1 Probability-impact risk rating matrix

2. Multi Attribute Decision Making

گزینه‌های رقیب منجر می‌شود، از روش‌های تلفیق و ادغام جهت اجماع و نیز حصول رتبه‌بندی جامع‌تر گزینه‌ها استفاده شده است.

### پیشینه مطالعات

در مقاله‌ها و منابع متعددی موضوع ارزیابی ریسک به‌ویژه ریسک عملیات ساخت تونل‌ها مورد توجه قرار گرفته است. در اکثر مطالعات از روش کلاسیک ارزیابی ریسک استفاده شده است [۱۴][۱۵]. اثر رخداد اغلب بر زمان و یا هزینه پروژه بررسی می‌شود. برخی دیگر از پژوهشگران هزینه و زمان پروژه‌های زیرزمینی و تونل را با لحاظ ریسک به‌صورت یک تابع احتمالاتی بیان کرده‌اند [۱۳][۲۳][۲۴]. برای رفع محدودیت تعداد معیار در این روش، معیارهایی دیگری نظیر «توانایی سازمان در واکنش به ریسک» [۱۷]، «درجه عدم قطعیت تخمین» [۱۶] نیز در ارزیابی سایر پروژه‌ها مطرح شده‌اند. احتمال و میزان تأثیر بر کیفیت پروژه نیز در رتبه‌بندی به‌کار برده شده‌اند [۷]. معیارهای تکمیلی دیگری نظیر مدیریت‌پذیری و نزدیکی وقوع ریسک پروژه در برخی از پژوهش‌های دیگر مورد توجه واقع شده‌اند [۱۹]. در زمینه ارزیابی ریسک زیست محیطی، از معیارهای اثرات اجتماعی اقتصادی و اثرات زیست محیطی نیز استفاده کرده‌اند [۳۲]. در برخی از منابع به ساختار شکست ریسک (RBS)<sup>۱</sup> عملیات تونل‌سازی پرداخته شده و در قالب یک سیستم سه‌گانه [۹] یا چهارگانه [۲۴][۳۳] بیان شده است. در پژوهشی دیگر یک ساختار جامع شکست ریسک برای پروژه‌های تونل‌سازی ارائه شده و مجموع ریسک‌های مرتبط جمع‌بندی شده است [۳].

در راستای استفاده از قابلیت‌های روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره نیز مطالعاتی انجام شده و ریسک‌های مرتبط رتبه‌بندی شده‌اند از جمله می‌توان به کاربرد روش‌های ELECTRE [۴] و TOPSIS فازی [۲۶][۲۷] اشاره نمود.

### روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه

این روش‌ها به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین  $m$  گزینه موجود به‌کار می‌روند و خصوصیت متمایز آنها این است که اغلب تعداد محدود و قابل شمارشی از گزینه‌های از پیش تعیین شده وجود دارد. مبنای مدلسازی، ایجاد و تشکیل جدول توافقی<sup>۲</sup> است [۲]. از مهم‌ترین رایج‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌توان به روش‌های مجموع وزین

1. Risk Breakdown Structure  
2. Contingency table

ساده (SAW)<sup>۱</sup>، شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)<sup>۲</sup> و تخصیص خطی (LA)<sup>۳</sup> اشاره نمود [۲۵].

### روش SAW

در این روش با مفروض بودن اوزان اهمیت شاخص‌ها، مناسب‌ترین گزینه محاسبه می‌شود. در واقع این روش همان میانگین موزون است که اعداد درون ماتریس را به منزله عناصری که میانگینشان محاسبه شده و اوزان شاخص‌ها را به منزله وزن این اعداد در نظر می‌گیرد. بنابراین لازم است از روشی جهت بی‌مقیاس‌سازی استفاده کرد که شاخص‌ها را هم‌جهت سازد. فرض به‌کارگیری این روش بر استقلال ارجحیت و مجزا بودن آثار شاخص‌ها از یکدیگر است [۲].

### روش TOPSIS

اساس این روش، انتخاب گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از جواب ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل منفی دارد. در این تکنیک در فضای اقلیدسی راه‌حل ایده‌آل مثبت ( $A^+$ ) و راه‌حل ایده‌آل منفی ( $A^-$ ) تعریف شده سپس فاصله گزینه  $i$  ام از راه‌حل ایده‌آل منفی ( $di^-$ ) و از راه‌حل ایده‌آل مثبت ( $di^+$ ) محاسبه می‌شود، سپس مبنای رتبه‌بندی گزینه‌ها میزان دوری از  $A^-$  و میزان نزدیکی به  $A^+$  خواهد بود. همچنین در تشخیص راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی این نکته مهم است که مطلوبیت هر شاخص باید به‌طور یکنواخت افزایشی (یا کاهش‌ی) باشد که در این صورت بهترین ارزش موجود از یک شاخص نشان‌دهنده ایده‌آل مثبت آن بوده و بدترین ارزش موجود از آن مشخص‌کننده ایده‌آل منفی برای آن خواهد بود [۱۲].

### روش LA

این روش یکی از مهم‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه هستند. در این روش گزینه‌های مفروض از یک مسئله بر حسب امتیازات آنها از هر شاخص رتبه‌بندی شده سپس رتبه نهایی گزینه‌ها از طریق یک فرآیند جبران خطی (به ازای تبادلات ممکن در بین شاخص‌ها) مشخص خواهد شد. در این روش براساس خاصیت سیمپلکس فضای جواب، ضمن در نظر گرفتن تمامی ترتیبات به‌طور ضمنی، جواب بهینه در یک فضای محدب سیمپلکس استخراج می‌شود. به‌علاوه خاصیت جبرانی بودن شاخص‌ها از مبادله بین رتبه‌ها و گزینه‌ها به‌دست می‌آید، اگر چه بردار وزن شاخص‌ها براساس نظر خبرگان به‌دست آمده باشد [۲۴]. در کلیه روش‌های فوق تعیین اهمیت

- 
1. Simple additive-weighting
  2. Technique for order-Preference by Similarity to ideal Solution
  3. Linear Assignment

نسبی شاخص‌های موجود گام مؤثری در فرآیند حل مسئله است. از روش‌های استخراج ضرایب شاخص‌ها می‌توان به روش‌های استفاده از نظرات خبرگان و آنتروپی شانون<sup>۱</sup> اشاره نمود [۱]. مراحل به‌کارگیری روش آنتروپی شانون به شرح ذیل است [۱]:  
پس از آنکه ماتریس تصمیم‌گیری به‌دست آمد، مقدار درایه  $r_{ij}$  (درایه‌های ماتریس تصمیم) را می‌توان به  $p_{ij}$  تبدیل کرد (رابطه ۲):

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad \forall i, j \quad \text{(رابطه ۲)}$$

مقدار آنتروپی مشخصه‌ی  $J$  ام به صورت رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad , k = \frac{1}{\ln m} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

به کمک  $E_j$  مقدار  $d_j$ ، برای هر مشخصه محاسبه می‌شود:

$$d_j = 1 - E_j \quad ; \forall j \quad \text{(رابطه ۴)}$$

وزن  $w'_j$  مشخصه  $J$  ام بدین صورت به‌دست می‌آید:

$$w'_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^m d_j} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

اگر تصمیم‌گیرنده در ذهن خود برای شاخص یک ضریب اهمیت نظیر  $\lambda_j$  داشته باشد، محاسبه وزن را می‌توان با کمک رابطه (۶) انجام داد:

$$w_j = \frac{\lambda_j w'_j}{\sum_{j=1}^m \lambda_j w'_j} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

### راهبرد اولویت‌بندی

استفاده از چندین روش تصمیم‌گیری چند شاخصه ممکن است به نتایج مختلفی منجر شود. از این‌رو جهت غلبه بر این مسئله از روش‌هایی موسوم به روش تلفیق نظیر روش میانگین رتبه‌ها<sup>۲</sup>، روش بردا<sup>۳</sup> و روش کیپلند<sup>۱</sup> استفاده می‌شود [۱].

1. Entropy Shannon  
2. Average  
3. Borda

- روش میانگین رتبه‌ها: این روش، گزینه‌ها را بر اساس میانگین رتبه‌های به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف اولویت‌بندی می‌کند [۲]. امتیاز هر گزینه، بر اساس میانگین رتبه به‌دست‌آمده از سایر تکنیک‌ها محاسبه شده و رتبه‌بندی بر اساس امتیاز به‌دست‌آمده تعیین می‌شود.
- روش بردا: این روش، بر اساس قاعده اکثریت است و رتبه‌های هر زوج گزینه در روش‌های متفاوت بایکدیگر مقایسه می‌شوند و اگر تعداد ترکیب‌هایی که در آن گزینه K بر گزینه L ارجح است، بیشتر از تعداد روش‌هایی باشد که در آن، گزینه L بر گزینه K ارجحیت دارد، با M و در صورتی که تعداد ارجحیت‌های گزینه K از گزینه L کمتر یا با آن مساوی باشد، با X نمایش داده می‌شود. به این ترتیب Mها تعداد بردها و Xها تعداد باخت‌ها را نشان می‌دهد. M به منزله آن است که سطر بر ستون ارجحیت دارد و X نشانگر آن است که ستون بر سطر ارجحیت دارد. امتیاز هر گزینه بر اساس شمارش تعداد بردهای آن (تعداد M در سطر) محاسبه می‌شود [۵].
- روش کپلند: این روش را می‌توان اصلاح روش قبلی نامید زیرا در آن، علاوه بر Mها، تعداد Xها نیز در اولویت‌بندی در نظر گرفته می‌شود. در روش کپلند امتیاز هر گزینه بر اساس تفاضل تعداد بردها و باخت‌ها محاسبه می‌شود (رابطه ۷). بنابراین امتیاز گزینه‌ها با به‌صورت زیر خواهد بود [۲].

$$T_i = \sum M_i - \sum X_i \quad \text{(رابطه ۷)}$$

### روش پژوهش

ریسک‌های اصلی با تکیه بر روش ساختار شکست ریسک شناسایی شده‌اند. جهت تعریف شاخص‌های رتبه‌بندی نخست حوزه اثرگذاری ریسک بر اهداف زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه با وزن‌های متفاوت لحاظ شده است. سپس به‌منظور ارزیابی و رتبه‌بندی دقیق‌تر ریسک‌ها، مجموعه‌ای از شاخص‌های تکمیلی نیز در نظر گرفته شده‌اند. برای تعیین وزن شاخص‌ها از تلفیق اوزان به‌دست‌آمده از نظر سنجی خبرگان و روش آنتروپی شانون استفاده شده است. جهت تعیین رتبه ریسک‌ها از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده و در نهایت به‌منظور نیل به یک رتبه‌بندی واحد، روش‌های ادغام به‌کار گرفته شده است.

ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در قالب پنج مرحله مطابق شکل (۱) انجام شده است. **مرحله اول:** در این مرحله، از یک ساختار جامع شکست ریسک پروژه‌های تونل‌سازی ارائه شده توسط صیادی و حیاتی [۳] الگو گرفته و ضمن طراحی یک پرسشنامه جامع، نظرات خبرگان با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی در قالب چندین گروه از خبرگان جمع‌آوری شده است. در ساختار مورد استفاده، مجموعه ریسک‌های پروژه‌های تونل‌سازی در دو دسته کلی ریسک‌های داخلی و خارجی در قالب هفده سطح اصلی (شکل ۲) بر اساس روش RBS دسته‌بندی شده‌اند.

**مرحله دوم:** با توجه به معیارهای روش کلاسیک ارزیابی ریسک [۲۱] شامل احتمال وقوع و میزان اثرگذاری ریسک بر اهداف پروژه (زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه) می‌توان یک شاخص اولیه (PIR) به صورت رابطه (۸) تعریف نمود.

$$PIR = \sum [W_i (P \times I_i)] \quad \text{رابطه (۸)}$$

$P$  احتمال وقوع ریسک و  $I_1$  الی  $I_4$  میزان اثرگذاری ریسک به ترتیب بر زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه است. همچنین  $W_1$  الی  $W_4$  وزن اهمیت معیار اثر ریسک به ترتیب بر زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه هستند و مجموع این اوزان برابر یک است. شاخص PIR بر اساس نظرات هر یک از شش گروه خبرگان به‌طور جداگانه محاسبه شده و در نهایت شاخص‌های  $PIR_1$  الی  $PIR_6$  به ازای هر کدام از ریسک‌های هفده‌گانه به دست می‌آید. در ادامه این شاخص‌ها با استفاده از روش میانگین وزین تجمیع شده و شاخص اولیه تجمیعی ریسک (APIR) به ازای هر کدام از ریسک‌ها بر اساس رابطه (۹) حاصل می‌شود.

$$APIR = \frac{\sum_{j=1}^m (n_j \times PIR_j)}{N} \quad \text{رابطه (۹)}$$

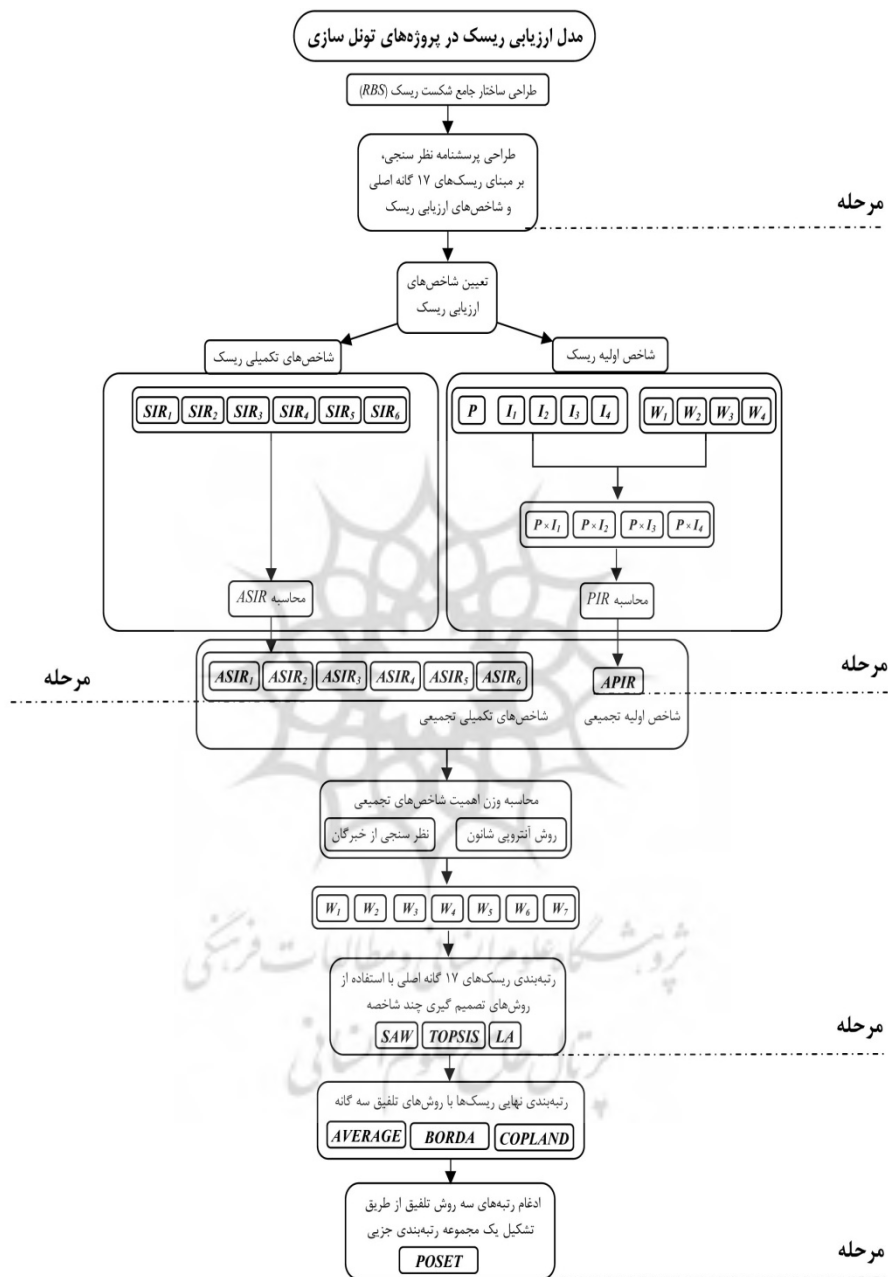
$APIR$  = شاخص اولیه تجمیعی ریسک به ازای هر یک از ریسک‌های ۱۷ گانه

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

$n_j =$  تعداد افراد در گروه  $j = 1, 2, 3, \dots, 6$

$N =$  تعداد کل افراد خبره که در این پژوهش ۳۰ نفر هستند

در این مرحله امکان یک رتبه‌بندی مقدماتی ریسک‌ها فراهم می‌شود. می‌توان مشاهده نمود که تعریف اولیه ریسک یعنی (احتمال  $\times$  اثرگذاری ریسک) در شاخص PIR و در نتیجه در شاخص APIR لحاظ شده ولی حوزه اثرگذاری به چهار معیار "زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد" با وزن‌های متفاوت گسترش داده شده است.



نمودار ۱. فرآیند و مراحل ارزیابی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی





نمودار ۲. ساختار شکست ریسک پروژه‌های تونل‌سازی (۱۷ ریسک اصلی) [۳]

**مرحله سوم:** برای رفع محدودیت تعداد شاخص‌ها در روش کلاسیک، در اینجا ۶ شاخص تکمیلی دیگر پیشنهاد شده است. در این مرحله نظرات خبرگی به‌ازای هر یک از ریسک‌های ۱۷ گانه را جمع‌آوری کرده و با استفاده از روش میانگین وزین، میزان تجمیعی هر شاخص محاسبه شده است. در این راستا میزان تجمیعی شاخص اثرات اجتماعی اقتصادی (ASIR<sub>1</sub>) طبق رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید.

$$ASIR_1 = \frac{\sum_{j=1}^m (n_j \times SIR_j)}{N} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$ASIR_1$  = میزان تجمیعی شاخص اثرات اجتماعی اقتصادی به ازای هر ریسک

$SIR_j$  = میزان شاخص اثرات اجتماعی اقتصادی به ازای هر ریسک در گروه  $j$

$n_j$  = تعداد افراد در گروه  $j = 1, 2, 3, \dots, 6$

$N$  = تعداد کل افراد خبره که در این پژوهش ۳۰ نفر هستند

به‌طور مشابهی برای سایر شاخص‌های اثرات زیست محیطی، نزدیکی زمان وقوع، میزان مواجهه با ریسک، عدم اطمینان تخمین و مدیریت‌پذیری، شاخص‌های  $ASIR_1$  الی  $ASIR_6$  به‌دست می‌آید.

**مرحله چهارم:** در این مرحله رتبه‌بندی ریسک‌ها با استفاده از ۷ شاخص شامل شاخص APIR و شاخص‌های ASIR<sub>۱</sub> الی ASIR<sub>۶</sub> بر مبنای روش‌های SAW، TOPSIS و LA انجام می‌شود.

**مرحله پنجم:** جهت اجماع در رتبه‌بندی و تلفیق رتبه‌های به‌دست آمده از روش‌های گفته شده، تکنیک‌های تلفیق (میانگین، بردا و کپلند) استفاده می‌شوند.

### مطالعه‌ی موردی

سد سیمره در ۶۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان ایلام واقع است. این سد دارای ۲ تونل انحراف در مجموع به طول ۸۷۱ متر با قطر تقریباً ۹ متر، تونل آب‌بر نیروگاه به طول ۱۴۷۶ متر با قطر ۱۱ متر و ۶ گالری تزریق در طرفین بدنه سد است. با توجه به نمودار (۱) ارزیابی و رتبه‌بندی عوامل ریسک این تونل‌ها در قالب ۵ مرحله زیر انجام شده است.

### مرحله اول

پرسشنامه تهیه شده شامل ۱۷ سطر و ۱۱ ستون است. سطور این جدول شامل ریسک‌های ۱۷ گانه اصلی (شکل ۲) و ستون‌ها شامل شاخص‌های مختلف جهت ارزیابی ریسک است. نظرات خبرگان با بهره‌مندی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی نظیر تکنیک دلفی (در قالب ۱ گروه کارشناسی ۸ نفره، ۲ گروه ۵ نفره و ۳ گروه ۴ نفره، جمعاً ۳۰ نفر در ۶ گروه) جمع‌آوری شد. نظرسنجی در خصوص میزان هریک از شاخص‌ها به ازای هرکدام از ریسک‌ها مطابق با طیف پنج‌گانه لیکرت (خیلی کم، کم، ...، خیلی زیاد) انجام گرفت (جدول ۱) [۱۲]. همچنین نظر سنجی در خصوص میزان تأثیر ریسک‌ها بر اهداف هزینه، زمان، کیفیت و عملکرد مطابق با استاندارد PMBOK [۲۱] انجام شد (جدول ۱).

### مرحله دوم

در این مرحله نخست نظرات خبرگی در خصوص معیارهای احتمال وقوع، میزان تأثیر بر زمان پروژه، میزان تأثیر بر هزینه پروژه، میزان تأثیر بر کیفیت پروژه، میزان تأثیر بر عملکرد پروژه بررسی شده است. در ادامه به‌منظور محاسبه PIR (رابطه ۸)، میزان  $W_1$  الی  $W_4$  براساس نظر سنجی از خبرگان به‌ترتیب ۰.۳۵، ۰.۴، ۰.۱، ۰.۱۵ تعیین شده است. بدین ترتیب می‌توان میزان شاخص APIR را بر اساس رابطه (۹) محاسبه (جدول ۲) و مجموعه ریسک‌ها را به‌صورت مقدماتی رتبه‌بندی نمود (ستون آخر جدول ۲).

جدول ۱. میزان اثرگذاری ریسک بر اهداف پروژه

استاندارد PMBOK	کیفیت					عملکرد				
	کاهش کیفیت نا محسوس	کاهش کیفیت کم	کیفیت نیاز به تایید کارفرما دارد	کیفیت غیر قابل قبول کارفرما	کیفیت غیر قابل استفاده	کاهش عملکرد نا محسوس	کاهش عملکرد کم	عملکرد نیاز به تایید کارفرما دارد	عملکرد غیر قابل قبول کارفرما	عملکرد غیر قابل استفاده
طیف لیکرت	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	۰.۱	۰.۲	۰.۵	۰.۷	۰.۹	۰.۱	۰.۲	۰.۵	۰.۷	۰.۹

استاندارد PMBOK	زمان					هزینه				
	تاخیر ناچیز	تأخیر کمتر از ۵٪ مدت پیمان	تأخیر از ۵ تا ۱۰٪ مدت پیمان	تأخیر از ۱۰ تا ۲۰٪ مدت پیمان	تأخیر بیش از ۲۰٪ مدت پیمان	افزایش هزینه ناچیز	افزایش هزینه کمتر از ۵٪ منابع پیمان	افزایش هزینه از ۵ تا ۱۰٪ منابع پیمان	افزایش هزینه از ۱۰ تا ۲۰٪ منابع پیمان	افزایش هزینه بیش از ۲۰٪ منابع پیمان
طیف لیکرت	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	۰.۱	۰.۲	۰.۵	۰.۷	۰.۹	۰.۱	۰.۳	۰.۵	۰.۷	۰.۹

### مرحله سوم

میزان شاخص‌های ASIR<sub>6</sub> الی ASIR<sub>1</sub> در جدول (۳) آورده شده است. همچنین شاخص APIR نیز در ستون آخر این جدول بیان شده است. این جدول به‌عنوان ماتریس تصمیم جهت رتبه‌بندی (مرحله چهارم) استفاده خواهد شد. وزن هر کدام از شاخص‌ها (W<sub>1</sub> الی W<sub>7</sub>) بر اساس تلفیق نظر سنجی خبرگان و روش آنتروپی شانون (روابط ۲ الی ۶) به‌دست آمده است به‌گونه‌ای مجموع اوزان برابر یک است (جدول ۴).

### مرحله چهارم

رتبه‌بندی ریسک‌ها بر اساس روش‌های SAW، TOPSIS و LA در سه ستون اول جدول (۵) ارائه شده است.

### مرحله پنجم

همانطور که مشاهده می‌شود رتبه‌بندی برخی از ریسک‌ها در سه روش فوق متفاوت است، بنابراین همانطور که گفته شد برای رسیدن به اجماع و نیز رتبه‌بندی جامع‌تر گزینه‌ها (ریسک‌ها)، تکنیک‌های میانگین، بردا و کپلند استفاده شده‌اند (جدول ۵).

جدول ۲. رتبه‌بندی ریسک‌ها بر اساس شاخص اولیه تجمیعی ریسک (APIR)

رتبه ریسک	APIR	PIR <sub>6</sub>	PIR <sub>5</sub>	PIR <sub>4</sub>	PIR <sub>3</sub>	PIR <sub>2</sub>	PIR <sub>1</sub>	شماره ریسک
۱۱	۰.۲۳۸	۰.۲۱۹	۰.۲۰۴	۰.۳۹	۰.۲۰۴	۰.۲۰۷	۰.۲۲۸	ریسک ۱ (R <sub>1</sub> )
۳	۰.۶۴۳	۰.۵۱۱	۰.۷۰۲	۰.۶۱۲	۰.۶۲۱	۰.۶۸۴	۰.۶۸۴	ریسک ۲ (R <sub>2</sub> )
۱	۰.۶۶۱	۰.۷۰۲	۰.۶۳۹	۰.۷۰۲	۰.۵۳۲	۰.۶۷۵	۰.۷۰۲	ریسک ۳ (R <sub>3</sub> )
۱۷	۰.۰۴۲	۰.۰۵۴	۰.۰۳۶	۰.۰۶۵	۰.۰۳	۰.۰۵۱	۰.۰۳۰	ریسک ۴ (R <sub>4</sub> )
۶	۰.۴۷۰	۰.۴۸۶	۰.۴۸۶	۰.۳۲۲	۰.۴۵۹	۰.۵۴۹	۰.۴۸۶	ریسک ۵ (R <sub>5</sub> )
۱۲	۰.۲۲۰	۰.۲۱۷	۰.۱۹	۰.۲۷۳	۰.۲۳۱	۰.۱۹۶	۰.۲۱۷	ریسک ۶ (R <sub>6</sub> )
۱۶	۰.۰۹۲	۰.۱۵۳	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۹۰	۰.۰۹۰	ریسک ۷ (R <sub>7</sub> )
۱۰	۰.۳۱۲	۰.۳۱	۰.۳۸۵	۰.۲۷	۰.۳۱	۰.۲۹۵	۰.۳۱۰	ریسک ۸ (R <sub>8</sub> )
۴	۰.۶۲۲	۰.۶۸۴	۰.۶۵۷	۰.۵۱۱	۰.۶۲۱	۰.۵۳۲	۰.۶۸۴	ریسک ۹ (R <sub>9</sub> )
۲	۰.۶۵۵	۰.۷۱۱	۰.۵۳۲	۰.۶۸۴	۰.۶۱۲	۰.۶۸۴	۰.۶۸۴	ریسک ۱۰ (R <sub>10</sub> )
۸	۰.۴۳۰	۰.۳۶	۰.۳۸۵	۰.۴۵۵	۰.۴۵۵	۰.۴۳۴	۰.۴۵۵	ریسک ۱۱ (R <sub>11</sub> )
۹	۰.۴۱۷	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۵۰۴	۰.۴۰۰	ریسک ۱۲ (R <sub>12</sub> )
۵	۰.۵۶۰	۰.۵۳۹	۰.۵۱۱	۰.۷۲	۰.۴۹	۰.۵۶۰	۰.۵۶۰	ریسک ۱۳ (R <sub>13</sub> )
۱۵	۰.۱۲۳	۰.۱۴	۰.۰۷۸	۰.۱۲۵	۰.۱	۰.۱۴۰	۰.۱۴۰	ریسک ۱۴ (R <sub>14</sub> )
۷	۰.۴۵۹	۰.۴۶۲	۰.۲۹	۰.۴۹	۰.۵۳۲	۰.۳۸۰	۰.۵۳۲	ریسک ۱۵ (R <sub>15</sub> )
۱۴	۰.۱۲۶	۰.۱۵۵	۰.۰۶۳	۰.۱۴	۰.۰۶۹	۰.۱۵۵	۰.۱۵۵	ریسک ۱۶ (R <sub>16</sub> )
۱۳	۰.۲۰۱	۰.۱۰۵	۰.۲۱	۰.۲۷	۰.۱۸۹	۰.۲۱۰	۰.۲۱۰	ریسک ۱۷ (R <sub>17</sub> )

جدول ۳. شاخص‌های تجمیعی تلفیق نظرات خبرگان

شماره ریسک	ASIR <sub>1</sub>	ASIR <sub>2</sub>	ASIR <sub>3</sub>	ASIR <sub>4</sub>	ASIR <sub>5</sub>	ASIR <sub>6</sub>	APIR
ریسک ۱ (R <sub>1</sub> )	۰.۲۴۰	۰.۱۶۰	۰.۸۷۳	۰.۸۷۳	۰.۱۲۷	۰.۴۶۷	۰.۲۳۸
ریسک ۲ (R <sub>2</sub> )	۰.۸۴۰	۰.۱۳۳	۰.۸۴۷	۰.۶۷۳	۰.۱۰۰	۰.۷۳۳	۰.۶۴۳
ریسک ۳ (R <sub>3</sub> )	۰.۸۴۷	۰.۴۷۳	۰.۸۴۰	۰.۵۳۳	۰.۱۳۳	۰.۴۷۳	۰.۶۶۱
ریسک ۴ (R <sub>4</sub> )	۰.۱۳۳	۰.۱۲۷	۰.۲۲۷	۰.۱۲۷	۰.۱۲۷	۰.۵۳۳	۰.۰۴۲
ریسک ۵ (R <sub>5</sub> )	۰.۱۰۰	۰.۸۷۳	۰.۸۷۳	۰.۸۷۳	۰.۱۰۰	۰.۳۳۳	۰.۴۷۰
ریسک ۶ (R <sub>6</sub> )	۰.۴۷۳	۰.۸۶۷	۰.۳۳۳	۰.۳۳۳	۰.۲۷۳	۰.۴۷۳	۰.۲۲۰
ریسک ۷ (R <sub>7</sub> )	۰.۶۷۳	۰.۴۷۳	۰.۸۶۷	۰.۸۶۷	۰.۱۰۰	۰.۷۲۷	۰.۰۹۲
ریسک ۸ (R <sub>8</sub> )	۰.۴۶۷	۰.۱۳۳	۰.۳۳۳	۰.۱۳۳	۰.۴۷۳	۰.۷۲۷	۰.۳۱۲
ریسک ۹ (R <sub>9</sub> )	۰.۷۰۰	۰.۲۷۳	۰.۸۷۳	۰.۷۳۳	۰.۱۰۰	۰.۵۶۰	۰.۶۲۲
ریسک ۱۰ (R <sub>10</sub> )	۰.۸۴۷	۰.۴۷۳	۰.۸۴۰	۰.۸۶۷	۰.۱۲۷	۰.۱۳۳	۰.۶۵۵
ریسک ۱۱ (R <sub>11</sub> )	۰.۶۷۳	۰.۲۷۳	۰.۹۰۰	۰.۷۳۳	۰.۱۰۰	۰.۸۷۳	۰.۴۳۰
ریسک ۱۲ (R <sub>12</sub> )	۰.۶۳۳	۰.۷۲۷	۰.۳۳۳	۰.۳۲۷	۰.۳۲۷	۰.۸۶۷	۰.۴۱۷
ریسک ۱۳ (R <sub>13</sub> )	۰.۸۶۷	۰.۸۷۳	۰.۷۳۳	۰.۶۷۳	۰.۱۰۰	۰.۸۷۳	۰.۵۶۰
ریسک ۱۴ (R <sub>14</sub> )	۰.۶۶۷	۰.۱۲۷	۰.۴۶۷	۰.۴۶۷	۰.۲۷۳	۰.۴۷۳	۰.۱۲۳
ریسک ۱۵ (R <sub>15</sub> )	۰.۸۱۳	۰.۲۴۰	۰.۶۴۷	۰.۶۴۰	۰.۳۰۰	۰.۶۴۰	۰.۴۵۹
ریسک ۱۶ (R <sub>16</sub> )	۰.۴۳۳	۰.۲۴۰	۰.۴۴۷	۰.۶۴۷	۰.۴۴۰	۰.۶۴۷	۰.۱۲۶
ریسک ۱۷ (R <sub>17</sub> )	۰.۸۴۰	۰.۱۲۷	۰.۶۲۰	۰.۶۳۳	۰.۱۲۷	۰.۶۴۰	۰.۲۰۱

جدول ۴. محاسبه وزن نهایی هر شاخص با تلفیق نظرات خبرگان و آنتروپی شانون

	ASIR <sub>1</sub>	ASIR <sub>2</sub>	ASIR <sub>3</sub>	ASIR <sub>4</sub>	ASIR <sub>5</sub>	ASIR <sub>6</sub>	APIR
$E_j$	۰.۹۶۳۳	۰.۹۱۵۴	۰.۹۷۴۶	۰.۹۶۶۵	۰.۹۳۸۶	۰.۹۷۹۰	۰.۹۳۶۶
$d_j$	۰.۰۳۶۷	۰.۰۸۴۶	۰.۰۲۵۴	۰.۰۳۳۵	۰.۰۶۱۴	۰.۰۲۱۰	۰.۰۶۳۴
$W'_j$	۰.۱۱۲۶	۰.۲۵۹۶	۰.۰۷۷۸	۰.۱۰۲۷	۰.۱۸۸۳	۰.۰۶۴۵	۰.۱۹۴۵
$W_j$	۰.۰۶۴۳	۰.۱۷۲۸	۰.۰۸۱۴	۰.۱۰۷۴	۰.۱۶۱۲	۰.۰۶۱۳	۰.۳۵۱۵

جدول ۵. رتبه‌بندی ریسک‌های ۱۷ گانه و تلفیق آنها

شماره ریسک	رتبه‌بندی			تلفیق		
	SAW	TOPSIS	LA	Average	Borda	Copland
۱ ریسک (R <sub>1</sub> )	۹	۹	۸	۱۰	۹	۹
۲ ریسک (R <sub>2</sub> )	۶	۶	۴	۵.۵	۶	۶
۳ ریسک (R <sub>3</sub> )	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۴ ریسک (R <sub>4</sub> )	۱۷	۱۶	۱۷	۱۷	۱۶.۵	۱۶
۵ ریسک (R <sub>5</sub> )	۳	۴	۲	۳	۲	۲
۶ ریسک (R <sub>6</sub> )	۱۱	۱۱	۱۲	۱۱	۱۱.۵	۱۰.۵
۷ ریسک (R <sub>7</sub> )	۱۴	۱۳	۱۴	۱۳	۱۱.۵	۱۲.۵
۸ ریسک (R <sub>8</sub> )	۱۶	۱۵	۱۳	۱۵	۱۵	۱۵
۹ ریسک (R <sub>9</sub> )	۴	۳	۳	۲	۴	۳.۵
۱۰ ریسک (R <sub>10</sub> )	۷	۱۰	۷	۴	۴	۳.۵
۱۱ ریسک (R <sub>11</sub> )	۱۰	۷	۹	۷	۷	۷
۱۲ ریسک (R <sub>12</sub> )	۱۵	۱۴	۱۵	۸	۱۱.۵	۱۰.۵
۱۳ ریسک (R <sub>13</sub> )	۵	۵	۵	۵.۵	۴	۵
۱۴ ریسک (R <sub>14</sub> )	۲	۱	۶	۱۴	۱۴	۱۴
۱۵ ریسک (R <sub>15</sub> )	۸	۸	۱۰	۹	۸	۸
۱۶ ریسک (R <sub>16</sub> )	۱۳	۱۷	۱۶	۱۶	۱۶.۵	۱۷
۱۷ ریسک (R <sub>17</sub> )	۱۲	۱۲	۱۱	۱۲	۱۱.۵	۱۲.۵

پس از تلفیق رتبه ریسک‌ها توسط هر سه روش میانگین، بردا و کپلند، باید نتایج با یکدیگر ادغام شده و رتبه‌بندی واحدی برای ریسک‌ها به‌دست آورده شود. این امر بر اساس تشکیل یک مجموعه رتبه‌بندی جزئی<sup>۱</sup> (Poset) انجام می‌شود [۵][۲۵]. در این راستا، اگر برای مسئله مورد نظر مجموعه اولویت‌ها را به صورت  $K = (O_1, O_2, O_3)$  بیان کنیم آنگاه:  $O_1$  (اولویت‌بندی ۱) بر اساس روش میانگین،  $O_2$  (اولویت‌بندی ۲) بر اساس روش بردا و  $O_3$  (اولویت‌بندی ۳) بر اساس روش کپلند، به‌صورت زیر به‌دست آمده‌اند:

1. Partially ordered set

$$O_1 : R_3 > R_9 > R_5 > R_{10} > R_2, R_{13} > R_{11} > R_{12} > R_{15} > R_1 \\ > R_6 > R_{17} > R_7 > R_{14} > R_8 > R_4 > R_{16}$$

$$O_2 : R_3 > R_5 > R_9, R_{10}, R_{13} > R_2 > R_{11} > R_{15} > R_1 \\ > R_{12}, R_6, R_{17}, R_7 > R_{14} > R_8 > R_{16}, R_4$$

$$O_3 : R_3 > R_5 > R_9, R_{10} > R_{13} > R_2 > R_{11} > R_{15} > R_1 \\ > R_{12}, R_6 > R_7 > R_{17} > R_{14} > R_8 > R_4 > R_{16}$$

تمامی عناصر  $O_1, O_2$  و  $O_3$  از مجموعه مشابهی هستند؛ یعنی  $S = \{R_1, R_2, \dots, R_{17}\}$  بدین ترتیب می‌توان اولویت‌بندی جزئی ریسک‌ها را در ۱۲ سطح به صورت جدول (۶) نمایش داد که در واقع رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها است و بر این اساس مدیریت پروژه باید پاسخ به ریسک‌های بحرانی (با رتبه بالاتر) را در اولویت قرار دهد.

جدول ۶. اولویت‌بندی جزئی ریسک‌ها در ۱۲ سطح

شماره سطح	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
شماره ریسک	$R_3$	$R_5$	$R_9, R_{10}$	$R_2, R_{13}$	$R_{11}$	$R_{15}$	$R_1$	$R_6, R_7, R_{12}, R_{17}$	$R_{14}$	$R_8$	$R_4$	$R_{16}$

### نتیجه‌گیری

رتبه‌بندی ریسک‌ها از ارکان مدیریت ریسک بوده و امکان ارائه پاسخ مناسب به هر ریسک را فراهم می‌کند. نتایج به‌دست آمده از روش کلاسیک ارزیابی ریسک واقع‌گرایانه نبوده و همچنین منجر به بروز خطای سیستماتیک می‌شود.

استفاده از روش ساختار شکست ریسک، امکان تعیین ریسک‌های پروژه‌های تونل‌سازی را فراهم نمود. شاخص‌های ارائه شده جهت اندازه‌گیری ریسک از یک طرف حوزه اثر ریسک را بر اهداف زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پوشش داده و از طرف دیگر اثرات اجتماعی اقتصادی، اثرات زیست محیطی، نزدیکی وقوع ریسک، میزان مواجهه با ریسک، عدم اطمینان تخمین و میزان مدیریت پذیری ریسک را نیز لحاظ می‌کنند.

ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک عملیات تونل‌سازی سد سیمره در جنوب غرب با استفاده از روش‌های LA، TOPSIS و SAW انجام شده است. با توجه به اینکه نتایج در مواردی با یکدیگر هم‌خوانی نداشت، از روش‌های ادغام و همچنین تکنیک رتبه‌بندی جزئی استفاده شده است. عوامل اقتصادی و ریسک‌های ناشی از تعهدات-ضمانت‌ها به‌ترتیب بیشترین و کمترین

رتبه ریسک را به خود اختصاص می‌دهند. نتایج رتبه‌بندی به دلیل در نظر گرفتن همزمان چندین شاخص، لحاظ نمودن وزن‌های متفاوت برای شاخص‌ها، تبادل بین شاخص‌ها و انعطاف‌پذیری روش از اعتبار کافی برخوردار هستند.

### منابع

۱. آذر عادل، رجب زاده علی (۱۳۸۷). تصمیم‌گیری کاربردی، تهران: نگاه دانش.
۲. اصغرپور محمدجواد (۱۳۷۷). تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۳. صیادی احمدرضا، حیاتی محمد (۱۳۸۸). تحلیل و کاربرد تکنیک‌های نوین شناسایی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی. پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه ۲۰ - ۲۱ مرداد، تهران.
۴. صیادی احمدرضا، حیاتی محمد، منجزی مسعود (۱۳۹۰). ارزیابی، رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک عملیات تونل‌سازی سد و نیروگاه سیمره با استفاده از روش ELECTRE. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن؛ ۶(۱۱)، بهار و تابستان: ۵۷-۶۹.
۵. طواری مجتبی، سوخکیان محمدعلی، میرنژاد سیدعلی (۱۳۸۷). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بهره‌وری نیروی انسانی با استفاده از تکنیک‌های MADM. نشریه مدیریت صنعتی؛ ۱(۱): ۷۱-۸۷.
۶. وفائی فرهاد (۱۳۸۶). طراحی یک مدل ریاضی برای اندازه‌گیری کارایی مدل‌های جبرانی MADM به کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها. رساله دوره دکترای مدیریت گرایش تحقیق در عملیات. دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
7. Baccarini D, Archer R (2001). The risk ranking of projects: a methodology. *International Journal of Project Management*; 19: 139-145.
8. Chapman C. B, Ward S. C (2003). *Project risk management: Processes, Techniques and Insights*, John Wiley, Second edition. UK: Chichester.
9. Duddeck H (1987). Risk assessment and risk sharing in tunneling. *Tunneling and Underground Space Technology*; 2: 315-317.
10. Ghosh S, Jintanapakanont 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*; 22:633-643.



11. Haimes Y. Y (2008). Risk modeling, assessment, and management. 3<sup>rd</sup> Edition. New York: John Wiley & Sons.
12. Hwang C, Yoon K (1981). Multiple attribute decision making methods and applications: a state of the art survey, New York: Verlag.
13. Isaksson T, Stille H (2005). Model for estimation of time and cost for tunnel projects based on risk evaluation. Rock mechanics. Rock engineering, Vol. 38 (5): 373-398.
14. ITA/AITES (2004). Guidelines for tunneling risk management: International Tunneling Association, Working Group No. 2. Tunneling and underground space technology, Vol. 19: 217-237.
15. 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](http://www.munichre.com/publications/tunnel_code_of_practice_en.pdf)
16. Klein J. H, Cork R. B (1998). An approach to technical risk assessment. International Journal of Project Management; 16(6): 345-351.
17. McDermott R. E, Mikulak R. J, Beauregard M. R (1996). The basics of FMEA, New York: Quality Resources.
18. Ng A, Loosemore M (2007). Risk allocation in the private provision of public infrastructure". International Journal of Project Management; 25: 66-76.
19. Pertmaster Software (2002). Pertmaster Project Risk V7.5: Tutorial, manual and help, Available on: <http://www.pertmaster.com/>
20. Pipattanapiwong J (2004). Development of multi-party risk and uncertainty management process for an infrastructure project, Doctoral dissertation, Japan, Kochi University of Technology. Available on: <http://www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/2003/g7/D/1056004.pdf>
21. PMI, Project Management Institute. (2004). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), Pennsylvania, USA: Newtown Square.
22. Pomerol J. C, Romero S. B (2000). Multi-criterion decision in management: Principles and practice, Netherlands: Kluwer Academic, Dordrecht.
23. Reilly J. J, Brown J (2004). Management and control of cost and risk for tunneling and infrastructure projects. Tunneling and Underground Space Technology; 19 (B18): 1-8.

24. Reilly J. J, Parker H. W (2007). Benefits and life-cycle costs of underground projects. Proceedings, AITES-ITA World Tunnel Congress, Prague; 1: 679–684.
25. 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, New York: Springer.
26. Sayadi A.R, Monjezi M, Hayaty M, Hosseinpour M (2010). Risk management in tunneling projects, Proceedings of International Conference on Environmental Science and Development, (CESD 2010), Singapore, 26-28 February.
27. Sayadi A.R, Monjezi M, Hayaty M (2011). Landslide risk assessment using Fuzzy TOPSIS method, Indan Landslide; 4 (1):35-38.
28. Shahriar K, Sharifzadeh M, Khademi H. J (2008). Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection in difficult ground conditions. Tunnelling and Underground Space Technology 23: 318-325
29. Thevendran V, Mawddesley M. J (2004). Perception of human risk factors in construction projects: an explanatory study. International journal of project management; 22: 131-137.
30. Wagner H (2006). Risk evaluation and control in underground construction. International symposium on underground excavation and tunneling. 2-4 February 2006, Bangkok: Thailand.
31. Waterland L. R, Venkatesh S, Unnasch S (2003). Safety and performance assessment of ethanol/diesel blends (E-Diesel). California: Cupertino.
32. Xu L, Liu G (2009). The study of a method of regional environmental risk assessment. Journal of environmental assessment, 90(11): 3290-3296.
33. Yogaranpan Y. M (1996). Risk Management, the Key to Success in Management of Construction Projects in General and Underground Projects in Particular, Project Manager, Australian Water Technologies Pty. Ltd. Available on: <http://www.ats.org.au/>