اولویت‌بندی ریسک‌های زمین‌شناسی در تونل‌سازی مکانیزه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی

سیدرسول رمضان‌نیا [1G]، محمد عطایی [2]، حسین میرزائی نصیرآباد [3]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- استاد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

(دریافت: تیر ۱۳۹۴، پذیرش: اسفند ۱۳۹۴)

چکیده

پروژه‌های زیرزمینی و زیرساختی عموماً پروژه‌های پیچیده با متغیرهای زیادی از جمله شرایط متغیر و نامطمئن زمین و آب‌های زیرزمینی بوده و اطلاعات حاصله اکثراً به صورت غیرمستقیم به دست می آیند. این شرایط ریسک‌های قابل توجهی را بر تمام اجزای پروژه حتی قسمت‌هایی که به صورت غیرمستقیم با پروژه در ارتباط هستند، وارد آورده و منجر به صرف هزینه‌های زیاد و تأخیرات زمانی در انجام پروژه می‌شود. مدیریت درست و به موقع این ریسک‌ها موجب حداقل کردن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی بر اهداف پروژه می‌شود. رتبه‌بندی با فراهم آوردن امکان پاسخ‌دهی به موقع به همه‌ی ریسک‌ها، کمک شایانی به انجام هرچه موفق‌تر فرآیند مدیریت ریسک می‌نماید. در این مقاله به اولویت‌بندی ریسک در تونل‌سازی مکانیزه با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی در محیط های سنگی پرداخته شده است. به منظور این اولویت‌بندی ابتدا ریسک‌های زمین‌شناسی شناسایی و عوامل مؤثر بر آن تعیین شده است. این محاسبات در ۱۹ پهنه به صورت مجزا انجام و در نهایت ۳ ریسک به عنوان ریسک بالا (اصلی) در هر پهنه مشخص شده است. نتایج تحلیل‌ها نشان می دهد نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها و نشت و هجوم آب به داخل تونل به ترتیب مهم‌ترین مخاطره‌های موجود در این تحقیق هستند.

واژگان کلیدی

ریسک‌های زمین‌شناسی، مدیریت ریسک، تونل‌سازی مکانیزه، شباهت به گزینه ایده‌آل فازی

ارجاع به این مقاله:

رمضان نیا، ر.، عطایی، م.، میرزائی نصیرآباد، ح.، (۱۳۹۴)، اولویت‌بندی ریسک‌های زمین‌شناسی در تونل‌سازی مکانیزه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۵(۱۰)، ۴۹-۶۲.

G عهده دار مکاتبات: rasol.ramzannia@gmail.com

۱- مقدمه

تونل‌سازی و عملیات ساختمانی زیرزمینی در همه قسمت‌های درگیر در پروژه، تحت تأثیر ریسک بوده و عدم قطعیت‌های بی‌شماری طراحی سازه‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده است. ریسک پروژه‌های تونل‌سازی (خصوصاً تونل‌های آب رسان به دلیل طول عمر بسیار زیاد) همواره قابل توجه بوده و از طریق مدیریت مناسب می‌توان احتمال وقوع یا تأثیر پیامدهای نامطلوب آن ها را کاهش داد. از جمله علل اصلی طولانی شدن و افزایش هزینه‌های پروژه‌های تونل‌سازی، مدیریت ناقص و ضعیف، به‌ویژه مدیریت ریسک گزارش شده است[۲، ۱].

امروزه مدیریت ریسک بخش مهم و مستقل در طراحی و ساخت هر سازه‌ی زیرزمینی بزرگ بوده و مزایای آن نیز در سیستم مدیریت پروژه مشخص شده است. ارزیابی ریسک یکی از ارکان مدیریت ریسک بوده و با توجه به ماهیت نامطمئن پروژه‌های تونل‌سازی و لزوم صرف بهینه منابع، با اهمیت است. هدف از ارزیابی ریسک، اندازه‌گیری ریسک‌ها بر اساس شاخص‌های مختلفی از قبیل میزان تأثیر و احتمال وقوع است. رتبه‌بندی ریسک‌ها، قسمت کلیدی این فرآیند به شمار می‌رود زیرا با انجام این رتبه‌بندی، ارجحیت هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها تعیین شده و در نتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای پاسخ به هر ریسک برنامه‌ریزی نماید[۳].

جعفری و همکاران ضمن ارایه‌ی تقسیم‌بندی‌های مختلفی از ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی، مناسب‌ترین تقسیم‌بندی، انتخاب و نحوه‌ی تأثیرگذاری آنها در فازهای مختلف یک پروژه تونل‌سازی را مورد بررسی قرار دادند. آنها برای شناسایی ریسک‌ها از روش‌های طوفان ذهنی و مصاحبه استفاده کرده و برای ارزیابی آنها استفاده از ماتریس ریسک را توصیه‌کرده‌اند[۴]. صیادی و همکاران در پژوهش خود جهت استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، مجموعه‌ی نسبتاً کاملی از معیارها را معرفی و ریسک‌های مرتبط با عملیات تونل‌سازی سد سیمره در جنوب غرب ایران را ارزیابی و رتبه‌بندی کرده‌اند. آنها جهت تعیین رتبه‌بندی ریسک‌ها از روش‌های تخصیص خطی، شباهت به گزینه ایده آل و میانگین وزنی ساده استفاده کرده‌اند[۵]. حیاتی و صیادی از روش ماتریس احتمال- اثر ریسک که یکی از مهم‌ترین ابزارها برای ارزیابی و رتبه بندی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی است، استفاده کرده‌اند. در این تحقیق تعیین فاکتورهای ورودی (میزان احتمال وقوع و میزان اثرگذاری ریسک بر اهداف اصلی پروژه) توسط خبرگان صورت گرفته و از منطق فازی به عنوان ابزاری مکمل برای انجام یک تجزیه و تحلیل سازگار و منطقی ریسک استفاده شده است[۶]. نظارت و همکاران با توجه به اهمیت موضوع مخاطرات زمین‌شناسی و هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه ابتدا به بررسی مشکلات ناشی از ریسک‌های مذکور پرداخته و سپس راهکارهای پیشگیری و مقابله با هر ریسک را ارایه داده‌اند[۷]. رایلی و براون در سال ۲۰۰۴ با شناسایی برخی از ریسک‌های بالقوه با اثرات مثبت و منفی در پروژه‌های تونلی و زیرساختی، برای ارزیابی ریسک از توزیع احتمالاتی، روش مرسوم احتمال و اثر به منظور تخمین دقیق‌تر زمان و هزینه‌ی پروژه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها استفاده کرده‌اند[۸]. هرنکخت و باپلر در سال ۲۰۰۶ پاسخ به ریسک‌ها را برای کنترل و مدیریت آنها در عملیات حفاری تونل در مرکز شهر تحت شرایط پیچیده‌ی زمین مورد بررسی قرار داده‌اند[۹]. شهریار و همکاران در سال ۲۰۰۸ رویکرد جدیدی برای به حداقل رساندن ریسک‌های ژئوتکنیکی با استفاده از درخت تصمیم گیری ارایه داده‌اند و از تعریف مرسوم ریسک یعنی حاصل‌ضرب احتمال در اثر یک رخداد به منظور ارزیابی ریسک بهره برده‌اند[۱۰]. یانهای و همکاران در سال ۲۰۰۹ برای پیش‌بینی و جلوگیری از هجوم آب در هنگام احداث تونل از مدل فازی برای تشخیص خطرات بالقوه و اندازه‌گیری ریسک استفاده کرده‌اند[۱۱]. حمیدی و همکاران در سال ۲۰۱۰ با توجه به عوامل و ریسک ژئوتکنیکی برای انتخاب دستگاه حفاری از روش *AHP* فازی به عنوان یک ابزار مهم در تصمیم‌گیری بهره برده‌اند[۱۲]. برد در سال ۲۰۱۰ چگونگی طراحی و ارزیابی ریسک تونل را مطرح کرده و در مورد پذیرش ریسک و مدیریت ایمنی و اتخاذ تصمیم مناسب و معیارهایی که برای پذیرش ریسک مناسب‌تر است را مورد بررسی قرار داده است[۱۳]. فولادگر و همکاران در سال ۲۰۱۱ از *TOPSIS* فازی برای رتبه‌بندی ریسک پروژه انتقال آب دشت ذهاب به عنوان یک ابزار مفید در حضور عدم قطعیت‌ها استفاده کرده‌اند[۱۴].

قابل مشاهده است کـه در ایـن تحقیقـات عمـدتاً از دو شاخص «احتمال وقوع» و «میزان تاثیر» ریسـک در قالـب ماتریس احتمال ـ اثر ریسک اسـتفاده شـده اسـت. یکـی از مشکلات استفاده از ماتریس احتمال ـ اثر ریسک این اسـت که در آن ممکن است اهمیت ریسک‌های با احتمـال کـم و اثرگذاری زیاد نادیده گرفته شود، چرا که طی ایـن تکنیـک، ریسک‌هایی که احتمـال زیـاد و اثرگـذاری کمـی دارنـد بـا ریسک‌هایی که احتمال کم و اثر مهـم دارنـد معـادل فـرض شوند که این لزوماً نظر تصمیم‌گیرنده نیست. یکـی دیگـر از مشکلات استفاده از مـاتریس احتمـال ــ اثـر ریسـک عـدم امکان تخصیص وزن‌های متفاوت برای معیارها است. لـذا در این تحقیـق بـرای ارزیـابی و رتبـه‌بنـدی ریسـک جـامع و کامل‌تر، علاوه بر احتمال وقوع و میزان تـأثیر شـاخص‌هـای دیگری نظیر توانایی سازمان در واکنش بـه ریسـک و عـدم اطمینان از تخمین به عنوان پارامتر تأثیرگذار در محاسـبات مـدنظر بـوده و بـرای ایـن منظـور یکـی از روش‌هـای تصمیم‌گیری چند شاخصه با استفاده از نظر خبرگان مـورد استفاده قرار گرفته است.

۲- ریسک

در منابع مختلـف تعـاریف متعـددی از ریسـک صـورت پذیرفته که در ادامه به ۲ مورد از این تعـاریف اشـاره شـده است:

انجمـن مـدیریت پـروژه (*PMI*[1])، ریسـک را ایـن‌گونـه تعریف می‌نماید: «یک رویداد یا وضعیت غیرقطعی است که در صورت وقوع، اثری مثبت یا منفی بر اهداف پروژه خواهد داشت» در این تعریف به ریسک نه به عنوان خطر بلکـه بـه صورت عدم قطعیت نگریسته شده است که دارای دو جنبـه مثبت (فرصت) و منفی (تهدید) است[۱۵].

انجمن مـدیریت پـروژه انگلسـتان (*APM*[2])، ریسـک را ایـن‌گونـه تعریـف مـی‌نمایـد: «رویـداد ریسـک، رویـدادی نامطمئن است و هنگامی که این رویـداد رخ دهـد، بـر روی دستیابی به یک یا تعـداد بیشـتری از اهـداف پـروژه تـأثیر می‌گذارد»[۱۶].

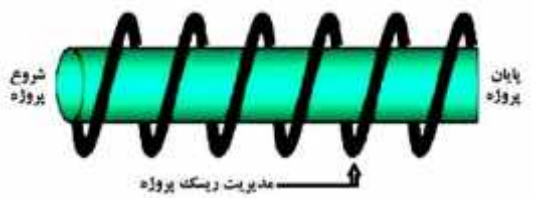
۳- مدیریت ریسک

برای مدیریت ریسک نیـز ماننـد واژه ریسـک، تعـاریفی ارایه شده است که البته همه دربرگیرنـده مفهـومی یکسـان هستند و تمرکز روی فرایند مدیریت ریسک دارند، در ادامه به چند مورد از این تعاریف اشاره شده است:

طبق تعریف انجمـن مـدیریت پـروژه (*PMI*)، مـدیریت ریسک شامل فرآیندهای برنامـه ریـزی، شناسـایی، تحلیـل، برنامه‌ریزی پاسـخ و کنتـرل ریسـک پـروژه اسـت. در واقـع می‌توان هدف از مدیریت ریسـک را افـزایش احتمـال و اثـر وقایع مثبت و کاهش احتمال و اثـر وقـایع منفـی در پـروژه دانست. لازم به ذکر است فرآیندهای یـاد شـده بـا یکـدیگر همپوشانی داشته و در تعامل هستند[۱۵].

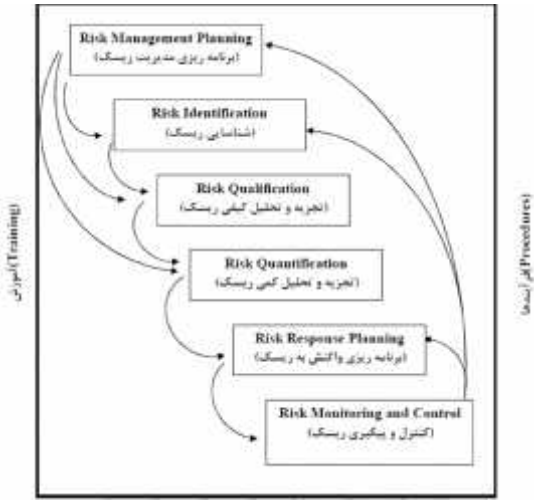
از نظـر انجمـن مـدیریت پـروژه انگلسـتان (*APM*)، مدیریت ریسک «یـک فراینـد نظـام‌منـد اسـت کـه اجـازه می‌دهد تا رویدادهای انفرادی ریسک و ریسک کلـی پـروژه به خـوبی درک شـود و کارهـای پیشـگیرانه بـا بـه حـداقل رساندن تهدیدها و حداکثر رساندن فرصت‌ها برای مـدیریت بهتر پروژه صورت پذیرد»[۱۶].

هدف از مدیریت ریسک، شناخت ریسک قبـل از وقـوع آن، اجـرای راهبردهـای مقابلـه‌ای بـا آن و در نظـر گـرفتن طرح‌های احتمالی در صورت وقوع ریسـک اسـت تـا اثـرات احتمالی آنها را کاهش دهد. طبق اصـول مـدیریت ریسـک، این الگوریتم یک مرحله ای نبوده و چرخه‌ی فرآینـد آن بـه تعدد طی می‌شود و در هـر چرخـه، بهبـود حاصـل شـده و برنامه مـدیریت ریسـک بـه‌روز مـی‌شـود. شـکل ۱ فرآینـد مدیریت ریسک را نشان می‌دهد[۱۸، ۱۷].



شکل ۱: تأکید بر پیوستگی، روبه جلو بـودن چرخـه‌ی مـدیریت ریسک، در تمام طول پروژه [۱۸]

از بین مدل‌هایی که برای مدیریت ریسـک ارایـه شـده، مدل *PMBOK*[3] از طرفداران بیشتری برخوردار است و بـه عنوان استاندارد مدیریت پروژه در اکثر سازمان‌هایی کـه بـا ریسک در ارتباط هسـتند، مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیـرد. فرآیند مدیریت ریسک بر اساس الگوی *PMBOK* در شکل ۲ آمده است[۱۹].



شکل ۲: فرآیند مدیریت ریسک *PMBOK* [۱۹]

۴- مدیریت ریسک در تونل‌سازی

پروژه‌های تونل‌سازی از جمله مواردی است که با استفاده از روش‌های سیستماتیک در مدیریت خود توانسته است به نتایج منطقی‌تری دسترسی پیدا کند. با توجه به حساسیت بالای عملیات اجرایی یک پروژه تونل و خسارات هنگفت وارده که ناشی از ضعف در قسمت مدیریت پروژه است، کاربرد مدیریت ریسک به عنوان جز لاینفک تونل‌سازی، ضروری به شمار می‌آید که در نتیجه کلیه افراد مرتبط با پروژه اعم از کارفرما، پیمانکار و مشاور مدیریت ریسک را به صورت رسمی و از پیش تعیین شده و یا به صورت غیررسمی و بدون اختصاص بودجه یا شاخه فعالیتی مستقل در این زمینه، پذیرفته و اجرا می‌کنند[۱۵].

ریلی و برواون در سال ۲۰۰۴ ریسک‌های مرتبط با طرح‌های تونل‌سازی را این چنین برشمرده‌اند [۲۰]:

- ریسک آسیب یا نقصان‌های با پتانسیلی برای مرگ و جراحت کارکنان، خطرات اقتصادی و تجهیزاتی زیاد و از دست دادن اعتبار برای افراد درگیر.
- ریسک عدم دستیابی به استانداردها و معیارهای تعیین شده در طراحی، عملیات، پشتیبانی و کیفیت
- ریسک‌های یک تأخیر مهم در اتمام پروژه و آغاز عملیات درآمدزایی آن
- ریسک‌های افزایش جدی در هزینه‌های پروژه و پشتیبانی آن

واگنر در تقسیم‌بندی خود ۴ نوع ریسک را برای پروژه‌های تونل‌سازی شناسایی می‌کند که عبارت‌اند از [۲]:

- ریسک‌های ساخت و طراحی
- ریسک‌های درآمد و تقاضا
- ریسک‌های عملیات و نگهداری
- دیگر ریسک‌ها (مانند تغییرات در قانون، مالیات و...)

۴-۱- ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک بخش مهمی از فرآیند مدیریت ریسک است که به موجب این ارزیابی، ریسک‌های پروژه رتبه‌بندی شده و ریسک‌های با اولویت بالاتر برای واکنش سریع‌تر مشخص می‌شوند تا با مدیریت درست و به هنگام از عواقب این ریسک‌ها (در جهت مقابله یا کاهش) بر فرآیند پروژه جلوگیری به عمل آید. با این رتبه‌بندی، تجزیه و تحلیل‌های مورد نیاز بعدی مشخص شده و حدود کار تعیین می‌شود.

به منظور ارزیابی ریسک، روش‌های مختلفی معرفی شده است. روش‌های تحلیل درخت خطا[۴]، تحلیل درخت رویداد[۵]، تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن[۶]، شبیه‌سازی مونت کارلو و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مهم ترین روش‌های ارزیابی ریسک هستند. لازم به ذکر است تمامی روش‌های بیان شده در حالت فازی نیز قابل حل است، به همین دلیل این روش به تنهایی نام برده نشده است. در این مقاله به منظور ارزیابی ریسک از روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل فازی که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی است استفاده شده است.

۴-۲- روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

به مجموعه فنونی اطلاق می‌شود که به دنبال ارزیابی راه‌حل‌های ممکن بر اساس بیش از یک معیار (چند معیار)، برای انتخاب بهترین راه حل است. برای رتبه‌بندی ریسک‌ها با استفاده از این فنون باید در ابتدا، ریسک‌های مختلف شناسایی و معیارهای مختلف جهت ارزیابی صحیح تعیین شوند و با استفاده از یکی از فنون تصمیم‌گیری از جمله روش، روش شباهت به گزینه ایده‌آل، روش تحلیل سلسله مراتبی و ... ارزیابی ریسک صورت پذیرد.

در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره کلاسیک سعی می‌شود که تأثیر عوامل مختلف در تصمیم‌گیری با استفاده

از مفاهیم ریاضی محاسبه شود؛ اما بیان بسیاری از عوامل با منطق ریاضی کلاسیک امکان‌پذیر نیست. از طرف دیگر همیشه در دنیای واقعی عدم قطعیت وجود داشته و همواره در مراحل مختلف مطالعه و بررسی یک مسئله وجود دارد. بنابراین در بسیاری از موارد، تمام و یا قسمتی از داده‌های یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره، فازی هستند و اگر مسئله با استفاده از داده‌های قطعی مدل و فرموله شود جواب درست و دقیقی به دست نخواهد آمد. لذا از نظریه‌ی فازی برای مدل کردن عدم قطعیت در تصمیم‌گیری استفاده می‌شود[۲۱].

منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی علی عسگرزاده پروفسور علوم کامپیوتر دانشگاه برکلی کالیفرنیا ارایه شد. به صورت مفهومی منطق فازی، چند ارزشی است و اجازه می‌دهد که ارزش‌هایی را بین دو ارزشی‌هایی مثل "درست / نادرست"، "بله/ خیر" یا " بالا/ پایین" و ... را تعریف کرد. منطق فازی طیف نامحدودی از خاکستری بین سیاه و سفید در نظر می‌گیرد، لذا منطق فازی را می‌توان منطق خاکستری نامید. منطق دو ارزشی، منطق خاکستری را نادیده می‌گیرد، آن را نفی می‌کند یا آن را به طور کامل سیاه و سفید فرض می‌کند. می‌توان مفاهیمی چون "خیلی"، "نسبتاً"، "تقریباً" و ... را که از پایه‌های اندیشه و استدلال‌های معمولی انسان است، به صورت ریاضی درآورد تا به وسیله‌ی کامپیوتر قابل فهم باشند و از این طریق بتوان برنامه‌های کامپیوتری که به منطق و تفکر انسان نزدیک‌ترند را به وجود آورد. هدف نهایی منطق فازی ایجاد یک تئوری برای استدلال در مورد گزاره‌هایی است که درستی یا نادرستی آنها به صورت قطعی مشخص نیست. به این نوع استدلال، استدلال تقریبی نیز گفته می‌شود. در منطق فازی درستی گزاره می‌تواند هر مقداری در بازه [۱،۰] اختیار کند[۲۱]. از آنجایی که در این مقاله برای رتبه‌بندی ریسک‌ها از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی استفاده می‌شود، در ادامه این روش شرح داده شده است.

روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که مبنای آن، انتخاب گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از جواب ایده‌آل مطلوب و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل نامطلوب دارد. از طرفی، از آنجایی که دسترسی و جمع آوری به داده‌های صحیح و قابل استناد مشکل است، به نظر می‌رسد برای کار با داده‌های غیرقطعی و یا بازه‌ای از داده‌ها، باید روش‌های ویژه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. از این رو، می توان از منطق فازی در تکنیک‌های تصمیم‌گیری مختلف استفاده نمود و از مزایای آن بهره برد، یکی از این تکنیک‌ها، روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی است[۲۲].

مراحل کلی این روش به شرح زیر است[۲۳، ۲۱]:

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم

با توجه به n معیار و m گزینه و ارزیابی همه‌ی گزینه ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم و ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری به صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$D=\begin{array}{c} \\ A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} x_1 & \cdots & x_j & \cdots & x_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & & & \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۱)$$

$$W=(w_1,\ldots,w_j,\ldots,w_n)$$

در صورتی که در مسئله از اعداد فازی مثلثی استفاده شود در این صورت $\tilde{x}_{ij}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij})$ است. اگر ارزیابی گزینه‌ها برمبنای معیارها، به وسیله‌ی نظرخواهی از یک گروه دارای k عضو انجام گیرد و ارزیابی فازی k امین تصمیم‌گیرنده $\tilde{x}_{ijk}=(a_{ijk},b_{ijk},c_{ijk})$ باشد با توجه به معیارهای رتبه‌بندی فازی ترکیبی، گزینه‌ها را می‌توان بر اساس روابط زیر در نظر گرفت. به ازای $(i=1,2,3,\ldots,m)$ و $(j=1,2,3,\ldots,n)$.

$$a_{ij}=\min_k\{a_{ijk}\} \qquad (۲)$$

$$b_{ij}=\frac{\sum_{k=1}^{k} b_{ijk}}{k} \qquad (۳)$$

$$c_{ij}=\max_k\{c_{ijk}\} \qquad (۴)$$

در صورتی که از اعداد فازی مثلثی استفاده شود هر یک از مؤلفه‌های w_j به صورت $\tilde{w}_j=(w_{j1},w_{j2},w_{j3})$ تعریف می‌شود.

گام ۲: بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم.

برای بی مقیاس کردن مقادیر ماتریس تصمیم فازی، از تغییر مقیاس خطی برای تبدیل معیارهای مختلف به مقیاس قابل مقایسه استفاده می‌شود. در این صورت با توجه به اینکه x_{ij} ها به صورت فازی هستند مسلماً r_{ij} ها

نیز فازی خواهد بود. اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، درایه‌های ماتریس تصمیم برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*}\right) \quad (۵)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right) \quad (۶)$$

که در این روابط:

$$c_j^* = \max_i c_{ij} \quad (۷)$$

$$a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (۸)$$

بنابراین ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\tilde{R} = \left[\tilde{r}_{ij}\right]_{m\times n} \quad (۹)$$

گام ۳: ایجاد ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار

با توجه به وزن معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار از ضرب کردن ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در ماتریس بی‌مقیاس شده فازی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (۱۰)$$

که $\tilde{w}_j$ بیان کننده‌ی اهمیت معیار c_j است. بنابراین ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار به صورت زیر خواهد بود:

$$\tilde{V} = \left[\tilde{v}_{ij}\right]_{m\times n}, \quad i = 1,2,\cdots,m \ ،\ j = 1,2,\cdots,n \quad (۱۱)$$

گام ۴: تعیین راه حل ایده آل مثبت و ایده آل منفی.

$$A^+ = [v_1^+, \ldots, v_j^+, \ldots, v_n^+]; \quad v_j^+ = \max_i\{v_{ij}\} \quad (۱۲)$$

$$A^- = [v_1^-, \ldots, v_j^-, \ldots, v_n^-]; \quad v_j^- = \max_i\{v_{ij}\} \quad (۱۳)$$

گام ۵: محاسبه اندازه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی

برای به دست آوردن فاصله هر گزینه از ایده‌آل‌های مثبت و منفی، دو روش وجود دارد: روش اقلیدسی و روش بلوکی که در ادامه رابطه مربوط به روش اقلیدسی بیان می‌شود:

فاصله گزینه iام از ایده‌آل مثبت

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_{s_j^+})^2} \quad (۱۴)$$

فاصله گزینه iام از ایده‌آل منفی

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_{s_j^-})^2} \quad (۱۵)$$

گام ۶: محاسبه نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه حل ایده‌آل.

این شاخص را جهت ترکیب کردن مقادیر S_i^- و S_i^+ و در نتیجه مقایسه گزینه‌ها نسبت به هم تعریف می‌کنیم که با رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (۱۶)$$

گام ۷: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس نزدیکی نسبی آن‌ها به راه‌حل‌های ایده‌آل.

۵- رتبه‌بندی ریسک در تونل‌سازی مکانیزه

در این تحقیق رتبه‌بندی ریسک با روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل فازی در تونل انتقال آب زاگرس که بخشی از طرح انتقال آب به دشت‌های گرمسیری غرب کشور بوده انجام شده است. طول کل مسیر انتقال آب حدود ۴۶۰ کیلومتر برآورد شده است. این تونل از جمله تونل‌های طویل انتقال آب در جهان است که مقطع آن دایره‌ای و قطر حفاری تونل ۶/۷۳ متر است. مقطع زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در پیوست ارایه شده است. طبق هیدروژئولوژی مسیر تونل متراژ ۰۰۰+۰۰۰ تا ۲۹۰+۱۳ به ۱۹ پهنه تقسیم شده است. این تقسیم‌بندی در جدول ۱ آمده است.

طبق مطالعات، ۹ ریسک به عنوان مهم ترین ریسک‌های زمین‌شناسی در تونل‌سازی مکانیزه در محیط‌های سنگی معرفی شده است که عبارت‌اند از: برخورد با زون‌های خردشده و گسله (A1)، ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی (A2)، نشت و هجوم آب به داخل تونل (A3)، سینه‌کار مختلط (A4)، خطر تورم سازندهای شیلی و مارنی (A5)، پدیده‌ی لهیدگی (A6)، تشکیل گل (A7)، پتانسیل کارست (A8) و نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها (A9).

شاخص‌های تصمیم‌گیری در این تحقیق، احتمال وقوع ریسک (C1)، میزان تأثیر (C2)، عدم اطمینان تخمین (C3) و توانایی سازمان در واکنش به ریسک (C4) است. لازم به ذکر است از بین شاخص‌های تصمیم‌گیری فقط توانایی سازمان در واکنش به ریسک منفی است و سایر شاخص‌ها مثبت است.

جدول ۱: پهنه‌بندی مسیر تونل بر اساس هیدروژئولوژی

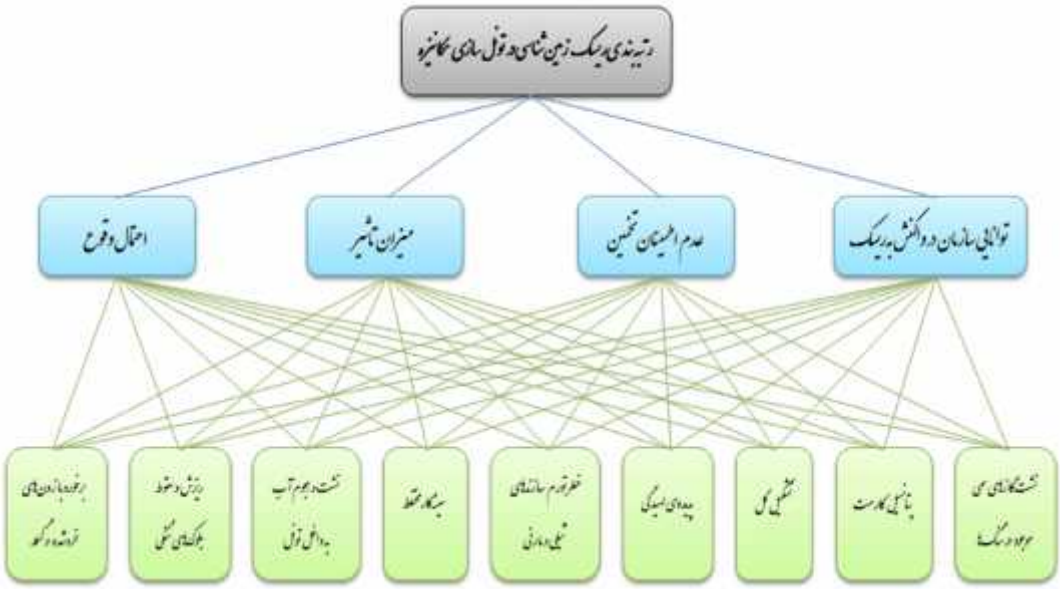
شماره پهنه	نام پهنه	متراژ پهنه	
		از کیلومتر	تا کیلومتر
۱	*P1*	۰۰+۰۰۰	۰۰+۷۵۵
۲	*P2*	۰۰+۷۵۵	۰۲+۰۱۵
۳	*P3*	۰۲+۰۱۵	۰۲+۰۷۰
۴	*P4*	۰۲+۰۷۰	۰۲+۲۶۵
۵	*g1*	۰۲+۲۶۵	۰۳+۷۱۵
۶	*Ki1*	۰۳+۷۱۵	۰۴+۰۰۰
۷	*Ki2*	۰۴+۰۰۰	۰۴+۷۱۵
۸	*Ki3*	۰۴+۷۱۵	۰۴+۷۳۵
۹	*Ki4*	۰۴+۷۳۵	۰۴+۹۵۰
۱۰	*g2*	۰۴+۹۵۰	۰۵+۸۵۵
۱۱	*P5*	۰۵+۸۵۵	۰۶+۱۱۰
۱۲	*g3*	۰۶+۱۱۰	۰۷+۲۳۵
۱۳	*P6*	۰۷+۲۳۵	۰۷+۳۵۰
۱۴	*P7*	۰۷+۳۵۰	۰۷+۳۷۰
۱۵	*g4*	۰۷+۳۷۰	۰۹+۴۱۵
۱۶	*g5*	۰۹+۴۱۵	۰۹+۹۱۰
۱۷	*g6*	۰۹+۹۱۰	۱۱+۷۱۵
۱۸	*P8*	۱۱+۷۱۵	۱۲+۲۰۵
۱۹	*g7*	۱۲+۲۰۵	۱۳+۲۹۰

با توجه به ریسک‌های مختلف و معیارهای مختلف در شکل ۳ ساختار سلسله مراتبی این مسئله تصمیم گیری نشان داده شده است. رتبه‌بندی ریسک برای ۱۹ پهنه به صورت مجزا از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی انجام و نتایج این ارزیابی در ادامه آمده است. لذا با توجه به موضوع مسئله پرسشنامه‌ای جهت نظر سنجی از خبرگان تونل‌سازی تدوین گردید تا هر خبره طبق تجربه کارگاهی خود به صورت مدون و دقیق به سؤالات مورد نظر پاسخ دهند.

تصمیم‌گیرندگان از متغیرهای زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده کرده اند که این طبقه‌بندی در جداول (۲ و ۳) ارایه شده است.

جدول ۲: اهمیت معیارها نسبت به هدف

اهمیت		عدد فازی
Very low Importance	بسیار کم اهمیت (*VLI*)	(۰/۳و۰/۱و۰)
low Importance	کم اهمیت (*LI*)	(۰/۵و۰/۳و۰/۱)
Equal	با اهمیت برابر (*E*)	(۰/۷و۰/۵و۰/۳)
Important	با اهمیت (*I*)	(۰/۹و۰/۷و۰/۵)
Very Important	بسیار با اهمیت (*VI*)	(۱و۰/۹و۰/۷)



شکل ۳: ساختار سلسله مراتبی برای رتبه‌بندی ریسک‌های تونل‌سازی در محیط سنگی

جدول۳: اهمیت گزینه نسبت به معیارها

اهمیت		عدد فازی
Very Low	خیلی کم (*VL*)	(۳و۱و۱)
Low	کم (*L*)	(۵و۳و۱)
Medium	متوسط (*M*)	(۷و۵و۳)
High	زیاد (*H*)	(۹و۷و۵)
Very High	خیلی زیاد (*VH*)	(۹و۹و۷)

گروه کارشناسی از شرکت‌های سپاسد، جهاد توسعه منابع آب ایران و ایمن‌سازان انتخاب شده است. نتایج این نظرسنجی در جداول (۴ و ۵) آورده شده است.

ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده در جدول ۶ درج شده است. با به دست آوردن برآیند نظرها، بردار وزن فازی معیارها به دست می‌آید که در جدول۷ آمده است.

جدول۴: نتایج حاصل از نظرسنجی از خبرگان

	C1					*C2*				
	EA1	***EA2***	***EA3***	***EA4***	***EA5***	***EA1***	***EA2***	***EA3***	***EA4***	***EA5***
A1	*H*	*VH*	*M*	*H*	*VH*	*VH*	*VH*	*H*	*H*	*VH*
A2	*VH*	*VH*	*H*	*VH*	*H*	*H*	*VH*	*VH*	*M*	*VH*
A3	*L*	*M*	*M*	*M*	*L*	*H*	*M*	*VL*	*L*	*L*
A4	*H*	*H*	*VH*	*M*	*L*	*M*	*H*	*H*	*L*	*L*
A5	*VL*	*VL*	*M*	*M*	*M*	*M*	*H*	*VL*	*VL*	*VL*
A6	*H*	*M*	*H*	*VL*	*VH*	*M*	*M*	*L*	*L*	*H*
A7	*VL*	*VL*	*M*	*L*	*L*	*M*	*M*	*VL*	*VH*	*M*
A8	*VL*	*VL*	*VL*	*VL*	*L*	*M*	*VL*	*L*	*VL*	*VL*
A9	*VL*	*VL*	*L*	*L*	*VL*	*VH*	*H*	*L*	*VH*	*L*

	C3					*C4*				
	EA1	***EA2***	***EA3***	***EA4***	***EA5***	***EA1***	***EA2***	***EA3***	***EA4***	***EA5***
A1	*VL*	*L*	*L*	*M*	*H*	*M*	*M*	*L*	*L*	*M*
A2	*VL*	*L*	*VH*	*M*	*M*	*M*	*M*	*L*	*L*	*M*
A3	*VL*	*VL*	*H*	*H*	*M*	*H*	*H*	*H*	*VH*	*M*
A4	*VL*	*L*	*L*	*L*	*M*	*H*	*H*	*M*	*M*	*M*
A5	*VL*	*L*	*L*	*VL*	*L*	*H*	*VH*	*VL*	*L*	*L*
A6	*VL*	*L*	*VH*	*H*	*VH*	*M*	*L*	*VL*	*M*	*L*
A7	*VL*	*L*	*L*	*M*	*VL*	*M*	*L*	*VL*	*L*	*L*
A8	*VL*	*H*	*L*	*VL*	*VL*	*L*	*VL*	*L*	*L*	*VL*
A9	*VL*	*L*	*VH*	*H*	*L*	*VL*	*L*	*VL*	*L*	*L*

جدول۵: نتایج حاصل از نظرسنجی از خبرگان

	C1	***C2***	***C3***	***C4***
کارشناس اول (*Ew*۱)	*I*	*VI*	*I*	*VI*
کارشناس دوم (*Ew*۲)	*VI*	*I*	*I*	*VI*
کارشناس سوم (*Ew*۳)	*VI*	*I*	*VI*	*VI*
کارشناس چهارم (*Ew*۴)	*I*	*VI*	*I*	*I*
کارشناس پنجم (*Ew*۵)	*I*	*VI*	*I*	*VI*

جدول۶: ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده

	C1			*C2*			*C3*			*C4*		
A1	۰/۳۳۳	۰/۸۲۲	۱	۰/۵۵۶	۰/۹۱۱	۱	۰/۱۱۱	۰/۴۲۲	۱	۰/۱۴۳	۰/۲۳۸	۱
A2	۰/۵۵۶	۰/۹۱۱	۱	۰/۳۳۳	۰/۸۶۷	۱	۰/۱۱۱	۰/۴۲۲	۰/۷۷۸	۰/۱۴۳	۰/۲۳۸	۱
A3	۰/۱۱۱	۰/۴۶۷	۰/۷۷۸	۰/۱۱۱	۰/۴۲۲	۱	۰/۱۱۱	۰/۴۶۷	۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۰/۳۳۳
A4	۰/۱۱۱	۰/۶۸۹	۱	۰/۱۱۱	۰/۵۵۶	۱	۰/۱۱۱	۰/۳۳۳	۰/۷۷۸	۰/۱۱۱	۰/۱۷۲	۰/۳۳۳
A5	۰/۱۱۱	۰/۳۷۸	۰/۷۷۸	۰/۱۱۱	۰/۳۳۳	۱	۰/۱۱۱	۰/۲۴۴	۰/۵۵۶	۰/۱۱۱	۰/۲۱۷	۱
A6	۰/۱۱۱	۰/۶۴۴	۱	۰/۱۱۱	۰/۵۱۱	۱	۰/۱۱۱	۰/۶۴۴	۱	۰/۱۴۳	۰/۲۹۴	۱
A7	۰/۱۱۱	۰/۲۸۹	۰/۷۷۸	۰/۱۱۱	۰/۵۵۶	۱	۰/۱۱۱	۰/۲۸۹	۰/۷۷۸	۰/۱۴۳	۰/۳۳۳	۱
A8	۰/۱۱۱	۰/۱۵۶	۰/۵۵۶	۰/۱۱۱	۰/۲۴۴	۰/۷۷۸	۰/۱۱۱	۰/۲۸۹	۱	۰/۲۰۰	۰/۴۵۵	۱
A9	۰/۱۱۱	۰/۲۴۴	۰/۵۵۶	۰/۱۱۱	۰/۶۸۹	۱	۰/۱۱۱	۰/۵۱۱	۱	۰/۲۰۰	۰/۴۵۵	۱

جدول ۷: وزن فازی معیارها

	C4			C3			C2			C1		
W	۱	۰/۸۶	۰/۵	۱	۰/۷۴	۰/۵	۱	۰/۸۲	۰/۵	۱	۰/۷۸	۰/۵

در جدول ۸، ماتریس بی‌مقیاس شده وزن‌دار تشکیل شده است.

جدول ۸: ماتریس بی‌مقیاس شده وزن‌دار

	C4			C3			C2			C1		
A1	۱	۰/۲۰۵	۰/۰۷۱	۱	۰/۳۱۲	۰/۰۵۶	۱	۰/۷۴۷	۰/۲۷۸	۱	۰/۶۴۱	۰/۱۶۷
A2	۱	۰/۲۰۵	۰/۰۷۱	۰/۷۷۸	۰/۳۱۲	۰/۰۵۶	۱	۰/۷۱۱	۰/۱۶۷	۱	۰/۷۱۱	۰/۲۷۸
A3	۰/۳۳۳	۰/۱۲۳	۰/۰۵۶	۱	۰/۳۴۵	۰/۰۵۶	۱	۰/۳۴۶	۰/۰۵۶	۰/۷۷۸	۰/۳۴۶	۰/۰۵۶
A4	۰/۳۳۳	۰/۱۴۸	۰/۰۵۶	۰/۷۷۸	۰/۲۴۷	۰/۰۵۶	۱	۰/۴۵۶	۰/۰۵۶	۱	۰/۵۳۷	۰/۰۵۶
A5	۱	۰/۱۸۷	۰/۰۵۶	۰/۵۵۶	۰/۱۸۱	۰/۰۵۶	۱	۰/۲۷۳	۰/۰۵۶	۰/۷۷۸	۰/۲۹۵	۰/۰۵۶
A6	۱	۰/۲۵۳	۰/۰۷۱	۱	۰/۴۷۷	۰/۰۵۶	۱	۰/۴۱۹	۰/۰۵۶	۱	۰/۵۰۳	۰/۰۵۶
A7	۱	۰/۲۸۷	۰/۰۷۱	۰/۷۷۸	۰/۲۱۴	۰/۰۵۶	۱	۰/۴۵۶	۰/۰۵۶	۰/۷۷۸	۰/۲۲۵	۰/۰۵۶
A8	۱	۰/۳۹۱	۰/۱۰۰	۱	۰/۲۱۴	۰/۰۵۶	۰/۷۷۸	۰/۲۰۰	۰/۰۵۶	۰/۵۵۶	۰/۱۲۱	۰/۰۵۶
A9	۱	۰/۳۹۱	۰/۱۰۰	۱	۰/۳۷۸	۰/۰۵۶	۱	۰/۵۶۵	۰/۰۵۶	۰/۵۵۶	۰/۱۹۱	۰/۰۵۶

در این مرحله پس از تعیین حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و تعیین فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل (Si*) و ضد ایده‌آل (Si-) آن، شاخص شباهت (CCi) برای گزینه‌های مختلف محاسبه و در جدول ۹ ذکر شده است. نتایج حاصل از محاسبات برای پهنه‌ی اول نشان می‌دهد که برخورد با زون‌های خرد شده و گسله، ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی و پدیده‌ی لهیدگی سه ریسک اصلی در این پهنه هستند.

به طور مشابه این فرآیند محاسباتی برای ۱۸ پهنه ی دیگر نیز صورت پذیرفته و ۳ ریسک اصلی (بالا) در هر پهنه تعیین شده است که نتایج آن در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۹: محاسبه‌ی شاخص شباهت با استفاده از فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

ریسک‌های زمین‌شناسی		Si*	Si-	CCi	رتبه
برخورد با زون‌های خرد شده و گسله	A1	۲/۳۴۶	۲/۴۵۰	۰/۵۱۰۸	۱
ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی	A2	۲/۳۵۱	۲/۳۳۷	۰/۴۹۸۵	۲
نشت و هجوم آب به داخل تونل	A3	۲/۸۳۴	۱/۷۵۹	۰/۳۸۳۰	۹
سینه‌کار مختلط	A4	۲/۷۷۵	۱/۸۰۵	۰/۳۹۴۱	۶
خطر تورم سازندهای شیلی و مارنی	A5	۲/۸۶۶	۱/۸۴۷	۰/۳۹۱۹	۸
پدیده‌ی لهیدگی	A6	۲/۵۶۸	۲/۳۴۲	۰/۴۷۷۰	۳
تشکیل گل	A7	۲/۷۴۳	۲/۰۰۹	۰/۴۲۲۷	۵
پتانسیل کارست	A8	۲/۸۵۱	۱/۸۴۹	۰/۳۹۳۴	۷
نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	A9	۲/۶۴۳	۲/۰۷۴	۰/۴۳۹۷	۴

نتایج در جدول ۱۰ نشان می‌دهد که نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها و نشت و هجوم آب به داخل تونل به ترتیب مهم‌ترین مخاطره موجود در تونل بلند زاگرس است و ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی به همراه پدیده‌ی لهیدگی با شاخصی برابر در رده‌ی بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. با توجه به شرایط زمین‌شناسی منطقه وجود دو گاز سولفید هیدروژن *(H2S)* و منواکسیدکربن *(CO)* قابل توجیه است.

جدول۱۰: ریسک‌های اصلی در هر پهنه

پهنه	ریسک‌های زمین‌شناسی	پهنه	ریسک‌های زمین‌شناسی	پهنه	ریسک‌های زمین‌شناسی
پهنه‌ی ۲	۱- ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی	پهنه‌ی ۸	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	پهنه‌ی ۱۴	۱- برخورد با زون‌های خرد شده و گسله
	۲- سینه‌کار مختلط		۲- نشت و هجوم آب به داخل تونل		۲- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها
	۳- برخورد با زون‌های خرد شده و گسله		۳- برخورد با زون‌های خرد شده و گسله		۳- نشت و هجوم آب به داخل تونل
پهنه‌ی ۳	۱- برخورد با زون‌های خرد شده و گسله	پهنه‌ی ۹	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	پهنه‌ی ۱۵	۱- لهیدگی
	۲- ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی		۲- نشت و هجوم آب به داخل تونل		۲- ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی
	۳- لهیدگی		۳- برخورد با زون‌های خرد شده و گسله		۳- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها
پهنه‌ی ۴	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	پهنه‌ی ۱۰	۱- نشت و هجوم آب به داخل تونل	پهنه‌ی ۱۶	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها
	۲- ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی		۲- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها		۲- ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی
	۳- لهیدگی		۳- خطر تورم سازندهای شیلی و مارنی		۳- نشت و هجوم آب به داخل تونل
پهنه‌ی ۵	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	پهنه‌ی ۱۱	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	پهنه‌ی ۱۷	۱- نشت و هجوم آب به داخل تونل
	۲- ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی		۲- ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی		۲- لهیدگی
	۳- خطر تورم سازندهای شیلی و مارنی		۳- نشت و هجوم آب به داخل تونل		۳- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها
پهنه‌ی ۶	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	پهنه‌ی ۱۲	۱- برخورد با زون‌های خرد شده و گسله	پهنه‌ی ۱۸	۱- نشت و هجوم آب به داخل تونل
	۲- نشت و هجوم آب به داخل تونل		۲- ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی		۲- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها
	۳- پتانسیل کارست		۳- لهیدگی		۳- لهیدگی
پهنه‌ی ۷	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	پهنه‌ی ۱۳	۱- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها	پهنه‌ی ۱۹	۱- نشت و هجوم آب به داخل تونل
	۲- نشت و هجوم آب به داخل تونل		۲- نشت و هجوم آب به داخل تونل		۲- نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها
	۳- پتانسیل کارست		۳- لهیدگی		۳- لهیدگی

یکی از پدیده‌های زمین‌شناسی که در آن گاز H2S تولید می‌شود، اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی نظیر پیریت است که با توجه به وجود کانی پیریت در بین آهک‌ها و شیل‌های ایلام و واحدهای مجاور می‌توان وقوع این پدیده را در منطقه پیش‌بینی کرد. آهک‌های ایلام به دلیل نفوذپذیری و تخلخل بالا (در اثر وجود درزه‌ها و شکستگی‌های ساختاری) و به دلیل وجود میان لایه‌های شیلی که می‌توانند نقش لایه‌های نفوذناپذیر را بازی کنند، محیط مناسبی را برای به دام افتادن گازهای در حال مهاجرت ازمنابع نفتی زیرین فراهم نموده‌اند. بنابراین با پیشروی تونل در داخل آهک‌های ایلام، احتمال برخورد با این تله‌های کوچک و موضعی، نرخ تصاعد گاز به داخل تونل را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر واحدهای آهکی ایلام که بخش عمده‌ای از مسیر را تشکیل می‌دهند به دلیل تأثیر ناپیوستگی‌های بسیاری که این واحد را متأثر نموده‌اند و بازشدگی و پرکننده شسته شده این ناپیوستگی‌ها، به عنوان واحد دارای نفوذپذیری بالا شناخته می‌شود. با توجه به این مطلب باید انتظار داشت در زون‌های خرد شده موجود در این مسیر مقادیر آب ورودی به تونل افزایش یابد. علت این امر علاوه بر وجود لیتولوژی مستعد این قسمت، خردشدگی شدید واحدها به علت عملکرد گسل‌های متعدد و چین‌خوردگی و گسترش شکستگی‌ها به دلیل این پدیده‌ها است.

۶- اعتبارسنجی

به منظور مقایسه‌ی نتایج رتبه‌بندی ریسک با نتایج واقعی حاصل از حفاری، گزارش پیشرفت کار ماهانه متراژ (۹۰۰+۰۲تا ۸۵۰+۰۶) مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است متراژی که برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شده است پهنه‌های ۵-۱۲ را شامل می‌شود. نتایج حاصل از حفاری برای پارامترهای مختلف در جدول ۱۱ به تفکیک ارایه شده است. نتایج کلی از این مقایسه بر صحت و نزدیکی محاسبات با واقعیت تاکید دارد.

جدول۱۱: نتایج حاصل از اعتبارسنجی برای پهنه‌های مختلف

شماره پهنه	نام پهنه	متراژ پهنه		برخورد با زون‌های خرد شده و گسله	ریزش و سقوط بلوک های سنگی	نشت و هجوم آب به داخل تونل	سینه کار مختلط	خطر تورم سازندهای شیلی و مارنی	پدیده لهیدگی	تشکیل گل	پتانسیل کارست	نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها
		از کیلومتر	تا کیلومتر									
۱	*P1*	۰۰+۰۰۰	۰۰+۷۵۵									
۲	*P2*	۰۰+۷۵۵	۰۲+۰۱۵									
۳	*P3*	۰۲+۰۱۵	۰۲+۰۷۰									
۴	*P4*	۰۲+۰۷۰	۰۲+۲۶۵									
۵	*g1*	۰۲+۲۶۵	۰۳+۷۱۵		•	•	•			•		•
۶	*Ki1*	۰۳+۷۱۵	۰۴+۰۰۰			•	•			•	•	•
۷	*Ki2*	۰۴+۰۰۰	۰۴+۷۱۵	•		•				•	•	•
۸	*Ki3*	۰۴+۷۱۵	۰۴+۷۳۵	•		•					•	•
۹	*Ki4*	۰۴+۷۳۵	۰۴+۹۵۰	•		•				•	•	•
۱۰	*g2*	۰۴+۹۵۰	۰۵+۸۵۵	•		•		•			•	•
۱۱	*P5*	۰۵+۸۵۵	۰۶+۱۱۰	•	•							•
۱۲	*g3*	۰۶+۱۱۰	۰۷+۲۳۵	•	•				•			•
۱۳	*P6*	۰۷+۲۳۵	۰۷+۳۵۰									
۱۴	*P7*	۰۷+۳۵۰	۰۷+۳۷۰									
۱۵	*g4*	۰۷+۳۷۰	۰۹+۴۱۵									
۱۶	*g5*	۰۹+۴۱۵	۰۹+۹۱۰									
۱۷	*g6*	۰۹+۹۱۰	۱۱+۷۱۵									
۱۸	*P8*	۱۱+۷۱۵	۱۲+۲۰۵									
۱۹	*g7*	۱۲+۲۰۵	۱۳+۲۹۰									

۷- نتیجه‌گیری

تونل‌سازی و عملیات ساختمانی زیرزمینی در همه قسمت های درگیر در پروژه، تحت تأثیر ریسک هستند و عدم قطعیت‌های بی شماری طراحی سازه‌های زیرزمینی را احاطه نموده است. همچنین در کنار پیشرفت هایی که در ساخت فضاهای زیرزمینی در چند دهه اخیر به وجود آمده است، طراحان تونل هنوز نگران ریسک‌هایی هستند که تونل‌سازی را در بر می‌گیرد. ارزیابی ریسک یکی از ارکان مدیریت ریسک بوده و با توجه به ماهیت نامطمئن پروژه‌های تونل‌سازی و لزوم صرف بهینه منابع، دارای اهمیت زیاد است. هدف از ارزیابی ریسک، اندازه‌گیری ریسک‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف از قبیل میزان تأثیر و احتمال وقوع است. رتبه‌بندی ریسک‌ها، قسمت کلیدی این فرایند به شمار می‌رود زیرا با انجام رتبه‌بندی، ارجحیت هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها مشخص و در نتیجه تصمیم‌گیرنده می تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک برنامه‌ریزی نماید.

در این مقاله به رتبه‌بندی ریسک‌های زمین‌شناسی در تونل‌سازی مکانیزه با استفاده از روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل فازی در محیط‌های سنگی پرداخته شده است. به منظور این رتبه‌بندی ابتدا ریسک‌های زمین‌شناسی شناسایی و عوامل مؤثر بر آن تعیین گردید. پس از تکمیل پرسشنامه توسط خبرگان، اهمیت شاخص‌ها (معیارها) و امتیاز مربوط به هر گزینه طبق معیار تعیین و بردار وزن معیارها و ماتریس تصمیم مشخص و سپس ماتریس بی‌مقیاس شده وزن‌دار از آن به دست آمد. پس از تعیین حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و تعیین فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل (Si^*) و ضد ایده‌آل ($-Si$) آن، شاخص شباهت (CCi) برای گزینه‌های مختلف محاسبه و گزینه‌های با

شاخص شباهت بیشتر در اولویت قرار گرفت. این محاسبات در ۱۹ پهنه به صورت مجزا انجام و در نهایت ۳ ریسک به عنوان ریسک بالا (اصلی) در هر پهنه تعیین گردید. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها و نشت و هجوم آب به داخل تونل به ترتیب مهم‌ترین مخاطره موجود در تونل بلند زاگرس هستند. از این رو باید با تخصیص منابع بیشتر درصدد رفع یا کم رنگ کردن اثرات مخرب این ریسک‌ها بر اهداف پروژه باشند. لذا توصیه می‌شود قبل از عملیات حفاری راهکارهای مقابله با مخاطرات ذکرشده تعیین گردد تا در صورت وقوع عملیات تونل‌سازی با وقفه همراه نشود.

مراجع

[1] You, K., Park, Y., Lee, J. (2005). Risk analysis for determination of a tunnel support pattern. Tunnelling and Underground Space Technology.

[2] Wagner, H. (2006). Risk Evaluation and Control in Underground Construction. International symposium on underground excavation and tunnelling.

[3] Ghosh, J.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.

[4] Jaafari, A., Khatlan, A., & Pashandi, H. (2006). Introduction of the risks of tunneling and providing a system to manage them. 7th Iranian Tunneling Conference. (in persian)

[5] Sayadi, A.R., Hayati, M., & Monjezi, M. (2011). Risk management in tunnel Construction using MADM techniques. Faculty of Management Of Tehran University. (in persian)

[6] Hayati, M., & Sayadi, A.R. (2012). Risk assessment of water conveyance tunnel projects using fuzzy logic (tunneling operation of Seymareh dam & power plant). 1st International and 3rd National Conference on Dams and hydropower. (in persian)

[7] Nezarat, H.R., Sereshki, F., & Ataei, M. (2012). Risk Management in mechanized tunneling with special Emphasis on geological risk. 2nd Conference on crisis management in the construction industry, life lines and underground structures. (in persian)

[8] Reilly, J., & Brown, J. (2004). Management and control of cost and risk for tunneling and infrastructure projects. Tunnelling and Underground Space Technology, 19(4), 330.

[9] Herrenknecht, E. M., & Bäppler, K. (2006). Mastering risks during mechanized excavation in urban centers with highly complex ground conditions. Tunnelling and Underground Space Technology, 21(3), 260-260.

[10] Shahriar, K., Sharifzadeh, M., & Hamidi, J. K. (2008). Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection in difficult ground conditions. Tunnelling and Underground Space Technology, 23(3), 318-325.

[11] Yan-Hui, G., Zhi-Hua, Y., Shu-Cai, L., Wei, L., & Qing-Song, Z. (2009). Risk Measurement and Control of Water Inrush into Qiyue Mountain Tunnel. In Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making (pp. 523-530). Springer Berlin Heidelberg.

[12] Hamidi, J. K., Shahriar, K., Rezai, B., Rostami, J., & Bejari, H. (2010). Risk assessment based selection of rock TBM for adverse geological conditions using Fuzzy-AHP. Bulletin of engineering geology and the environment, 69(4), 523-532.

[13] Beard, A. N. (2010). Tunnel safety, risk assessment and decision-making. Tunnelling and Underground Space Technology, 25(1), 91-94.

[14] Fouladgar, M. M., Yadani-Chamzini, A., & Basiri, M. H. (2011). Risk evaluation of tunnelling projects by fuzzy topsis. In International conference on management (No. 1, pp. 1219-1232).

[15] Project Management Institute. (2008). A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Pennsylvania. USA. ISBN: 9781933890517.

[16] Association For Project Management. (2006). APM body of Knowledge.

[17] Nazari, A. (2007). Risk and risk management in systems urban rail transport (metro). 9th railway transportation conference. Tehran. (in persian)

[18] Srinivasa, R., Vinay, B. (2004). Integrated risk management in case of tightly couple software /hardware projects. STMicro electronics Private Limited. NOIDA.

[19] Pritchard, C.L. (2001). Risk Management Concepts and Guidance. Arlington. Va: ESI International.

[20] Reilly, J., Brown, J. (2004). Management and Control of Cost and Risk for Tunneling and Infrastructure projects. Tunnelling and Underground Space Technology.

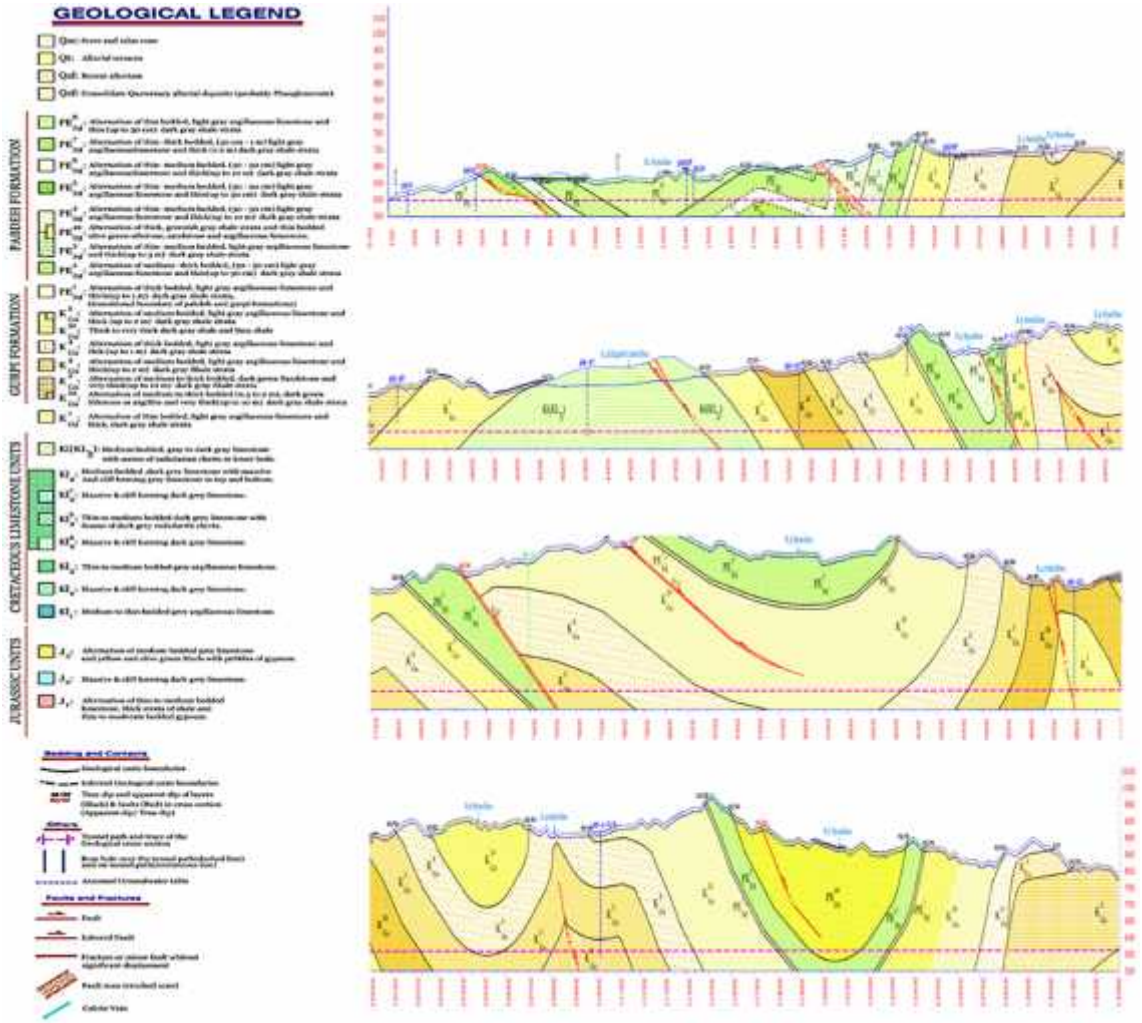
[21] Ataei, M. (2010). Fuzzy Multi Criteria Decision Making. Shahrood University of Technology. (in persian)

1- Project Management Institute
2- Association For Project Management
3- Project Management Body of Knowledge
4- Fault Tree Analysis (FTA)
5- Event Tree Analysis (ETA)
6- Failure Mode and Effective Analysis (FMEA)

[22] Li, x., Reeves, G. (1999). A Multiple Criteria Approach to Data Envelopment Analysis. European Jornal of Operational, 507-517.

[23] Asgharpour, M.J. (2005). Multi Criteria Decision Making. University of Tehran Press. (in persian)

پیوست ۱: برش زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه



پیوست ۱: پرسشنامه‌ی طراحی شده برای روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل فازی

گروه عوامل	عوامل	احتمال وقوع					میزان تأثیر					عدم اطمینان تخمین					توانایی سازمان در واکنش به ریسک					توضیحات
		خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	بیشتر از ۸۰%	۶۰- ۸۰%	۴۰- ۶۰%	۲۰ -۴۰%	کمتر از ۲۰%	بیشتر از ۸۰%	۶۰- ۸۰%	۴۰- ۶۰%	۲۰ -۴۰%	کمتر از ۲۰%	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	
زمین‌شناسی	برخورد با زون‌های خرد شده و گسله																					با توجه به تعدد مخاطرات مؤثر زمین شناسی در تونلسازی مکانیزه ، لذا خواهشمند است اگر مخاطره‌ای از نظر دور مانده است ، نام آن مخاطره را در ستون خالی آورده و سپس همانند پارامترهای مذکور، ستون های پرسشنامه را پر نمایید.
	ریزش و سقوط بلوک‌های سنگی																					
	نشت و هجوم آب به داخل تونل																					
	سینه کار مختلط																					
	خطر تورم سازندهای شیلی و مارنی																					
	پدیده لهیدگی																					
	تشکیل گل																					
	پتانسیل کارست																					
	نشت گازهای سمی موجود در سنگ‌ها																					

توانایی سازمان در واکنش به ریسک					عدم اطمینان تخمین					میزان تأثیر					احتمال وقوع					معیار
بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	وزن معیار

Geological Risks Prioritization in Mechanized Tunneling Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making

R. Ramazannia[1*], M. Ataei[2], H. Mirzaei Nasirabad[3]

1- PhD. Student in Mining, Dept. of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Iran

2- Professor, Dept. of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Iran

3- Assistant Professor, Dept. of Mining, Sahand University of Technology, Iran

* Corresponding Author: rasol.ramazannia@gmail.com

(Received: July 2015, Accepted: March 2016)

Keywords

Geological Risks
Risk Management
Mechanized Tunneling
Fuzzy Similarity to Ideal Solution
Geological Risks

English Extended Abstract

Summary

Underground and infrastructure projects are generally complex project with many variables including ground and groundwater conditions are variable and uncertain. These conditions infliction significant risks in all project components or parts that are indirectly related with the project, and has led to the high costs and time delays to the project. Ranking by providing timely response to risk it all, helpful to the risk management process will be more successful. In this paper, prioritize risks are discussed in the mechanized tunneling to using Fuzzy Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS) in rocky environments. The calculations performed in 19 separate zone and ultimately three risk as the high risk (main) in each zone specified. The analysis results show that leaks of toxic gases in rocks and water leaks and influx into the tunnel in this study are respectively most important risks.

Introduction

Risk assessment is one of the fundamental elements of risk management, and with respect to the uncertain nature of tunneling projects and the need to spend resources, is important. Ranking of risks is a key part of this process, because with ranking, priority each risk in front of other risks specified and in the result, decision maker can be plan about the the amount of allocation existing resources for deal with each risk.

Methodology and Approaches

In order to risk assessment, different methods have been introduced. In this paper, the method is Fuzzy Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution has been used to rank the risks. In this study, according to Hydrogeology of tunnel route, kilometer of 00+000 to 13+290 divided to 19 zone. 9 risk as the most important of the geological risks and 4 factor as effective criteria's is introduced for ranking in mechanized tunneling in rocky environments.

Results and Conclusions

The analysis results show that leaks of toxic gases in rocks and water leaks and influx into the tunnel are respectively most important risks in the tunnel. Hence the should be by allocating more resources seeking eliminate or reduce the damaging effects of these risks on project objectives. Therefore, the recommended, strategies to counter risks listed to be determined before drilling operations, until in the event of, tunneling operations to be performed without interruption.

Cite This Paper:

Ramazannia, R., Ataei, M., Mirzaei Nasirabad, H., (2015). "A New Numerical and Analytical Scheme to Solve the Full Wave Equation for Seismic Modeling Based on REM and Leapfrog Methods" Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering **5**(10): 49-62.