

ارائه رویکردی جهت ارزیابی ریسک در معادن روباز با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS و FAHP

احمد رضا صیادی^{۱*}، مسعود منجزی^۲، محمدرضا شریفی^۳

۱- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت خرداد ۹۲، پذیرش آذر ۹۳)

چکیده

معدنکاری به دلیل ویژگی‌های خاص خود از جمله صنایع پر-مخاطره بوده و ارزیابی ریسک یکی از مهم‌ترین مراحل مدیریت پروژه محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق ارائه رویکردی جهت شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در معادن روباز است. رتبه‌بندی یک مسئله تصمیم‌گیری چند شاخصه است. به منظور شناسایی ریسک‌ها از روش ساختار شکست ریسک و جهت رتبه‌بندی از روش Fuzzy TOPSIS استفاده شده است. در این راستا ابتدا ساختار جامعی از ریسک‌ها در معادن روباز در قالب ۲۰ سطح اصلی و ۱۱۷ زیر سطح تهیه شده است. سپس شاخص‌های متعددی شامل احتمال وقوع، اثر بر اهداف پروژه (زمان، هزینه، کیفیت و محدوده)، مدیریت‌پذیری، تناوب تکرار، میزان کشف، نزدیکی وقوع و سطح اطمینان ریسک جهت رتبه‌بندی عوامل ریسک تعیین گردید. از این رویکرد جهت ارزیابی ریسک معدن طلای زرشوران به عنوان بزرگ‌ترین معدن طلای کشور استفاده گردید. در این معدن ریسک‌های بازار، ژئوتکنیکی، اقتصادی و سیاسی به ترتیب به عنوان مهم‌ترین ریسک‌ها شناسایی شده‌اند.

کلمات کلیدی

معادن روباز، ارزیابی ریسک، ساختار شکست ریسک (RBS)، تصمیم‌گیری چند شاخصه

۱ - مقدمه

امروزه سرمایه‌گذاری در پروژه‌ها به شدت تحت تأثیر عوامل ریسک بوده و هر نوع تصمیم‌گیری لازم است با توجه به ریسک و مدیریت آن در پروژه اتخاذ گردد. بر اساس استاندارد مدیریت ریسک پروژه (PMBOK)^۱، ریسک عبارت است از عدم قطعیتی که می‌تواند تأثیری نامطلوب داشته باشد که در نهایت منجر به خسارت یا زیان می‌شود [۱]. بر اساس تعریفی مشابه ریسک یک اتفاق یا شرایط دارای عدم یقین است که اگر اتفاق بیفتد تأثیر مثبت یا منفی بر اهداف پروژه دارد یعنی شامل تهدیدها برای اهداف پروژه و هم فرصت‌ها برای ارتقای این اهداف است [۲].

مدیریت ریسک فرایند سامان‌یافته شناسایی، تجزیه و تحلیل و پاسخ به ریسک‌های پروژه به منظور بیشینه سازی نتایج و وقایع مثبت و حداقل کردن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی بر اهداف پروژه است. طبق استاندارد PMBOK، فرایند مدیریت ریسک دارای شش مرحله ۱. برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، ۲. شناسایی ریسک، ۳. تجزیه و تحلیل کیفی ریسک، ۴. تجزیه و تحلیل کمی ریسک، ۵. برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک و ۶. کنترل و بازبینی ریسک است [۳].

طراحی و اجرای پروژه‌های معدنی مستلزم سرمایه‌گذاری قابل توجهی بوده و جزء مخاطره‌آمیزترین پروژه‌ها محسوب می‌شوند، از این رو مدیریت ریسک در این پروژه‌ها حائز اهمیت است. شناسایی عوامل ریسک زا و آگاهی از میزان و نوع تأثیرات و رتبه‌بندی درست آن‌ها گامی اساسی در ارزیابی صحیح و پاسخ‌دهی به موقع به این ریسک‌ها شده و موجب کاهش زیان در نتیجه این رویدادها خواهد شد. در تحقیقات متعددی چگونگی ارزیابی ریسک در معادن بررسی شده است که به تعدادی از مطالعات انجام‌شده در دهه اخیر اشاره می‌گردد:

Steffen منابع ریسک در برنامه‌ریزی معادن روباز را شناسایی و به دو دسته کلی ریسک‌های فنی و مدیریتی تقسیم‌بندی کرده و روش آنالیز درخت رویداد را جهت اعمال مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی معدنکاری پیشنهاد می‌کند [۴]. روش‌های ارزیابی ریسک در انتخاب تجهیزات و طراحی عملیات معدنکاری توسط Joy مورد بحث قرار گرفته است. بدین منظور احتمال وقوع حادثه و حداکثر

تأثیر آن‌ها بر روی تجهیزات و تولید در ۵ دسته تقسیم و با ارائه ماتریس احتمال - اثر رتبه‌بندی ریسک‌ها انجام می‌شود [۵]. Arendsb و همکاران ضمن ارائه مدلی به منظور پیش‌بینی بودجه مدیریت ریسک‌ها در پروژه‌های حفاریات زیرزمینی، روش کیفی آنالیز ریسک را بررسی کرده‌اند [۶]. Duzgun و Einstein ارزیابی ریسک ریزش سقف معادن زیرزمینی زغال‌سنگ در ترکیه را بر اساس تناوب وقوع رخدادها ریزش سقف در طول سال، مورد بررسی قرار داده و دو مؤلفه اصلی رخداد و پیامد رخداد را در ارزیابی خود بکار برده‌اند [۷]. Heuberger با توجه به عدم قطعیت‌های زمین‌شناسی و اقتصادی برای یک کانسار طلا با استفاده از نرم‌افزار @risk به ارزیابی پروژه‌های معدنی بر مبنای روش جریان نقدینگی تنزیل یافته پرداخته و نشان می‌دهد که چگونه طراحان می‌توانند ایده‌ها و پیش‌بینی‌های بهتری از چگونگی تأثیر عدم قطعیت بر روی پروژه‌ها در آینده، ارائه دهند [۸]. Soons و همکاران چارچوبی جهت ارزیابی کیفی ریسک آتش‌سوزی در متروهای زیرزمینی ارائه کرده‌اند [۹]. Reilly و همکاران ضمن بررسی فرایند مدیریت ریسک در پروژه‌های زیرزمینی و ساخت تونل، هزینه و زمان طراحی و ساخت را نیز با لحاظ ریسک به صورت یک تابع احتمالاتی بیان کرده‌اند. در این تحقیق ضریب همبستگی و عدم وابستگی متغیرها (ریسک‌های مختلف) بررسی شده و تنها از دو شاخص مرسوم احتمال و اثر ریسک به منظور ارزیابی ریسک استفاده شده است [۱۰، ۱۱، ۱۲]. Evans و Brereton با اشاره بر اینکه یکی از محدودیت‌های روش مرسوم ارزیابی ریسک این است که بیشتر بر روی اجتناب از رخدادها منفی تمرکز دارند؛ تأکید دارد که از دیدگاه توسعه پایدار باید تأثیرهای مثبت نیز همان‌گونه لحاظ شود. آن‌ها تلاش کرده کرده‌اند تا روش جدیدی با لحاظ الزامات توسعه پایدار جهت استفاده در سه معدن زغال‌سنگ استرالیا توسعه دهند [۱۳]. Lian-guo عوامل اصلی که بر جاری شدن سیل در معدن زغال می‌گردد را در ۸ قلم شناسایی کرده و میزان خطر آن‌ها را در ۴ درجه طبقه‌بندی می‌کند [۱۴]. Fuentes ریسک‌های موجود در صنعت معدنکاری مس شیلی را طبقه‌بندی کرده و به استفاده از روش مونت‌کارلو با ارزیابی ریسک‌ها می‌پردازد [۱۵]. عطائی پور و دهقانی عدم قطعیت‌های

اکتشافی، اقتصادی و مهندسی را معرفی و به نقش آن‌ها در مرحله طراحی معدن پرداخته و به منظور از بین بردن یا کاهش ریسک به سطح قابل قبول، پیشنهادهایی را ارائه کرده‌اند [۱۶]. صیادی و همکاران ضمن شناسایی ریسک‌های پروژه‌های تونل‌سازی به ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها با استفاده از تکنیک‌های MADM در این پروژه‌ها پرداخته‌اند [۱۷، ۱۸، ۱۹]. همچنین در مقاله دیگری نیز با استفاده از روش Topsis Fuzzy ریسک زمین‌لغزش را ارزیابی نموده‌اند [۲۰]. این نویسندگان در تحقیق دیگر با استفاده از روش مونت کارلو، ارزیابی اقتصادی و تحلیل ریسک معدن مس سونگون را انجام داده‌اند [۲۱، ۲۲].

بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که تحقیقات جامع و گسترده‌ای که شامل تمام ریسک‌های موجود در معادن روباز شوند، انجام نشده و عموماً ریسک در زمینه‌های خاص در این حوزه بررسی شده است. همچنین می‌توان ملاحظه نمود که در اغلب این تحقیقات جهت ارزیابی ریسک، عمدتاً از دو شاخص «میزان تاثیر» و «احتمال وقوع» ریسک در قالب ماتریس احتمال - اثر ریسک^۲ استفاده شده است. برخی از محققین بر غیر قابل اطمینان بودن این رویه تاکید کرده‌اند [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۳]. یکی از دیگر مشکلات استفاده از ماتریس احتمال - اثر ریسک این است که اهمیت ریسک‌های با احتمال کم و اثر مهم نادیده گرفته می‌شود، چرا که طی این روش، ریسک‌هایی که احتمال زیاد و اثر غیر مهم دارند با ریسک‌هایی که احتمال کم و اثر مهم دارند معادل فرض می‌شوند [۲۴]. این در حالی است که جهت ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک، شاخص‌های دیگری نیز مؤثر بوده و در نظر گرفتن آن‌ها باعث نتایج واقعی و معتبرتر می‌شود.

در مواردی که با مجموعه قابل‌توجهی از متغیرها سروکار داشته و نیاز به اولویت‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری بر اساس اهمیت نسبی‌شان وجود داشته باشد، بهره‌گیری از نظر افراد مختلف، همراه با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه ابزاری مناسب جهت رتبه‌بندی و اتخاذ تصمیمات صحیح‌تر به شمار رفته [۲۵، ۲۶] و در ارزیابی ریسک عملیات تونل‌سازی نیز استفاده شده است [۱۷، ۱۸، ۱۹].

در این تحقیق رویکردی جهت ارزیابی ریسک در معادن روباز ارائه شده است. ارزیابی شامل شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌ها به ترتیب با استفاده از روش‌های ساختار شکست ریسک و Fuzzy TOPSIS است. در این راستا ابتدا ساختار جامعی از ریسک‌ها در معادن روباز در قالب ۲۰ سطح اصلی و ۱۱۷ زیر سطح تهیه و پرسشنامه‌ای جهت جمع‌آوری نظر خبرگان تبیین شده است. سپس شاخص‌های متعددی جهت ارزیابی عوامل ریسک تعیین گردید. وزن شاخص‌های ارزیابی به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی^۳ (AHP) تعیین شده است. از این رویکرد جهت ارزیابی ریسک معدن طلای زرشوران به عنوان بزرگ‌ترین معدن طلای کشور استفاده شده است.

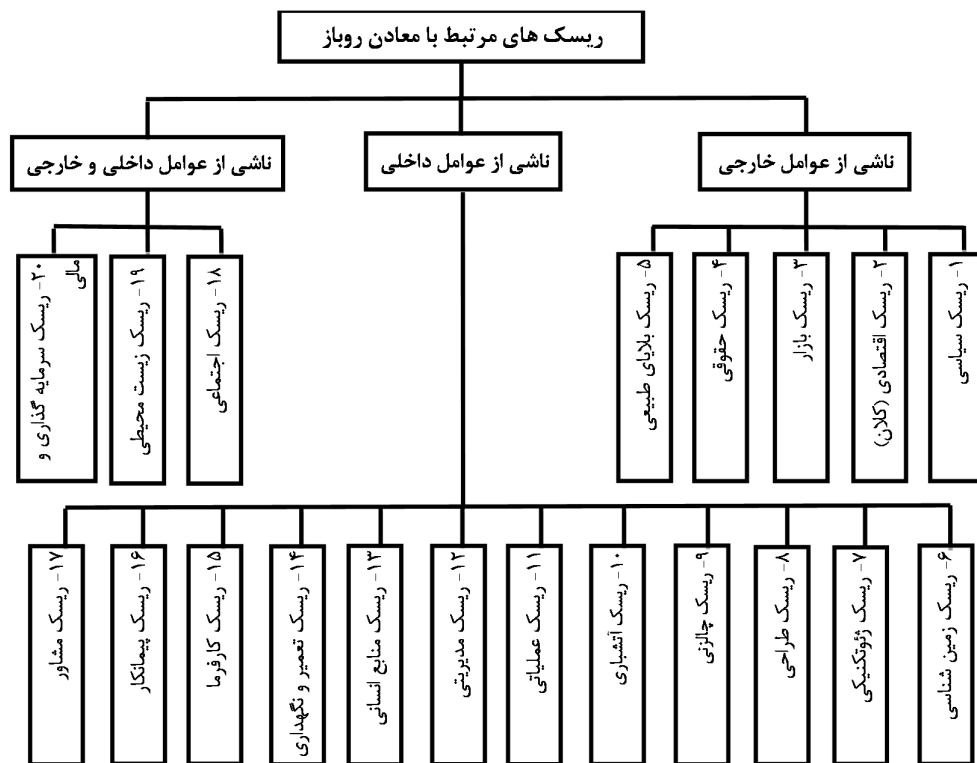
۲- شناسایی ریسک‌ها در معادن روباز

از زمان تعریف ساختار شکست ریسک^۴ (RBS) توسط هیلسون در سال ۲۰۰۲، این ساختار به عنوان یک ابزار کارا و مفید در مدیریت ریسک به کار گرفته شده و در بسیاری از استانداردهای مرتبط نظیر استاندارد PMBOK مورد استفاده قرار گرفته است. این ساختار تعریفی شبیه ساختار شکست کار^۵ (WBS) دارد.

با پایین رفتن در ساختار شکست، میزان جزئیات مربوط به عوامل تولید ریسک پروژه بیشتر می‌شود. بنابراین ساختار شکست ریسک یک ساختار سلسله مراتبی از ریسک‌های بالقوه است که می‌تواند کمک ارزشمندی به تعیین ریسک‌های پیش روی پروژه نماید. از این ساختار می‌توان به عنوان چارچوبی برای تعیین رتبه‌بندی مدیریت ریسک استفاده کرد [۲۷].

یک ساختار شکست عمومی ریسک می‌تواند برای شناسایی ریسک‌های پروژه کارساز باشد، اما الزاماً دربرگیرنده کلیه ریسک‌های پروژه نباشد. بنابراین بهتر است برای هر پروژه‌ای با توجه به ویژگی‌های خاص آن پروژه و صنعتی که به آن مرتبط است، نسبت به تهیه یک ساختار شکست ریسک مناسب اقدام نمود [۲۸]. ریسک پروژه‌های معدنکاری در دو دسته مرتبط با شرایط داخلی و خارجی قابل ارزیابی است. شرایط داخلی مرتبط با ذخیره و معدن بوده و شرایط خارجی به وسیله شرایط بیرونی معدن از قبیل تجارت و وضعیت بازار تعیین می‌گردد [۲۹].

بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که طبقه‌بندی عوامل ریسک در معادن روباز از جامعیت کافی برخوردار نبوده و تنها به مواردی از ریسک‌ها اشاره شد. با توجه به تنوع و تعداد زیاد ریسک‌هایی که معادن را تحت تأثیر قرار می‌دهند عملاً بدون یک روند سامانمند و صحیح جهت شناسایی و مدیریت آن‌ها، هر گونه اقدامی برای درک و مقابله با ریسک‌ها با مشکل مواجه می‌شود. استفاده از روش RBS می‌تواند به انجام این مهم کمک رساند، زیرا ابزار مؤثری جهت شناسایی هدفدار و طبقه‌بندی شده ریسک ارائه می‌دهد [۳۱ و ۱۸ و ۱۷]. لذا در این تحقیق مجموعه جامعی از ریسک‌هایی که معادن روباز با آن‌ها مواجه هستند، در ۳ دسته کلی ریسک‌های داخلی (۱۲ شاخه اصلی و ۳۳ زیرشاخه)، خارجی (۵ شاخه اصلی و ۶۸ زیرشاخه) و داخلی - خارجی (۳ شاخه اصلی و ۱۶ زیرشاخه)، بر اساس روش ساختار شکست ریسک ساختار یافته‌اند (شکل ۱ و پیوست ۱).



48

۳- تعیین شاخص‌های ارزیابی ریسک

عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت شاخص‌ها بر اساس جدول ۲ صورت می‌گیرد.

جدول ۲: طبقه‌بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها [۳۳]

مقایسه نسبی شاخص‌ها	اهمیت یکسان	اهمیت ضعیف	اهمیت قوی	اهمیت خیلی قوی	اهمیت مطلق	ترجیحات بین فواصل
امتیاز عددی	۱	۳	۵	۷	۹	۲ و ۴ و ۶ و ۸

با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، وزن نسبی عناصر محاسبه می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی بر اساس ماتریس مقایسه زوجی نظیر روش حداقل مربعات معمولی، حداقل مربعات لگاریتمی، بردار ویژه و روش‌های تقریبی وجود دارد که از بین این روش‌ها روش بردار ویژه دقیق‌تر است.

در این روش W_i به گونه‌ای تعیین می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد [۳۴].

$$AW = \lambda W \quad (1)$$

که در آن λ و W به ترتیب مقدار ویژه و بردار ویژه ماتریس مقایسه زوجی است. در حالتی که ابعاد ماتریس بزرگ‌تر باشد محاسبه این مقادیر بسیار وقت‌گیر است. لذا برای محاسبه λ مقدار دترمینان ماتریس $A - \lambda I$ مساوی با صفر قرار داده شده و با قرار دادن بزرگ‌ترین مقدار λ حاصله در رابطه ۲ مقدار W_i محاسبه می‌شود [۳۵، ۳۴].

$$A - \lambda_{\max} I = 0 \quad (2)$$

وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید. یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است که به عبارت دیگر همواره در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان سازگاری تصمیم را محاسبه نموده و نسبت به خوب و بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. یک ماتریس ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در ماتریس سازگار، محاسبه وزن ساده بوده و با استفاده از نرمال کردن تک‌تک ستون‌ها به دست می‌آید. در حالی که در ماتریس‌های ناسازگار علاوه بر محاسبه وزن، محاسبه مقدار ناسازگاری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. ساعتی عدد $0/1$ را به عنوان حد قابل قبول

با توجه به معایب ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک در روش مرسوم که تنها از دو شاخص احتمال و اثر استفاده می‌شود و در بخش مقدمه به آن اشاره شد؛ در این تحقیق با مرور ادبیات موضوع و برای ارزیابی بهتر و جامع از ریسک‌ها از ۱۰ شاخص استفاده شده است: احتمال وقوع^۶، اثر بر اهداف پروژه (زمان، هزینه، کیفیت و محدوده)^۷، مدیریت پذیری^۸، تناوب تکرار^۹، میزان کشف^{۱۰}، نزدیکی وقوع^{۱۱} و سطح اطمینان^{۱۲} (جدول ۱).

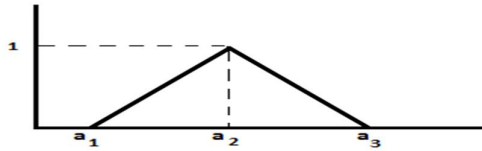
جدول ۱: شاخص‌های ارزیابی ریسک

شاخص‌ها	توضیح
احتمال وقوع	انتظار تخمین زنده از وقوع رویداد ریسک
اثر بر زمان	تأثیر منفی ریسک بر زمان پروژه
اثر بر هزینه	تأثیر منفی ریسک بر هزینه پروژه
اثر بر کیفیت	تأثیر منفی ریسک بر کیفیت پروژه
اثر بر عملکرد	تأثیر منفی ریسک بر عملکرد پروژه
مدیریت پذیری	توانایی سازمان در مدیریت و پاسخ به ریسک
تناوب تکرار	میزان تکرار و روبرو شدن با ریسک در پروژه
میزان کشف	توانایی سازمان در پیش‌بینی وقوع ریسک
نزدیکی وقوع	میزان نزدیکی زمانی وقوع ریسک در پروژه
سطح اطمینان	میزان اطمینان تحلیل گر از نتایج تخمین مقادیر ریسک

۴- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. این تکنیک بر اساس مقایسه زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. اولین قدم در این فرآیند ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله است که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. سطح یک در سلسله مراتبی هدف را نشان می‌دهد، در سطح دوم معیارهای مسئله مطرح شده و در سطح آخر، گزینه‌ها نشان داده می‌شوند [۳۲].

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. تخصیص امتیازات



شکل ۲: نمایش هندسی عدد فازی مثلثی

$$\tilde{A} (+) \tilde{B} = \{a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3\} \quad (4)$$

$$-\tilde{A} = \{-a_3, -a_2, -a_1\} \quad (5)$$

$$\tilde{A} (-) \tilde{B} = \{a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1\} \quad (6)$$

$$\tilde{A} (\times) \tilde{B} = \{a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3\} \quad (7)$$

$$\tilde{A} (:) \tilde{B} = \left\{ \frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1} \right\} \quad (8)$$

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{1/3 [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (9)$$

همچنین روش‌های متعددی برای تلفیق نظرات خبرگان با رویکرد فازی ارائه شده است که یکی از پر کاربردترین این روش‌ها به اختصار بدین صورت است [۳۶]: اگر تخمین فازی K تصمیم‌گیرنده به صورت زیر باشد:

$$\tilde{x}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}); i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

که i بیانگر گزینه (ریسک) i ام $i = 1, 2, \dots, m$ و j بیانگر معیار j ام $j = 1, 2, \dots, n$ است. بنابراین عدد فازی تجمیعی $(\tilde{x}_{ij})$ گزینه‌ها نسبت به معیارها بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (11)$$

که

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, b_{ij} = 1/K \sum_{k=1}^K b_{ijk}, c_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\} \quad \text{هستند.}$$

پس از ارائه مدل TOPSIS توسط هوانگ و یوان و همچنین با بهره‌گیری از نظریه مجموعه‌های فازی که توسط لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید، مدل‌های TOPSIS فازی زیادی توسعه داده شد. برای حل مدل‌های TOPSIS فازی می‌توان از انواع اعداد فازی استفاده کرد که بسته به نوع اعداد، محاسبات مدل تغییر می‌یابد. در ادامه روش حل TOPSIS فازی با اعداد فازی مثلثی که توسط چن در سال ۲۰۰۰ ارائه گردید، توضیح داده شده است [۳۶، ۳۵]:

مرحله اول: محاسبه ماتریس تصمیم‌گیری ($\tilde{D}$)

ارائه می‌نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدیدنظر گردد [۳۵، ۳۴]. شاخص ناسازگاری^{۱۳} (I.I.) سلسله مراتبی به توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

مقادیر شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی اختیار شده باشند محاسبه کرده‌اند و آن را شاخص ناسازگاری ماتریس تصادف^{۱۴} (I.I.R.) نام نهاده‌اند. برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I.) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.I.R.) هم بعدش معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری است که آن را نرخ ناسازگاری^{۱۵} (I.R.) می‌نامند. چنان چه این عدد کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر نمود [۳۴].

۵- روش TOPSIS فازی

زبان طبیعی^{۱۶} اغلب برای بیان قضاوت‌های غالباً ذهنی^{۱۷} غیرقطعی یا مبهم است. از آنجایی که کلمات کمتر از اعداد دقیق هستند، مفهوم یک متغیر زبانی پدیده‌هایی را که بسیار پیچیده‌اند یا به صورت ضعیفی با واژگان کمی معمول شرح داده شده‌اند را به صورت تقریبی توصیف می‌نماید. برای حل این گونه ابهامات، سر بسته بودن‌ها و ذهنی بودن قضاوت انسانی، نظریه مجموعه‌های فازی توسط لطفی‌زاده^{۱۸} معرفی گردید [۳۶].

به منظور توضیح بیش‌تر روش یادشده در ابتدا برخی تعاریف و اصطلاحات در زمینه منطق فازی ارائه می‌شود. یک عدد فازی مثلثی را می‌توان با سه‌تایی مرتب، $\tilde{A} = \{a_1, a_2, a_3\}$ نمایش داد که در آن a_2 محتمل‌ترین مقدار که دارای درجه عضویت یک است باشد و a_1 مقدار بدبینانه و a_3 مقدار خوش‌بینانه که دارای درجه عضویت صفر هستند. نمایش هندسی عدد مثلثی در شکل ۲ نشان داده شده است [۳۶، ۳۵].

اگر $\tilde{A} = \{a_1, a_2, a_3\}$ و $\tilde{B} = \{b_1, b_2, b_3\}$ دو عدد فازی مثلثی باشد، عملگرهای ریاضی بر روی این اعداد فازی به صورت روابط زیر خواهد بود:

گرم در تن تخمین زده شده که حاکی از وجود ۸۸ تن طلا است. این معدن جهت تولید سالیانه ۶۰۰ هزار تن و عمر ۲۰ سال طراحی شده است [۳۷].

ارزیابی و رتبه‌بندی عوامل ریسک این معدن در قالب ۵ مرحله زیر انجام شده است:

۱-۶- مرحله اول

به منظور جمع‌آوری نظرات خبرگان دو نوع پرسشنامه طراحی شده است:

پرسشنامه اول جهت تعیین اوزان اهمیت شاخص‌های ۱۰ گانه ارزیابی ریسک بر اساس مقایسات زوجی و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی بوده که در مرحله دوم شرح داده شده است. پرسشنامه دوم جهت ساخت ماتریس تصمیم و به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS تهیه شده و شامل ۲۰ سطر و ۱۰ ستون است. سطور این جدول شامل ریسک‌های ۲۰ گانه اصلی (شکل ۱) و ستون‌ها شامل شاخص‌های ۱۰ گانه موردنظر جهت ارزیابی ریسک بوده که در مرحله سوم شرح داده شده است.

نظرات ۱۰ نفر از خبرگان جمع‌آوری و امتیازدهی در خصوص میزان هریک از شاخص‌ها به ازای هر کدام از ریسک‌ها مطابق با طیف پنج‌گانه لیکرت^{۱۹} (خیلی کم، کم، ...، خیلی زیاد) انجام گرفته است. همچنین تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی، بر اساس طیف دو قطبی لیکرت مطابق جدول ۳ انجام گرفته است.

جدول ۳: طیف امتیازدهی به شاخص‌ها برای هر ریسک

میزان شاخص	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
امتیاز	۱	۳	۵	۷	۹

۲-۶- مرحله دوم

در این محله بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی اهمیت نسبی شاخص‌های ۱۰ گانه محاسبه شده است که به عنوان نمونه ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها ((یک ماتریس ۱۰*۱۰)) بر اساس نظرات یکی از خبرگان در جدول ۴ نشان داده شده است. در ادامه با استفاده از روش FUZZY AHP مقدار وزن هر کدام از شاخص‌ها را بر اساس نظرات هر کدام از خبرگان به دست آورده و با استفاده از رویکرد

مرحله دوم: نرمال کردن ماتریس تصمیم فازی ($\tilde{R}$). روش‌های مختلفی برای بی‌مقیاس سازی وجود دارد که در این تحقیق از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right); c_j^* = \max_i c_{ij}; \forall j^+ \quad (12)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right); a_j^- = \min_i a_{ij}; \forall j^-$$

مرحله سوم: محاسبه ماتریس بی‌مقیاس وزین ($\tilde{V}$). (رابطه ۱۳)

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot (\tilde{w}_j) \quad (13)$$

مرحله چهارم: محاسبه راه‌حل ایده‌آل مثبت فازی (FPIS) و راه‌حل ایده‌آل منفی فازی (FNIS) که با استفاده از روابط ۱۴ و ۱۵ صورت می‌پذیرد.

$$A_j^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+); \tilde{v}_j^+ = \max_i [v_{ij}]; i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$A_j^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-); \tilde{v}_j^- = \min_i [v_{ij}]; i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (15)$$

مرحله پنجم: محاسبه فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی. روش محاسبه به صورت رابطه زیر قابل بیان است:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+); i=1, 2, \dots, m \quad (16)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^m d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-); i=1, 2, \dots, m$$

مرحله ششم: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شاخص نزدیکی نسبی (C_i^+). به این معنی که هر چه گزینه‌ای دارای C_i^+ بالاتر باشد، آن گزینه دارای اولویت بالاتری نسبت به سایر گزینه‌ها است. رابطه زیر مقدار این کمیت را نشان می‌دهد.

$$C_i^+ = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad (17)$$

۶- مطالعه موردی

معدن طلای زرشوران در ۳۹ کیلومتری شهر تکاب و ۱۹۰ کیلومتری شهر زنجان واقع شده است. ذخیره کانسار ۱۱ میلیون و ۳۴۳ هزار تن مواد معدنی با عیار متوسط ۷/۹

فازی تلفیق نظرات خبرگان صورت گرفته و نتیجه آن در جدول ۵ قابل مشاهده است.

همچنین لازم به ذکر است که شاخص های احتمال وقوع، تناوب تکرار، نزدیکی وقوع، اثر بر زمان، اثر بر هزینه، اثر بر کیفیت و اثر بر محدوده دارای جنبه مثبت بوده بدین معنی که هر چه مقدار این شاخص های برای یک ریسک (بر اساس نظرات خبرگان) بیشتر باشد باعث افزایش میزان سطح بحرانی ریسک شده و در رتبه بالاتری (نزدیک به یک) قرار می گیرد و لازم است که سریع تر و بیشتر تحت اقدامات کاهشی مدیریت ریسک واقع شود. شاخص های مدیریت پذیری، میزان کشف و سطح اطمینان دارای جنبه منفی بوده و لذا هر چه مقدار این شاخص ها برای یک ریسک بیشتر باشد باعث کاهش میزان سطح بحرانی ریسک می شوند. جنبه مثبت و یا منفی شاخص ها در محاسبات مرحله سوم (Fuzzy TOPSIS) لحاظ می شوند.

۳-۶- مرحله سوم

در این مرحله بر اساس نظرات ۱۰ نفر از خبرگان پروژه و با توجه به طیف امتیازدهی لیکرت و همچنین روش تلفیق

نظرات خبرگان با رویکرد فازی، ماتریس تصمیم گیری فازی مطابق جدول ۶ حاصل شده است.

در ادامه با توجه به رابطه مربوط به نرمال کردن ماتریس تصمیم، ماتریس نرمال شده فازی مطابق جدول ۷ به دست آمده است.

۴-۶- مرحله چهارم

در این مرحله با توجه به اوزان اهمیت شاخص ها که با استفاده از روش AHP در مرحله دوم به دست آمد (جدول ۵) و نیز بر اساس جدول ۷ (فوق)، با توجه به رابطه ۱۳، ماتریس تصمیم نرمال شده وزن دار فازی به دست می آید (جدول ۸).

۵-۶- مرحله پنجم

در ادامه ضمن به دست آوردن ایده آل مثبت و منفی فازی برای هر کدام از شاخص ها (جدول ۹)، فواصل هر کدام از گزینه ها (ریسک ها) از نقاط ایده آل محاسبه شده و بر این اساس در نهایت شاخص شباهت ریسک ها طبق رابطه ۱۷ محاسبه شده که رتبه بندی ریسک ها با توجه به این شاخص انجام شده و نتایج در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۴: ماتریس مقایسه زوجی شاخص ها بر اساس نظرات یکی از خبرگان

اثر بر محدوده	اثر بر کیفیت	اثر بر هزینه	اثر بر زمان	سطح اطمینان	نزدیکی وقوع	میزان کشف	تناوب تکرار	مدیریت پذیری	احتمال وقوع
1.80	3.60	1.13	1.06	3.00	2.25	6.00	1.29	1.50	1.00
1.20	2.40	0.75	0.71	2.00	1.50	4.00	0.86	1.00	0.67
1.40	2.80	0.88	0.82	2.33	1.75	4.67	1.00	1.17	0.78
0.30	0.60	0.19	0.18	0.50	0.38	1.00	0.21	0.25	0.17
0.80	1.60	0.50	0.47	1.33	1.00	2.67	0.57	0.67	0.44
0.60	1.20	0.38	0.35	1.00	0.75	2.00	0.43	0.50	0.33
1.70	3.40	1.06	1.00	2.83	2.13	5.67	1.21	1.42	0.94
1.60	3.20	1.00	0.94	2.67	2.00	5.33	1.14	1.33	0.89
0.50	1.00	0.31	0.29	0.83	0.63	1.67	0.36	0.42	0.28
1.00	2.00	0.63	0.59	1.67	1.25	3.33	0.71	0.83	0.56

جدول ۵: وزن نهایی فازی شاخص ها (تلفیق نظرات خبرگان با رویکرد فازی)

شاخص	وزن فازی			شاخص	وزن فازی		
احتمال وقوع	0.88	0.94	1.00	سطح اطمینان	0.22	0.29	0.33
مدیریت پذیری	0.15	0.18	0.18	اثر بر زمان	0.88	0.94	1.00
تناوب تکرار	0.76	0.76	0.76	اثر بر هزینه	0.82	0.88	1.00
میزان کشف	0.67	1.00	1.00	اثر بر کیفیت	0.12	0.24	0.29
نزدیکی وقوع	0.35	0.41	0.53	اثر بر محدوده	0.41	0.53	0.53

جدول ۶: ماتریس تصمیم گیری فازی

اثر بر محدوده	اثر بر کیفیت	اثر بر هزینه	اثر بر زمان	سطح اطمینان	نزدیکی وقوع	میزان کشف	تناوب تکرار	مدیریت پذیری	احتمال وقوع	
۵	۴	۳	۲	۱	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱
۷	۵	۵	۳	۲	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۲
۶	۵	۳	۴	۱	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۳
۵	۲	۱	۴	۱	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۴
۵	۳	۳	۲	۱	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۵
۵	۳	۳	۳	۱	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۶
۵	۵	۳	۳	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۷
۷	۵	۳	۳	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۸
۳	۳	۱	۲	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۹
۵	۳	۳	۱	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۰
۵	۴	۱	۲	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۱
۷	۳	۳	۲	۱	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۲
۵	۲	۱	۲	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۳
۵	۴	۳	۲	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۴
۵	۳	۳	۲	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۵
۵	۴	۲	۳	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۶
۵	۲	۱	۲	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۷
۵	۲	۱	۲	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۸
۴	۳	۱	۲	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۱۹
۵	۳	۳	۱	۳	۹	۸	۷	۶	۵	ریسک ۲۰

جدول ۷: ماتریس تصمیم گیری نرمال شده فازی

اثر بر محدوده	اثر بر کیفیت	اثر بر هزینه	اثر بر زمان	سطح اطمینان	نزدیکی وقوع	میزان کشف	تناوب تکرار	مدیریت پذیری	احتمال وقوع	
0.556	0.444	0.333	0.110	0.222	0.333	0.110	0.222	0.333	0.600	ریسک ۱
0.778	0.556	0.556	0.333	0.333	0.778	0.429	0.429	0.600	0.889	ریسک ۲
0.667	0.556	0.333	0.444	0.110	0.778	0.714	0.769	0.1000	0.909	ریسک ۳
0.714	0.286	0.143	0.214	0.571	0.857	0.429	0.429	0.1000	0.857	ریسک ۴
0.714	0.429	0.429	0.143	0.357	0.429	0.200	0.286	0.1000	0.500	ریسک ۵
0.833	0.500	0.833	0.167	0.500	0.833	0.1000	0.500	0.667	0.714	ریسک ۶
0.714	0.714	0.714	0.429	0.429	0.714	0.1000	0.714	0.857	0.1000	ریسک ۷
0.875	0.625	0.625	0.375	0.750	0.875	0.1000	0.375	0.625	0.750	ریسک ۸
0.600	0.600	0.200	0.200	0.600	0.800	0.714	0.909	0.1000	0.600	ریسک ۹
0.833	0.500	0.167	0.250	0.500	0.167	0.1000	0.500	0.667	0.714	ریسک ۱۰
0.556	0.110	0.389	0.222	0.444	0.556	0.714	0.909	0.1000	0.556	ریسک ۱۱
0.778	0.333	0.333	0.278	0.110	0.833	0.714	0.769	0.1000	0.444	ریسک ۱۲
0.714	0.286	0.143	0.286	0.714	0.857	0.429	0.500	0.1000	0.429	ریسک ۱۳
0.833	0.792	0.500	0.417	0.167	0.833	0.600	0.667	0.1000	0.917	ریسک ۱۴
0.625	0.438	0.250	0.188	0.375	0.625	0.571	0.727	0.1000	0.875	ریسک ۱۵
0.625	0.500	0.313	0.125	0.375	0.625	0.714	0.909	0.1000	0.750	ریسک ۱۶
0.714	0.286	0.143	0.429	0.429	0.714	0.800	0.800	0.143	0.429	ریسک ۱۷
0.556	0.222	0.110	0.222	0.444	0.167	0.110	0.167	0.556	0.110	ریسک ۱۸
0.444	0.333	0.110	0.278	0.556	0.778	0.333	0.556	0.1000	0.778	ریسک ۱۹
0.556	0.333	0.333	0.110	0.110	0.778	0.667	0.769	0.1000	0.722	ریسک ۲۰

ریسک‌های اقتصادی و سیاسی رتبه پنجم را داراست و این امر حاکی از آن است که مدیریت ضعیف و عدم ارتباط مناسب گروه‌ها با هم و کنترل دقیق زمان و هزینه در زمان طراحی و اجرا می‌تواند منجر به شکست و تعطیلی معدن شود. در میان ریسک‌های کارفرما، پیمانکار و مشاور، ریسک‌های پیمانکار و مشاور اهمیت ناچیزی دارند. لازم به ذکر است که اگرچه برای حصول تمامی اهداف پروژه می-بایست کلیه ریسک‌های پروژه شناسایی و پاسخ‌دهی شوند، اما باید توجه داشت که شدت این ریسک‌ها با هم برابر

همان‌طور که از جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، ریسک ۳ (ریسک بازار) به عنوان بحرانی‌ترین ریسک و ریسک ۱۸ (ریسک اجتماعی) به عنوان پایین‌ترین ریسک از لحاظ میزان بحرانی بودن در معدن طلای زرشوران مشخص شده‌اند.

ریسک ژئوتکنیکی پس از ریسک بازار بحرانی‌ترین ریسک بوده که نشان می‌دهد در مرحله طراحی و عملیاتی معدن می‌بایست خطر شکست پله و ریزش دیواره معدن را با دقت زیر نظر گرفت. همچنین ریسک مدیریتی پس از

نیست، برخی نیاز به اقدام فوری و اضطراری بوده و برخی دیگر را می توان در بازه ی زمانی گسترده تری حل و فصل نمود. لذا انتخاب مهم ترین ریسک های پروژه و اقدام در جهت رفع آن ها یکی از ضروریات مدیریت ریسک است.

جدول ۸: ماتریس تصمیم گیری نرمال شده وزین (وزن دار) فازی

اثر بر محدوده	اثر بر کیفیت	اثر بر هزینه	اثر بر زمان	سطح اطمینان	تزدیکی وقوع	میزان کشف	تناوب تکرار	مدیریت پذیری	احتمال وقوع	ریسک
0.1370.2350.294	0.0130.0520.098	0.8240.8821.000	0.8240.9411.000	0.1330.1710.200	0.1960.2290.412	0.2220.5000.600	0.2550.5100.595	0.0920.1820.182	0.4900.7321.000	ریسک ۱
0.2290.2940.412	0.1630.1630.137	0.0390.0780.100	0.6410.7841.000	0.1220.2000.490	0.3200.4120.095	0.2860.4290.600	0.4250.5950.595	0.0920.1360.182	0.6860.8371.000	ریسک ۲
0.1370.2940.353	0.1050.1050.163	0.4580.6371.000	0.6271.0000.4580.637	0.1590.2200.333	0.3200.4120.159	0.4760.8331.000	0.5950.5950.595	0.1650.1820.182	0.6860.9411.000	ریسک ۳
0.1680.0590.151	0.0500.0500.170	0.8570.8570.017	0.3530.5670.857	0.1710.2000.378	0.4120.5290.133	0.2860.4290.429	0.6550.7650.765	0.1090.1820.182	0.5040.8071.000	ریسک ۴
0.1260.1760.378	0.0840.1260.176	0.5880.8191.000	0.8071.0000.5880.819	0.0820.3330.630	0.2940.3780.044	0.1330.3331.000	0.1090.2180.546	0.1090.1820.182	0.1260.2690.571	ریسک ۵
0.2450.2060.397	0.1570.2450.059	0.1370.4410.833	0.4710.8330.137	0.2040.2780.441	0.2060.0080.123	0.4170.7141.000	0.5100.7650.417	0.1820.1820.182	0.5880.7840.833	ریسک ۶
0.2100.2940.378	0.1010.2100.101	0.8570.8570.017	0.5040.8570.017	0.2380.3780.403	0.2040.2780.159	0.4761.0001.000	0.6550.7650.476	0.1300.1820.182	0.6300.9411.000	ریسک ۷
0.2570.3310.463	0.1100.2570.110	0.6620.8750.015	0.6620.8750.015	0.3330.5510.706	0.2860.3330.222	0.5561.0001.000	0.3820.4780.556	0.1300.1820.182	0.3310.5880.750	ریسک ۸
0.1180.0820.318	0.0240.0470.118	0.6000.6000.165	0.1760.3760.800	0.2380.3330.176	0.3180.1590.247	0.4760.9091.000	0.4590.6120.476	0.1400.1820.182	0.5290.5651.000	ریسک ۹
0.2060.2650.441	0.0390.0390.147	0.0200.0390.147	0.2350.5000.137	0.2480.3330.147	0.2060.3330.159	0.4760.7691.000	0.5100.7650.476	0.1300.1820.182	0.1470.4710.667	ریسک ۱۰
0.0460.2350.294	0.1630.1630.137	0.0500.0500.170	0.3430.5560.275	0.2860.3330.196	0.2940.4120.185	0.4760.9091.000	0.4670.5950.476	0.1300.1820.182	0.4900.5231.000	ریسک ۱۱
0.1370.2940.412	0.0980.1370.294	0.0650.0650.100	0.6410.7351.000	0.4900.7321.000	0.2200.3330.490	0.4760.7141.000	0.4250.5100.476	0.1520.2550.152	0.4900.7321.000	ریسک ۱۲
0.1180.3030.378	0.0840.1180.084	0.0340.0340.017	0.2520.7140.017	0.4030.7140.118	0.3330.4030.252	0.1710.3330.111	0.5000.7650.286	0.0780.0780.051	0.5040.8071.000	ریسک ۱۳
0.2060.4190.441	0.0980.1470.206	0.0200.0980.147	0.5150.8330.020	0.2940.4710.667	0.3330.2940.133	0.1180.2750.441	0.5740.6370.400	0.1360.3820.136	0.7350.8631.000	ریسک ۱۴
0.1030.2320.331	0.1100.1030.232	0.0440.1100.015	0.5150.7441.000	0.2670.5510.794	0.2670.1830.127	0.3810.7271.000	0.5740.6690.381	0.1040.1040.088	0.3310.5290.875	ریسک ۱۵
0.1030.2650.331	0.1470.1030.265	0.0740.1470.015	0.6250.0740.147	0.3750.1030.331	0.2600.3330.110	0.4760.8331.000	0.4780.6690.476	0.1520.1820.182	0.3310.7060.875	ریسک ۱۶
0.0590.1510.378	0.0840.0590.151	0.0340.0840.059	0.4290.0170.034	0.4290.1180.378	0.2670.1260.403	0.1010.1760.378	0.4370.5460.381	0.1040.1040.068	0.5040.6721.000	ریسک ۱۷
0.1310.0460.118	0.0520.1310.046	0.0130.0520.013	0.4440.0130.444	0.5560.0920.147	0.3330.0980.157	0.2290.3530.095	0.4290.4290.222	0.1090.1090.066	0.4900.7321.000	ریسک ۱۸
0.0460.1760.235	0.1630.1630.137	0.0650.0650.100	0.5560.0130.065	0.5230.7780.275	0.3330.2940.159	0.7140.8330.118	0.5950.5950.476	0.1820.1820.110	0.6860.7321.000	ریسک ۱۹
0.1370.1760.294	0.0260.0980.137	0.0630.0630.100	0.5490.6371.000	0.7320.4900.123	0.3330.2200.123	0.1180.1830.353	0.5950.3700.769	0.1300.1300.096	0.4900.6800.889	ریسک ۲۰

جدول ۹: ایده آل مثبت و منفی فازی برای هر کدام از شاخص ها

اثر بر محدوده	اثر بر کیفیت	اثر بر هزینه	اثر بر زمان	سطح اطمینان	تزدیکی وقوع	میزان کشف	تناوب تکرار	مدیریت پذیری	احتمال وقوع	ایده آل مثبت
0.4630.4630.463	0.2450.2450.245	1.0000.0000.000	1.0000.0000.000	0.3330.3330.333	0.5290.5290.529	1.0000.0000.000	0.7650.7650.765	0.1820.1820.182	1.0000.0000.000	ایده آل مثبت
0.0460.0460.046	0.0130.0130.013	0.0920.0920.092	0.0980.0980.098	0.0440.0440.044	0.0590.0590.059	0.1330.1330.133	0.1090.1090.109	0.0310.0310.031	0.1260.1260.126	ایده آل منفی

جدول ۱۰: شاخص شباهت و رتبه هر کدام از ریسک ها

RANK	CC	S ⁺	S ⁻	ریسک
4	0.6120	2.3862	3.7635	ریسک ۱
3	0.6127	2.3959	3.7900	ریسک ۲
1	0.6443	2.2761	4.1226	ریسک ۳
6	0.5782	2.7033	3.7060	ریسک ۴
14	0.5051	3.2926	3.3603	ریسک ۵
11	0.5578	2.8505	3.5955	ریسک ۶
2	0.6195	2.4104	3.9251	ریسک ۷
7	0.5782	2.6602	3.6464	ریسک ۸
13	0.5108	3.1386	3.2766	ریسک ۹
18	0.4652	3.4999	3.0440	ریسک ۱۰
16	0.4953	3.1769	3.1177	ریسک ۱۱
5	0.6059	2.5040	3.8492	ریسک ۱۲
15	0.5018	3.2482	3.2714	ریسک ۱۳
9	0.5771	2.6922	3.6745	ریسک ۱۴
8	0.5779	2.6697	3.6548	ریسک ۱۵
17	0.4919	3.2388	3.1349	ریسک ۱۶
19	0.4384	3.5521	2.7733	ریسک ۱۷
20	0.3825	3.9045	2.4183	ریسک ۱۸
12	0.5246	2.9325	3.2366	ریسک ۱۹
10	0.5692	2.7381	3.6180	ریسک ۲۰

۷- نتیجه گیری

مدیریت ریسک در پروژه های پرمخاطره نظیر معادن روباز از جمله اقدامات ضروری مدیریت ریسک است. در این تحقیق به دو مرحله اساسی مدیریت ریسک یعنی شناسایی و تعیین عوامل ریسک زا و رتبه بندی آن ها پرداخته شده است. شناسایی عوامل ریسک از طریق ارائه ساختار جامع شکست ریسک و رتبه بندی با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS انجام شده است.

این رویکرد علاوه بر ارائه فهرست کاملی از انواع ریسک (در ۲۰ سطح اصلی و ۱۱۷ زیر سطح) در معادن روباز، کاستی های روش مرسوم ارزیابی ریسک را نیز برطرف نموده است. در روش رتبه بندی Fuzzy TOPSIS علاوه بر معیارهای مورد استفاده در روش مرسوم (احتمال و اثر)، ۸ معیار جدید (اثر بر اهداف پروژه (زمان، هزینه، کیفیت و محدوده)، مدیریت پذیری، تناوب تکرار، میزان کشف،

coal industry", Int. J. Risk Assessment and Management, Vol. 7, No. 5, pp. 607-619.

[14] Wang, L.G; Miao, X.X; Dong, X; Wu, Y; 2008; "Application of quantification theory in risk assessment of mine flooding", Journal of China University of Mining and Technology, Vol.18, Issue 1, pp. 38-41.

[15] Fuentes, J.E; George, T; Whittikar, J; 2009; "Measuring and mitigating risk in mining operations", III International Conference on Mining Innovation, 2-9.

[16] Ataee-pour, M; Dehghani, H; 2010; "The Effect of Risk in Mine Planning State", 20 Iranian Global Congress on Mining.

[۱۷] صیادی، احمد رضا؛ حیاتی، محمد؛ آذر، عادل؛ (۱۳۹۰)؛

«ارزیابی و رتبه بندی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی با استفاده از روش تخصیص خطی»، مجله بین‌المللی علوم مهندسی، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحه ۳۸-۲۸.

[۱۸] صیادی، احمد رضا؛ منجزی، مسعود؛ (۱۳۹۰)؛ «ارزیابی، رتبه بندی و خوشه بندی ریسک در عملیات تونل‌سازی با استفاده از روش ELECTER»، مجله مهندسی معدن، جلد ۲۲، شماره ۱۱، صفحه ۶۹-۵۷.

[۱۹] صیادی، احمد رضا؛ منجزی، مسعود؛ حیاتی، محمد؛ (۱۳۹۰)؛ «مدیریت ساخت تونل با استفاده از روش تکنیک‌های MADM»، مجله مدیریت صنعتی دانشگاه تهران، دوره سوم شماره ۷، صفحه ۱۱۶-۹۹.

[20] Sayadi, A.R; Monjezi, M; Hayati, M; 2011; "Landslide Risk Assessment Using Fuzzy Topsiss Method", Indian Landslide, Vol.1, No.4, pp.35-38.

[۲۱] صیادی، احمد رضا؛ منجزی، مسعود؛ وحیدی، مهدی؛ (۱۳۸۶)؛ «ارزیابی اقتصادی و تحلیل ریسک معدن مس سونگون، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره دوم، شماره سوم، صفحه ۳۹-۲۱.

[22] Sayadi, A.R; Monjezi, M; Vahidi, M; 2006; "Sensitivity and risk analysis of critical technico-economical variables of sungun copper mine", Journal of mines, metals & fuels, Vol.55, No. 1-2, pp.11-18.

[23] Chapman, C.B; Ward, S.C; 2003; "Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights", Second edition, John Wiley, Chichester, UK.

[24] Pipattanapiwong, J; 2004; "Development of Multi-party Risk and Uncertainty Management Process for an Infrastructure Project", PhD Thesis, Kochi University of Technology.

[25] Larry, E.S; Jesse, R.R; Thompson, R.L; Iacovou, C.L; 2003; "Determining attribute weights using mathematical programming", Omega: The International Journal of Management Science, Vol. 31, No.6, pp. 423-437.

[26] Pimerol, J.C; Romero, S.B; 2000; "Multi criteria decision in management: principles and practice", Kluwer Academic Publisher.

نزدیکی وقوع و سطح اطمینان) ارائه شده است. همچنین برای ارزیابی واقع‌گرایانه، از منطق فازی جهت اعمال عدم قطعیت قضاوت خبرگان در تحلیل‌ها استفاده شده است.

استفاده از این رویکرد در شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه طلای زرشوران بیانگر کارایی مدل است. در این معدن ریسک‌های بازار، ژئوتکنیکی، اقتصادی و سیاسی به ترتیب به عنوان مهم‌ترین ریسک‌ها شناسایی شده‌اند.

۸- مراجع

[1] PMI; 2004; "Project management body of knowledge", Project management institute.

[2] OSPMI; 2007; "Project risk management handbook", Second Edition, Office of project management process improvement.

[3] PMBOK; 2004; "A Guide to project management body of knowledge", Project management institute.

[4] Steffen, O.K.H; 2007; "Mine planning – its relationship to risk management", ACG newsletter, Vol. 29, pp. 1-6.

[5] Joy, J; 2004; "Occupational safety risk management in Australian mining", Occupational medicine, Vol. 54, No. 5, PP. 311-315.

[6] Arendsb, G; et al.; 2004; "Risk budget management in progressing underground works", Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 19, Issue 1, pp. 29-33.

[7] Duzgun, H.S.B; Einstein, HH; 2004; "Assessment and management of roof fall risks in underground coal mines", Safety Science, vol. 42, Issue 1, PP. 23-41.

[8] Heuberger, R; 2005; "Risk analysis in the mining industry", The Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, PP. 75-80.

[9] Soons, C.J; Bosch, J.W; Arends, G; Gelder, P.H.A.J.M; 2006; "Framework of a quantitative risk analysis for the fire safety in metro systems", Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 21, Issue 3-4, pp. 6.

[10] Reilly, J.J; 2006; "Cost Estimating, Probable Cost, Risk Identification and Risk Management for Infrastructure Projects", Proceedings American Public Transportation (APTA) Conference.

[11] 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.

[12] Parker, H.W; Reilly, J; 2008; "Risk and Life Cycle Costs and Benefits for Underground Projects", Proceedings, North American Tunneling Conference, San Francisco, SME, Denver.

[13] Evans, R; Brereton, D; Joy, J; 2007; "Risk assessment as a tool to explore sustainable development issues: lessons from the Australian

[۳۶] آذر، عادل؛ رجب زاده، علی؛ (۱۳۸۷)؛ تصمیم‌گیری کاربردی (رویکرد MADM)، نشر نگاه دانش؛ تهران، چاپ ۳.

[۳۷] سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران؛ (۱۳۸۵)؛ گزارش امکان‌سنجی معدن طلای زرشوران.

-
- 1- Project Management Body of Knowledge
 - 2- Probability-impact risk rating matrix(I-P Matrix)
 - 3- Analytical Hierchy Processes
 - 4- Risk Breakdown Structure
 - 5- Work breakdown structure
 - 6- Event probability
 - 7- Impact on project objectives (time, cost, quality and performance)
 - 8- Manageability
 - 9- Continually repeating
 - 10-Exposure
 - 11-Proximity
 - 12-Confidence level
 - 13-Inconsistency Index
 - 14-Random Inconsistency Index
 - 15-Inconsistency Ratio
 - 16-Natural language
 - 17-Subjective
 - 18-Lotfi zadeh
 - 19-Likert Scale

[۲۷] اطمینانی مقدم، فرنوش؛ (۱۳۸۴)؛ “بررسی تحلیلی شناسایی ریسک‌های معمول در پروژه‌های ساختمانی”، دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، تهران.

[28] <http://lessons-learned.persianblog.com>

[29] Hillson, D. A., 2002; “Using the Risk Breakdown Structure (RBS) to Understand Risks”, Proceedings of the 33rd Annual Project Management Institute Seminars & Symposium, San Antonio, USA.

[30] Chinbat, U; Takakuwa, S; 2009; “Using simulation analysis for mining project risk management”, proceedings of the 2009 winter simulation conference, pp. 2612-2623.

[31] McDermott, R. E; Mikulak, R.J; Beauregard, M.R; 1996; “The basics of FMEA”, Second edition, Quality Resources, New York.

[۳۲] قدسی پور، سید حسن؛ (۱۳۸۱)؛ مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، تهران، چاپ سوم.

[33] Saaty T; Alexander J; 1981; “Thinking with models: Mathematical models in the physical, biological, and social sciences”, Pergamon Press, Oxford and New York.

[۳۴] اصغرپور، محمدجواد؛ (۱۳۹۰)؛ تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، چاپ نهم.

[۳۵] عطایی، محمد؛ (۱۳۸۹)؛ تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود؛ تهران، چاپ اول.

۹- پیوست

پیوست ۱: ساختار شکست ریسک های مرتبط با یک معدن روباز (سطوح دوم و سوم)

ریسک های ناشی از عوامل خارجی		ریسک	ورود آب
ریسک سیاسی	وقوع وقایع سیاسی (انقلاب، کودتا و ...)	ریسک ژئوتکنیک	ریزش دیواره معدن
	تهدیدات خارجی (جنگ و تحریم)		شکست پله
	وجود فساد اداری (رانت، رشوه و کلاهبرداری)		طراحی نامناسب ارتفاع پله
	احتمال ملی کردن معادن		طراحی نامناسب کاواک
	تغییر انتظارات حکومت		طراحی نامناسب پارامترهای چالزنی و آتشیاری
	تغییر در سیاست های داخلی و خارجی کشور		انتخاب نامناسب ناوگان ماشین آلات و تجهیزات
	عدم ثبات سیاسی منطقه		طراحی دیسپچینگ نامناسب ماشین آلات
	عدم ثبات سیاسی حکومت		جانمایی نامناسب دمپ باطله و ساختمانهای اداری و کارخانه فرآوری
ریسک اقتصادی	افت ارزش سهام	ریسک عملیات حفاری	طراحی نامناسب سیستم آبکشی
	افزایش قیمت های حامل های انرژی		حفاری نادقیق و سهل انگارانه
	عدم ثبات سیاست های اقتصادی دولت		پر شدن چال
	افزایش مالیات ها، عوارض و حقوق گمرکی		برخورد با توده های ریزشی
	تغییر نرخ بهره		ریزش چال
ریسک بازار	تغییر نرخ مبادله ارز	ریسک عملیات آتشیاری	گیر کردن و شکستن مته حفاری
	افزایش تورم		پرتاب سنگ
	فسخ قرارداد و تعهد منعقد شده		آتشیاری ناقص
	عدم توانایی مشتری در پرداخت بدهی		عقب زدگی
	عدم تجهیز و تأمین به موقع ماشین آلات، کالا و خدمات مصرفی		لرزش هوا و زمین
ریسک حقوقی	بالا رفتن قیمت تجهیزات و تأسیسات	ریسک عملیاتی	مناسب نبودن مواد ناریه
	بالا رفتن هزینه های حمل و نقل		برخورد با توده های آبدار
	نوسانات قیمت ماده معدنی		وضعیت و بازدهی نامناسب ماشین آلات
	ایرادات و ابهامات در قرارداد		مدیریت ضعیف شیفت
	مشاجرات حقوقی بزرگ (کلیم ها/ادعاها)		اجرای نامناسب دیسپچینگ
ریسک بلایای طبیعی	تغییر در شرایط بیمه	ریسک مدیریتی	نفوذ و نشت جریان آب سطحی و زیر زمینی
	استانداردها و الزامات محیطی		خرابی پمپ ها و لوله ها
	تغییر در قوانین و مقررات		سقوط مواد بر روی ماشین آلات داخل سایت
	عدم دریافت تأییدیه ها و مجوزها		سقوط ماشین آلات موجود در سایت
	خشکسالی (تغییر اقلیم آب و هوا)		تأثیر آتشیاری بر ساختمان ها و تأسیسات اطراف معدن
ریسک زمین شناسی	زلزله	ریسک انسانی	رعایت نکردن اصول آتشیاری در بستن سیم های چاشنی مدار
	سیلاب		حادثه و صدمه به کارکنان
	سیل		مدیریت ضعیف معدن
	طوفان شدید		عدم کنترل زمان و هزینه در حین طراحی و اجرا
	آتش سوزی		عدم ارتباط مناسب گروه ها با هم
ریسک های ناشی از عوامل داخلی		ریسک نیروی انسانی	کمبود نیروی ماهر
ریسک زمین شناسی	عدم قطعیت در تخمین شرایط هیدرولوژی و نفوذ آب		عدم ثبات کارکنان و کارمندان
	عدم قطعیت در تخمین ذخیره		نبود انگیزش کاری
	عدم قطعیت در تخمین عناصر مزاحم		اعتصابات و اغتشاشات داخل معدن
	عدم قطعیت در تخمین عیار		نبود اخلاق کاری

ادامه پیوست ۱: ساختار شکست ریسک های مرتبط با یک معدن روباز (سطوح دوم و سوم)

عدم تجربه و بازدهی اندک	ریسک تعمیر و نگهداری	ریسک پیمانکار	کاهش نقدینگی شرکت پیمانکار
ضعف در سیاست نگهداری و تعمیرات			نداشتن تکنولوژی و تجربه لازم
مشکلات تهیه قطعات یدکی و لوازم مورد نیاز مصرفی			انجام ندادن پروژه در موعد مقرر و پرداخت جریمه
پیچیدگی تکنولوژی ماشین آلات			تجاوز هزینه های پروژه از تخمین اولیه
نوع کارفرما (دولتی یا خصوصی)	ریسک کارفرما	ریسک‌های ناشی از عوامل داخلی - خارجی	
ثبات توان مالی کارفرما		ریسک اجتماعی	شرایط کاری پیمانکاران محلی
ضعف در مدیریت پروژه از طرف کارفرما			اعتصابات و اغتشاشات درون جامعه
عدم پرداخت مالی متناسب با پیشرفت			مزاحمت های جوامع پیرامون معدن
عدم ارتباطات مناسب جهت حل مشکلات موجود			محدودیت های قومی و منطقه ای
انتخاب روش اجرا (سه عاملی، طرح و ساخت، مدیریت اجرا)		ریسک	تغییر مقررات و سیاست های زیست محیطی
دخالت های کارفرما		زیست	ایجاد آلودگی های بهداشتی (آب و خاک)
تعطل در تصمیم گیری ها		محیطی	ایجاد آلودگی صوتی
روش مناقصه گذاری و انتخاب پیمانکار			ایجاد آلودگی هوا
پیش بینی نامناسب مدت زمان اجرای پروژه			خرابی سد باطله
بروکراسی موجود در سازمان کارفرمایی			ریسک سرمایه- گذاری و مالی
تغییر در محدوده کارها		روشهای نادرست تأمین مالی	
عدم اشراف کامل بر شرایط و مقررات پیمان	عدم تأمین به موقع منابع مالی		
تعطل در تصویب نقشه های اجرایی	ناقص بودن پلان هزینه		
کنترل و نظمین کیفیت	ورشکستگی مالی و بودجه ای		
انتظارات جهت تایید نتایج آزمایشات و تحقیقات	سرمایه گذاری غیر مفید		
برآورد ناکافی هزینه اجرای پروژه		پیش بینی جریان های نقدینگی و عدم تطابق با موجودی سرمایه	