

رتبه‌بندی ریسک احداث مکانیزه تونل‌های بزرگ مقطع با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در تونل غربی البرز آزادراه تهران - شمال

علی رضا اکبری^۱، شکراله زارع^۲، محمد عطایی^۳

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود
۳- استاد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

(دریافت ۱۳۹۸/۰۲/۲۶، پذیرش ۱۳۹۸/۰۷/۱۵)

چکیده

حفاری مکانیزه تونل‌های بزرگ مقطع در محیط‌های سنگی با مخاطرات فراوانی همراه است. هزینه بالای خرید دستگاه، برخورد به ناحیه‌های گسلی، هجوم آب، مچاله‌شوندگی و... از جمله مخاطراتی هستند که می‌توانند عملیات تونل‌سازی را برای مدت زیادی متوقف کنند. روش حفاری مکانیزه علاوه بر مزیت‌های قابل توجه، معایبی همچون عدم انعطاف‌پذیری دستگاه با شرایط پیچیده زمین‌شناسی، هزینه سرمایه‌گذاری بالا، ریسک‌های فنی-محیطی، هندسی و سیاسی را شامل می‌شود. با توجه به هزینه سرمایه‌گذاری زیاد در این روش، ارزیابی و رتبه‌بندی مخاطرات پیش‌رو اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی به ارزیابی ریسک‌های حفاری تونل غربی البرز پرداخته شود. تونل غربی البرز در بزرگراه تهران-شمال، از جمله طرح‌های بزرگ‌راهی کشور است که برنامه‌ریزی حفاری آن با استفاده از ماشین مکانیزه تک‌سپره با مدل EPB مدنظر قرار گرفته است. در این تحقیق، با بررسی مشخصات زمین‌شناسی و نظر کارشناسان، ۱۷ مخاطره محتمل، شناسایی و با روش‌های فازی تاپسیس و الکتراه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج تحلیل نشان می‌دهد تجربه ناکافی تونل‌سازی مکانیزه پیمانکاران برای قطرهای بزرگ با رتبه ریسک ۱،۱۶، نشت گازهای سمی موجود در تونل با رتبه ریسک ۱،۸۳ و سرمایه‌گذاری و خرید دستگاه و تجهیزات آن با رتبه ریسک ۳ به ترتیب مهم‌ترین مخاطره‌های موجود در این عملیات تونل‌سازی هستند.

کلمات کلیدی

اولویت‌بندی ریسک، تونل غربی البرز، تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، الکتراه فازی، تاپسیس فازی.

۱- مقدمه

امروزه روش تونل‌زنی (حفاری) مکانیزه به دلیل نرخ پیشروی بالا، ایمنی و هزینه‌های پایین در مقایسه با دیگر روش‌های حفاری متداول، مورد توجه عوامل اجرایی قرار می‌گیرد؛ اما غالب مواقع عدم آمادگی برای مواجهه با شرایط نامناسب زمین‌شناسی در حفاری مکانیزه، هزینه‌های بیشتری نسبت به حفاری مرسوم در پی دارد. در همین راستا ارزیابی ریسک می‌تواند کمک زیادی در پیش‌بینی شرایط پیش‌رو ارایه دهد. مدیریت کنترل ریسک، نه تنها در بسیاری از رشته‌ها و زمینه‌های فنی به صورت ابزاری کارآمد و مهم در آمده بلکه در صنعت تونل و ساخت‌وسازهای زیرزمینی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. اجرای مدیریت ریسک باید مشارکتی از بخش‌های مختلف باشد و تمامی گروه‌های مرتبط با پروژه از قبیل کارفرما، مدیر، ناظر، پیمانکاران، کارشناس و طراحان همکاری داشته باشند.

ارزیابی ریسک کاربرد گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف پیدا کرده است. ریسک را می‌توان به عنوان انحراف در پیشامدهایی که می‌توانند در طول یک دوره مشخص و در یک موقعیت معین اتفاق بیافتند، تعریف کرد. اگر تنها یک پیشامد ممکن باشد، انحراف و در نتیجه ریسک، صفر است ولی اگر پیشامدهای زیادی ممکن باشد، ریسک صفر نخواهد بود. تحلیل ریسک سعی می‌کند که به پرسش‌هایی همچون: - چه اتفاقی ممکن است بیفتد؟ - احتمال وقوع رویداد چقدر است؟ - اگر اتفاق بیفتد نتایج آن چه خواهد بود؟ پاسخ دهد [۱].

تونل‌هایی که با روش‌های مکانیزه حفر می‌شوند با تونل‌هایی که به روش‌های نیمه‌مکانیزه و متداول حفر می‌شوند، تفاوت دارند. در تونل‌های مکانیزه با ریسک‌های مربوط به TBM مانند: سرمایه‌گذاری اولیه زیاد، گیرافتادن ماشین و یا آسیب به دستگاه مواجه خواهیم شد و این موضوع در تحقیقات بسیاری مورد توجه قرار گرفته است [۲، ۳].

با توجه به رشد بسیار سریع در فناوری تونل‌سازی، جاده‌سازی و ساخت دستگاه‌های بزرگ‌تر و پیچیده‌تر از یک‌سو و مشکلات زمین‌شناسی از سوی دیگر؛ مدیریت این پروژه‌ها با چالش‌هایی روبه‌رو شده است. مدیریت ریسک با توجه به ماهیت نامطمین پروژه‌های تونل‌سازی و لزوم صرف بهینه منابع آنها به عنوان یکی از فازهای مدیریت پروژه، اهمیت انکارناپذیری دارد. با توجه به تعداد محدود پروژه‌هایی که با TBM‌های قطر بزرگ، در دنیا کار شده است، تونل غربی البرز یکی از مهم‌ترین

گزینه‌های اجرایی تونل راه، با دستگاه مکانیزه TBM در ایران است که با قطر حدود ۱۳ متر و سطح مقطع بیش از ۱۰۰ مترمربع حفاری می‌کند و باید در این پروژه ریسک‌های ناشی از حفاری مکانیزه تونل بزرگ‌مقطع و سایر ریسک‌ها، شناسایی و رتبه‌بندی شوند. در این تحقیق، با مطالعه مشخصات تونل غربی البرز و بررسی پروژه‌های مشابه، ریسک‌های ژئوتکنیکی، سرمایه‌گذاری، فنی-محیطی، سیاسی و هندسی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی رتبه‌بندی شده است. در واقع هدف منطبق فازی، ایجاد یک تئوری برای استدلال در مورد گزاره‌هایی است که درستی یا نادرستی آنها به صورت قطعی مشخص نیست. در این راستا به منظور عدم قطعیت‌های شاخص‌های مختلف تصمیم‌گیری از روش‌های فازی تاپسیس و الکتراه، استفاده شده است.

۲- سابقه موضوع

مدیریت ریسک به عنوان یکی از شاخه‌های نوپای مدیریت، برای نخستین بار در دهه ۱۹۶۰ در صنعت بیمه به کار گرفته شد [۴]. در حال حاضر استفاده از آن در تمام سازمان‌های متوسط تا بزرگ از جمله شرکت‌های عمرانی دخیل در پروژه‌های تونل‌سازی امری ضروری و متداول است. پروژه‌های تونل‌سازی، مانند هر پروژه دیگری ریسک‌آور هستند. این پروژه‌ها علاوه بر مشکلات فنی و مهندسی، به دلیل تعدد افراد درگیر در پروژه مانند پیمانکار، کارفرما، مشاور و غیره با ریسک‌های متنوعی روبه‌رو هستند [۵]. در فعالیت‌های تونل‌سازی، هرگونه حادثه‌ای ممکن است خسارت‌های جانی و مالی جدی به همراه داشته باشد. به همین دلیل در چنین پروژه‌هایی، مدیریت ریسک الزامی است [۶]. در حفاری تونل و فضاهای زیرزمینی در صورتی که حوادث به شیوه دقیق پیش‌بینی نشده و از وقوع آنها پیشگیری نشود، ممکن است فاجعه به‌بارآورد. در سال ۱۹۴۹ در شمال شرق چین در یک حادثه معدن زیرزمینی، ۱۵۴۹ معدن‌کار کشته شدند. در سال ۲۰۰۴ در چین، ۶۳۰۰ معدن‌کار در حوادث معدنی جان خود را از دست دادند. در سال ۲۰۰۳ در انفجار معدن زیر زمینی زغال‌سنگ باب نیزو در استان کرمان، ۹ نفر جان خود را از دست دادند. در سال ۲۰۰۶ در حین حفاری یک تونل گازدار در غرب ایران، ۴ نفر جان خود را در اثر گازگرفتگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن از دست دادند [۷].

به‌منظور ارزیابی ریسک ابتدا باید خطرات موجود را

۳- معرفی تونل غربی البرز

طرح احداث بزرگ‌راه ۱۲۱ کیلومتری تهران-شمال از سال ۱۳۵۳ برنامه‌ریزی و از سال ۱۳۷۷، عملیات احداث آن آغاز شده است. این پروژه به چهار قطعه تقسیم شده که تاکنون تنها قطعه چهارم آن راه اندازی و به بهره‌برداری رسیده است. تونل البرز در مسیر قطعه دوم این پروژه قرار دارد که با طول حدود ۶۳۷۴ متر، بزرگ‌ترین تونل این آزادراه محسوب می‌شود و از "دره سرهنگ"، شروع و تا "پل زنگوله" ادامه می‌یابد. مقطع عرضی تونل در روش مکانیزه به صورت دایره‌ای با قطر حفاری ۷۳۱۲ متر است. برای حفر تونل نیز استفاده از یک دستگاه حفاری تمام مقطع DUAL Mode EPB Hard Rock Single Shield با قابلیت حفاری در مد بسته انتخاب شده است [۱۴].

۳-۱- ساختار زمین‌شناسی مسیر تونل

تونل البرز از نظر زمین‌شناسی در سازند شمشک و کرج قرار دارد. تونل اکتشافی آن به وسیله TBM به قطر ۵٫۵ متر، حفاری و برداشت‌های زمین‌شناسی مهندسی این تونل از دهانه شمالی آن انجام شده است. هنگام برداشت زمین‌شناسی، شاخص‌های زیر تعیین و ثبت شده‌اند:

لیتولوژی سنگ‌ها، نوع کنتاکت‌های موجود بین واحدهای مختلف سنگی، وجود چین‌خوردگی و تخریب‌های تکتونیکی و پارامترهای مربوطه، درجه درزه‌داری و ویژگی‌های مربوط به عرض بازشدگی درزه‌ها، نوع پرکننده، طول درزه، مشخصات سطح جداره درزه‌ها و ...، مشخصات چینه‌بندی سنگ‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها، آبدی و دبی آب زیرزمینی، موارد نشت گاز، درجه هوازدگی سنگ‌ها و سایر متغیرها.

لازم به ذکر است که حفاری تونل اکتشافی البرز در بیشتر نواحی محدوده مورد بررسی، پس از حفاری چال و گمانه پیشگام صورت گرفته است. لیتولوژی مسیر تونل در دهانه شمالی، عمدتاً از توفها (سیاه، سبز، خاکستری)، آندزیت (سبز و خاکستری)، انیدریت، سنگ آهک، ماسه سنگ، آرژولیت و گابرو تشکیل شده است. مقاومت فشاری تک‌محوره تخمین زده شده برای این سنگ‌ها، از ۲۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال متغیر است. طولانی‌ترین گسل در مترها ۵۳۶۱-۵۳۳۹ قرار دارد که از برش سیمانیته شده تشکیل شده است. دبی آب ورودی به تونل از این گسل، تقریباً زیاد است و شرایط را برای مچاله‌شوندگی سنگ‌های این مسیر مهیا می‌سازد.

شناسایی کرد. "هوک و پالمیری" در تحقیقات خود نشان دادند که در پروژه‌های بزرگ مهندسی، ابتدا ریسک‌ها شناسایی و طبقه‌بندی و سپس برای کاهش هرکدام از ریسک‌ها، راه‌حلهایی پیشنهاد و اجرا می‌شوند [۸]. "هولیکی" برای طبقه‌بندی ریسک‌های موثر در تونل‌های جاده‌ای، روش‌های احتمالی بهینه‌سازی ریسک را استفاده کرد [۹]. در مقاله "نیک بارتون" سعی شده است با دسته‌بندی و ارزیابی ریسک‌های ژئوتکنیکی حفاری تونل، جهت کاهش آنها اقدامات اصولی انجام گیرد [۱۰]. "یزدانی و همکاران" در پژوهش خود از روش ELECTRE فازی استفاده کرده‌اند. آنها برای نشان دادن قابلیت و اثربخشی مدل پیشنهادی، پروژه خط ۷ متروی تهران را مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که "حسارات و حوادث ماشین‌آلات" و "شرایط نامساعد کار" در بالاترین رتبه قرار گرفته‌اند؛ در مقابل "تاخیر در تکمیل پروژه" و "شکست تجهیزات" به کمترین ارزش را در رتبه‌بندی کسب کردند [۱۱]. "فولادگر و همکاران" از تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی ریسک پروژه انتقال آب دشت ذهاب به‌عنوان یک ابزار مفید در حضور عدم قطعیت‌ها استفاده کرده‌اند [۱۲]. "حیاتی و صیادی" در تحقیق خود نخست ساختار جامعی از ریسک‌های اصلی پروژه‌های تونل‌سازی در قالب ۱۷ دسته اصلی و ۱۹۶ زیرسطح تهیه کردند و سپس این ریسک‌ها در عملیات تونل‌سازی سد سیمره، رتبه‌بندی شد. به‌منظور جمع‌آوری و تجمیع نظر خبرگان از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و میانگین وزنی و جهت رتبه‌بندی ریسک‌ها از روش‌های تخصیص خطی، TAXONOM و LINMAPELECTRE، SAW TOPSIS به عنوان مهم‌ترین روش‌های جبرانی در تصمیم‌گیری چند-شاخصه استفاده کردند. در آخر برای رسیدن به یک اجماع کلی از رتبه‌بندی ریسک‌ها، از روش‌های تلفیقی (میانگین، بردار و کپلند)، استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که عوامل اقتصادی و شرایط حقوقی، به ترتیب بیشترین و کمترین رتبه ریسک را به خود اختصاص دادند [۱۳].

جدول ۱، پروژه‌هایی که از نظر قطر و نوع ماشین، طول تونل و همچنین شرایط زمین با پروژه تونل غربی البرز شباهت دارند را نشان می‌دهد. انتظار می‌رود با توجه به حوادثی که در ساخت این تونل‌ها به‌وجود آمده، مخاطرات و ریسک‌های حفاری تونل غربی البرز به‌درستی پیش‌بینی و مدیریت ریسک شود تا اقدامات لازم جهت حذف یا به حداقل رساندن آنها به موقع صورت گیرد.

جدول ۱: پروژه‌های مشابه با تونل البرز از نظر شرایط زمین و ریسک‌های موجود در آنها

نام تونل	سال	قطر (متر)	شرایط زمین	مخاطرات	نوع ماشین
Pinglin Tunnel (تایوان)	1999-2005	۱۱٫۸	ماسه سنگ بسیار سخت با مقاومت فشاری بیشتر از ۳۵۰ مگاپاسکال، محتوای کوارتز بالا (تا ۹۸٪) و پرکننده‌های رسوبی نازک	سایش زیاد کاترهدها- ناپایداری سینه کار و دیواره ها- مجاله شوندگی- هجوم آب در زون‌های گسلی	TBM (تلسکوپی)
Frasnadello (سوئیس)	2000	۱۱٫۸	آرژیلیتی- سنگ آهک	زون گسلی	Single shield TBM
Gotthard (سوئیس)	2009	۹٫۵۸	گنایس- دولومیت و سنگ گچ- روباره ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر	ناپایداری دیواره‌های تونل	Open TBM
Belchen renovation tunnel (سوئیس)	2016-2017	۱۳٫۹۱	سنگ، ژیبس، رس، آهک	وجود گسل- آب زیرزمینی- افزایش فشار سنگ در طول زمان	Single shield TBM
Lefortovo (مسکو)	2002	۱۴٫۲	سنگ‌های با مقاومت بالا		Mixshield TBM
Weser tunnel (آلمان)	1998-2004	۱۱٫۶۸	زمین ناهمگن و سخت (شامل شن، بلوک‌های گرانیتی، شن و ماسه، مالت، تیل و میکا سیلت)	وجود بولدر در مسیر- تغییرات ناگهانی شرایط زمین	1x Mixshield TBM
SMART Tunnel (مالزی)	2004-2007	۱۳٫۲۱	سنگ- سنگ آهک- سنگ ماسه- شن و ماسه		2x Mixshield TBM
Silver forest tunnel (مسکو)	2004-2006	۱۴٫۲	سنگ- گل- ماسه	ناپایداری دیواره‌های تونل- نشست گاز	Mixshield TBM
A1 Sparvo highway tunnel (ایتالیا)	2011	۱۵٫۵۵	رس- سنگ آهک- سنگ گچ- ماسه سنگ		EPB SHILD

۲-۳- زمین ساخت محدوده‌ی تونل

بین گسله‌های طالقان و کندوان چندین گسله راندگی موازی زیر پهنه گچسر ایجاد شده‌اند که در شکل ۱، نشان داده شده است. هرکدام از این گسله‌های راندگی بخش‌هایی را جابجا کرده و بر روی واحدهای دیگر رانده‌اند.

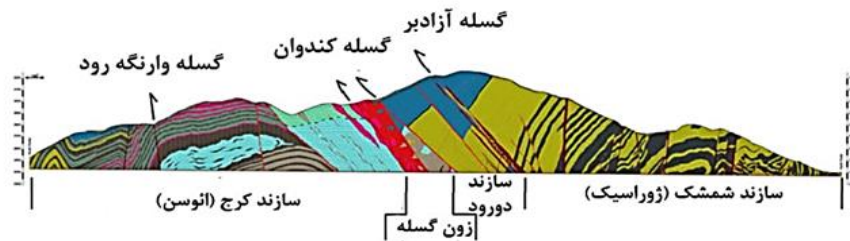
بر اساس مطالعات پیشین، محدوده تونل البرز در زیر زون گچسر قرار گرفته است که بخشی از زون چین خورده رانده شده البرز مرکزی است که راندگی طالقان، مرز جنوبی آن و راندگی کندوان، مرز شمالی آن را می‌سازد. گسله طالقان حدود ۵ کیلومتر از دهانه جنوبی تونل فاصله دارد اما گسله کندوان، تونل را قطع می‌کند. گسله کندوان با طول ۲۰۰ کیلومتر و با روند شمال باختر- جنوب خاور در البرز مرکزی مرز بین زون پالیوزوییک- مزوزوییک مرکزی در شمال و زون ترشیاری مرکزی را در جنوب، شکل داده است. این گسل راندگی، سازندهای شمشک (ژوراسیک) و دورود (پرمین) را بر روی سازند کرج (ایوسن) رانده است. جهت حرکت گسله بر اساس مطالعات پیشین به سوی جنوب باختر با ساز و کار حرکت معکوس با مولفه راست‌لغز-راست‌گرد است [۱۴].

۴- پدیده‌های خطرزا در مسیر تونل غربی البرز

۴-۱- عوامل زمین شناسی

الف) پدیده انبساط یا تورم

این پدیده می‌تواند با ایجاد فشارهای جانبی، موجب تغییر ابعاد تونل شود. این پدیده بیش از همه در گچ‌سنگ‌های سازند کرج وجود دارد، وجود آب در گچینه‌سنگ، می‌تواند موجب فعالیت‌های شیمیایی شده و انیدریت را به گچ‌سنگ تبدیل کند که باعث انبساط و افزایش حجم ۵ درصدی سنگ می‌شود و پیامد آن، تغییر شکل در اندازه‌های تونل و سیستم حفاظت آن است.



شکل ۱: مقطع طولی تونل و عملکرد گسله‌ها در جابه‌جایی و راندگی واحدهای قدیمی تر بر روی واحدهای جوان تر

ب) جریان آب

جریان آب در بسیاری از نقاط تونل البرز قابل انتظار است؛ از جمله در همبری گچ‌سنگ‌های سازند کرج با لایه‌های توفی، شرقی و میانی قطعا بر دبی موجود تأثیر می‌گذارد و می‌توان در هنگام حفاری تونل غربی، با اجرای زهکش‌هایی از راه تونل میانی، به ویژه در مقاطع گسلی (گسل کندوان)، از هجوم ناگهانی آب به داخل تونل جلوگیری کرد. همچنین می‌توان با روش‌های ژئوفیزیکی (استفاده از دستگاه beam) نسبت به شناسایی جبهه کار پیش‌رو اقدام کرد تا قبل از رسیدن به مقاطع خطرناک دارای حفرات آب‌دار، امکان تزریق پیش‌رو فراهم شود.

ج) کارست

پدیده انحلال (کارستی شدن) را می‌توان در گچینه‌سنگ‌ها و سنگ‌آهک‌ها مشاهده کرد. از این‌رو وجود حفرات کارستیک در مسیر تونل‌های البرز، بیانگر احتمال برخورد این تونل‌ها با فضاهای بزرگ محبوس و اشباع در عمق تونل‌ها است. در اثر انحلال، حفره‌ها و چاهک‌هایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود که آب و گاز می‌تواند از میان آنها جریان یابد و این امر مشکلات زیادی را در تونل‌سازی به وجود می‌آورد. اما دیگر مشکلی که این حفرات در تونل‌سازی مکانیزه ایجاد می‌کنند، هنگام کفشک‌زنی ماشین باز است. در این موارد استفاده از کفشک‌زنی به علت کاهش ظرفیت باربری سنگ با محدودیت مواجه است زیرا ممکن است در اثر وجود حفرات، سنگ زیر کفشک بشکند و مشکلاتی را برای پیشروی ماشین به‌وجود آورد.

د) تصاعد گاز

حضور گازهای سمی با توجه به لایه‌های زغال‌سنگ و انتشار گازهای هیدروترمال خطرات بالقوه‌ای را در تونل البرز رقم خواهد زد. انفجار گازهای قابل اشتعال به‌عنوان یکی از اتفاقات بسیار ناگوار در تاریخچه تونل‌سازی به ثبت رسیده

است. گازهای سمی (متان، سولفید هیدروژن) ممکن است در اکثر سنگ‌های رسوبی یافت شود.

۲-۴- عامل هزینه (سرمایه‌گذاری و هزینه خرید دستگاه TBM و تجهیزات وابسته)

هزینه‌های حفر تونل را به دو گروه کلی ثابت و متغیر تقسیم می‌کنند. هزینه‌های ثابت مربوط به سرمایه‌گذاری‌ها، خرید ماشین و تجهیزات مربوط به آن و استهلاک است که مجموع آنها را برای هر متر از تونل در نظر می‌گیرند. این هزینه‌ها در طول مدت اجرای یک پروژه، ثابت است و عملکرد ماشین و کارکنان در آن دخالتی ندارد [۱۴].

۳-۴- عوامل فنی و محیطی

الف) تجربه تونل‌سازی مکانیزه قطر بزرگ در پیمانکاران داخلی

تا زمان تهیه گزارش فنی تونل البرز، پیمانکاران داخلی تجربه کار با ماشین‌های سپر تعادلی فشار زمین، سپر دابل، سینگل شیلد و گریپر را دارند ولی تجربه حفاری مکانیزه با قطرهای بالا در محیط‌های سنگی در نزد پیمانکاران داخلی موجود نیست.

ب) نحوه تأمین مصارف برق

برای تأمین توان برق مورد نیاز کارگاه با توجه به مطالعات موجود، راهکارهای ممکن، استفاده از توان شبکه (تا سقف ۹ مگاوات) و استفاده از دیزل ژنراتور گازویی (۹ مگاوات) است.

۴-۴- عوامل هندسی

با توجه به برنامه زمان‌بندی اجرای ایستگاه‌ها و تونل، عبور TBM از محدوده‌های حفاری محل دستک‌ها، پارکینگ، ایستگاه‌های جان‌پناه و راهروهای نفرو مسیر در دو حالت کلی امکان‌پذیر است. در حالت اول، حفاری و سگمنت‌گذاری

۵-۱- روش شباهت به گزینه ایده آل فازی

روش شباهت به گزینه ایده آل، توسط "یون و هوانگ" در سال ۱۹۸۱ ارائه و مورد استقبال محققان و کاربران مختلف واقع شد. در روش شباهت به گزینه ایده آل کلاسیک، وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها توسط مقادیر دقیق و معین تعیین می‌شود. ولی در بسیاری از مواقع عدم قطعیت تفکرات انسان در تصمیم‌گیری‌ها تأثیرگذار است؛ پس باید از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده کرد که روش شباهت به گزینه ایده آل فازی یکی از این روش‌ها است. در این حالت عناصر ماتریس تصمیم‌گیری یا وزن معیارها و یا هر دو آن‌ها، توسط متغیرهای زبانی که با اعداد فازی ارائه شده‌اند، ارزیابی می‌شوند. بدین ترتیب بر مشکلات روش شباهت به گزینه ایده آل کلاسیک، غلبه می‌شود [۱۶].

در پژوهش‌های گوناگون نمونه‌هایی از کاربرد این روش بیان شده است. از جمله ارزیابی مزایای وب‌سایت‌ها، انتخاب محل جاده، بهبود کیفیت ساختمان‌ها و... که جدول ۲ برخی از آنها را نشان می‌دهد.

اگر در یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، برای انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل فازی، باید مراحل زیر انجام شود [۱۵، ۱۶]:

گام (۱) تشکیل ماتریس تصمیم

با توجه به تعداد معیارها و تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه آنها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر (رابطه ۱) تشکیل می‌شود:

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{11} & \cdots & \bar{X}_{1j} & \cdots & \bar{X}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{X}_{i1} & \cdots & \bar{X}_{ij} & \cdots & \bar{X}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{X}_{m1} & \cdots & \bar{X}_{mj} & \cdots & \bar{X}_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

تونل انجام و سپس در فواصل معین حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متری، محدوده‌های مورد نظر تعریض می‌شوند. در این حالت سگمنت‌های نصب شده در طول ایستگاه، جمع‌آوری یا تخریب خواهد شد و سپس، تعریض و تکمیل عملیات انجام می‌شود. در حالت دیگر، ابتدا حفاری پارکینگ انجام شده و TBM از فضای خالی پارکینگ عبور خواهد کرد. اجرای تونل در هر یک از این حالت‌ها، نیازمند اتخاذ تدابیر و تمهیداتی برای پیشگیری از مشکلات و تاخیرات احتمالی است.

۵- روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی

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

در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره کلاسیک تلاش 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 در دنیای واقعی، در مراحل مختلف مطالعه و بررسی یک مساله، همیشه با عدم قطعیت روبه‌رو هستیم. بنابراین در بسیاری از موارد، تمام و یا قسمتی از داده‌های یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره، فازی هستند که اگر با استفاده از داده‌های قطعی فرموله شود، جواب درست و دقیقی به دست نخواهد آمد. بنابراین برای مدل کردن عدم قطعیت در تصمیم‌گیری، از نظریه فازی استفاده می‌شود [۱۵]. در ادامه به تشریح دو روش تاپسیس و الکترو در محیط فازی پرداخته شده است.

جدول ۲: برخی از مقالات به چاپ رسیده در مورد روش شباهت به گزینه ایده آل فازی

منبع	سال	عنوان مقاله
[۱۷]	۲۰۰۹	استفاده از روش تاپسیس فازی برای ارزیابی مزایای رقابتی وب‌سایت‌های خرید
[۱۸]	۲۰۱۸	ارزیابی اجزای انعطاف‌پذیر برای بهبود کیفیت مسکن با استفاده از روش تاپسیس فازی
[۱۹]	۲۰۱۸	رویکرد تاپسیس فازی بهبود یافته برای شناسایی ساختمان‌های در معرض خطر ناشی از زلزله
[۲۰]	۲۰۰۸	انتخاب محل حمل و نقل با استفاده از روش AHP و تاپسیس در محیط فازی
[۲۱]	۲۰۱۲	مدل ارزیابی هوش کسب‌وکار برای سیستم‌های سرمایه‌گذاری با استفاده از تاپسیس فازی

گام ۵) یافتن حل ایده‌آل و ضدایده‌آل فازی

گزینه‌هایی که در آن A^* و A^- قرار می‌گیرند، به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند (روابط ۸ و ۹).

$$A^* = \{\tilde{V}_1^*, \tilde{V}_2^*, \dots, \tilde{V}_n^*\}, \quad \tilde{V}_i^* = \text{Max}\{\tilde{V}_{ij}^*\}, \quad (8)$$

$$j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$A^- = \{\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-\}, \quad \tilde{V}_i^- = \text{Min}\{\tilde{V}_{ij}^-\}, \quad (9)$$

$$j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

گام ۶) محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضدایده‌آل فازی

فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل و ضدایده‌آل فازی از روابط ۱۰ و ۱۱ قابل محاسبه است:

$$S_i^* = \sum d_V(V_{ij}, V_j^*) \quad , i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$S_i^- = \sum d_V(V_{ij}, V_j^-) \quad , i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

فاصله از حل ایده‌آل برای اعداد فازی مثلثی مثبت و منفی به ترتیب از روابط ۱۲ و ۱۳ محاسبه می‌شود:

$$d_V(V_{ij}, V_j^*) = \sqrt{\frac{1}{3}(\sum (v_{ij} - v_j^*)^2)} \quad (12)$$

$$d_V(V_{ij}, V_j^-) = \sqrt{\frac{1}{3}(\sum (v_{ij} - v_j^-)^2)} \quad (13)$$

قابل ذکر است که $d_V(V_{ij}, V_j^*)$ و $d_V(V_{ij}, V_j^-)$ اعداد قطعی هستند.

گام ۷) محاسبه شاخص شباهت

در آخرین مرحله شاخص شباهت (C_j^*) از رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود:

$$C_j^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

گام ۸) رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این مرحله گزینه‌ها با توجه به میزان شاخص شباهت، به‌طوری رتبه‌بندی می‌شوند که گزینه‌ها با شاخص شباهت بیشتر در اولویت قرار گیرند.

۵-۲- روش حذف و انتخاب سازگار با واقعی (الکتره فازی)

روش الکتره یا تسلط تقریبی، از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره است. روش الکتره فازی با توجه به ماهیت عدم‌اطمینان و ابهام موجود در ارزیابی مقایسه‌ها برای

در صورتی که از اعداد فازی مثلثی استفاده شود، $\bar{X} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ عملکرد گزینه i ام، $(i=1, 2, \dots, m)$ در رابطه با معیار j ام $(j=1, 2, \dots, n)$ خواهد بود.

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای k تصمیم‌گیرنده باشد و رتبه‌بندی فازی k امین تصمیم‌گیرنده، $(\bar{A}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}))$ (عدد فازی مثلثی) باشد، رتبه‌بندی فازی ترکیبی $\bar{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ گزینه‌ها را با توجه به معیارها می‌توان از روابط زیر به‌دست آورد (رابطه ۲):

$$a_{ij} = \text{Min}\{a_{ijk}\}$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^k b_{ijk}}{k} \quad (2)$$

$$c_{ij} = \text{Max}\{c_{ijk}\}$$

گام ۲) تعیین ماتریس وزن معیارها

در این مرحله ضریب اهمیت معیارهای مختلف (اعداد فازی مثلثی)، به صورت زیر (رابطه ۳) تعریف می‌شود:

$$\tilde{W}_j = (\tilde{W}_{j1}, \tilde{W}_{j2}, \tilde{W}_{j3}) \quad (3)$$

گام ۳) بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم فازی

زمانی که X_{ij} ها به شکل فازی هستند، Γ_{ij} ها نیز فازی خواهند بود. اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، درایه‌های ماتریس تصمیم نرمال برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شود:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_{j^*}}, \frac{b_{ij}}{c_{j^*}}, \frac{c_{ij}}{c_{j^*}} \right) \quad , \quad c_{j^*} = \text{Max}\{c_{ij}\} \quad (4)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \quad , \quad a_j^- = \text{Min}\{a_{ij}\} \quad (5)$$

بنابراین ماتریس تصمیم فازی نرمال (\tilde{R}) به صورت زیر (رابطه ۶) به‌دست می‌آید:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

گام ۴) تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار

با توجه به وزن معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار از ضرب ضریب اهمیت مربوط به هر معیار (\tilde{W}_j) در ماتریس نرمالیزه شده فازی (\tilde{R}) به شکل ماتریس زیر (رابطه ۷) به‌دست می‌آید:

$$\tilde{V} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j \quad (7)$$

(\tilde{W}_j) بیان‌کننده ضریب اهمیت معیار C_j است.

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^l, r_{ij}^y, r_{ij}^u) = \left(\frac{a_j}{x_{ij}^l}, \frac{a_j}{x_{ij}^y}, \frac{a_j}{x_{ij}^u} \right), \quad (17)$$

$$a_j = \max_i(x_{ij}^l), j \in C$$

گام سوم: تشکیل ماتریس نرمال وزن دار

در این گام، وزن‌های معیارها که در گام ۱ به دست آمده است را در ماتریس نرمال ضرب و ماتریس وزن دار را محاسبه می‌کنیم.

گام چهارم: محاسبه فاصله بین هر دو گزینه

در این گام با استفاده از رابطه ۱۸، فاصله بین هر دو گزینه مساله نسبت به هر معیار به دست می‌آید.

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \int |\mu_{\tilde{A}}(x) - \mu_{\tilde{B}}(x)| dx \quad (18)$$

مجموعه موافق و مخالف از ماتریس وزن دار شده بدست می‌آیند و برای تشکیل ماتریس‌های موافق و مخالف از رابطه بالا استفاده می‌شود.

گام پنجم: ساخت مجموعه موافق و ایجاد ماتریس موافقت

مجموعه موافق، مجموعه‌ای از معیارها است که در آن $V_{xj} > V_{yj}$ است. همان ماتریس نرمال وزن دار است. ماتریس موافقت از مجموع وزن تمام معیارهای موجود در مجموعه موافق بر اساس رابطه ۱۹ حاصل می‌شود.

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} \tilde{c}_{11} & \dots & \tilde{c}_{1x} & \dots & \tilde{c}_{1(m-1)} & \tilde{c}_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{c}_{x1} & \dots & \dots & \dots & \tilde{c}_{x(m-1)} & \tilde{c}_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{c}_{(m-1)1} & \dots & \tilde{c}_{(m-1)x} & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{c}_{m1} & \dots & \dots & \dots & \tilde{c}_{m(m-1)} & \tilde{c}_{mm} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Where $\tilde{c}_{xy} = (c_{xy}^l, c_{xy}^y, c_{xy}^u) = (\sum_{j \in J_c} w_j^l, \sum_{j \in J_c} w_j^y, \sum_{j \in J_c} w_j^u)$

سپس مقدار آستانه مجموعه موافق را از رابطه ۲۰ به دست

تکمیل ماتریس عملکرد تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در این روش، گزینه‌های رقیب با استفاده از مقایسه‌های غیررتبه‌ای ارزیابی می‌شوند و قوانین ساده، حداکثر استفاده از اطلاعات ماتریس تصمیم و در نهایت محاسبات منظم و منسجم از مزایای آن به شمار می‌روند.

در مقاله‌های گوناگون مثال‌هایی از کاربرد این روش بیان شده است. از جمله رتبه‌بندی پروژه‌ها، طرح‌ریزی تسهیلات، انتخاب محل کارخانه و برنامه‌ریزی استراتژیک که برخی در جدول ۳ آمده است.

در ادامه گام‌های روش الکترو I فازی که توسط حاتمی و توانا پیشنهاد شده، به طور مختصر بیان شده است [۲۲].

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم فازی

برای تشکیل ماتریس تصمیم فازی از m گزینه و n معیار استفاده می‌شود. ابتدا اهمیت فازی هر معیار مشخص می‌شود. که در واقع همان وزن معیار است و می‌تواند مستقیم توسط تصمیم‌گیرنده یا تصمیم‌گیرندگان تعیین شود البته می‌توان وزن‌ها را به صورت قطعی تعیین کرد و برای فازی کردن آن وزن را سه بار تکرار کرد (رابطه ۱۵).

$$\tilde{U} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1 \quad \tilde{w}_2 \quad \dots \quad \tilde{w}_N]$$

گام دوم: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

نرمال‌سازی زیر برای معیارهای مثبت و منفی، توسط دو رابطه ۱۶ و ۱۷ انجام می‌شود:

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^l, r_{ij}^y, r_{ij}^u) = \left(\frac{x_{ij}^l}{c_j^+}, \frac{x_{ij}^y}{c_j^+}, \frac{x_{ij}^u}{c_j^+} \right), \quad (16)$$

$$c_j^+ = \max_i(x_{ij}^u), j \in B, \quad \text{and}$$

جدول ۳: برخی از مقالات به چاپ رسیده در مورد روش تصمیم‌گیری الکترو و الکترو فازی

منبع	سال	عنوان مقاله
[۲۳]	۲۰۱۱	روش ELECTRE I فازی برای ارزیابی و انتخاب شرکت‌های خدماتی
[۲۴]	۲۰۱۱	گسترش روش Electre I برای تصمیم‌گیری گروهی در محیط فازی
[۱۱]	۲۰۱۳	رتبه‌بندی ریسک پروژه‌های ساخت تونل با استفاده از تکنیک ELECTRE تحت محیط فازی
[۲۵]	۲۰۱۵	استفاده از روش‌های AHP و ELECTRE III / IV برای ارزیابی چند معیاره پروژه‌های حمل و نقل شهری
[۲۶]	۲۰۰۷	مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب قراردادهای گزینشی بر اساس تابع سودمندی و روش ELECTRE
[۲۷]	۲۰۱۰	بررسی نسبی فرآیند تولید فتوولتائیک نازک با استفاده از روش ELECTRE III
[۲۸]	۲۰۰۸	استفاده از متغیر زمانی فازی و روش ELECTRE در ارزیابی و انتخاب پروژه تحقیق و توسعه

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1x} & \dots & f_{1(m-1)} & f_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{x1} & \dots & \dots & \dots & f_{x(m-1)} & f_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & f_{xy} & \dots & \dots \\ f_{(m-1)1} & \dots & f_{(m-1)x} & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & \dots & \dots & f_{m(m-1)} & f_{mm} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\text{Where } \begin{cases} d_{xy} \geq \bar{d} \leftrightarrow f_{xy} = 0 \\ d_{xy} < \bar{d} \leftrightarrow f_{xy} = 1 \end{cases}$$

گام دهم: رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

ماتریس تسلط نهایی، ترجیحات جزئی گزینه‌ها را بیان می‌کند. باید گزینه‌ای انتخاب شود که بیشتر از مغلوب شدن، تسلط داشته باشد و در نهایت می‌توان گزینه‌ها را از این منظر رتبه‌بندی کرد.

۶- رتبه‌بندی ریسک‌های تونل غربی البرز

برای رتبه‌بندی ریسک‌ها در ماشین حفاری تمام مقطع TBM در تونل غربی البرز با توجه به قطر بالای تونل و در نظر گرفتن محیط سنگی، پس از بررسی مطالعات زمین‌شناسی مسیر تونل و کسب نظر خبرگان، تعداد ۱۷ مخاطره در حوزه‌های مختلف از جمله ریسک‌های ژئوتکنیکی، سرمایه‌گذاری و هزینه، فنی-محیطی، سیاسی و هندسی جهت رتبه‌بندی ریسک‌های حفاری مکانیزه تونل‌های بزرگ مقطع در این پروژه شناسایی شدند (جدول ۴).

در این مطالعه با توجه به نظر کارشناسان چهار معیار احتمال وقوع ریسک (C1)، میزان تاثیر ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت پروژه (C2)، میزان عدم اطمینان از تخمین (C3) و توانایی سازمان در واکنش به ریسک (C4)، به عنوان شاخص‌های تصمیم‌گیری مسأله، شناسایی شدند. برای کمی‌سازی داده‌های پرسش‌نامه‌ها در محیط فازی، از هفت کارشناس خبره در حوزه تونل‌سازی و مرتبط با پروژه تونل غربی البرز، نظرسنجی و نتایج آن در جداول ۵ و ۶ استفاده شده است.

با توجه به تعداد معیارها و گزینه‌ها، ماتریس تصمیم‌گیری فازی حاصل میانگین‌گیری نظرات خبرگان در پروژه تونل غربی البرز به صورت جدول ۷ است.

۶-۱- رتبه‌بندی ریسک‌های تونل غربی البرز با روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی

با به‌دست آوردن نظرات خبرگان، بردار وزن فازی معیارها شکل می‌گیرد (جدول ۸):

می‌آوریم که همان میانگین حسابی از درایه‌های ماتریس موافق است.

$$\bar{c} = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^{m-1} \frac{\tilde{c}_{xy}}{m(m-1)} \quad (20)$$

گام ششم: تشکیل ماتریس بولین موافق

با استفاده از مقدار آستانه و ماتریس موافق، می‌توان ماتریس بولین (صفر و یک) را ایجاد کرد. اگر درایه ماتریس موافق از مقدار آستانه بزرگ‌تر باشد، عدد متناظر آن در ماتریس بولین، یک و در غیر این صورت، مقدار صفر خواهد بود (رابطه ۲۱).

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & \dots & e_{1x} & \dots & e_{1(m-1)} & e_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{x1} & \dots & \dots & \dots & e_{x(m-1)} & e_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & e_{xy} & \dots & \dots \\ e_{(m-1)1} & \dots & e_{(m-1)x} & \dots & \dots & \dots \\ e_{m1} & \dots & \dots & \dots & e_{m(m-1)} & e_{mm} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\text{Where } \begin{cases} \tilde{c}_{xy} \geq \bar{c} \leftrightarrow e_{xy} = 1 \\ \tilde{c}_{xy} < \bar{c} \leftrightarrow e_{xy} = 0 \end{cases}$$

گام هفتم: ساخت مجموعه مخالف و ایجاد ماتریس

مخالفت

مجموعه مخالف، مجموعه‌ای از معیارهایی است که $V_{xj} < V_{yj}$ است و ماتریس مخالف با رابطه ۲۲ تشکیل می‌شود.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1x} & \dots & d_{1(m-1)} & d_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{x1} & \dots & \dots & \dots & d_{x(m-1)} & d_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & d_{xy} & \dots & \dots \\ d_{(m-1)1} & \dots & d_{(m-1)x} & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & \dots & \dots & \dots & d_{m(m-1)} & d_{mm} \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\text{Where } d_{xy} = \frac{\max_{j \in D} |\bar{v}_{xj} - \bar{v}_{yj}|}{\max_j |\bar{v}_{xj} - \bar{v}_{yj}|} = \frac{\max_{j \in D} |d(\max(\bar{v}_{xj}, \bar{v}_{yj}), \bar{v}_{xj})|}{\max_j |d(\max(\bar{v}_{xj}, \bar{v}_{yj}), \bar{v}_{yj})|}$$

همچنین مقدار آستانه مخالفت برابر است با رابطه ۲۳:

$$\bar{d} = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^{m-1} \frac{d_{xy}}{m(m-1)} \quad (23)$$

گام هشتم: تشکیل ماتریس بولین مخالف

با استفاده از مقدار آستانه و ماتریس مخالفت، ماتریس بولین (صفر و یک) ایجاد می‌شود (رابطه ۲۴).

گام نهم: تشکیل ماتریس نهایی

ماتریس نهایی از ضرب درایه‌های متناظر دو ماتریس بولین موافق و مخالف به‌دست می‌آید. در این ضرب وقتی هردو مقدار یک باشد، جواب یک و در غیر این صورت، جواب صفر خواهد بود.

جدول ۴: مخاطرات محتمل شناسایی شده در حفاری مکانیزه تونل غربی البرز

مخاطرات	مخاطرات
M10	خطر ریزش‌های سنگی
M11	هزینه خرید دستگاه TBM و تجهیزات وابسته
M12	تجربه تونل‌سازی پیمانکاران برای قطرهای بزرگ
M13	حمل قطعات بزرگ ماشین
M14	تأمین مصارف برق
M15	تحریم‌های خارجی برای خرید ماشین و پشتیبانی و تأمین قطعات
M16	حفاری پارکینگ، دستک‌ها و راهروهای نفرو و سواره‌رو
M17	پارامترهای طول و قطر تونل
	M9
	پدیده‌ی مچاله‌شوندگی

جدول ۶: اهمیت معیارها نسبت به هدف در قالب اعداد فاز [۳۰]

اهمیت	عدد فاز
Very low Importance	بسیار کم (0 , 0.1 , 0.3)
Low Importance	کم اهمیت (0.1 , 0.3 , 0.5)
Equal	با اهمیت برابر (0.3 , 0.5 , 0.7)
Important	با اهمیت (0.5 , 0.7 , 0.9)
Very Important	بسیار با اهمیت (0.7 , 0.9 , 1)

جدول ۵: اهمیت گزینه نسبت به معیارها در قالب اعداد فاز [۳۰]

اهمیت	عدد فاز
VL	خیلی کم (کمتر از ۲۰٪) (1 , 1 , 3)
L	کم (۲۰٪-۴۰٪) (1 , 3 , 5)
M	متوسط (۴۰٪ تا ۶۰٪) (3 , 5 , 7)
H	زیاد (۶۰٪-۸۰٪) (5 , 7 , 9)
VH	خیلی زیاد (بیشتر از ۸۰٪) (7 , 9 , 9)

جدول ۷: ماتریس تصمیم‌گیری فاز حاصل از نظرسنجی خبرگان

C4			C3			C2			C1			
1	5.57	9	1	3.28	9	1	5.57	9	1	5	9	M1
1	6.71	9	1	2.71	9	1	6.71	9	1	7.57	9	M2
1	5.28	9	1	5.28	9	1	4.71	9	1	4.42	9	M3
1	5.58	9	1	4.14	9	3	8.14	9	3	7.28	9	M4
1	6.42	9	1	3	7	3	6.71	9	3	8.42	9	M5
1	5.58	9	1	4.14	9	1	3.57	9	1	6.14	9	M6
3	6.71	9	1	4.42	9	1	3	7	1	4.71	9	M7
3	7	9	1	4.71	9	1	5.57	9	3	4.14	9	M8
3	5.58	9	1	4.42	9	1	6.14	9	3	6.71	9	M9
3	7	9	1	3.85	7	1	5.28	9	3	7	9	M10
1	4.42	9	1	4.14	9	1	6.14	9	1	7	9	M11
1	3.85	7	1	5.28	9	3	7.57	9	1	6.42	9	M12
1	5	9	1	5.57	9	1	4.71	9	3	6.42	9	M13
1	5.28	9	1	2.42	7	1	4.14	7	1	4.14	7	M14
1	5	9	1	4.14	9	1	5.28	9	1	5.57	9	M15
1	5.28	9	1	2.71	7	1	4.71	9	1	5	9	M16
1	5	9	1	3.57	9	1	4.71	9	1	5	9	M17

جدول ۸: بردار وزن فازی معیارها

C4			C3			C2			C1			
0.5	0.82	1	0.3	0.67	0.9	0.5	0.81	1	0.3	0.64	1	W

جدول ۹: ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده

C4			C3			C2			C1			
0.111	0.179	1	0.111	0.364	1	0.111	0.618	1	0.111	0.555	1	M1
0.111	0.149	1	0.111	0.301	1	0.111	0.745	1	0.111	0.841	1	M2
0.111	0.189	1	0.111	0.586	1	0.111	0.5233	1	0.333	0.491	1	M3
0.111	0.179	1	0.111	0.46	1	0.333	0.904	1	0.333	0.808	1	M4
0.111	0.155	1	0.111	0.333	0.777	0.333	0.745	1	0.111	0.935	1	M5
0.111	0.179	1	0.111	0.46	1	0.111	0.396	1	0.111	0.682	1	M6
0.111	0.149	0.333	0.111	0.491	1	0.111	0.333	0.777	0.333	0.523	1	M7
0.111	0.142	0.333	0.111	0.523	1	0.111	0.618	1	0.333	0.46	1	M8
0.111	0.179	0.333	0.111	0.491	1	0.111	0.682	1	0.333	0.745	1	M9
0.111	0.142	0.333	0.111	0.427	0.777	0.111	0.586	1	0.111	0.777	1	M10
0.111	0.226	1	0.111	0.46	1	0.111	0.682	1	0.111	0.777	1	M11
0.142	0.259	1	0.111	0.586	1	0.333	0.841	1	0.333	0.713	1	M12
0.111	0.2	1	0.111	0.618	1	0.111	0.523	1	0.111	0.713	1	M13
0.111	0.189	1	0.111	0.268	0.777	0.111	0.46	0.777	0.111	0.46	0.77	M14
0.111	0.2	1	0.111	0.46	1	0.111	0.586	1	0.111	0.618	1	M15
0.111	0.189	1	0.111	0.301	0.777	0.111	0.523	1	0.111	0.555	1	M16
0.111	0.2	1	0.111	0.396	1	0.111	0.523	1	1	0.555	1	M17

جدول ۷ به صورت ماتریس نرمالیزه شده، در جدول ۹ آمده است.

گام دوم: در این گام نیز همچون روش تاپسیس فازی، بردار وزن در ماتریس نرمالیزه، ضرب و ماتریس نرمالیزه وزن‌دار در جدول ۱۰ محاسبه شده است.

گام سوم: طبق جدول ۱۳، ماتریس نرمال شده وزن‌دار با روش میانگین، دیفازی شده است.

گام چهارم: در این مرحله مجموعه‌های موافقت تشکیل می‌شود (جدول ۱۴). نکته حایز اهمیت اینکه شاخص توانایی پاسخ سازمان به ریسک، منفی است بنابراین در حالت مقایسه، خلاف سایر شاخص‌ها اعمال می‌شود.

با جایگزینی مجموع اوزان در ماتریس، ماتریس موافق C به صورت جدول ۱۵ به دست می‌آید.

گام پنجم: در این مرحله با استفاده از مقدار آستانه و ماتریس موافقت، ماتریس بولین (جدول ۱۶) ایجاد شده است $\bar{c} = 1.58$.

با توجه به مثبت بودن معیارهای اول تا سوم و منفی بودن معیار چهارم، ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده به صورت جدول ۹ تشکیل می‌شود.

در جدول ۱۰، ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده وزن‌دار آمده است:

در این مرحله حل ایده‌آل فازی و ضدایده‌آل فازی برای معیارهای مختلف به شکل جدول ۱۱ محاسبه می‌شود.

سپس برای هر معیار فاصله بین هر گزینه از حل ایده‌آل، و فاصله بین گزینه و حل ضدایده‌آل و شاخص شباهت برای گزینه‌های مختلف محاسبه شده و رتبه‌بندی بر اساس شاخص شباهت در جدول ۱۲ و شکل ۲ آورده شده است.

۶-۲- رتبه‌بندی ریسک‌های تونل غربی البرز با روش الکترون فازی

گام اول: مانند روش تاپسیس فازی، ماتریس تصمیم

جدول ۱۰: ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده وزن‌دار

C4			C3			C2			C1			
0.055	0.147	1	0.033	0.244	0.9	0.055	0.501	1	0.033	0.355	1	M1
0.055	0.122	1	0.033	0.201	0.9	0.055	0.603	1	0.033	0.538	1	M2
0.055	0.155	1	0.033	0.393	0.9	0.055	0.423	1	0.1	0.314	1	M3
0.055	0.146	1	0.033	0.308	0.9	0.166	0.732	1	0.1	0.517	1	M4
0.055	0.127	1	0.033	0.223	0.7	0.166	0.603	1	0.033	0.598	1	M5
0.055	0.146	1	0.033	0.308	0.9	0.055	0.321	1	0.033	0.436	1	M6
0.055	0.122	0.333	0.033	0.329	0.9	0.055	0.27	0.777	0.1	0.334	1	M7
0.055	0.117	0.333	0.033	0.350	0.9	0.055	0.501	1	0.1	0.294	1	M8
0.055	0.146	0.333	0.033	0.329	0.9	0.055	0.552	1	0.1	0.477	1	M9
0.055	0.117	0.333	0.033	0.286	0.7	0.055	0.475	1	0.033	0.497	1	M10
0.055	0.185	1	0.033	0.308	0.9	0.055	0.552	1	0.033	0.497	1	M11
0.071	0.212	1	0.033	0.393	0.9	0.166	0.681	1	0.1	0.456	1	M12
0.055	0.164	1	0.033	0.414	0.9	0.055	0.423	1	0.033	0.456	1	M13
0.055	0.155	1	0.033	0.180	0.7	0.055	0.372	0.777	0.033	0.294	0.7777	M14
0.055	0.164	1	0.033	0.308	0.9	0.055	0.475	1	0.033	0.396	1	M15
0.055	0.155	1	0.033	0.201	0.7	0.055	0.423	1	0.033	0.355	1	M16
0.055	0.164	1	0.033	0.265	0.9	0.055	0.423	1	0.3	0.355	1	M17

جدول ۱۱: حل ایده‌آل فازی و ضدایده‌آل فازی

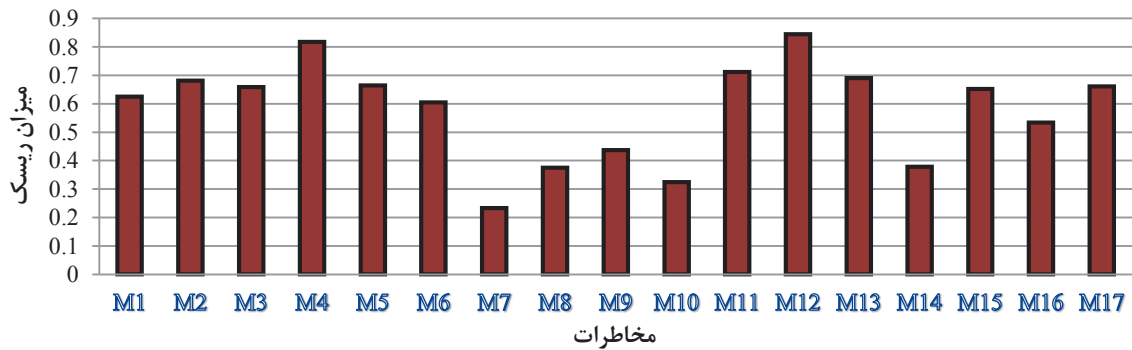
C4			C3			C2			C1			
0.071	0.212	1	0.033	0.414	0.9	0.166	0.732	1	0.3	0.598	1	A*
0.055	0.117	0.333	0.033	0.180	0.7	0.055	0.27	0.777	0.033	0.294	0.777	A-

جدول ۱۳: دیفازی شده ماتریس نرمال شده وزن‌دار

C4	C3	C2	C1	
0.352	0.330	0.469	0.357	M1
0.344	0.315	0.503	0.418	M2
0.355	0.379	0.443	0.343	M3
0.352	0.351	0.607	0.459	M4
0.346	0.273	0.564	0.486	M5
0.352	0.351	0.409	0.384	M6
0.162	0.358	0.331	0.350	M7
0.160	0.365	0.469	0.384	M8
0.170	0.358	0.486	0.445	M9
0.160	0.294	0.460	0.452	M10
0.365	0.351	0.486	0.404	M11
0.383	0.379	0.589	0.391	M12
0.358	0.386	0.443	0.438	M13
0.355	0.258	0.365	0.289	M14
0.358	0.351	0.460	0.370	M15
0.355	0.266	0.443	0.357	M16
0.358	0.337	0.443	0.357	M17

جدول ۱۲: رتبه‌بندی ریسک‌ها بر اساس شاخص شباهت

رتبه	Cci	-Si	*Si	مخاطرات
10	0.625	0.824	0.494	M1
5	0.681	0.923	0.432	M2
8	0.658	0.844	0.437	M3
2	0.817	1.011	0.225	M4
6	0.664	0.867	0.438	M5
11	0.604	0.806	0.526	M6
17	0.232	0.282	0.932	M7
15	0.375	0.470	0.784	M8
13	0.437	0.539	0.693	M9
16	0.324	0.410	0.852	M10
3	0.711	0.905	0.366	M11
1	0.844	0.998	0.183	M12
4	0.690	0.878	0.393	M13
14	0.378	0.444	0.731	M14
9	0.652	0.838	0.446	M15
12	0.533	0.687	0.600	M16
7	0.661	0.871	0.445	M17



شکل ۲: رتبه‌بندی ریسک به کمک روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی بر اساس مقدار شاخص شباهت

جدول ۱۴: نمونه‌ی تشکیل شده از مجموعه‌های موافقت C در روش الکترون فازی

مجموع اوزان	C4	C3	C2	C1	رویداد
1.491	0.82	0.671			M1-2
1.457			0.814	0.643	M1-3
0.82	0.82				M1-4

جدول ۱۵: ماتریس موافقت C در الکترون فازی

M17	M16	M15	M14	M13	M12	M11	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	
0.643	1.457	0.814	2.128	0.814	0	0	2.305	1.463	1.634	2.277	1.634	1.491	0.82	1.457	1.491		M1
1.457	2.128	1.457	2.128	0.814	0.643	1.457	2.305	1.634	2.277	1.634	1.457	0.671	0	1.457		1.457	M2
1.485	2.305	0.671	2.948	0.814	0.671	0.671	1.491	1.491	1.491	2.305	2.305	1.491	1.491		1.491	1.491	M3
2.128	2.128	2.128	2.128	1.457	1.457	2.128	2.948	2.277	2.277	2.277	2.948	2.305		1.457	2.948	2.128	M4
1.457	2.128	1.457	2.128	1.457	0.643	1.457	2.277	2.277	2.277	2.277	1.457		0.643	1.457	2.277	1.457	M5
1.314	1.314	1.314	2.128	0	0	0.671	1.491	0.82	1.463	2.277		1.491	1.491	0.643	1.491	1.314	M6
0.671	0.671	0.671	1.314	0	0	0.671	1.491	0.671	0.82		0.671	0.671	0.671	0.643	0.671	0.671	M7
2.128	2.128	2.128	2.128	0.814	0	0.671	2.305	0.671		2.128	2.128	0.671	0.671	1.457	0.671	2.128	M8
5.128	4.128	3.128	2.128	1.457	0.643	2.128	2.305		2.277	2.948	2.128	0.671	0.671	1.457	1.314	2.128	M9
1.457	2.128	1.457	2.128	1.457	0.643	0.643		0.643	1.463	1.457	1.457	0.671	0	1.457	0.643	0.643	M10
2.948	2.948	2.948	2.948	1.634	0.643		2.305	1.634	2.277	2.277	2.948	1.491	1.491	2.277	1.491	2.948	M11
2.948	2.948	2.948	2.948	1.634		2.305	2.305	2.305	2.948	2.948	2.948	2.305	1.491	2.948	1.491	2.948	M12
2.948	2.948	2.134	2.948		1.314	1.314	1.491	1.491	2.134	2.948	2.948	1.491	2.134	2.948	2.134	2.134	M13
0	0.82	0		0	0	0	0.82	0.82	0.82	1.634	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	M14
4.948	3.277		2.948	0.82	0	0.671	2.305	1.463	0.82	2.277	2.305	1.491	1.491	2.277	1.491	2.134	M15
1.457		0	2.948	0.814	0	0	0.82	0.82	0.82	2.948	1.634	0.82	0.82	2.277	0.82	1.463	M16
	2.948	0.82	2.948	1.634	0	0	1.491	0.82	0.82	2.277	1.634	1.491	0.82	2.277	1.491	2.134	M17

قرار گرفته و ماتریس مخالفت D تشکیل می‌شود.

گام هفتم: با استفاده از مقدار آستانه و ماتریس مخالفت D، ماتریس بولین مخالفت به دست می‌آید (جدول ۱۸) $\bar{d}=0.637$.

گام هشتم: در این مرحله از ضرب درایه‌های متناظر دو

گام ششم: در گام ششم مجموعه‌های مخالفت بر اساس روش ذکر شده محاسبه می‌شود. در جدول ۱۷ یک نمونه تکمیل شده مجموعه مخالفت درج شده است.

در ادامه ستون LOSS/ROW در ماتریس مورد نظر

جدول ۱۶: ماتریس موافقت موثر F (ماتریس بولینی)

M17	M16	M15	M14	M13	M12	M11	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	
0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0		M1
0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0		0	M2
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0		0	0	M3
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1		0	1	1	M4
0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0		0	0	1	0	M5
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	M6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	M7
1	1	1	1	0	0	0	1	0		1	1	0	0	0	0	1	M8
1	1	1	1	0	0	1	1		1	1	1	0	0	0	0	1	M9
0	1	0	1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	M10
1	1	1	1	1	0		1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	M11
1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	M12
1	1	1	1		0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	M13
0	0	0		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M14
1	1		1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	M15
0		0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	M16
	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	M17

جدول ۱۷: نمونه‌ای از مجموعه‌های مخالفت D تشکیل شده

LOSS/ROW	MAX ROW	MAX LOSS	C4	C3	C2	C1	رویدادها
1	0.061	0.061	0.008	0.014	0.034	0.061	M1-2
1	0.049	0.049	0.002	0.049	0.026	0.013	M1-3
1	0.137	0.137	0	0.021	0.137	0.101	M1-4
1	0.184	0.184	0.006	0.056	0.184	0.129	M1-5

کپ‌لند برای تصمیم‌گیری، ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها ایجاد می‌شود. پس از اولویت‌بندی گزینه‌ها، توسط سه روش بیان شده، نتایج این روش‌ها با یکدیگر ادغام (میانگین‌گیری) و رتبه‌بندی نهایی به‌دست می‌آید.

جدول ۲۲ اولویت‌بندی نهایی ریسک‌های حفاری برای تونل غربی البرز را به ترتیب از رتبه کمتر تا بیشتر نشان می‌دهد که از روی ستون ادغام به‌دست آمده است.

۷- نتیجه‌گیری

به دلیل وجود ریسک‌های فراوان در پروژه‌های تونل‌سازی، لازم است قبل و در هنگام اجرای پروژه، ریسک‌ها شناسایی و تمهیدات و اقدامات لازم برای حداقل کردن رویدادهای نامطلوب و به حداکثر رساندن رویدادهای مطلوب از سوی مدیر پروژه اندیشیده شوند. در این تحقیق، با توجه به داده‌های

ماتریس بولین موافق و مخالف، ماتریس نهایی یا به عبارتی $H=G * F$ تشکیل می‌شود (جدول ۱۹).

گام نهم: حال رتبه‌بندی مخاطرات با توجه به تعداد صفر و یک‌های هر ردیف، محاسبه می‌شوند. این نتایج در جدول ۲۰ و شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

۳-۶- استراتژی اولویت‌بندی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

برای رسیدن به نظری واحد در رتبه‌بندی ریسک‌های مخاطرات تونل غربی البرز با روش‌های مذکور، از روش استراتژی اولویت‌بندی استفاده می‌شود (جدول ۲۱). این شیوه شامل روش‌های میانگین رتبه‌ها، بردا، کپ‌لند و در نهایت مرحله ادغام می‌باشد [۲۹]. در روش میانگین، از رتبه‌های به‌دست آمده برای هر ریسک، میانگین‌گیری و در روش بردا و

جدول ۱۸: ماتریس مخالفت موثر G (ماتریس بولینی)

M17	M16	M15	M14	M13	M12	M11	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	
0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0		M1
1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0		1	M2
1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0		0	1	M3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	M4
1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1		0	0	1	1	M5
0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1		0	0	0	0	0	M6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	M7
0	0	0	0	0	0	0	0	1		1	0	0	0	0	0	0	M8
0	0	0	0	0	0	0	1		1	1	0	0	0	0	0	0	M9
0	0	0	0	0	0	1		0	0	1	0	0	0	0	0	0	M10
1	1	1	1	0	0		1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	M11
0	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	M12
1	1	1	1		0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	M13
0	0	0		0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	M14
1	0		1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	M15
0		0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	M16
	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	M17

جدول ۱۹: ماتریس نهایی H

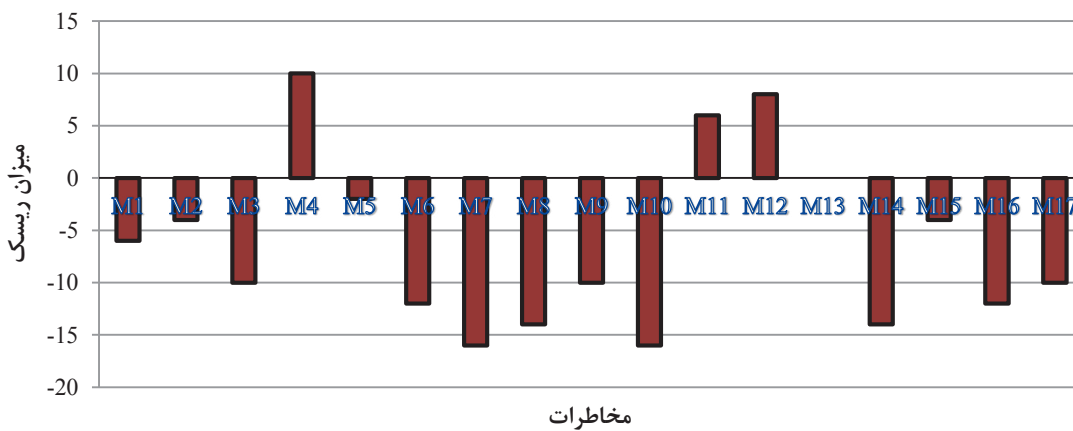
M17	M16	M15	M14	M13	M12	M11	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	
0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0		M1
0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0		0	M2
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	M3
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1		0	1	1	M4
0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0		0	0	1	0	M5
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	M6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	M7
0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	M8
0	0	0	0	0	0	0	1		1	1	0	0	0	0	0	0	M9
0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	M10
1	1	1	1	0	0		1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	M11
0	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	M12
1	1	1	1		0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	M13
0	0	0		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M14
1	0		1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	M15
0		0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M16
	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	M17

به مسیر تونل و نظر خبرگان، ۱۷ مخاطره ذکر شده، شناسایی شدند. در ادامه ماتریس تصمیم با توجه به وزن چهار معیار احتمال وقوع ریسک، میزان تأثیر ریسک، عدم اطمینان از

جمع‌آوری شده و پروژه‌های مشابه خارجی که قطر بزرگی دارند، ارزیابی ریسک در شناسایی ریسک‌های احتمالی تونل غربی البرز انجام گرفت. برای شروع حفاری مکانیزه و با توجه

جدول ۲۰: رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه با روش الکترو فازی

Win	Loss	Different	Rank	Risk
5	11	-6	7	M1
6	10	-4	6	M2
3	13	-10	8	M3
13	3	10	1	M4
7	9	-2	5	M5
2	14	-12	9	M6
0	16	-16	11	M7
1	15	-14	10	M8
3	13	-10	8	M9
0	16	-16	11	M10
11	5	6	3	M11
12	4	8	2	M12
8	8	0	4	M13
1	15	-14	10	M14
6	10	-4	6	M15
2	14	-12	9	M16
3	13	-10	8	M17



شکل ۳: رتبه‌بندی ریسک به کمک روش الکترو فازی بر اساس مقدار Different

و تامین مصارف برق به ترتیب دارای کم‌ترین مقدار ریسک تشخیص داده شدند.

۸- مراجع

- [1] Guglielmetti, V., Grasso, P., Mahtab, A., and Xu, S. (2008). "Mechanized tunnelling in urban areas: design methodology and construction control". CRC Press.
- [2] Hamidi, J. K., Shahriar, K., Rezai, B., Rostami, J., and Bejari, H. (2010). "Risk assessment based selection

تخمین و توانایی واکنش سازمان به ریسک‌ها، تشکیل شد. سپس به کمک روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی الکترو و شباهت به گزینه ایده‌آل، اقدام به رتبه‌بندی شد. در نهایت سه مخاطره تجربه تونل‌سازی ناکافی پیمانکار برای قطرهای بزرگ، تصاعد گازهای سمی و قابل انفجار و هزینه بالای خرید دستگاه TBM و تجهیزات وابسته آن از بین ۱۷ مخاطره به ترتیب در اولویت اول تا سوم و با ریسک بالا قرار گرفتند. در مقابل، سه مخاطره فاصله‌داری درزه‌ها، خطر ریزش‌های سنگی

جدول ۲۱: استراتژی اولویت‌بندی برای رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها

ادغام	Copeland	Borda	Ranks mean	F TOPSIS	F ELECTRE	رویداد
9.833	10	10.5	9	10	8	M1
6.583	7	7	5.75	5	6.5	M2
10.166	11	10.5	9	8	10	M3
1.833	2	2	1.5	2	1	M4
5	5	4.5	5.5	6	5	M5
12.583	13	13	11.75	11	12.5	M6
16.916	17	17	16.75	17	16.5	M7
14.416	14	14.5	14.75	15	14.5	M8
9.5	8	9	11.5	13	10	M9
16.083	16	16	16.25	16	16.5	M10
3	3	3	3	3	3	M11
1.166	1	1	1.5	1	2	M12
4.166	4	4.5	4	4	4	M13
14.583	15	14.5	14.25	14	14.5	M14
6.916	6	7	7.75	9	6.5	M15
12.083	12	12	12.25	12	12.5	M16
8.166	9	7	8.5	7	10	M17

جدول ۲۲: رتبه‌بندی نهایی ریسک‌های حفاری تونل غربی البرز

رتبه‌بندی نهایی	مخاطرات	رویداد
1	تجربه تونل‌سازی پیمانکار برای قطرهای بزرگ	M12
2	تصادف گازهای سمی و قابل انفجار	M4
3	خرید دستگاه TBM و تجهیزات وابسته	M11
4	حمل قطعات بزرگ ماشین	M13
5	زون‌های گسلی	M5
6	جریان آب زیرزمینی	M2
7	تحریم‌های خارجی برای خرید ماشین و پشتیبانی و تأمین قطعات	M15
8	پارامترهای طول و قطر تونل	M17
9	پدیده‌ی مچاله‌شوندگی	M9
10	پدیده‌ی آماس (متورم شوندگی)	M1
11	حفرات کارستی (انحلالی)	M3
12	حفاری پارکینگ، دستک‌ها و راهروهای نفرو	M16
13	ناپایداری دیوارهای حفاری و سینه‌کار	M6
14	سنگ‌های سخت و ساینده	M8
15	تأمین مصارف برق	M14
16	خطر ریزش‌های سنگی	M10
17	فاصله‌داری درزه‌ها	M7

318-325.

of rock TBM for adverse geological conditions using Fuzzy-AHP". Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 69: 523-532.

[4] USA- UCA of SME- Underground Construction Association of SME (www.uca.smenet.org).

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

[5] Raz, T., and Michael, E. (2001). "Use and bene_ts of tools for project risk management". International Journal of Project Management, 19(1): 9-17.

- Journal of Building Engineering, 22: 154-160.
- [19] Ranjbar, H. R., and Nekooie, M. A. (2018). "An improved hierarchical fuzzy TOPSIS approach to identify endangered earthquake-induced buildings". Engineering Applications of Artificial Intelligence, 76: 21-39.
- [20] Önüt, S., and Soner, S. (2008). "Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment". Waste Management, 28(9): 1552-1559.
- [21] Rouhani, S., Ghazanfari, M., and Jafari, M. (2012). "Evaluation model of business intelligence for enterprise systems using fuzzy TOPSIS". Expert Systems with Applications, 39(3): 3764-3771.
- [22] Hatami-Marbini, A., and Tavana, M. (2011). "An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment". Omega, 39(4): 373-386.
- [23] Aytac, E., Tus, I. A., and Kundakci, N. (2011). "Fuzzy ELECTRE I Method for Evaluating Catering Firm Alternatives". Ege Academic Review, 11: 125-134.
- [24] Hatami, A., and Tavana, M. (2011). "Extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment". Omega, 39: 373-386.
- [25] Zak, J., and Kruszynski, M. (2015). "Application of AHP and ELECTRE III/IV methods to multiple level, multiple criteria evaluation of urban transportation projects". Transportation Research Procedia, 10: 820-830.
- [26] Almeida, A. T. (2007). "Multicriteria decision model for outsourcing contracts selection based on utility function and ELECTRE method". Computers & Operations Research, 34: 3569-3574.
- [27] Cavallaro, F. (2010). "A comparative assessment of thin-film photovoltaic production processes using the ELECTRE III method". Energy Policy, 38: 463-474.
- [28] Chen, C. T., and Hung, W. Z. (2008). "Applying fuzzy linguistic variable and ELECTRE method in R&D project evaluation and selection". IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2008), IEEE, Singapore, 999-1003.
- [۲۹] عطایی، م.؛ ۱۳۸۸؛ "تصمیم‌گیری چند معیاره". چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- [6] Eskesene, S. D. (2004). "Guidelines for tunneling risk management: International Tunnelling Association". Working Group No. 2 Tunneling and Undergruond Space Technology, 19: 217-237.
- [7] Gharari, N. (2007). "Risk Assessment in Tunneling With TBM Using FMEA Method And Temporary Ventilation Design". Unpublished Case Study, University of Shahid Beheshti (MS), Tehran, Iran.
- [8] Hoek, E., and Palmeiri, A. (1998). "Geotechnical risks on large civil engineering projects". International Association of Engineering Geologists Congress, Vancouver, Canada.
- [9] Holicky, M. (2008). "Risk assessment and optimization of road tunnels". R&RATA 4, vol. 1.
- [10] Barton, N. (2012). "Reducing risk in long deep tunnels by using TBM and drill-and-blast methods in the same project—the hybrid solution". Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 4(2): 115-126.
- [11] Yazdani-Chamzini, A., Haji Yakhchali, S., and Mahmoodian, M. (2013). "Risk ranking of tunnel construction projects by using the ELECTRE technique under a fuzzy environment". International Journal of Management Science and Engineering Management, 8(1): 1-14.
- [12] Fouladgar, M. M., Yadani-Chamzini, A., and Basiri, M. H. (2011). "Risk evaluation of tunneling projects by fuzzy topsis". In International Conference on Management, 1: 1219-1232.
- [۱۳] صیادی، ا. ر.، حیاتی، م.، منجزی، م.؛ ۱۳۹۰؛ "مدیریت ریسک در تونل ساخت با استفاده از تکنیک‌های MADM". نشریه مدیریت صنعتی (دانشکده مدیریت دانشگاه تهران)، دوره سوم، شماره ۷، ص ۹۹-۱۱۶.
- [۱۴] شرکت مهندسی جنرال مکانیک-سایبر، با همکاری مهندسین مشاور ایران استن؛ ۱۳۹۶؛ گزارش فنی پروژه آزادراه تهران- شمال (تونل غربی البرز)، تهران، ایران.
- [۱۵] عطایی، م.؛ ۱۳۸۸؛ "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی". چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- [۱۶] عطایی، م.؛ ۱۳۹۵؛ "مدیریت ریسک". چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- [17] Chia-Chi, S., and Grace T. R. L. (2009). "Using fuzzy TOPSIS method for evaluating the competitive advantages of shopping websites". Expert Systems with Applications, 36(9): 11764-11771.
- [18] Malakouti, M., Faizi, M., Hosseini, S. B., and Maleki, S. N. (2018). "Evaluation of flexibility components for improving housing quality using fuzzy TOPSIS method".

پیوست ۱: پرسش‌نامه طراحی شده برای رتبه‌بندی ریسک‌های حفاری مکانیزه بزرگ مقطع تونل غربی البرز در محیط‌های سنگی

نام و نام خانوادگی کارشناس:	مدرک تحصیلی:	سمت:	سابقه کار در تونلسازی (مدت زمان):	سن:
-----------------------------	--------------	------	-----------------------------------	-----

عوامل	C1					C2					C3					C4				
	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
M1																				
M2																				
M3																				
...																				

فرم امتیازدهی به شاخص‌ها برای تعیین وزن معیارها

معیار	C1					C2					C3					C4				
	بسیار کم اهمیت	کم اهمیت	متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت	بسیار کم اهمیت	کم اهمیت	متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت	بسیار کم اهمیت	کم اهمیت	متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت	بسیار کم اهمیت	کم اهمیت	متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
وزن معیار																				

پیوست ۲: مشخصات گروه کارشناسان

سن	مدت سابقه در زمینه تونل‌سازی	تخصص یا تجربه	تحصیلات	کارشناس
۵۱	بالای ۲۰ سال	حفاری مکانیزه، مشاور زمین‌شناسی مهندسی	دکتری زمین‌شناسی مهندسی	E1
۳۵	۱۰ سال	طراحی و اجرای فضاهای زیرزمینی	دکتری مکانیک سنگ	E2
۴۷	۲۳ سال	تونل‌سازی و حفاری مکانیزه	دکترای مکانیک سنگ/تونل	E3
۵۲	بالای ۲۰ سال	مسئول کارگروه بهداشت و ایمنی، مدیر توسعه و نوآوری	کارشناس ارشد	E4
۵۰	۲۰ سال	کارشناس تونل	کارشناس استخراج معدن	E5
۳۴	۶ سال	شرکت تأمین دستگاه‌ها و خدمات تونل و معدن	کارشناس ارشد عمران	E6
۳۷	۷ سال	شرکت تأمین دستگاه‌ها و خدمات تونل و معدن	کارشناس ارشد استخراج معدن	E7



Imam Khomeini International University
Vol. 5, No. 2, Summer 2020, pp. 12-15



نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

DOI:10.30479/jmre.2019.10682.1262

Ranking the Risk of Mechanized Tunnel construction in Large Cross Section by Fuzzy Multi Criteria Decision Making Methods in Western Alborz Tunnel

Akbari A.^{1*}, Zare Sh.², Ataei M.³

1- M.Sc, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

alireza71.amu78@gmail.com

2- Associate Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

zare@shahroodut.ac.ir

3- Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

ataei@shahroodut.ac.ir

(Received: 16 May 2019, Accepted: 07 Oct. 2019)

Abstract: Mechanized excavation of the large cross section tunnels in rock condition has some hazards. Machine purchasing costs, fault zones, water inflows, squeezing, face instability, and etc. are some of the hazards which may cause excavation stop for a long time. In addition to mechanized excavation advantages, machine inflexibility in the complex geological conditions, high investment costs, technical, geometrical and political risks are the major disadvantages. Due to the high investment costs in this method, assessment and ranking the mentioned hazards are of a great importance. In this study, the tunneling risks of Alborz Western Tunnel (AWT) has been investigated using the fuzzy multi criteria decision making methods. The AWT in Tehran Shomal Highway is one of the major country project that considered to be excavated by an EPB shield machine. By analyzing geological condition and survey of some specialist's point of view, in this study, 17 possible hazards have been identified, and assessed by fuzzy TOPSIS and ELECTRE methods. Results shown that insufficient experience in mechanized tunneling of the large diameter tunnel and gas emission in the tunnel and investment and purchasing the machine are the most important risks in the project.

Keywords: Risk ranking, Western Alborz Tunnel, Fuzzy multi criteria decision making, Fuzzy ELECTRE, Fuzzy TOPSIS.

INTRODUCTION

Today mechanized tunneling methods compared to conventional methods due to the safety, high advance rate, have been greatly considered [1]. But, on the other hand lack of experience in this kind of tunneling, greatly increases the cost of the method. In this regard, risk assessment can help in anticipating of the

conditions. Risk management, in many technical fields, has become the most important and effective tool, and also has been used in the tunneling industry. Application of risk management should be cooperative, so that, any parties engaged in the field must cooperate, including: project employer, project manager, supervisor and contractors [2].

Risk can be defined as an events which occurs in a period or in a specific situation and risk would be zero if just one event happened. If there is more possibility of events, then risk will not be zero. Risk analysis tries to answer the following questions: - what event is going to happen? - how is the possibility of an even occurrence? - in the case of any events, what would be the results?

Considering the huge and rapid advancement in the mechanized tunneling, road construction technology, and mega machines, and also geological difficulties, managing this type of projects are challenging. Risk management is one of the stages in the project managements; and because of unknown nature of tunneling, and making the best use of the resources, is very important. With respect to the limited numbers of large cross section TBM projects, Alborz Western Tunnel (AWT) is one of the most important projects in IRAN. The tunnel cross section is more than 100 m², so it is necessary to clarify and rank all the risks. This study trying to rank all the risks in the project classified as geotechnical, investment, technical, political and geometric, using fuzzy multi criteria decision making methods.

METHODOLOGY (fuzzy multi criteria decision making methods)

This refers to some decision making technics that analyse the possible solutions based on the one criteria to rank the risks [3,4]. First, different risks must be identified and analysing criteria must be chosen, then using one of the decision making technics such as: TOPSIS, AHP, ELECTRE etc., risk assessment should be treated. In the following, two employed methods of Fuzzy TOPSIS and Fuzzy ELECTRE are briefly discussed.

-Fuzzy TOPSIS:

In one multi criteria decision making problem including, n criteria and m option, to select the best choice by the method, the following steps to be done.

Step 1: decision matrix formation -step 2: dimensionless decision matrix -step 3: weight vector determination of criterions -step 4: weighted dimensionless decision matrix determination -step 5: finding of positive ideal solution and negative ideal solution -step 6: calculating of distance from positive ideal solution and negative ideal solution -step 7: calculate of resemblance indicator -step 8: ranking of the options.

-Fuzzy ELECTRE:

The steps of the fuzzy ELECTRE method proposed by Hatami-Marbini and Tavana are as follows:

Step 1: fuzzy decision matrix formation -step 2: normalization of decision matrix -step 3: formation of weighted normal matrix -step 4: calculates the distance between both options -step 5: formation of agreeing complex and consent matrix -step 6: formation of agreeing Boolean matrix -step 7: formation of dissenting complex and contrariness matrix -step 8: formation of dissenting Boolean matrix -step 9: formation of final matrix -step10: ranking of the options [5].

FINDINGS AND ARGUMENT

In order to rank the risks in the AWT project, after studying the geological and tunnel design reports, and survey of the some specialist's point of view, there were 17 hazards in the project, including geotechnical, investment, technical-environmental, political and geometric risks, were identified for ranking the mechanized tunneling risks in the project, which are stated in Table 1.

1- Ranking of AWT Risks by Fuzzy TOPSIS Method

Risks ranking by the fuzzy TOPSIS method is shown in Figure 1:

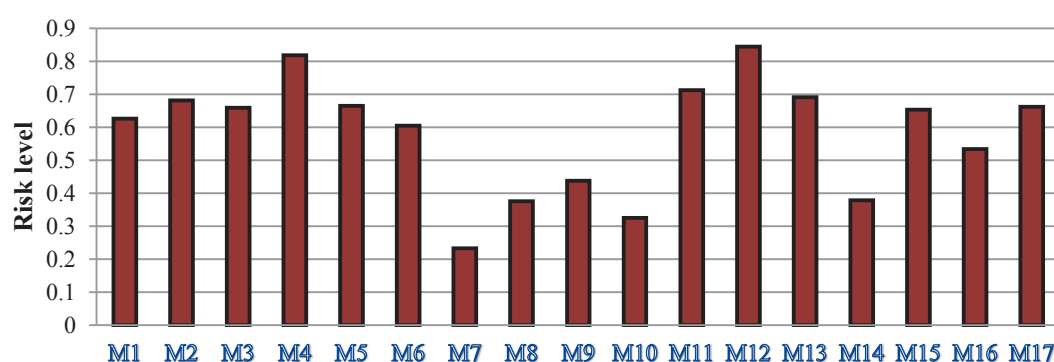
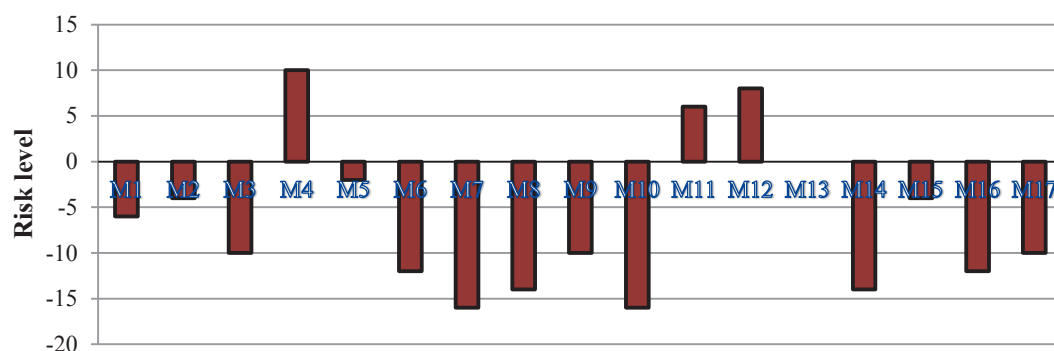
2- Ranking of AWT Risks by Fuzzy ELECTRE Method

Risks ranking is obtained from the fuzzy ELECTRE method is shown in Figure 2.

Reaching to the unified viewpoint in AWT risks ranking by the mentioned methods, strategy technic has been used. This technique includes: ranks mean, brada, copyland, and merge step.

Table 1. Identified possible risks in mechanized tunneling of AWT

Risk		Risk	
M10	Raveling & Rock fall	M1	Swelling
M11	Purchasing of TBM and related equipment	M2	Water intrush
M12	Experience of contractors for large diameter tunnels	M3	Karst cavities
M13	Carrying of large TBM parts	M4	Toxic gas emissions
M14	Supply of electricity	M5	Fault zones
M15	Sanctions for TBM purchases	M6	Instability of walls and face
M16	Excavation of parking, sos and etc.	M7	Joints spacing
M17	Tunnel length and diameter	M8	Hard and abrasive rocks
		M9	Squeezing

**Figure 1.** Ranking of risks by Fuzzy TOPSIS method**Figure 2.** Ranking of risks by Fuzzy ELECTRE method

CONCLUSIONS

In this study, according to the collected data, risk assessment was conducted to identify potential risks of the AWT. Finally, with the help of Fuzzy ELECTRE and FUZZY TOPSIS methods, the risks were ranked. Results shown that insufficient experience in mechanized tunneling of the large diameter tunnel and gas emission in the tunnel and investment and purchasing of the machine are the most important risks in the project. And three hazards including: joints spacing, the risk of rock falls and supply of electricity, were respectively the least risky items.

REFERENCES

- [1] Guglielmetti, V., Grasso, P., Mahtab, A., and Xu, S. (2008). "Mechanized tunnelling in urban areas: design methodology and construction control". CRC Press.

Table 2. Prioritization strategy for the final ranking of risks

Final ranking	Marge	Copeland	Borda	Ranks mean	TOPSIS	ELECTRE	Risk
10	9.833	10	10.5	9	10	8	M1
6	6.583	7	7	5.75	5	6.5	M2
11	10.166	11	10.5	9	8	10	M3
2	1.833	2	2	1.5	2	1	M4
5	5	5	4.5	5.5	6	5	M5
13	12.583	13	13	11.75	11	12.5	M6
17	16.916	17	17	16.75	17	16.5	M7
14	14.416	14	14.5	14.75	15	14.5	M8
9	9.5	8	9	11.5	13	10	M9
16	16.083	16	16	16.25	16	16.5	M10
3	3	3	3	3	3	3	M11
1	1.166	1	1	1.5	1	2	M12
4	4.166	4	4.5	4	4	4	M13
15	14.583	15	14.5	14.25	14	14.5	M14
7	6.916	6	7	7.75	9	6.5	M15
12	12.083	12	12	12.25	12	12.5	M16
8	8.166	9	7	8.5	7	10	M17

- [2] Ataei, M. (2017). *“Risk management”*. Shahrood University of Technology. (in Persian)
- [3] Ataei, M. (2010). *“Fuzzy multi criteria decision making”*. Shahrood University of Technology. (in Persian)
- [4] Ataei, M. (2010). *“Multi criteria decision making”*. Shahrood University of Technology. (in Persian)
- [5] Hatami-Marbini, A., and Tavana, M. (2011). *“An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment”*. Omega, 39(4): 373-386.