

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده معدن نفت و ژئوفیزیک
گروه استخراج معدن
پایان نامه کارشناسی ارشد

**رتبه بندی ریسک زمین شناسی در ماشین حفاری TBM با
استفاده از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره
(مطالعه موردی تونل انتقال آب گلاب)**

دانشجو: حمیدرضا نظارت

اساتید راهنما: دکتر فرهنگ سرشکی
دکتر محمد عطایی

شهریور ۱۳۹۱

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : معدن نفت و ژئوفیزیک
گروه : استخراج معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حمیدرضا نظارت
تحت عنوان:

رتبه بندی ریسک زمین شناسی در ماشین حفاری TBM با استفاده از روش های تصمیم
گیری چند معیاره (مطالعه موردی تونل انتقال آب گلاب)
در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
			دکتر فرهنگ سرشکی
			دکتر محمد عطایی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر میرزایی		نام و نام خانوادگی : دکتر رضا خالوکاکایی
			نام و نام خانوادگی : دکتر شکر ا... زارع

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

تشکر و قدردانی

ضمن سپاس بیکران خداوند، به خانواده‌ام که سنگ‌های بنیادین بنای فکری‌ام را مدیون تربیت آنان هستم، درود می‌فرستم. سپاس بی پایان خود را نیز به پاس همیاری به همسر عزیزم تقدیم می‌دارم؛ و از زحمات و راهنمایی‌های ارزنده دکتر سرشکی و دکتر عطایی، استادان علم و اخلاق که همواره رهگشا بوده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از استادان عزیزم دکتر کاکایی و دکتر جلالی که افتخار شاگردی آن‌ها را داشته‌ام کمال تشکر را دارم. لازم می‌دانم مراتب امتنان خویش را از توجه ویژه‌ای که کارکنان دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک به خصوص آقای شاه حسینی به بنده داشته‌اند، تقدیم دارم.

تعهد نامه

اینجانب حمیدرضا نظارت دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان «رتبه بندی ریسک زمین شناسی در ماشین حفاری TBM به کمک روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی تونل انتقال آب گلاب)» تحت راهنمایی دکتر فرهنگ سرشکی و دکتر محمد عطایی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- ۱. در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

۱. کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
۲. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

ساخت تونل و سایر سازه‌های زیرزمینی، به دلیل متغیرهای زیاد، منجمله شرایط غیرقابل پیش بینی و نامطمئن زمین، با خطرهایی مواجه می‌باشد که می‌تواند ایمنی و یا اقتصاد طرح را به مخاطره افکند. ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های پرمخاطره نظیر پروژه‌های تونل سازی مکانیزه از جمله اقدامات ضروری برای مدیریت و ارائه پاسخ به ریسک‌های مرتبط است. این امر مستلزم شناسایی و تعیین مجموعه عوامل ریسک زاست که در این تحقیق در قالب نظر کارشناسی و مطالعات زمین-شناسی، ریسک در هشت سطح مورد توجه واقع شده است. مهم‌ترین مخاطرات زمین‌شناسی از جمله نشست و هجوم آب زیرزمینی، نشست گاز، ناپایداری سینه کار، ناپایداری دیوار و سقف تونل، مچاله شونده‌گی (لهیدگی)، تورم سنگ‌های رسی، سینه کار مختلط، چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی مورد بحث قرار گرفته و مهم‌ترین مشکلات ناشی از این مخاطرات بررسی شده و راهکارهای پیش بینی، پیش‌گیری و مقابله با آن‌ها ارائه شده است.

به منظور رتبه‌بندی دقیق‌تر ریسک‌ها، با استفاده از شاخص‌های: احتمال وقوع ریسک، میزان تأثیر ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت پروژه و شاخص‌های تکمیلی: عدم اطمینان از تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک نیز در نظر گرفته شده است. رتبه‌بندی نهایی با استفاده از روش‌های شباهت به گزینه ایده آل، تحلیل سلسله مراتبی، شباهت به گزینه ایده آل فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام گردید. در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ریسک‌ها با توجه به شاخص‌های گوناگون بهتر ارزیابی می‌گردند و در نتیجه، واقع بینانه‌تر رتبه بندی می‌شوند. با توجه به این که نتایج حاصل از اجرای روش‌های فوق در مواردی با یکدیگر هم‌خوانی نداشت، برای رسیدن به یک اجماع کلی از رتبه‌بندی ریسک‌ها، از تکنیک‌های ادغامی که شامل روش‌های میانگین، بردا و کپ لند است، استفاده شد. در نهایت مچاله شونده‌گی و ناپایداری سینه کار تونل بیشترین و نشست گاز و چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی به ترتیب کم‌ترین رتبه ریسک‌ها را به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: رتبه بندی ریسک، حفاری مکانیزه، تصمیم‌گیری چند معیاره.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ارائه مقاله با عنوان رتبه بندی ریسک سیستم نگهداری قطعات پیش ساخته بتنی در حفر تونل با ماشین تمام مقطع به کمک روش شباهت به گزینه ایده آل (TOPSIS) در پنجمین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات (تبریز) اردیبهشت ۱۳۹۱
- ارائه مقاله با عنوان مدیریت ریسک تونل سازی مکانیزه با نگاهی بر عوامل زمین‌شناسی در دومین همایش مدیریت بحران در صنعت ساختمان ، سازه‌های زیرزمینی و شریان‌های حیاتی (اصفهان) اردیبهشت ۱۳۹۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱. کلیات و مقدمه.....	ع
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۱
۳-۱- اهداف تحقیق.....	۱
۴-۱- مراحل انجام تحقیق.....	۲
۵-۱- ساختار پایان نامه.....	۲
فصل ۲. مدیریت ریسک.....	۴
۱-۲- مقدمه.....	۵
۲-۲- پروژه و مدیریت پروژه.....	۵
۱-۲-۲- پروژه.....	۵
۲-۲-۲- مدیریت پروژه.....	۶
۳-۲-۲- عدم قطعیت پروژه.....	۷
۳-۲- ریسک و مدیریت ریسک.....	۸
۱-۳-۲- ریسک.....	۸
۲-۳-۲- مدیریت ریسک.....	۹
۳-۳-۲- ضرورت مدیریت ریسک.....	۱۰
۴-۳-۲- مروری بر فرایند مدیریت ریسک پروژه در راهنمای PMBOK.....	۱۲
۱- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک.....	۱۲
۲- شناسایی ریسک.....	۱۳
۳- تجزیه و تحلیل کیفی ریسک.....	۱۳
۳- تجزیه و تحلیل کمی ریسک.....	۱۵
۴- برنامه ریزی پاسخ به ریسک.....	۱۶
۳- پیگیری و کنترل ریسک.....	۱۹
فصل ۳. پیشینه تحقیق.....	۲۱
۱-۳- مقدمه.....	۲۲
۲-۳- سابقه تحقیق.....	۲۳
فصل ۴. کلیاتی در مورد تصمیم‌گیری چند معیاره.....	۳۰
۱-۴- مقدمه.....	۳۱
۲-۴- طبقه‌بندی فنون تصمیم‌گیری.....	۳۱

۳۱	..... طبقه‌بندی نوع اول
۳۲	..... طبقه‌بندی فنون بر مبنای شرایط تصمیم‌گیری
۳۳	..... طبقه‌بندی فنون تصمیم‌گیری بر مبنای نوع مدل‌سازی
۳۴	..... طبقه‌بندی نوع دوم
۳۴	..... فنون تصمیم‌گیری تک معیاره
۳۴	..... فنون تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)
۳۷	..... طبقه‌بندی فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه
۳۷	..... مدل‌های غیر جبرانی
۳۸	..... مدل‌های جبرانی
۴۱	..... روش تحلیل سلسله مراتبی AHP
۴۱	..... تشکیل سلسله مراتب
۴۱	..... محاسبه وزن عناصر در AHP
۴۴	..... سازگاری سیستم
۴۶	..... روش شباهت به گزینه ایده آل TOPSIS
۴۶	..... تشکیل ماتریس تصمیم
۴۷	..... بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم
۴۷	..... تعیین ماتریس وزن معیارها
۴۷	..... تعیین ماتریس تصمیم وزن دار
۴۸	..... پیدا کردن حل ایده آل و ضد ایده آل
۴۸	..... محاسبه فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل
۴۸	..... محاسبه شاخص شباهت
۴۹	..... روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی
۴۹	..... تئوری مجموعه‌های فازی
۵۲	..... روش شباهت به گزینه ایده آل فازی (FTOPSIS)
۵۲	..... تشکیل ماتریس تصمیم فازی
۵۳	..... تعیین ماتریس وزن معیارها
۵۴	..... نرمال کردن ماتریس تصمیم فازی
۵۴	..... تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن دار
۵۵	..... یافتن حل ایده آل فازی و حل ضد ایده آل فازی
۵۵	..... محاسبه فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل فازی
۵۶	..... محاسبه شاخص شباهت
۵۶	..... رتبه بندی گزینه‌ها
۵۷	..... روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

۶۰	.....	۱۰-۴- استراتژی‌های اولویت بندی
۶۰	.....	۱-۱۰-۴- روش میانگین رتبه‌ها
۶۰	.....	۲-۱۰-۴- روش بردا
۶۱	.....	۳-۱۰-۴- روش کپ لند
۶۱	.....	۱۱-۴- نتیجه گیری
۶۲	.....	چالش‌های زمین شناسی پروژه‌های تونل سازی مکانیزه
۶۵	.....	۱-۵- مقدمه
۶۵	.....	۲-۵- نشت و هجوم آب زیرزمینی
۶۷	.....	۱-۲-۵- مهم‌ترین مشکلات ناشی از نشت و هجوم آب زیرزمینی
۶۸	.....	۲-۲-۵- روش‌های شناسایی و پیش بینی نشت و هجوم آب زیرزمینی
۶۸	.....	۳-۲-۵- راهکارهای پیشگیری و مقابله با نشت و هجوم آب زیرزمینی
۶۹	.....	۳-۵- نشت گازهای سمی
۷۱	.....	۱-۳-۵- مهم‌ترین مشکلات ناشی از نشت گاز
۷۱	.....	۲-۳-۵- روش‌های شناسایی و پیش بینی نشت گاز
۷۱	.....	۳-۳-۵- راهکارهای پیشگیری و مقابله با نشت گاز
۷۲	.....	۴-۵- مچاله شوندگی (لهیدگی) زمین
۷۳	.....	۱-۴-۵- مشکلات ناشی از رفتار مچاله شوندگی (لهیدگی) زمین
۷۳	.....	۲-۴-۵- روش‌های شناسایی و پیش بینی رفتار مچاله شوندگی زمین
۷۳	.....	۳-۴-۵- راهکارهای پیشگیری و مقابله رفتار مچاله شوندگی زمین
۷۴	.....	۵-۵- تورم سنگ‌های رسی
۷۵	.....	۱-۵-۵- مشکلات ناشی از تورم سنگ‌های رسی
۷۵	.....	۲-۵-۵- روش‌های شناسایی و پیش بینی فشار ناشی از تورم سنگ‌های رسی
۷۶	.....	۳-۵-۵- راهکارهای پیشگیری و مقابله تورم سنگ‌های رسی
۷۶	.....	۶-۵- ناپایداری سینه کار تونل
۷۷	.....	۱-۶-۵- مشکلات ناشی از ناپایداری سینه کار
۷۷	.....	۲-۶-۵- روش‌های شناسایی و پیش بینی ناپایداری سینه کار
۷۷	.....	۳-۶-۵- راهکارهای پیشگیری و مقابله با ناپایداری سینه کار
۷۸	.....	۷-۵- ناپایداری دیوار و سقف تونل
۷۹	.....	۱-۷-۵- مشکلات ناشی از ناپایداری دیوار و سقف تونل
۷۹	.....	۲-۷-۵- روش‌های شناسایی و پیش بینی ناپایداری دیوار و سقف تونل
۷۹	.....	۳-۷-۵- راهکارهای پیشگیری و مقابله با ناپایداری دیوار و سقف تونل
۸۰	.....	۸-۵- سینه کار مختلط
۸۱	.....	۱-۸-۵- مشکلات ناشی از سینه کار مختلط

۸۱	۲-۸-۵- روش‌های شناسایی و پیش بینی سینه کار مختلط	
۸۱	۳-۸-۵- راهکارهای پیشگیری و مقابله با سینه کار مختلط	
۸۲	۹-۵- چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی	
۸۲	۱-۹-۵- مشکلات ناشی از چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی	
۸۳	۲-۹-۵- روش‌های شناسایی و پیش بینی چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی	
۸۳	۳-۹-۵- راهکارهای پیشگیری و مقابله با چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی	
۸۴	مدیریت ریسک تونل انتقال آب گلاب	فصل ۶.
۸۵	۱-۶- مقدمه	
۸۵	۲-۶- موقعیت جغرافیایی منطقه	
۸۶	۳-۶- راه‌های دسترسی	
۸۷	۴-۶- زمین شناسی	
۸۷	۵-۶- مطالعات هیدروژئولوژی عمومی	
۸۷	۱-۵-۶- ویژگی‌های آب شناسی سازندهای سخت منطقه	
۸۸	۲-۵-۶- ویژگی‌های آب شناسی سازندهای نرم منطقه	
۸۹	۶-۶- زمین شناسی مهندسی مسیر تونل اصلی	
۹۲	۷-۶- مدیریت ریسک تونل انتقال آب گلاب	
۹۲	۱-۷-۶- نشست و هجوم آب زیرزمینی در تونل گلاب	
۹۳	۲-۷-۶- نشست گاز در تونل گلاب	
۹۳	۳-۷-۶- پدیده مچاله شوندگی (لهیدگی) در تونل گلاب	
۹۴	۴-۷-۶- تورم سنگ‌های رسی در تونل گلاب	
۹۵	۵-۷-۶- ناپایداری سینه کار در تونل گلاب	
۹۶	۶-۷-۶- ناپایداری دیوار و سقف تونل گلاب	
۹۷	۷-۷-۶- سینه کار مختلط در تونل گلاب	
۹۸	۸-۷-۶- چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی در تونل گلاب	
۹۹	۸-۶- ارزیابی ریسک تونل انتقال آب گلاب	
۱۰۳	۹-۶- رتبه بندی ریسک با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	
۱۰۳	۱-۹-۶- رسم نمودار سلسله مراتبی	
۱۰۳	۲-۹-۶- محاسبه وزن عناصر در روش سلسله مراتبی	
۱۰۶	۳-۹-۶- محاسبه نرخ ناسازگاری	
۱۰۷	۴-۹-۶- محاسبه امتیاز هر یک از ریسک‌ها	
۱۰۹	۱۰-۶- رتبه بندی ریسک با روش شباهت به گزینه ایده آل (TOPSIS)	
۱۱۱	۱۱-۶- رتبه بندی ریسک با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)	
۱۱۲	۱-۱۱-۶- رسم نمودار سلسله مراتبی	

۱۱۲	..... ۲-۱۱-۶- تعریف اعداد فازی	
۱۱۳	..... ۳-۱۱-۶- ماتریس مقایسه زوجی فازی	
۱۲۱	..... ۱۲-۶- رتبه بندی ریسک با روش شباهت به گزینه ایده آل فازی (FTOPSIS)	
۱۲۱	..... ۱-۱۲-۶- ماتریس تصمیم و بردار وزن معیارها	
۱۲۲	..... ۲-۱۲-۶- بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم	
۱۲۲	..... ۳-۱۲-۶- ماتریس تصمیم فازی بی مقیاس شده وزن دار	
۱۲۳	..... ۴-۱۲-۶- تعیین حل ایده آل و ضد ایده آل فازی	
۱۲۳	..... ۵-۱۲-۶- تعیین فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل	
۱۲۴	..... ۶-۱۲-۶- تعیین شاخص شباهت	
۱۲۴	..... ۷-۱۲-۶- رتبه بندی ریسک‌ها	
۱۲۵	..... ۱۳-۶- استراتژی‌های اولویت بندی روش های تصمیم گیری چندمعیاره	
۱۲۵	..... ۱۴-۶- استراتژی‌های اولویت بندی روش های تصمیم گیری چند معیاره فازی	
۱۲۵	..... ۱۵-۶- بررسی عملکرد ماشین حفاری در تونل گلاب	
۱۳۵	..... نتیجه گیری و پیشنهادات	فصل ۷.
۱۳۶	..... ۱-۷- نتیجه گیری	
۱۳۸	..... ۲-۷- پیشنهادات	
۱۳۹	..... مراجع	
۱۵۰	..... پیوست ۱	

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- معیارهای عملکرد پروژه	۶
شکل ۲-۲- فرایندهای مدیریت پروژه.....	۷
شکل ۳-۲- فرایند برنامه ریزی مدیریت ریسک.....	۱۲
شکل ۴-۲- فرایند شناسایی ریسک	۱۳
شکل ۵-۲- فرایند تجزیه و تحلیل کیفی ریسک	۱۴
شکل ۶-۲- فرایند تجزیه و تحلیل کمی ریسک.....	۱۶
شکل ۷-۲- فرایند برنامه ریزی پاسخ به ریسک	۱۷
شکل ۸-۲- فرایند پیگیری و کنترل ریسک.....	۱۹
شکل ۱-۵- ریزش آب از دیواره‌های تونل و صعوبت کار برای پرسنل در تونل انتقال آب زاگرس.....	۶۶
شکل ۲-۵- جریان آب زیاد در کف تونل و صعوبت کار برای پرسنل در قطعه دوم تونل انتقال آب قمروود.....	۶۷
شکل ۳-۵- پرسنل در حال کار در شرایط وجود حجم زیاد آب و گاز در تونل زاگرس.....	۷۰
شکل ۴-۵- پدیده مچاله شونده‌گی و چسبیدن سنگ اطراف تونل به سگمنت و شیلد (قطعات ۳ و ۴ تونل قمروود).....	۷۲
شکل ۵-۵- ریزش و ناپایداری سینه کار تونل در پروژه البرز	۷۷
شکل ۶-۵- عمق ریزش سقف در بالای کاترهد در اثر ناپایداری سقف تونل گاوشان.....	۷۸
شکل ۷-۵- رخنمون هایی از محیط‌های مخلوط سنگ و خاک (وجود قطعات سنگی در زمینه نرم‌تر با سختی یا سیمان شدگی متفاوت).....	۸۰
شکل ۱-۶- موقعیت جغرافیایی پروژه	۸۶
شکل ۲-۶- نمودار توزیع سازندهای مسیر تونل.....	۹۲
شکل ۳-۶- وضعیت کیفیت توده سنگ در طول تونل انتقال آب گلاب.....	۹۶
شکل ۴-۶- نمودار خطر انسداد برای ماشین به سبب کانی‌های رسی.....	۹۸
شکل ۵-۶- ساختمان سلسله مراتبی رتبه بندی ریسک ماشین حفاری TBM.....	۱۰۰
شکل ۶-۶- ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها.....	۱۰۳
شکل ۷-۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه های نسبت به معیار احتمال وقوع ریسک.....	۱۰۵
شکل ۸-۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه های نسبت به معیار میزان تاثیر ریسک.....	۱۰۵
شکل ۹-۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه های نسبت به معیار عدم اطمینان از تخمین.....	۱۰۶
شکل ۱۰-۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه های نسبت به معیار توانایی سیستم در واکنش به ریسک.....	۱۰۶
شکل ۱۱-۶- رتبه بندی ریسک زمین شناسی به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی.....	۱۰۸
شکل ۱۲-۶- رتبه بندی ریسک زمین شناسی به کمک روش شباهت به گزینه ایده آل.....	۱۱۱

- شکل ۶-۱۳- رتبه بندی ریسک زمین شناسی به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی فازی..... ۱۲۰
- شکل ۶-۱۴- رتبه بندی ریسک زمین شناسی به کمک روش شباهت به گزینه ایده آل فازی..... ۱۲۴
- شکل ۶-۱۶- نمودار توزیع زمانی فعالیت های روزانه تونل در فروردین ۸۹..... ۱۲۹
- شکل ۶-۱۷- نمودار توزیع زمانی فعالیت های روزانه تونل در اردیبهشت ۸۹..... ۱۳۱
- شکل ۶-۱۸- نمودار توزیع زمانی فعالیت های روزانه تونل در خرداد ۸۹..... ۱۳۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳- سابقه تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت ریسک پروژه‌های تونل سازی و فضاهای زیرزمینی.....	۲۴
جدول ۱-۴- مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه برای رتبه بندی ریسک‌ها.....	۳۹
جدول ۲-۴- طبقه بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها.....	۴۲
جدول ۳-۴- ماتریس مقایسه زوجی.....	۴۵
جدول ۴-۴- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی.....	۴۵
جدول ۱-۵- وزن ماشین‌های حفار مختلف در برابر جریان آب زیرزمینی.....	۶۶
جدول ۲-۵- درصد حجمی محصولات ناشی از احتراق موتورهای دیزل.....	۷۰
جدول ۱-۶- ویژگی‌های ژئومکانیکی مسیر تونل انتقال آب گلاب.....	۸۹
جدول ۲-۶- پیش بینی پتانسیل رفتار مچاله شوندگی در بخش‌های مختلف مسیر تونل گلاب.....	۹۴
جدول ۳-۶- گسل‌های مسیر تونل انتقال آب گلاب.....	۹۵
جدول ۴-۶- احتمال وقوع ریسک در تونل انتقال آب گلاب.....	۱۰۰
جدول ۵-۶- میزان تأثیر ریسک بر هزینه ، زمان و کیفیت پروژه در تونل انتقال آب گلاب.....	۱۰۱
جدول ۶-۶- میزان عدم اطمینان از تخمین در تونل انتقال آب گلاب.....	۱۰۱
جدول ۷-۶- توانایی سازمان در واکنش به ریسک در تونل انتقال آب گلاب.....	۱۰۲
جدول ۸-۶- نتایج ارزیابی ریسک.....	۱۰۴
جدول ۹-۶- ماتریس کمی مساله رتبه بندی ریسک.....	۱۰۴
جدول ۱۰-۶- مقادیر λ_{max} ، شاخص ناسازگاری ، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ ناسازگاری ماتریس های مقایسه زوجی.....	۱۰۷
جدول ۱۱-۶- ماتریس بی مقیاس شده مساله رتبه بندی ریسک.....	۱۰۹
جدول ۱۲-۶- اهمیت نسبی ریسک‌ها.....	۱۰۹
جدول ۱۳-۶- ماتریس بی مقیاس وزن دار مساله رتبه بندی ریسک.....	۱۱۰
جدول ۱۴-۶- فاصله از حل ایده آل و ضدایده آل و شاخص شباهت.....	۱۱۰
جدول ۱۵-۶- متغیر زبانی برای رتبه بندی گزینه‌ها.....	۱۱۲
جدول ۱۶-۶- متغیر زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها.....	۱۱۲
جدول ۱۷-۶- اعداد فازی مثلثی تعریف شده جهت تعریف درایه های ماتریس مقایسه زوجی فازی اهمیت معیارها.....	۱۱۳
جدول ۱۸-۶- ماتریس تصمیم فازی.....	۱۲۱
جدول ۱۹-۶- متغیر زبانی برای ارزیابی اهمیت گزینه ها.....	۱۲۱
جدول ۲۰-۶- وزن معیارها.....	۱۲۱

- جدول ۶-۲۱- ماتریس تصمیم فازی بی مقیاس شده..... ۱۲۲
- جدول ۶-۲۲- ماتریس تصمیم فازی بی مقیاس شده وزن دار ۱۲۲
- جدول ۶-۲۳- فاصله هر گزینه از حل ایده آل..... ۱۲۳
- جدول ۶-۲۴- فاصله هر گزینه از حل ضد ایده آل..... ۱۲۳
- جدول ۶-۲۵- تعیین شاخص شباهت..... ۱۲۴
- جدول ۶-۲۶- تقسیم بندی و توزیع زمانی فعالیت های مرتبط با حفاری در فروردین ماه ۸۹..... ۱۲۸
- جدول ۶-۲۷- تقسیم بندی و توزیع زمانی فعالیت های مرتبط با حفاری در اردیبهشت ماه ۸۹..... ۱۳۱
- جدول ۶-۲۸- تقسیم بندی و توزیع زمانی فعالیت های مرتبط با حفاری در خرداد ماه ۸۹..... ۱۳۳

فصل ١. کلیات و مقدمه

۱-۴ مقدمه

با افزایش نیازهای جوامع بشری به ابر سازه‌های مهندسی، تقاضا برای ساخت سازه‌های زیرزمینی بزرگ مانند تونل‌های انتقال آب بین حوزه‌ای، تونل‌های جاده‌ای و ریلی، تونل‌های مترو، تونل‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و ...، در زمین‌های نامناسب رو به افزایش است. اگرچه پیشرفت تکنولوژی و افزایش دانش تونل‌سازی سبب شده است روش‌های نوین و کارآمدی برای حفر تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی بزرگ حتی در شرایط نامناسب زمین‌شناسی ابداع شود، اما همواره دستیابی به اطلاعات مناسب از شرایط زمین پیش‌روی تونل عامل اصلی در موفقیت ساخت سازه‌های زیرزمینی در شرایط دشوار زمین‌شناسی خواهد بود.

در ساخت و سازه‌های زیرزمینی ریسک‌های همراه با اجرا به دلیل عدم قطعیت‌های فراوان در مدل ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی مهندسی پروژه، با دقت قابل تعریف نمی‌باشند. با توجه به این ویژگی پروژه‌های تونل‌سازی، لازم است ارزیابی ریسک صورت پذیرد. همچنین لازم است سیستم مدیریت ایمنی در این پروژه‌ها با حساسیت بالاتری پیاده‌سازی شود.

۱-۴ ضرورت انجام تحقیق

با توجه به رشد بسیار سریع در فناوری تونل‌سازی و ساخت دستگاه‌های بزرگ‌تر و پیچیده‌تر و همچنین مشکلات زمین‌شناسی؛ مدیریت این پروژه‌ها با چالش روبرو شده است. مدیریت ریسک به عنوان یکی از فازهای مدیریت پروژه؛ و با توجه به ماهیت نامطمئن پروژه‌های تونل‌سازی و لزوم صرف بهینه منابع آن‌ها، دارای اهمیت انکارناپذیری است.

۱-۳ اهداف تحقیق

هدف از فاز ارزیابی ریسک، اندازه‌گیری ریسک‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف از قبیل «احتمال وقوع ریسک»، «میزان تأثیر ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت پروژه»، «میزان عدم اطمینان از تخمین» و «توانایی سازمان در واکنش به ریسک» می‌باشد. رتبه‌بندی ریسک‌ها، قسمت کلیدی این فرایند به

شمار می‌رود. زیرا با انجام رتبه‌بندی ریسک‌ها، ارجحیت هر ریسک بر اساس شاخص‌های تعیین شده، در مقابل سایر ریسک‌ها مشخص و در نتیجه مدیران پروژه‌های تونل‌سازی می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک برنامه ریزی نماید. هدف از انجام این تحقیق، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای رتبه‌بندی ریسک ماشین حفاری TBM برای تونل انتقال آب گلاب می‌باشد.

۱ ۴ - مراحل انجام تحقیق

به منظور دست‌یابی به اطلاعات اولیه از وضعیت زمین‌شناسی منطقه بازدید یک ماهه از محل پروژه به عمل آمد. طی این بازدید ضمن آشنا شدن با منطقه و ماشین حفاری TBM، ریسک زمین‌شناسی این ماشین مورد بررسی قرار گرفت. سپس با بدست آوردن گزارش زمین‌شناسی مهندسی و برگزاری جلسات با مدیر پروژه و کارشناسان زمین‌شناسی، اطلاعات اولیه برای رتبه‌بندی ریسک ماشین حفاری TBM حاصل شد. در این تحقیق ریسک ماشین حفاری TBM در تونل انتقال آب گلاب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره رتبه‌بندی شده است.

۱ ۵ - ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل هفت فصل می‌باشد. در فصل اول به ضرورت تحقیق، مراحل انجام تحقیق و ساختار پایان‌نامه پرداخته شده است. در فصل دوم اصول و مفاهیم اولیه مدیریت پروژه، ریسک و مدیریت ریسک بیان شده است و به طور مختصر استاندارد بین‌المللی دانش مدیریت پروژه^۱ که یکی از از مهم‌ترین و کامل‌ترین مدل‌ها در زمینه مدیریت ریسک می‌باشد توصیف گردیده است. با توجه به اینکه پیشینه تحقیق پیرامون مدیریت ریسک پروژه‌های تونل‌سازی بسیار مهم می‌باشد فصل سوم به این بخش اختصاص داده شده است.

در فصل چهارم روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جهت رتبه‌بندی ریسک ارائه شده است؛ و روش

¹ Project Management Body of Knowledge - PMBOK

حل مسئله با روش‌های شباهت به گزینه ایده ال^۱، تحلیل سلسله مراتبی^۲، شباهت به گزینه ایده آل فازی^۳ و تحلیل سلسله مراتبی فازی^۴ به طور کامل شرح داده شده است. در پایان این فصل نیز استراتژی‌های اولویت بندی از جمله روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا و روش کپ لند به منظور اولویت بندی گزینه‌ها آمده است.

چالش‌های زمین‌شناسی پروژه‌های تونل سازی مکانیزه در فصل پنجم مورد بحث قرار گرفته است. در این فصل مهم‌ترین مخاطرات زمین‌شناسی از جمله نشت و هجوم آب زیرزمینی، نشت گاز، ناپایداری سینه کار، ناپایداری دیوار و سقف تونل، مچاله شوندگی (لهیدگی)، تورم سنگ‌های رسی، سینه کار مختلط و چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی مورد بحث قرار گرفته و مهم‌ترین مشکلات ناشی از این مخاطرات بررسی شده و راهکارهای پیش بینی و پیش‌گیری با آن‌ها ارائه شده است.

در فصل ششم که مهم‌ترین فصل این پژوهش می‌باشد، با انجام مطالعات زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی منطقه گلاب، ریسک ماشین حفاری مکانیزه با سپر تلسکوپی^۵ شناسایی شده و احتمال وقوع ریسک، میزان تأثیر ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت پروژه، میزان عدم اطمینان از تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک با بررسی در منابع علمی و نظر متخصصان تونل تعیین شده است. در نهایت ریسک ماشین حفاری مکانیزه با سپر تلسکوپی در تونل انتقال آب گلاب توسط روش‌های شباهت به گزینه ایده ال، تحلیل سلسله مراتبی، شباهت به گزینه ایده آل فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی رتبه بندی شده است. و بر اساس استراتژی‌های اولویت بندی با استفاده از روش‌های میانگین رتبه‌ها، روش بردا و کپ لند اولویت بندی گزینه‌ها صورت گرفت.

در فصل هفتم نتایج بدست آمده و پیشنهادات ارائه شده در راستای این پژوهش، تشریح گردیده‌اند.

¹ Technique for order-Preference by Similarity to ideal Solution - TOPSIS

² Analytical Hierachy Process - AHP

³ Fuzzy Technique for order-Preference by Similarity to ideal Solution - FTOPSIS

⁴ Fuzzy Analytical Hierachy Process - FAHP

⁵ Double Shield Tunnel Boring Machine - D.S.TBM

فصل ۲. مدیریت ریسک

۲-۱ مقدمه

برای رشد، توسعه، تعامل و سازگاری با حرکت جهانی فن‌آوری و صنعت، باید در هر لحظه به دنبال ابزارهایی نو و کارا بود. ارتقاء و تعالی محقق نخواهد شد جز با خطر کردن و حرکت هدف‌دار در دنیای پرشتاب و ناپایدار، که لازمه آن افزایش توانمندی و بنیه رقابتی افراد و سازمان می‌باشد.

ریسک و مدیریت ریسک در چند سال اخیر به موضوعی حساس و ضروری برای سازمان‌ها و خصوصاً قشر مدیران تبدیل شده است، چرا که در یک محیط بی‌ثبات و نامعین، هر لحظه می‌توان انتظار وقوع رخدادهای خارج از برنامه و غیرمنتظره را داشت. مدیران همیشه سعی دارند بدانند چرا پروژه‌ها به تأخیر می‌افتند و یا هزینه و کیفیت محصول و پروژه بر اساس آنچه پیش بینی شده محقق نمی‌گردد. با رشد تئوری‌های مدیریت و برنامه ریزی و گسترش به کارگیری آن‌ها، لزوم استفاده از ابزارهای مدیریت ریسک خصوصاً در محیط‌های پروژه محور به شدت احساس می‌گردد. در این راستا تلاش برای شناسایی، آموزش و به کارگیری ابزارها و تکنیک‌های مدیریت ریسک پروژه طی سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای داشته است.

در این فصل اصول و مفاهیم اولیه مدیریت پروژه، ریسک و مدیریت ریسک بیان شده است. این اصول، پایه و اساسی برای مطالبی خواهد بود که در فصول بعدی به آن‌ها خواهیم پرداخت.

۲-۲ پروژه و مدیریت پروژه

۲-۲-۱- پروژه

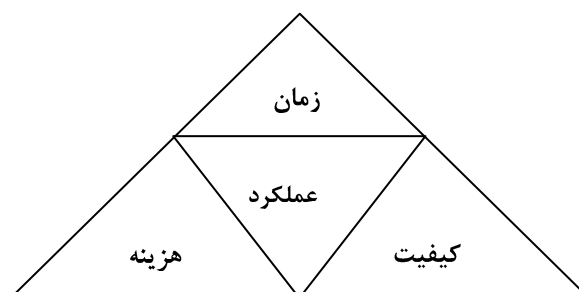
موسسه مدیریت پروژه (PMI)^۱، پروژه را «مجموعه تلاش‌های موقتی برای تحقق یک تعهد و یا ایجاد یک محصول یا ارائه خدمات مشخص، غیر تکراری و منحصر به فرد» تعریف می‌نماید [۱]. همچنین مطابق تعریف ISO 10006 پروژه، «فرآیند یکتا و یگانه، شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌های هماهنگ و

کنترل شده با زمان شروع و خاتمه جهت نیل به هدف مشخص با نیازمندی‌های معین با توجه به

محدودیت‌های زمان، هزینه و منابع» می‌باشند. [۲]

بدین ترتیب در تعریف هر پروژه ویژگی‌های زیر مد نظر قرار می‌گیرد [۱]:

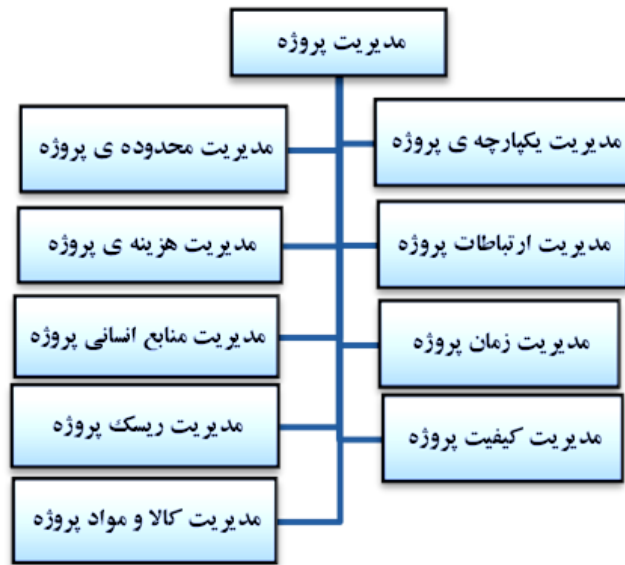
- موقتی بودن پروژه (زمان شروع و پایان مشخص)
- یکتایی پروژه‌ها (یکتای در نتایج، تلاش‌ها، مدیریت و اهداف و...)
- دستیابی به اهداف پروژه (ایجاد هماهنگی بهینه بین زمان، کیفیت، هزینه، یعنی معیارهای عملکرد پروژه). معیارهای عملکرد پروژه در شکل ۱-۲ نشان داده شده‌اند.



شکل (۲) معیارهای عملکرد پروژه [۱]

۲-۴-۴- مدیریت پروژه

مطابق تعریف موسسه مدیریت پروژه PMI «به کارگیری دانش، مهارت‌ها، ابزارها و تکنیک‌های لازم در اجرای فعالیت‌های پروژه به منظور تأمین نیازها و انتظارات متولیان و ذینفعان پروژه» را مدیریت پروژه گویند. مدیریت پروژه دارای نه حوزه اصلی می‌باشد. این نه حوزه باید به هنگام اجرای مدیریت پروژه به مرحله اجرا درآمده و با سایر قسمت‌ها در تعامل باشند تا بتوان پروژه را با توجه به فاکتورهای سه‌گانه زمان، کیفیت و هزینه به طور اثر بخشی پیش برد. نه حوزه ذکر شده به همراه فعالیت‌های هر بخش در شکل ۲-۲ ترسیم شده‌اند [۱].



شکل (۲ ۴) فرآیندهای مدیریت پروژه [۱]

۲ ۴ ۴ - عدم قطعیت پروژه

اکثر فعالیت‌های مدیریت پروژه از مراحل اولیه چرخه عمر پروژه با مدیریت عدم قطعیت همراهند که این مدیریت شامل مشخص کردن آنچه که می‌تواند انجام شود، تصمیم در مورد قطعیت آنچه که قرار است انجام شود و اطمینان حاصل کردن از انجام آن می‌باشد. عدم قطعیت تا حدودی به تغییرات در معیارهای عملکرد همچون هزینه، مدت زمان یا کیفیت مرتبط است. به علاوه منظور از عدم قطعیت، ابهام^۱ ناشی از کمبود شفافیت نیز می‌باشد که به دلیل رفتار مجریان پروژه، کمبود اطلاعات، کمبود جزئیات، ضعف ساختار برای بررسی موارد، فرضیات کاری و پایه‌ای که در بررسی جزئیات مورد استفاده قرار می‌گیرد، منابع شناخته شده و ناشناخته، گرایش‌ها و غفلت ورزیدن در مورد اینکه صرف چه مقدار تلاش برای مشخص کردن وضعیت، ارزشمند و مقرون به صرفه می‌باشد [۳و۲].

همیز^۲ عدم قطعیت و تغییر پذیری را به صورت زیر تعریف می‌کند [۲]:

^۱ Ambiguity

^۲ Haimes

- عدم قطعیت: در شرایط عدم قطعیت، پیامدهای بالقوه وقایع نه می‌توانند از طریق توزیع‌های عینی مشهور احتمال بیان شوند و نه می‌توانند توسط احتمالات نظری برآورده شوند.
- تغییر پذیری: تغییر پذیری نتیجه نوسانات ذاتی یا وجود تفاوت‌ها در کمیت مورد توجه می‌باشد.

۲ ۴ ریسک و مدیریت ریسک

۲ ۴ ۱- ریسک

- در زیر به چند نمونه از تعاریف مختلف ارائه شده برای ریسک اشاره شده است:
- مطابق تعریف موسسه مدیریت پروژه PMI ریسک به صورت زیر بیان می‌شود [۱]: «رویداد نامطمئن یا موقعیتی که اگر اتفاق بیفتد، بر هدف تأثیر مثبت یا منفی خواهد گذاشت. ریسک دلایلی دارد و در صورت اتفاق نیز تجربه‌ای از آن حاصل خواهد شد.»
- استاندارد AS/NZS-4360 ریسک را به صورت زیر تعریف می‌کند: «شانس روی دادن چیزی که تأثیری بر اهداف خواهد داشت» [۳].
- بر اساس استاندارد Iso / IEC Guide 73 ریسک می‌تواند به عنوان تلفیقی از احتمال یک رویداد و پیامدهای آن تعریف شود [۴].
- همیز^۱ بیان می‌دارد که: «شرایط ریسک به صورت شرایطی تعریف می‌شود که در آن شرایط پیامدهای بالقوه می‌توانند به وسیله توزیع‌های نسبتاً معروف احتمال بیان شوند» [۲].
- پریت چارد^۲ دو تعریف از ریسک ارائه می‌دهد [۵]:
- تأثیر تجمعی احتمال رویداد غیرقطعی که ممکن است بر اهداف پروژه به طور مثبت یا منفی

¹ Haimes

² Pritchard

تأثیر بگذارد.

- میزان قرار گرفتن در معرض رویدادهای منفی و پیامدهای محتمل این رویدادها. این رویدادها به وسیله سه فاکتور (معروف به فاکتورهای ریسک) توصیف می‌شوند: رویداد ریسک، احتمال ریسک و مقداری که در معرض خطر بوده است. تعریف دیگری از ریسک وجود دارد که با تعاریف بالا مغایر است. این تعریف توسط نویل توربیت^۱ ارائه شده است. وی ریسک را به صورت زیر تعریف می‌کند: «ریسک چیزی است که ممکن است رخ دهد و در صورت وقوع، اثر نامطلوبی بر پروژه خواهد داشت» [۶]. همان‌گونه که به تعاریف ریسک اشاره شد، واضح است که ریسک همواره دارای دو جنبه مثبت و منفی است. به جنبه مثبت هر ریسک فرصت و به جنبه منفی آن تهدید گفته می‌شود. اصولاً در هر پروژه، هدف کنترل سه شاخص زمان، هزینه و کیفیت می‌باشد. فرصت‌ها اثری مطلوب بر این سه شاخص و به طور کل بر پروژه دارند. در حالی که این اثر برای تهدیدها کاملاً بر عکس می‌باشد.

۲ ۳ ۴ - مدیریت ریسک

- موسسه مدیریت پروژه PMI مدیریت ریسک را به صورت زیر بیان می‌دارد [۱]: «مدیریت ریسک فرآیند سیستماتیک شناسایی، تجزیه و تحلیل و پاسخ به ریسک‌های پروژه به منظور حداکثر کردن نتایج و وقایع مثبت و حداقل کردن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی بر اهداف پروژه است».
- استاندارد استرالیا / نیوزلند^۲، مدیریت ریسک را به صورت زیر تعریف می‌کند: «فرهنگ، فرآیندها و ساختارهایی که در جهت مدیریت مؤثر فرصت‌های بالقوه و تأثیرات نامطلوب هدایت می‌شوند».

^۱ Neville Turbit
^۲ AS/NZS-4360

به طور کلی اهداف زیر همواره مد نظر مدیریت ریسک بوده است:

- (۱) شناخت و تعریف ریسک پروژه و ارزیابی آن‌ها به صورت کمی.
- (۲) حذف یا کاهش ریسک‌های پروژه، صرف نظر از اینکه ریسک مورد نظر بر عهده کدام یک از اعضای پروژه است.
- (۳) توزیع و انتقال صحیح و عادلانه ریسک در بین اعضای پروژه.

۲ ۳ ۴ - ضرورت مدیریت ریسک

با توجه به اهمیت فرایند مدیریت ریسک در پروژه‌ها برخی از دلایل لزوم اجرای این فرایند به شرح زیر است [۳]:

- ۱- کسب و کار خوب و اجرای درست وظایف مدیریت پروژه.
 - ۲- کمک به برنامه‌ریزی ریسک.
 - ۳- کاهش رخدادهای پیش بینی نشده (غیر مترقبه).
 - ۴- تخصیص کارا تر و مؤثرتر منابع.
 - ۵- کسب نتایج بهتر از پروژه‌ها و برنامه‌ها.
 - ۶- کمک به تعریف واضح و آشکار نیازمندی‌های بیمه.
 - ۷- کسب اطلاعات بهتر برای تصمیم‌گیری.
 - ۸- کسب اطلاعات از ملزومات آیین‌نامه.
 - ۹- کمک به آماده سازی برای حسابرسی.
 - ۱۰- ترغیب افراد برای شرکت در فعالیتهای سازمان به منظور کاهش ریسک.
 - ۱۱- هم تراز کردن فرصت و ریسک.
- با توجه به احساس نیاز به فرایند مدیریت ریسک، باید از موارد زیر اطمینان حاصل کرد [۳]:

- ۱- آیا تمامی ریسک‌های مهم که در موفقیت پروژه تأثیر می‌گذارند شناسایی شده‌اند؟
- ۲- آیا ریسک‌های شناسایی شده هم بر اساس دامنه‌ی پیامدهای بالقوه‌شان و هم بر اساس احتمالشان فهمیده و درک شده‌اند؟
- ۳- آیا ارزیابی ریسک‌ها در ارتباط با سایر ریسک‌ها، برای ایجاد اولویت و تخصیص منابع انجام شده است؟
- ۴- آیا استراتژی‌های مختلف که برای پاسخ به ریسک‌ها فرموله می‌شوند، فرصت‌هایی را برای مورد ملاحظه قرار دادن بیش از یک ریسک فراهم می‌آورند؟
- ۵- آیا استراتژی‌های پاسخ به ریسک و خود فرآیند، با توجه به هزینه تخصیص یافته به طور مؤثری اجرا می‌شوند؟
- همان‌گونه که مشاهده می‌گردد ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها به منظور ارائه پاسخ مناسب با توجه به محدودیت منابع از موارد بسیار قابل توجه در فرایند مدیریت ریسک می‌باشد.
- تاکنون مدل‌های فراوانی از قبیل^۱ PMBOK،^۲ SHAMPO، ALARM، BOEHM،^۳ PRMA و ... در زمینه مدیریت ریسک ارائه گردیده است. هر چند که این مدل‌ها به هدف یکسانی (پرداختن به ریسک‌های پروژه) طراحی شده‌اند اما باید توجه داشت که تفاوت‌های قابل توجهی بین آن‌ها وجود دارد. برخی از این مدل‌ها به تفصیل به ریسک‌های پروژه می‌پردازند و با فازهای خود ریزترین مسائل را مورد توجه قرار می‌دهند، این در حالی است که برخی از این مدل‌ها نگاهی کلی بر فرآیند دارند و با تعداد فازهای کمتری (که معادل فازهای ریزتر است) فرآیند را مدیریت می‌کنند. استاندارد بین‌المللی PMBOK ارائه دهنده یکی از مهم‌ترین و کامل‌ترین مدل‌ها در زمینه مدیریت ریسک می‌باشد که به شرح مختصر آن پرداخته می‌شود. [۸]

^۱ Project Management Body of Knowledge

^۲ Shape, Harness and Manage Project Uncertainty

^۳ Project Risk Management Approach

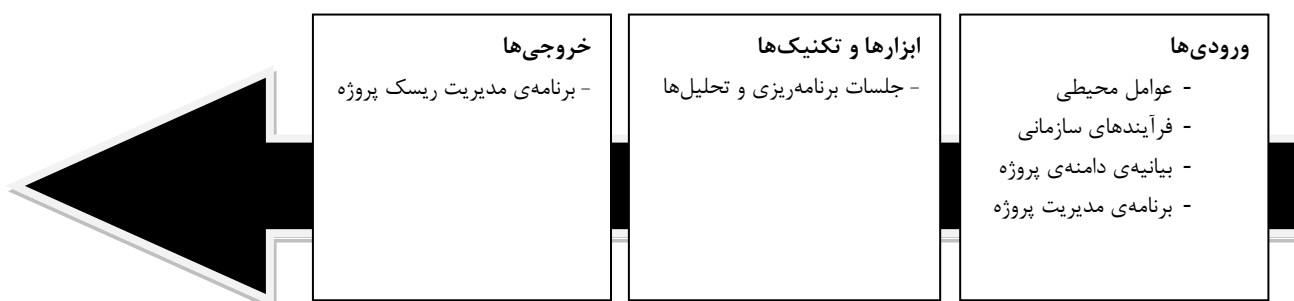
۲ ۳ ۴ - مروری بر فرایند مدیریت ریسک پروژه در راهنمای PMBOK

راهنمای مدیریت پروژه PMBOK مدیریت پروژه را در قالب نه فرآیند مورد بررسی قرار می‌دهد که بند هشتم آن مدیریت ریسک است. این راهنما در هر یک از بندهای نه‌گانه، فرآیند مربوطه را در قالب ورودی‌ها، تکنیک‌ها و ابزار و خروجی‌ها مورد اشاره قرار می‌دهد. طبق استاندارد PMBOK فرآیند مدیریت ریسک دارای شش مرحله به شرح زیر است:

۱- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک ۲- شناسایی ریسک ۳- تجزیه و تحلیل کیفی ریسک ۴- تجزیه و تحلیل کمی ریسک ۵- برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک ۶- کنترل و بازبینی ریسک
فرآیندهای مذکور با یکدیگر و با سایر فرآیندهای موجود در سایر زمینه‌های دانش مدیریت پروژه در تعامل می‌باشند [۷].

۱- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک

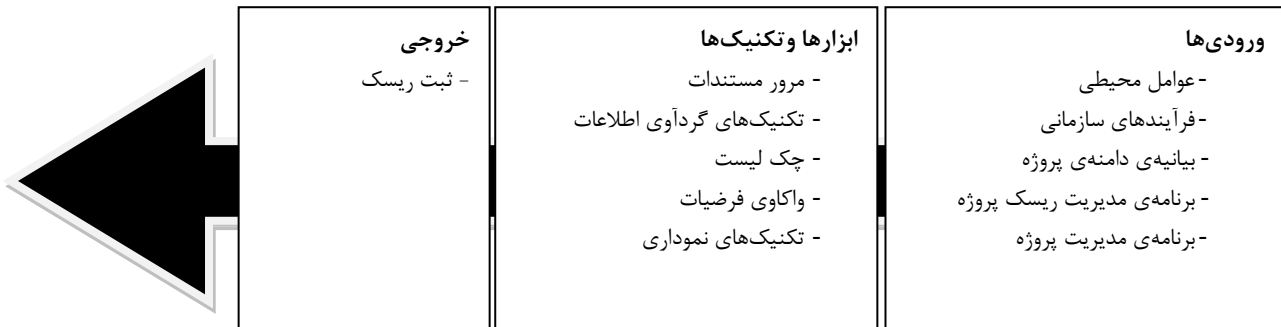
برنامه‌ریزی مدیریت ریسک یکی از مهم‌ترین مراحل در اجرای فرآیند مدیریت ریسک می‌باشد. چرا که چارچوب کلی کار در این مرحله مشخص می‌شود و هرگونه بی‌دقتی و یا تشخیص نادرست در این مرحله می‌تواند منجر به عدم موفقیت سیستم در مرحله اجرا گردد. تصمیم‌گیری درباره‌ی نحوه‌ی نگرش به برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک در پروژه در این مرحله انجام می‌شود. در شکل ۲-۳ فرآیند برنامه‌ریزی مدیریت ریسک نشان داده شده است.



شکل (۲ ۳) فرآیند برنامه‌ریزی مدیریت ریسک [۷]

۲- شناسایی ریسک

تعیین و شناسایی ریسک‌های مؤثر بر پروژه و مستندسازی آن‌ها در این مرحله انجام می‌گیرد. در شکل ۲-۴ فرآیند شناسایی ریسک نشان شده است.



شکل (۲ ۴) فرآیند شناسایی ریسک [۷]

یکی از مراحل مهم مدیریت ریسک، شناسایی و ارزیابی پتانسیل ریسک‌ها در پروژه است. تلاش برای شناسایی تمامی ریسک‌ها زمان‌بر و مشکل است و تلاش برای بررسی تمامی ریسک‌ها به شکست منجر می‌شود، اما شناسایی ریسک‌های پرخطر در صنعت تونل‌سازی مهم می‌باشد. تحقیقات زیادی در این زمینه در کشورهای آمریکا، کویت، هنگ‌کنگ، چین، هند، تایوان و ... انجام شده است [۸].

۳- تجزیه و تحلیل کیفی ریسک

تجزیه و تحلیل کیفی ریسک، اندازه‌گیری احتمال وقوع و میزان تأثیر کیفی ریسک‌ها بر اهداف پروژه می‌باشد. تحلیل کیفی ریسک بهترین و آسان‌ترین روش یافته شده برای درک روش‌های تحلیل ریسک می‌باشد. هدف از تحلیل، جدا کردن ریسک‌های جزئی (قابل قبول) از ریسک‌های اصلی و بزرگ است [۹].

تحلیل کیفی ریسک باید شامل موارد زیر باشد [۱۰]:

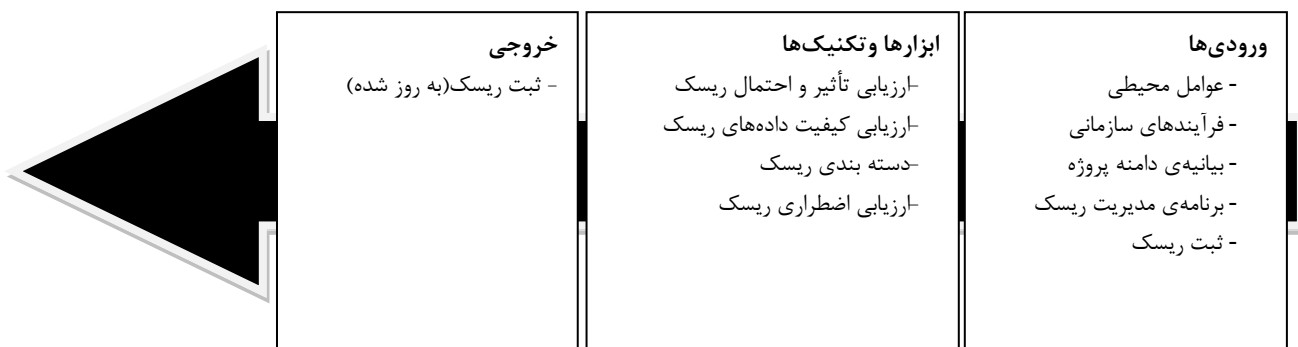
- شناسایی خطرات: بهتر است این کار توسط یک تیم ریسک و کارشناسان این موضوع انجام

شود.

- ارزیابی نتایج و احتمالات هم‌زمان با مرحله‌ی یک

- محاسبه‌ی احتمال و یا نتیجه‌ی ریسک که به عنوان امتیاز ریسک برای آن نتیجه نشان داده می‌شود.

یک خطر ممکن است توسط چندین عامل متفاوت حادث شود و ممکن است نتایج مختلفی نیز داشته باشد. تا زمانی که ارزیابی کیفی ریسک برای درک و مدیریت ریسک مفید باشد از آن استفاده می‌شود و گرنه روش‌های کمی تحلیل ریسک به کار گرفته می‌شوند. در شکل ۲-۵ فرآیند تجزیه و تحلیل کیفی ریسک نشان داده شده است.



شکل (۲ ۵) فرآیند تجزیه و تحلیل کیفی ریسک [۱۰]

ابزار و تکنیک‌های تجزیه و تحلیل کیفی ریسک عبارت‌اند از [۷]:

- احتمال و تأثیر ریسک: توصیف احتمال رخداد ریسک و عواقب حاصل از آن ممکن است با استفاده از واژگان کیفی نظیر (خیلی کم، کم، زیاد و ...) صورت پذیرد. احتمال ریسک به شانس رخداد یک ریسک اطلاق می‌شود. عواقب ریسک به میزان تأثیر ریسک بر اهداف پروژه در صورت وقوع گفته می‌شود. این دو بعد از ریسک تنها برای وقایع ریسک مشخص و نه تمام آن‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- ماتریس درجه‌بندی احتمال تأثیر ریسک: ممکن است ماتریسی تشکیل شود که در آن، درجات

ریسک بر مبنای ترکیب مقادیر احتمال و میزان تأثیر آن، به موقعیت‌های مختلف و یا ریسک‌های پروژه تخصیص داده شود. فرآیند رتبه‌بندی ریسک با استفاده از یک ماتریس و اختصاص مقادیری به هر یک از ریسک‌ها تکمیل می‌شود. میزان تأثیر یک ریسک منعکس کننده‌ی شدت اثر آن بر اهداف پروژه می‌باشد.

ماتریس احتمال - اثر [۱۱]

		احتمال				
		VL	L	M	H	VH
تأثیر	M	VL	L	M	H	VH
	L	M	H	H	VH	VH
	H	L	M	H	H	VH
	VH	L	L	M	H	H
	VL	VL	L	L	M	H
	VH	VL	VL	L	L	M

- آزمون فرضیات پروژه: فرضیات شناسایی شده همواره می‌بایست از دو جنبه مورد ارزیابی و آزمون قرار گیرند، ثبات فرضیات و عواقب این فرضیات برای پروژه در صورت نادرستی آن‌ها.

- رتبه بندی دقت داده‌ها: در صورتی که تجزیه و تحلیل کیفی ریسک برای مدیریت پروژه مفید و مثمر ثمر باشد، اجرای این فرآیند نیازمند داده‌هایی دقیق و نا اریب است. «رتبه‌بندی دقت داده‌ها» تکنیکی به منظور ارزیابی میزان درجه‌ی سودمندی و اهمیت داده‌ها برای اجرای فرآیند مدیریت ریسک می‌باشد.

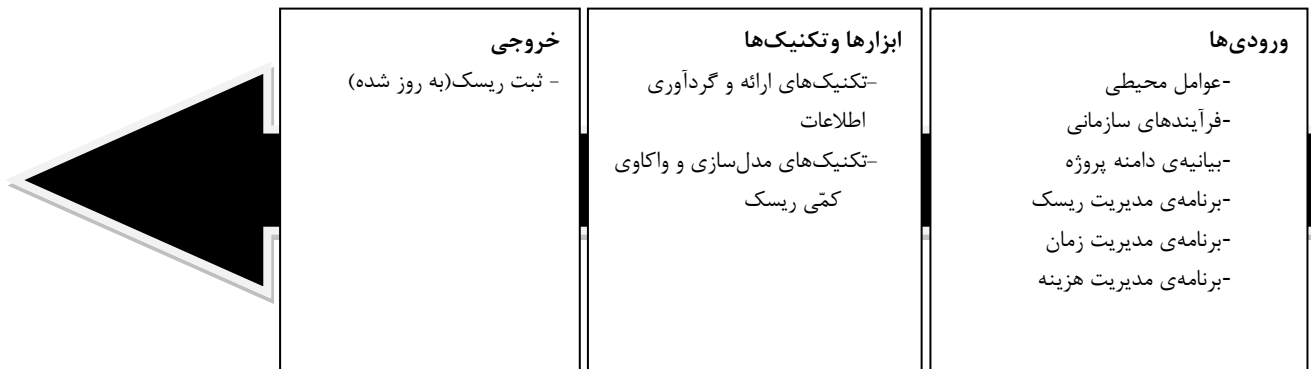
۴- تجزیه و تحلیل کمی ریسک

تجزیه و تحلیل کمی ریسک، اندازه‌گیری احتمال وقوع و میزان تأثیر کمی ریسک‌ها بر اهداف پروژه می‌باشد. تحلیل‌های کمی به منظور بنا نهادن تخمین‌های واقع‌بینانه از احتمالات پروژه‌ی مورد نظر، لازم می‌باشند. اگر چه تحلیل‌های کمی بر اساس هر واحدی می‌توانند باشند، این تحلیل‌ها در پروژه‌های زیرساختی اغلب بر اساس هزینه و یا زمان تأخیر می‌باشند. در جایی که هم تحلیل کیفی و هم تحلیل کمی موجود است، لیست خطرات کیفی می‌تواند اساس تحلیل کمی را شکل دهد. برای هر

خطر مشخص، احتمال رخداد آن تخمین زده می‌شود. این کار را می‌توان از روی تحلیل کیفی انجام

داد [۱۰].

شکل ۲-۶ فرآیند تجزیه و تحلیل کمی ریسک را نشان می‌دهد.



شکل (۲ ۶) فرآیند تجزیه و تحلیل کمی ریسک [۱۰]

ابزار و تکنیک‌های تجزیه و تحلیل کیفی ریسک عبارت‌اند از [۷]:

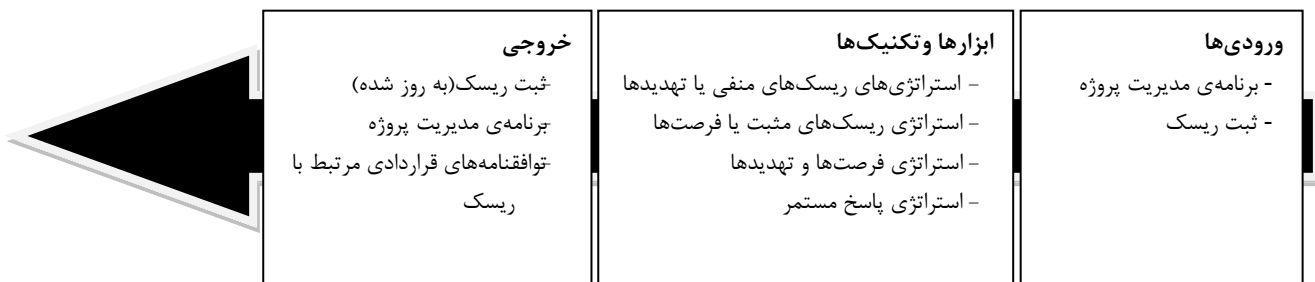
در تجزیه و تحلیل کیفی ریسک کلیه فرصت‌ها و تهدیدها شناسایی و دسته‌بندی شدند، ولی هنوز میزان تأثیر دقیق هر یک بر اهداف پروژه مشخص نشده و برنامه‌ی پروژه هنوز به حالت احتمالی در نیامده است. این مرحله از فرآیند مدیریت ریسک را در واقع می‌توان مرحله‌ی تبدیل از حالت قطعی به حالت احتمالی دانست. با توجه به این که در این مرحله میزان تأثیر کمی و دقیق‌تر ریسک‌ها بر اهداف پروژه به دست می‌آید، این مرحله را تحلیل کمی ریسک می‌نامند. جهت شروع این مرحله، تهدیدها و فرصت‌های طبقه‌بندی شده که از زیر فرآیند قبلی حاصل شده، اطلاعات مالکین ریسک درباره‌ی میزان تأثیر ریسک‌ها بر اهداف پروژه به عنوان ورودی مورد نیازند.

یکی از روش‌های بررسی کمی اثر ریسک بر روی پروژه استفاده از تجزیه و تحلیل حساسیت می‌باشد. توسط این روش میزان تأثیرات بالقوه‌ی هر ریسک بر روی پروژه تعیین می‌شود. در این روش با ثابت نگه داشتن سایر متغیرها و تغییر تنها یک متغیر، اثر آن بر روی اهداف پروژه سنجیده می‌شود. یکی دیگر از روش‌های کاربردی برای رتبه‌بندی کمی ریسک‌ها، استفاده از روش شبیه‌سازی ریسک می‌

باشد. مدیریت ریسک آغاز مرحله‌ی تبدیل برنامه‌ی پروژه از حالت قطعی به حالت احتمالی است. این تبدیل در دو گام اصلی صورت می‌گیرد. گام نخست، حالات احتمالی را می‌توان در دو بخش مورد بررسی قرار داد. بخش نخست عوامل درونی است که مرحله‌ی نخست فرآیند احتمالی سازی برنامه را شامل می‌شود. در این حالت، برنامه حالت احتمالی پیدا می‌کند اما این حالت احتمالی برگرفته از ذات خود فعالیت است و هیچ عامل بیرونی در پیدایش آن نقش نداشته است. گام دوم پس از دخالت دادن عوامل بیرونی اتفاق می‌افتد. در واقع با شناسایی فرصت‌ها و تهدیدها کلیه عوامل بیرونی تأثیرگذار بر اهداف پروژه مشخص می‌شوند [۱۲].

۵- برنامه ریزی پاسخ به ریسک

برنامه‌ریزی واکنش در مقابل ریسک، فرآیند تهیه‌ی راه حل‌ها و واکنش‌هایی است که به منظور کاهش تهدیدهای پیش روی اهداف پروژه انجام می‌شود. برنامه‌ی واکنش در مقابل ریسک باید متناسب با شدت ریسک، هزینه‌ی ناشی از رخداد ریسک، زمان و واقعیات پروژه بوده و به تأیید همه‌ی افراد درگیر برسد. در شکل ۲-۷ فرآیند برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک نشان داده شده است.



شکل (۲ ۷) فرآیند برنامه ریزی پاسخ به ریسک [۱۰]

در برنامه‌ریزی پاسخ به فرصت‌ها و تهدیدها، موارد زیر تعیین می‌شود [۷]:

- ترتیب زمانی شروع اقدامات اصلاحی برای هر یک از فرصت‌ها و تهدیدها (این ترتیب زمانی با

توجه به رتبه‌بندی انجام شده در مرحله‌ی سوم تحلیل فرصت‌ها و تهدیدها لحاظ می‌شود).

- شرح اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی مورد نیاز.

- مشخص نمودن مجری و مسئولین انجام اقدامات.

- نحوه‌ی انجام اقدامات.

اقداماتی که برای مهار تهدیدها استفاده می‌شود عبارت‌اند از [۱۱ و ۱۲]:

- اجتناب^۱: تغییر برنامه‌ی مدیریت پروژه به شکلی که تهدید حذف شود و روی اهداف پروژه تأثیر

نگذارد. این اقدام از نوع پیشگیرانه است.

- انتقال^۲: انتقال مسئولیت مدیریت و پاسخ به تهدید به بخشی دیگر

- کاهش اثر ریسک^۳: اجرای اقداماتی به منظور کاهش احتمال وقوع و یا تأثیر تهدید و یا هر دو

اقداماتی که برای استفاده بهینه از فرصت‌ها استفاده می‌شود عبارت‌اند از:

- بهره‌برداری از ریسک^۴: این اقدام موازی اقدام اجتناب از ریسک است و در واقع هدف اجرای

اقداماتی در راستای ایجاد اطمینان از وقوع فرصت است.

- سهمیم کردن دیگران در ریسک^۵: تقسیم کردن فرصت یا بخشی دیگر که توان بیشتری در

استفاده از فرصت را دارد.

- ارتقاء ریسک^۶: اجرای اقداماتی به منظور افزایش احتمال وقوع یا تأثیر فرصت و یا هر دو

اقداماتی که هم برای استفاده‌ی بهینه از فرصت‌ها و هم برای مهار تهدیدها استفاده می‌شوند عبارت‌اند

^۱- Risk Avoidance

^۲- Risk Transfer

^۳- Risk Mitigation

^۴- Risk Exploit

^۵- Risk Sharing

^۶- Risk Enhancement

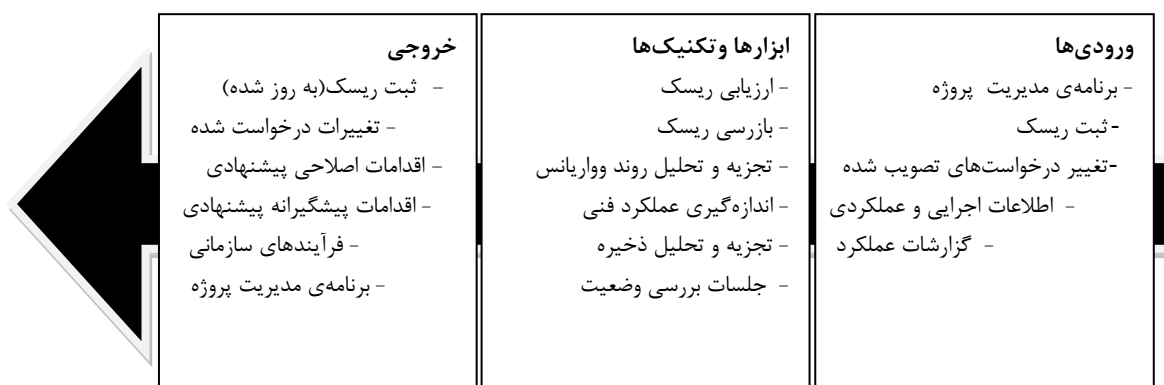
از [۱۲ و ۱۱]:

- پذیرش^۱: این روش ساده‌ترین روش برای رویارویی با ریسک می‌باشد. در این شرایط احتمال وقوع ریسک وجود داشته و میزان تأثیر ریسک بر روی پروژه در حدود تحمل تیم پروژه و سازمان می‌باشد.

- پاسخ احتمالی: اقداماتی که تنها در صورتی اتفاقات خاصی به وقوع بپیوندند اجرا خواهند گردید.

۶- پیگیری و کنترل ریسک

در این مرحله که آخرین مرحله‌ی مدیریت ریسک است، اقدامات مربوط به پیشگیری از تهدیدها و زمینه‌چینی جهت استفاده بهتر از فرصت‌ها انجام می‌شود. کنترل و بازبینی ریسک، فرآیند پیگیری مستمر و دائمی ریسک‌های شناسایی شده، کنترل ریسک‌های باقی‌مانده، شناسایی ریسک‌های جدید، حصول اطمینان از اجرای برنامه‌های مرتبط با ریسک و بالاخره ارزیابی میزان اثربخشی آن‌ها در جهت کاهش ریسک پروژه می‌باشد [۹]. در شکل ۲-۸ فرآیند پیگیری و کنترل ریسک نشان داده شده است.



شکل (۲ ۸) فرآیند پیگیری و کنترل ریسک [۹]

در یک نگاه کلی فرآیند پایش و کنترل ریسک به انجام اقداماتی به شرح زیر می‌پردازد:

^۱ - Risk Acceptance

- انتخاب استراتژی‌های جایگزین واکنش در برابر ریسک

- اجرای برنامه‌های اقتضایی

- انجام اقدامات اصلاحی

- برنامه‌ریزی مجدد پروژه

در نتیجه‌ی این بررسی‌ها، ممکن است لازم باشد تا برنامه‌ی پروژه مجدداً اصلاح گردد. مخصوصاً در

مواقعی که راهکارهای رویارویی با ریسک مؤثر نبوده و یا فرضیات اولیه صحیح نبوده باشند.

فصل ۳. پیشینه تحقیق

۳ -۱ مقدمه

پروژه‌های تونل سازی به دلیل عدم قطعیت‌های مرتبط با آن‌ها همواره با درصد بالایی از ریسک همراه می‌باشند. مدیریت درست و به موقع این ریسک‌ها موجب حداقل کردن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی بر اهداف پروژه می‌گردد. در یک پیمایش جهانی در خصوص پروژه‌های تونل سازی، افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی در زمان و هزینه‌ها به علت مدیریت ناقص و اشتباه گزارش شده است [۱۱]. بر اساس پیمایشی دیگر (در بین شرکت‌های انگلیسی در سال ۱۹۹۴)، ۴۰ درصد پروژه‌ها از نظر بودجه و یا زمان از مقدار تعیین شده تجاوز کرده‌اند و در بیش از ۶۰ درصد آن‌ها نیز مدیریت ریسک سازمان ضعیف ارزیابی شده است [۱۲].

همان‌گونه که در فصل دوم اشاره شد ارزیابی ریسک یکی از ارکان مدیریت ریسک بوده و با توجه به ماهیت نامطمئن پروژه‌های تونل سازی و لزوم صرف بهینه منابع، دارای اهمیت زیاد است. هدف از ارزیابی ریسک، اندازه‌گیری ریسک‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف از قبیل میزان تأثیر، احتمال وقوع، عدم اطمینان از تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک می‌باشد. 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 می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک برنامه‌ریزی نماید [۱۳]. در این فصل ضمن مرور تحقیقات انجام شده در خصوص ارزیابی ریسک در پروژه‌های تونل سازی، نقاط قوت و ضعف آن‌ها جمع‌بندی شده است.

۳-۴ سابقه تحقیق

ارزیابی ریسک یکی از فازهای مدیریت ریسک می‌باشد که می‌تواند به مدیران پروژه‌ها کمک کند تا بتواند ریسک‌ها را رتبه بندی نماید و در نهایت پس از ارزیابی ریسک، مدیریت ریسک می‌تواند یک برنامه مناسب را جهت مقابله یا کاهش ریسک‌ها ارائه کنند. به منظور ارزیابی ریسک روش‌های مختلفی از جمله شبیه سازی مونت کارلو^۱ (Wu, 2007 [۱۵]; Au et al, 2007 [۱۴]; Rezaie et al, 2007 [۱۴]; Linder et al, 1987 [۱۸]; Meloy, 2008 [۱۶]; Amigun et al, 2011 [۱۷]; Lindhe et al., 2009 [۲۱]; Ferdous et al, 2006 [۱۹]; Vílchez et al., 2011 [۲۰]; Farret et al., 2011 [۲۴]; Vaurio, 2010 [۲۳]; al., 2009 [۲۲]; تجزیه تحلیل حالات شکست و اثرات آن^۴ (Leeuwen et al, 2009 [۲۷]; Wang et al., 2009 [۲۶]; Carlsson, 2004 [۲۵]; Gowland, 2006 [۲۶]; Zhang & Chu, 2011 [۳۱]; Xiao et al., 2011 [۳۰]; Hu et al., 2009 [۲۸]; al., 2009 [۲۸]; Chen & Chen, 2008 [۳۲]; Lee & Chen, 2008 [۳۳]; Chen & Wang, 2009 [۳۴]; Feng & Luo, 2009 [۳۵]; Xu et al., 2010 [۳۶]; Hejazi et al., 2011 [۳۷]; Idrus et al., 2011 [۳۸]) و روش‌های تصمیم گیری چند معیاره^۶ (Sayadi et al, 2011 [۳۹]; Fouladgar et al, 2011 [۳۹]; Wang & Elhag, 2006 [۴۲]; Wang & Lee, 2008 [۴۲]; Linkov et al, 2006 [۴۱]; 2009 [۴۰]; Lambert et al, 2001 [۴۶]; Michnic & Lo, 2005 [۴۵]; Heller, 2006 [۴۴]; وجود دارد.

به علت اهمیت ریسک‌ها در فضاهای زیرزمینی و پروژه های تونل سازی، محققان زیادی بر روی ارزیابی و اولویت بندی ریسک‌ها تحقیق کرده‌اند که به تعدادی از مطالعات انجام شده در دو دهه اخیر به ترتیب سال اشاره می‌گردد:

¹ Monte Carlo Simulation

² Event Tree

³ Fault Tree

⁴ Failure Mode and Effective Analysis (FMEA)

⁵ Fuzzy set

⁶ Multi Criteria Decision Making (MCDM)

جدول (۳) سابقه تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت ریسک پروژه های تونل سازی و فضاهای زیرزمینی

مرجع	سال	روش ارزیابی ریسک	نویسندگان
[۴۷]	1995	این مقاله به ملاحظات خاص در رابطه با ریسک‌های مشترک بین کارفرما، پیمانکار و مشاور ساخت و ساز زیرزمینی پرداخته است.	Abdel Salaml
[۴۸]	1996	با استفاده از ماتریس تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان در مهندسی سنگ به منظور طراحی شیب، پیش‌بینی جریان مواد در داخل توده سنگ‌های درزه دار و تونلسازی ارزیابی ریسک صورت گرفته است.	Einstein
[۴۹]	1996	جهت ارزیابی ریسک در تونل دایره‌ای جاده استکهلم از روش‌های آنالیز کیفی ریسک، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، آنالیز درخت خطا (FTA)، ماتریس احتمال - اثر ریسک استفاده شده است.	Sturk et al
[۵۰]	1997	ارزیابی ریسک در سد ولهیچ (Whleach) با استفاده از روش ماتریس احتمال - اثر ریسک صورت گرفته است.	Salmon et al
[۵۱]	2000	به استفاده از مدل‌های احتمالاتی، آنالیز درخت خطا (FTA) و آنالیز درخت رویداد (ETA) در ارزیابی عدم قطعیت در پروژه‌های ژئوتکنیکی پرداخته است.	Whitman
[۵۳]	2001	ضمن معرفی شاخص ریسک جریان مواد به داخل تونل و ارزیابی ریسک آن از ماتریسی که شاخص ریسک را در بازه‌های مختلف کیفی رتبه‌بندی می‌کند استفاده کرده‌اند.	H.S. Chou, et al
[۵۴]	2002	ضمن بررسی پلان مدیریت ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی و ارائه‌ی مدلی کمی، با در نظر گرفتن تابع توزیع احتمالاتی زمان و هزینه برای فعالیت‌ها جهت ارزیابی ریسک نیز روش متداول ماتریس ریسک را بررسی کرده‌اند.	Grasso, et al
[۵۵]	2003	شبکه‌ای را جهت ارزیابی صدمات وارده به تأسیسات و تجهیزات مجاور عملیات تونل‌سازی ایجاد کرده و نام آن را TURISK نهادند. در این شبکه بر اساس پیش‌بینی میزان جابجایی زمین ناشی از حفر تونل، میزان صدمات، پیش‌بینی و ارزیابی می‌شود.	Chungsik Yoo., Jae-Hoon Kim
[۵۶]	2004	ضمن ارائه‌ی مدلی به منظور تخصیص بودجه‌ی ریسک جهت مدیریت ریسک‌ها در پنج فاز اصلی پروژه‌های زیرزمینی، روش کیفی آنالیز ریسک را بررسی کرده‌اند.	Gerard Arends, et al

ادامه جدول (۳-۱) سابقه تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت ریسک پروژه های تونل سازی و فضاهای زیرزمینی

مرجع	سال	روش ارزیابی ریسک	نویسندگان
[۵۷]	2004	ارزیابی ریسک ریزش سقف معادن زیرزمینی زغال سنگ در ترکیه را بر اساس تناوب وقوع رخدادهای ریزش سقف در طول سال، مورد بررسی قرار داده و ۲ مؤلفه اصلی رخداد و پیامد رخداد را در ارزیابی خود بکار برده‌اند	Du'zgu'n and Einstein
[۵۸]	2004	در رویکرد ارزیابی مخاطرات در عملیات حفاری TBM، شاخص آسیب‌پذیری را بر اساس مؤلفه‌های سیستم‌های مهندسی سنگ بیان کرده‌اند و جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت، مدل احتمالاتی را ارائه کرده‌اند.	A.G. Benardos., D.C. Kaliampakos
[۵۹]	2004	ضمن شناسایی برخی از ریسک‌های بالقوه (با اثرات مثبت و منفی) در پروژه‌های تونلی و زیر ساختی و استفاده از توزیع احتمالاتی به منظور تخمین دقیق‌تر زمان و هزینه‌ی پروژه و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها، از روش مرسوم احتمال و اثر جهت ارزیابی ریسک استفاده کرده‌اند.	J. Reilly., J. Brown
[۶۰]	2004	رهنمودهایی را از منظر کارفرما و مشاور جهت ارزیابی و مدیریت ریسک در کل محدوده عملکردی پروژه‌های تونل سازی ارائه کرده و ماتریس احتمال - اثر ریسک را به عنوان یکی از ابزارهای اساسی جهت ارزیابی و اولویت بندی پاسخ به ریسک‌ها معرفی نموده‌اند.	Søren Degn Eskesen, et al
[۶۱]	2004	در گزارش خود به بیان فرایند مدیریت ریسک در پروژه‌های تونل سازی پرداخته‌اند و جهت ارزیابی ریسک روش مرسوم احتمال و اثر ریسک را بررسی کرده‌اند.	ITA Guidelines for tunneling risk management
[۶۲]	2005	رویکردی را جهت تعیین سیستم نگهداری و نرخ پیشروی مناسب و بهینه بر مبنای تحلیل ریسک ارائه کرده‌اند و با توجه به عدم قطعیت‌های فراوان در خصوص پارامترها و ویژگی‌های زمین اطراف با استفاده از تکنیک شبیه سازی مونت کارلو یک توزیع احتمالاتی برای ضریب ایمنی تونل بدست آورده‌اند.	Kwangho You, et al
[۶۳]	2005	ضمن بررسی عوامل و فاکتورهای مختلف ریسک ماشین‌های تونل زنی اثرات آن‌ها را روی زمان و هزینه حفر تونل بررسی کرده‌اند و در ادامه یک مدل احتمالاتی جهت تخمین هزینه و زمان پروژه‌های تونل سازی ارائه کرده‌اند.	T. Isaksson and H. Stille

ادامه جدول (۳-۱) سابقه تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت ریسک پروژه های تونل سازی و فضاهای زیرزمینی

مرجع	سال	روش ارزیابی ریسک	نویسندگان
[۶۴]	2006	با کمک برخی از مهم‌ترین شرکت‌های بیمه و برخی از انجمن‌های مرتبط با پروژه‌های تونل سازی جهت ارزیابی ریسک، روش مرسوم احتمال و اثر ریسک را بررسی کرده‌اند و پاسخ به ریسک را با تاکید بر بیمه مورد بررسی قرار داده‌اند.	International Tunneling Insurance Group
[۶۵]	2006	ضمن بررسی ریسک نشست سطح زمین در عملیات حفاری تونلی در هنگ‌کنگ، و بیان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آن یک پلان مدیریت ریسک را نیز برای این پروژه ارائه کرده‌اند.	A.K.L. Kwong
[۶۶]	2006	پاسخ به ریسک‌ها جهت کنترل و مدیریت آن‌ها در عملیات حفاری تونل در مرکز شهر را تحت شرایط پیچیده‌ی زمین بررسی کرده‌اند.	E.h. Martin Herrenknecht K. Ba'ppler
[۶۷]	2006	ضمن معرفی خطر بیهوش شدن کارگران در اثر کم شدن فشار اتمسفر به عنوان یکی از بزرگ‌ترین عوامل ریسک در عملیات تونل سازی به بررسی شاخص DCI مربوط به بیماری ناشی از این ریسک پرداخته‌اند.	D.R. Lamont and R.T. Booth
[۶۸] [۶۹] [۷۰]	2006 2007 2008	ضمن بررسی فرایند مدیریت ریسک در پروژه‌های زیرزمینی و ساخت تونل، هزینه و زمان طراحی و ساخت را به صورت یک تابع احتمالاتی بیان کرده‌اند و در این مدل ضریب همبستگی و عدم وابستگی متغیرها که ریسک‌های مختلف می‌باشند بررسی شده و همچنین تنها دو شاخص مرسوم احتمال و اثر ریسک به منظور ارزیابی ریسک مطرح کرده‌اند.	Reilly Reilly and Parker Parker and Reilly
[۷۱]	2007	ضمن شناسایی برخی از ریسک‌های زمین شناختی از قبیل زمین لغزش، ریزش سقف، نشست آب و...، دو شاخص نیمه کمی (شاخص طبیعی یا ذاتی ریسک و ضریب اطمینان) را ارائه کرده و بر اساس آن‌ها محیط مورد مطالعه را زون‌بندی کرده‌اند.	Miguel A, et al
[۵۲]	2007	این کتاب به مدیریت ریسک پروژه های تونل سازی در مناطق شهری پرداخته است. در این کتاب نه تنها به تجزیه و تحلیل و پیشنهاد ماشین های تونل سازی اشاره شده است، بلکه به تکنیک های ویژه برای کنترل عملیات ماشین ها نیز پرداخته شده است.	Guglielemetti, et al

ادامه جدول (۳-۱) سابقه تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت ریسک پروژه های تونل سازی و فضاهای زیرزمینی

مرجع	سال	روش ارزیابی ریسک	نویسندگان
[۷۲]	2008	رویکردی را جهت انتخاب TBM بر مبنای کمینه کردن ریسک‌های ژئوتکنیکی با استفاده از روش درخت تصمیم ارائه کرده‌اند و از تعریف مرسوم ریسک یعنی حاصل ضرب احتمال در اثر یک رخداد به منظور ارزیابی ریسک بهره برده‌اند.	Kourosch Shahriar, et al
[۷۳]	2009	روش آنالیز درخت رویداد را جهت کمی کردن و تعیین ریسک به منظور طرح مقدماتی حفر یک تونل زیر سطح آب زیر زمینی با استفاده از TBM مورد بررسی قرار داده‌اند.	Eun-Soo Hong, et al
[۷۴]	2010	چگونگی طراحی و ارزیابی ریسک تونل را مطرح کرده و در مورد پذیرش ریسک و مدیریت ایمنی، استفاده از چندین معیار را جهت کاهش ریسک و اتخاذ تصمیم مناسب و اینکه چه معیارهایی جهت پذیرش ریسک مناسب‌ترند را مورد بررسی قرار داده است.	Alan N. Beard
[۳۹]	2011	رتبه بندی ریسک پروژه تونل انتقال آب دشت ذهاب با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل فازی (FTOPSIS) صورت گرفته است.	Fouladgar et al
[۷۵]	۱۳۸۶	در این تحقیق به معرفی روش‌های تصمیم گیری چند شاخصه برای حل مسأله رتبه بندی ریسک‌های پروژه پرداخته شده است.	جبل عاملی و همکاران
[۷۶]	۱۳۸۸	آنالیز ریسک‌های ناشی از دستگاه TBM در حین حفاری در تونل آزادراه تهران شمال را به روش تجزیه تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) ارزیابی کرده‌اند. در این تحقیق سیستم‌های برق، نیوماتیک، مکانیک و هیدرولیک دستگاه مورد بحث قرار گرفته‌اند.	جعفری و قراری
[۴۰]	۱۳۸۸	در این تحقیق ریسک پروژه خط ۳ متروی تهران با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل (TOPSIS) رتبه بندی شده است. در این تحقیق ریسک‌های مورد بررسی ریزش، دیرکرد، طراحی اشتباه، عدم ایمنی کارگران و تجهیزات، خرابی و تصادفات، قیمت‌های محلی، آلودگی زیست محیطی و آسیب به تأسیسات شهری می‌باشند؛ و معیارهای مورد بررسی احتمال وقوع، تأثیر ریسک، عدم اطمینان از تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک می‌باشد.	صیادی و همکاران

ادامه جدول (۳-۱) سابقه تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت ریسک پروژه های تونل سازی و فضاهای زیرزمینی

مرجع	سال	روش ارزیابی ریسک	نویسندگان
[۷۷]	۱۳۸۸	جهت ارزیابی ریسک از تکنیک FMEA فازی در پروژه خط ۳ متروی تهران استفاده شده است. پارامترهای مورد مطالعه وخامت، رخداد و کشف می باشد.	صیادی و همکاران

همانگونه که ملاحظه می شود در این تحقیقات عمدتاً از دو شاخص «میزان تأثیر» و «احتمال وقوع» ریسک در قالب ماتریس احتمال-اثر ریسک استفاده شده است. این روش نتایج قابل اعتمادی بدست نمی دهد. برخی از محققین نیز بر غیر قابل اطمینان بودن این رویه تاکید کرده اند [۷۸]. یکی از دیگر مشکلات استفاده از ماتریس احتمال-اثر ریسک این است که در آن ممکن است اهمیت ریسک های با احتمال کم و اثرگذاری زیاد نادیده گرفته شود، چرا که طی این تکنیک، ریسک هایی که احتمال زیاد و اثرگذاری کمی دارند با ریسک هایی که احتمال کم و اثر مهم دارند معادل فرض شوند که این لزوماً نظر تصمیم گیرنده نیست. [۷۹] این در حالی است که جهت ارزیابی و رتبه بندی ریسک در سایر پروژه ها، شاخص های دیگری نظیر «توانایی سازمان در واکنش به ریسک» [۸۰] و «عدم اطمینان از تخمین» [۸۱]، نیز مطرح شده اند. Lambert, et al. 2001 علاوه بر احتمال وقوع و میزان تأثیر بر کارآمدی پروژه، سرعت مقابله با ریسک را نیز مطرح کرده اند [۴۶]. Baccarini, Archer. 2001 احتمال و میزان تأثیر بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه را در رتبه بندی ریسک بکار برده اند [۸۲]. Waterland, et al. 2003 برای ارزیابی ریسک از سه معیار رخداد، شدت و ردیابی استفاده کرده اند [۸۳]. Haines, 2004 علاوه بر ماتریس احتمال و اثر ریسک از معیارهای قابلیت کنترل ریسک و قابلیت کشف یا میزان مواجهه با ریسک نیز در تعیین اولویت بندی ریسک ها استفاده کرده است [۲]. لازم به ذکر است که در برخی از تحقیقات مذکور به منظور اندازه گیری ریسک ها در خصوص شاخص های مختلف از نظر چندین خبره استفاده شده است. ولی در مواردی که با مجموعه قابل توجهی از متغیرها سروکار داشته و نیاز به اولویت بندی واحدهای تصمیم گیری بر اساس اهمیت نسبی شان داشته

باشیم، بهره گیری از افراد مختلف با تخصص‌ها، تجربیات و دیدگاه‌های علمی گوناگون، همراه با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی (به منظور جمع‌آوری نظرات خبرگان) و چند معیاره ابزاری مناسب جهت رتبه‌بندی و اتخاذ تصمیمات علمی و صحیح‌تر به شمار می‌رود، این موضوع توسط محققین مختلفی نیز مورد تاکید قرار گرفته است [۸۴ و ۸۵]

بدین منظور در تحقیق حاضر جهت تعریف معیارهای رتبه‌بندی نخست حوزه اثرگذاری ریسک بر اهداف زمان، هزینه و کیفیت لحاظ شده است. سپس به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی دقیق‌تر ریسک‌ها، شاخص‌های تکمیلی عدم اطمینان تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک نیز در نظر گرفته شده است.

فصل ۴. کلیاتی در مورد تصمیم‌گیری چند معیاره

۴-۱ مقدمه

یک تصمیم نتیجه فرایند انتخاب یک گزینه بهتر از بین دو یا چند گزینه متفاوت می‌باشد، که ما را در رسیدن به مقصود (آرمان) یاری می‌دهد. این فرایند، تصمیم‌گیری نامیده می‌شود. به زعم هربرت سایمون^۱، تصمیم‌گیری، مترادف با کل فرایند مدیریت است. امر تصمیم‌گیری و بررسی مسائل در قالب یک فرایند سیستماتیک مورد توجه قرار می‌گیرد. این فرایند دارای مراحل زیر می‌باشد [۸۶]:

۱- تعریف مسئله

۲- شناخت راه حل‌های ممکن

۳- ارزیابی راه حل‌های ممکن

۴- انتخاب یک راه حل

به طور کلی اگر بخواهیم تعریف جامعی از فنون تصمیم‌گیری ارائه دهیم می‌توان گفت: فنون تصمیم‌گیری به مجموعه فنون و روش‌هایی اطلاق می‌شود که جهت ارزیابی راه‌حل‌های ممکن (گزینه‌های رقیب) و انتخاب بهترین راه حل بکار می‌رود [۸۶].

۴-۲ طبقه‌بندی فنون تصمیم‌گیری

فنون تصمیم‌گیری را با توجه به ماهیت، شرایط و معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری به دو شیوه رایج کلی می‌توان تقسیم‌بندی نمود [۸۷] که در حد اشاره به آن‌ها اکتفا شده است.

۴-۲-۱ طبقه‌بندی نوع اول

در این طبقه‌بندی فنون تصمیم‌گیری بر مبنای شرایط تصمیم‌گیری و نوع مدل‌سازی انجام گرفته به دو دسته به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌گردند:

^۱ -Herbert Simon

۴-۱-۱ طبقه‌بندی فنون بر مبنای شرایط تصمیم‌گیری

تصمیماتی که افراد می‌گیرند بسته به میزان دانش و اطلاعات آن‌ها در آن وضعیت و نیز میزان اطمینان به نتایج حاصل از شقوق مختلف به ۴ دسته تقسیم می‌شوند:

۱) تصمیم‌گیری در شرایط اطمینان کامل

در این شرایط تصمیم‌گیرندگان با اطمینان کامل، پیامدهای هر گزینه را می‌دانند و ضریب اطمینان به داده‌ها و اطلاعات صددرصد می‌باشد؛ بنابراین گزینه‌هایی را انتخاب می‌کنند که منافع آن‌ها را حداکثر کند که از آن جمله می‌توان به فنون تصمیم‌گیری تک معیاره و چند معیاره اشاره نمود.

۲) تصمیم‌گیری در شرایط ریسک (احتمالی)

در صورتی تصمیم‌گیرنده بتواند احتمال وقوع حالات مختلف رویداد پدیده را برای مسأله تعیین کند، تصمیم‌گیری از نوع ریسک یا احتمالی خواهد بود.

۳) تصمیم‌گیری در شرایط فازی

بنیان منطق فازی و تئوری مجموعه‌های فازی در تعریف ماکس بلک از ابهام^۱ و سر بسته بودن^۲ داده‌ها در سال ۱۹۳۷ نهفته است. به عبارت دیگر زمانی فنون تصمیم‌گیری در شرایط فازی مطرح می‌گردند که داده‌هایی که مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند در فرم مبهم و سر بسته اتفاق بیفتند. داده‌های مبهم: داده‌هایی هستند که حدود و مرزهای مشخصی ندارند و معمولاً با مفاهیم کلامی چون حدوداً، تقریباً و ... بیان می‌شوند.

داده‌های سر بسته: مفاهیم کلامی هستند که درک معنی آن‌ها نیازمند توضیح بیشتر باشد به عنوان مثال مفاهیم کلامی چون مدیر خوب، کیفیت کار بالا، کسب رهبری وظیفه مدار، و ... از نوع داده‌های سر بسته می‌باشند. به عبارت دیگر مفاهیم و داده‌هایی که تصمیم‌گیرندگان استنباط‌های متفاوتی از

^۱ -Vague

^۲ -Ambiguity

آن‌ها داشته باشند مفاهیم فازی هستند. به تعبیر لطفی زاده یکی از بنیان گذاران این منطق، عوامل ابهام یا ناشی از زبان طبیعی و ادراک انسانی است و یا ناشی از عدم اطمینان در قوانینی که به عنوان مبنای قضاوت انسان قرار می‌گیرد، که عمدتاً به تجربه گذشته او برمی‌گردد.

۴) شرایط عدم اطمینان کامل

در این گونه شرایط تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیرنده نمی‌تواند هیچ احتمالی جهت وقوع رویداد هر یک از پدیده‌ها را مشخص کند. به عبارت دیگر تصمیم‌گیرنده نمی‌داند کدام یک از حالات طبیعی رخ خواهد داد. عمدتاً در این گونه شرایط تصمیم‌گیرنده سعی در تعریف یک تابع احتمالی ذهنی دارد و سعی می‌کند فضای تصمیم‌گیری را به شرایط ریسک (احتمالی) یا شرایط فازی نزدیک کند.

۴-۱-۱-۴ - طبقه‌بندی فنون تصمیم‌گیری بر مبنای نوع مدل‌سازی

این فنون با توجه به نوع مدل‌سازی صورت گرفته در یکی از سه طبقه زیر قرار می‌گیرند [۸۸]:

۱- فنون تصمیم‌گیری سخت^۱

به فزونی اطلاق می‌شوند که تعریف مدل بر اساس دستگاه معادلات ریاضی انجام می‌گیرد. به عنوان مثال: برنامه‌ریزی خطی^۲، برنامه‌ریزی عدد صحیح^۳، برنامه‌ریزی آرمانی^۴، تئوری بازی‌ها^۵، تحلیل مسیر^۶ و برنامه‌ریزی غیر خطی^۷ از مدل‌های تصمیم‌گیری سخت می‌باشند.

^۱ -Hard

^۲ -Linear programing

^۳ - Intiger programing

^۴ - Goal Programing

^۵ - Game theory

^۶ - Path Analysis

^۷ - Non linear programing

۲- فنون تصمیم‌گیری نرم^۱

به مجموعه فنونی اطلاق می‌شود که در آن مدل بر مبنای یک جدول توافقی یا به عبارت دیگر به صورت یک ماتریس $m \times n$ بیان می‌شود. فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM)^۲ نمونه بارز این فنون می‌باشند.

۳- فنون تصمیم‌گیری ترکیبی

به مجموعه فنونی اطلاق می‌شود که از ترکیب فنون سخت و فنون نرم شکل می‌گیرند. بدین معنی که این فنون، ظاهراً از منطق فنون نرم پیروی می‌کند و بر اساس جدول توافقی تعریف می‌شود. ولی در عمل و در فرایند حل از دستگاه معادلات ریاضی بهره می‌گیرند. به عنوان مثال فنون - linmap - تخصیص خطی MDS، روش مقیاس بندی چند بعدی و ... قابل ذکر هستند.

۴ ۴ ۴ - طبقه‌بندی نوع دوم

نوع دیگر از طبقه‌بندی فنون تصمیم‌گیری بر اساس تعداد معیارهای مورد ارزیابی می‌باشد که این فنون به دو دسته: فنون تصمیم‌گیری تک معیاره و فنون تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۳ تقسیم‌بندی می‌شود.

۲ ۱ ۴ ۱ - فنون تصمیم‌گیری تک معیاره

به مجموعه فنونی گفته می‌شود که به دنبال ارزیابی راه‌حل‌های ممکن موجود و انتخاب بهترین راه حل بر اساس یک معیار ارزیابی می‌باشند. مثال بارز این دسته فنون، برنامه‌ریزی عدد صحیح و برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیر پویای قطعی می‌باشند.

۲ ۴ ۱ ۴ - فنون تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)

به مجموعه فنونی اطلاق می‌شود که به دنبال ارزیابی راه‌حل‌های ممکن موجود بر اساس بیش از یک

^۱ - Soft

^۲ - Multiple Attribute Decision Making

^۳ - Multiple Criteria Decision making

معیار (چند معیار)، برای انتخاب بهترین راه حل می‌باشند. فنون تصمیم‌گیری چند معیاره خود به دو دسته : تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه (MODM) ^۱ و تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه (MADM) تقسیم می‌شوند.

۱- تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه (MODM)

در شرایط واقعی بسیار اتفاق می‌افتد که برای تصمیم‌گیرنده، تعریف یک هدف کلی بسیار مشکل است و مطلوب این است که در یک مسئله چند هدف توأم تأمین شود. برای حل این‌گونه مسائل روش‌های تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه مناسب خواهند بود. در این روش باید محدودیت‌ها و اهداف به صورت کمی تعریف شوند. برای حل مسائل MODM تکنیک‌های متعددی وجود دارد که برنامه‌ریزی آرمانی، معروف‌ترین آن‌ها می‌باشد [۸۸].

۲- تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه (MADM)

تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه به منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین چندین گزینه بکار می‌رود. خصوصیت متمایز مدل‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه آن است که معمولاً تعداد محدود و قابل شمارشی از گزینه‌های از پیش تعیین شده وجود دارد. یک مدل چند شاخصه به صورت ماتریس تصمیم‌گیری زیر فرموله می‌شود:

شاخص‌ها گزینه‌ها	X_1	X_2	X_3	.	.	.	X_n
A_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}	.	.	.	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	.	.	.	r_{2n}
.
.
.
A_m	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}	.	.	.	r_{mn}

که در این ماتریس:

^۱ -Multi Objective Decision Making

A_1, A_2, \dots, A_m در ماتریس تصمیم‌گیری بیانگر m گزینه از قبل معلوم شده

X_1, X_2, \dots, X_n نشان دهنده n شاخص ارزیابی مانند هزینه، سوددهی و ... برای سنجش هر گزینه می‌باشند.

r_{ij} بیانگر مقادیر خاص از شاخص j ام برای گزینه i ام می‌باشد.

بهترین گزینه در یک مدل چند شاخصه، گزینه‌ای خواهد بود که ارجح‌ترین ارزش از مشخصه‌های موجود را تأمین می‌نماید. همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شده مبنای مدل‌سازی فنون MADM ایجاد و تشکیل جدول توافقی^۱ می‌باشد. مراحل دستیابی به جدول توافقی جهت استفاده از فنون MADM به صورت زیر می‌باشد.

مرحله اول: تعریف گزینه‌های ممکن موجود.

مرحله دوم: تعریف و تعیین شاخص‌های ارزیابی.

مرحله سوم: اندازه‌گیری شاخص‌ها:

در این مرحله میزان بازده هر گزینه به ازای هر شاخص (r_{ij}) سنجیده شده و در جدول توافقی قرار داده می‌شود. این جدول اصطلاحاً ماتریس تصمیم‌گیری^۲ نامیده می‌شود.

مرحله چهارم: آماده سازی ماتریس تصمیم‌گیری:

در مرحله آماده سازی ماتریس تصمیم‌گیری، داده‌های مدل باید به گونه‌ای باشند که مدل قابل حل باشد. برای آماده سازی ماتریس تصمیم‌گیری باید مراحل زیر را مدنظر قرار داد.

الف) تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی:

روش‌های مختلفی برای شاخص‌های کیفی به کمی وجود دارد که اعتبار نحوه تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی بر اساس دو شاخص اعتبار^۳ و اعتماد سنجش می‌گردد. یکی از معروف‌ترین روش‌ها

¹ Contingency table

² Decision Matrix

³ validity

طیف دو قطبی است.

(ب) همگون سازی شاخص‌ها:

ماتریس تصمیم در صورتی قابل حل می‌باشد که واحدهای اندازه‌گیری شاخص‌ها یکسان باشد. یکی از معروفترین روش‌های همگون سازی شاخص‌ها، بی‌مقیاس کردن آن‌ها می‌باشد. چند روش رایج بی‌مقیاس کردن شاخص‌ها عبارتند از: ۱- روش نرم اقلیدسی، ۲- روش نرم فازی و ۳- روش نرم خطی

مرحله پنجم: استخراج ضرایب اهمیت شاخص‌ها

در اکثر مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) و به خصوص مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) داشتن و دانستن اهمیت نسبی شاخص‌های موجود گام مؤثری در فرایند حل مسأله و مورد نیاز می‌باشد. از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های زیر اشاره نمود: استفاده از پاسخ خبرگان، روش linmap، روش کم‌ترین مجذورات^۱، تکنیک بردار ویژه^۲، آنتروپی شانون^۳، AHP^۴

۴ ۴ طبقه‌بندی فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه

به طور کلی فنون حل مدل‌های نرم (فنون MADM) به دو دسته کلی تقسیم می‌شود [۸۷]:

۴ ۴ ۱- مدل‌های غیر جبرانی^۵

این مدل‌ها ساده‌ترین نوع مدل‌های MADM می‌باشند، که در ارزیابی گزینه‌ها به مبادله و بده بستن^۶ بین شاخص‌ها توجه نمی‌شود. به عبارت دیگر اگر یک گزینه از نظر یک شاخص کمی ضعیف‌تر بود تأثیر این ضعف توسط سایر شاخص‌های تصمیم‌گیری جبران نمی‌شود. مزیت روش‌های متعلق به این مدل نیز سادگی آن‌هاست که با رفتار تصمیم‌گیرنده و محدود بودن اطلاعات او مطابقت دارد. در

¹ Least Square

² Eigen Vector

³ Entropy Shannon

⁴ Analytic- Hierarchy-Process

⁵ Non Compensatory Models

⁶ Trade of

برخی از این روش‌ها ممکن است حتی نیازی به کسب اطلاعات از تصمیم گیرنده نباشد. برخی از مدل‌های معروف این گروه عبارتند از: روش بدبینانه، روش خوش بینانه، روش ضریب خوش بینانه، روش تسلط^۱، روش رضایت بخش خاص^۲، روش رضایت بخش عام^۳، روش لکسیکوگراف^۴، روش پرموتاسیون^۵

۴ ۴ ۴ - مدل‌های جبرانی^۶

به مجموعه‌ای از مدل‌های MADM گفته می‌شود که در ارزیابی گزینه‌ها کاملاً به تعامل و مبادله بین شاخص‌ها توجه دارند. به گونه‌ای که کمبودهای یک شاخص برای یک گزینه ممکن است توسط قوت‌های شاخص‌های دیگر برای آن گزینه جبران شود. مهم‌ترین فنون جبرانی عبارتند از: روش میانگین وزنی ساده^۷، LINMAP^۸، TOPSIS^۹، MRS^{۱۰}، MDS^{۱۱}، ELECTRE^{۱۲} و تخصیص خطی.

در ادامه در مورد روش‌های مختلف و روش‌هایی که قابلیت استفاده در رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه را دارند در قالب جدول ۴-۱ بحث شده است. به منظور رتبه‌بندی ریسک‌ها باید عوامل متعددی را به عنوان چندین معیار مختلف مورد نظر قرار داد. در این صورت می‌توان مسأله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه را به عنوان یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره فرض نمود. یک مسأله متداول تصمیم‌گیری چند معیاره عبارت از ارزیابی چندین گزینه بر اساس شاخص‌های متعدد و مشخص کردن اولویت گزینه‌هاست. در مقابل، در مسأله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه نیز هدف تعیین اولویت ریسک‌ها بر اساس چندین شاخص است. همان‌طور که اشاره شد رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه در فاز تحلیل ریسک

¹ Dominance

² Disjunctive Method

³ Conjunctive Method

⁴ Lexicographic

⁵ Permutation

⁶ Non Compensatory Models

⁷ Simple- additive-weighting

⁸ Linear- Programming for Multidimensional Analysis of preferences

⁹ Technique for order-Preference by Similarity to ideal Solution

¹⁰ Marginal rate of Substitution of attributes

¹¹ Multidimensional- Scaling- With ideal- Point

¹² Eliminationet Choice Translating reality

انجام می‌شود و از این روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه نیز در فاز اندازه‌گیری و تحلیل ریسک پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ابتدای امر باید به این موضوع توجه کرد که نمی‌توان از روش‌های غیر جبرانی برای مسأله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه استفاده نمود. زیرا همان‌طور که اشاره شد در این روش‌ها نباید مبادله بین شاخص‌ها وجود داشته باشد، در حالیکه در مسأله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه، شاخص‌های مختلف بر یکدیگر تأثیر دارند. به عنوان مثال، ممکن است یک ریسک صرفاً به خاطر احتمال وقوع بالا دارای اهمیت تلقی نشود، زیرا دارای تأثیر اندکی بوده است؛ بنابراین تنها از روش‌های جبرانی در مسأله رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است [۷۵].

جدول (۴ +) مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه برای رتبه‌بندی ریسک‌ها [۷۵]

روش	امکان استفاده	دلیل
زیرگروه نمره گذاری	بله	از این روش برای یافتن بالاترین گزینه با توجه به وزن شاخص‌ها استفاده می‌شود و اولویت بندی گزینه‌ها
	خیر	این روش در مسائلی کاربرد دارد که شاخص‌های تصمیم‌گیری در سطوح مختلف نشان داده شده باشد. ولی در مسأله رتبه بندی ریسک‌ها، نمی‌توان شاخص‌ها را به صورت لایه‌ای در نظر گرفت.
	خیر	از این روش با فرض وجود یک تابع مطلوبیت خطی (اما نامشخص) استفاده می‌شود. ولی در مسأله رتبه-بندی ریسک‌های پروژه خطی بودن تابع مطلوبیت مشخص نیست.
زیرگروه سازشی	بله	در این روش هیچ فرض محدود کننده‌ای که به واسطه آن نتوان از این روش در مسأله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه استفاده نمود وجود ندارد. ولی شاید لزوم انجام مقایسات زوجی بین گزینه‌ها (ریسک‌ها)، استفاده از این روش را در مسأله مورد نظر با مشکل مواجه سازد.
	بله	در استفاده از این روش مطلوبیت هر شاخص باید به طور یکنواخت افزایشی (یا کاهش) باشد. یعنی بهترین ارزش موجود از یک شاخص نشان‌دهنده ایده آل آن بوده و بدترین ارزش موجود از آن مشخص کننده ایده آل منفی خواهد بود. همچنین به علت سادگی الگوریتم، روش مناسبی است.
	خیر	در صورتی می‌توان از این روش برای حل مسأله رتبه بندی ریسک‌های پروژه استفاده کرد که تنها از دو شاخص استفاده شده باشد. با توجه به وابستگی شاخص‌های تشکیل دهنده هر زوج با یکدیگر امکان استفاده از آن وجود ندارد. همچنین در این روش مناسب‌ترین گزینه انتخاب می‌شود نه اولویت گزینه‌ها.
	بله	این روش برای مواردی مناسب است که تعداد شاخص‌ها زیاد بوده و بیشتر آن‌ها کیفی باشند و تعداد مؤثری از آن‌ها مبهم و نامعلوم باشند. نقطه ضعف این روش نیز وابستگی به قضاوت‌های دقیق و متعدد تصمیم‌گیرنده است.

روش	امکان استفاده	دلیل
-----	---------------	------

مدل‌های جبرانی زیرگروه هماهنگ	ELECTRE	بله	در این روش گزینه‌هایی که هیچ ارجحیتی از نظر ریاضی به یکدیگر ندارند، با استفاده از مقایسات غیر رتبه‌ای و زوجی مورد ارزیابی قرار گرفته و گزینه‌های غیر مؤثر حذف می‌شوند. این روش دارای محدودیتی نیست که استفاده از آن را در مسأله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه غیرعملی سازد.
	تخصیص خطی	بله	در این روش گزینه‌های مفروض از یک مسأله بر حسب امتیازات آن‌ها از هر شاخص موجود رتبه بندی شده و سپس رتبه نهایی گزینه‌ها از طریق یک فرایند جبران خطی مشخص خواهند شد. فرایند حل به گونه‌ای است که نیازی به مقیاس در آوردن شاخص‌های کیفی و کمی نخواهد بود.
	پرموتاسیون	بله	در این روش تحلیل گر نیاز به داشتن ماتریس تصمیم گیری و اوزان شاخص‌ها دارد. این روش، شدت بهتر بودن یک گزینه در مقایسه با گزینه دیگر را نشان نمی‌دهد و تنها بهتر و بدتر بودن دو گزینه نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد.

ادامه جدول (۴-۱) مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه برای رتبه‌بندی ریسک‌ها [۷۵]

از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چند شاخصه از قبیل AHP و ANP نیز می‌توان برای مسأله رتبه بندی ریسک‌های پروژه استفاده نمود. روش AHP بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده فازی در دهه ۱۹۷۰ توسط ساعتی پیشنهاد گردید [۸۷]. روش AHP بر اساس ساختار رده‌ای شاخص‌ها بنا شده ولی در مسائل رتبه بندی ریسک‌ها با چنین فرضی مواجه نیست. با این وجود بازمی‌توان با ساختاردهی سلسله مراتبی به مسأله، از این روش استفاده نمود.

روش ANP برای حل مسائلی که در آن‌ها شاخص‌ها مستقل نیستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش در سال ۱۹۹۶ توسط ساعتی معرفی گردید [۷۵]. روش ANP می‌تواند بر یکی از محدودیت‌های AHP، فرض استقلال بین شاخص‌ها و گزینه‌ها، غلبه نماید. در کل می‌توان تفاوت‌های ANP و AHP را به صورت ذیل بیان نمود:

۱- روش AHP حالت خاصی از ANP محسوب می‌شود، زیرا ANP در حالت عدم استقلال داخل یک خوشه و بین چند خوشه نیز قابل استفاده است.

۲- روش ANP دارای ساختار غیر خطی است، در حالی که روش AHP سلسله مراتبی و خطی بوده و دارای یک هدف در سطح بالا و گزینه‌ها در سطح پایین است.

از این رو می‌توان نتیجه‌گیری نمود که امکان استفاده از این دو روش نیز برای حل مسأله رتبه

بندی ریسک‌های پروژه وجود دارد.

با توجه به توضیحات داده شده الگوریتم حل مسئله با روش‌های شباهت به گزینه ایده آل (TOPSIS)، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، که با استفاده از آن‌ها ریسک‌های ماشین حفاری TBM در تونل انتقال آب گلاب قابل رتبه‌بندی است، آورده شده‌اند.

۴ ۴ روش تحلیل سلسله مراتبی AHP

یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۱ است که برای اولین بار توسط توماس ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. این تکنیک بر اساس مقایسه زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. [۸۹]

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی به شرح زیر است [۸۹]:

۴ ۴ ۱- تشکیل سلسله مراتب

اولین گام در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسأله می‌باشد که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. سطح یک در سلسله مراتبی هدف را نشان می‌دهد. در سطح دوم معیارهای مسأله مطرح شده و در سطح آخر، گزینه‌ها نشان داده می‌شوند.

روش ساختن سلسله مراتبی بستگی به نوع تصمیم اتخاذ شده دارد و به صورت مختلفی ساخته می‌شود. در یک سلسله مراتبی محدودیتی برای تعداد سطوح وجود ندارد. زیر معیارهای هر معیار ممکن است به صورت فاصله‌های عمودی و یا پارامترهای کیفی مانند زیاد، متوسط و کم باشد.

۴ ۴ ۲- محاسبه وزن عناصر در AHP

محاسبه وزن در AHP به دو صورت می‌باشد:

¹ Analytical Hierachy Process - AHP

وزن نسبی^۱

وزن نهایی^۲

الف - محاسبه وزن‌های نسبی

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

تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت‌ها دو گزینه یا دو شاخص بر اساس جدول ۲-۴ صورت می‌گیرد.

جدول (۴ ۴) طبقه بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها [۹۰]

امتیاز عددی	مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضایات شفاهی)
۹	اهمیت مطلق
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت قوی
۳	اهمیت ضعیف
۱	اهمیت یکسان
۸، ۶، ۴، ۲ و ۰	ترجیح‌ها بین فواصل

یک ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر نشان داده می‌شود:

جدول (۴ ۴) ماتریس مقایسه زوجی [۹۰]

Criterion 1	Criterion 2	...	Criterion n
-------------	-------------	-----	-------------

¹ Local Priority

² Overall Priority

Criterion 1	$\frac{a_1}{a_1}$	$\frac{a_1}{a_2}$	...	$\frac{a_1}{a_n}$
Criterion 2	$\frac{a_2}{a_1}$	$\frac{a_2}{a_2}$	...	$\frac{a_2}{a_n}$
.
.
Criterion n	$\frac{a_n}{a_1}$	$\frac{a_n}{a_2}$	...	$\frac{a_n}{a_n}$

که در آن $\frac{a_2}{a_1}$ ترجیح عنصر معیار دوم نسبت به معیار اول است. در مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر رابطه زیر برقرار است:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (۴ ۱)$$

سپس با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی وزن نسبی عناصر محاسبه می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی بر اساس ماتریس مقایسه زوجی وجود دارد که اهم آن عبارتند از:

- روش حداقل مربعات معمولی

- روش حداقل مربعات لگاریتمی

- روش بردار ویژه

- روش‌های تقریبی

از بین این روش‌ها روش بردار ویژه دقیق‌تر می‌باشد. در این روش W_i به گونه‌ای تعیین می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد [۹۱]

$$A \cdot W = \lambda \cdot W \quad (۴ ۲)$$

که در آن λ و W به ترتیب مقدار ویژه و بردار ویژه ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد. در حالتی که ابعاد ماتریس بزرگ‌تر باشد محاسبه این مقادیر بسیار وقت گیر است؛ لذا برای محاسبه λ مقدار دترمینان ماتریس $A - \lambda \cdot I$ مساوی با صفر قرار داده می‌شود و با قرار دادن بزرگ‌ترین مقدار λ حاصله در رابطه ۳-۴ مقدار W_i محاسبه می‌شود [۹۱].

$$A - \lambda_{\max} \cdot I = 0 \quad (۴ ۳)$$

ب- محاسبه وزن نهایی

وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها بدست می‌آید [۹۱].

۴ ۴ ۴ - سازگاری سیستم

یکی از مزایای فرایند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است که به عبارت دیگر همواره در فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان سازگاری تصمیم را محاسبه نموده و نسبت به خوب و بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد.

یک ماتریس ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در ماتریس سازگار، محاسبه وزن ساده بوده و با استفاده از نرمال کردن تک تک ستون‌ها بدست می‌آید. در حالی که در ماتریس‌های ناسازگار علاوه بر محاسبه وزن، محاسبه مقدار ناسازگاری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری یک ماتریس یا سیستم بستگی به تصمیم گیرنده دارد. اما ساعتی عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می‌نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدید نظر گردد [۹۱].

شاخص ناسازگاری^۱ سلسله مراتبی با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I. I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4 \ 4)$$

مقادیر شاخص ناسازگاری (I.I) را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی اختیار شده باشند محاسبه کرده‌اند و آن‌را شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی^۲ (I.I.R) نام نهاده‌اند که مقادیر آن‌ها برای ماتریس‌های n بعدی مطابق جدول ۴-۴ است.

¹ Inconsistency Index

² Random Inconsistency Index

جدول (۴ ۴) شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی [۹۱]

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.I.R) هم بعدش معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد، که آن را نرخ ناسازگاری^۱ (I.R) می‌نامیم. چنانچه این عدد کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر نمود.

نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی با اعمال وزن عناصر سازنده سلسله مراتبی از رابطه ۴-۵ محاسبه می‌شود.

$$I. R = \frac{\bar{I.I}}{R.I.I} \quad (۴ ۵)$$

به طور خلاصه نحوه تعیین نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی به شرح زیر است:

- ۱) تشکیل سلسله مراتبی و ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوطه
- ۲) محاسبه شاخص ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوطه
- ۳) محاسبه شاخص ناسازگاری تصادفی ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوطه
- ۴) ضرب شاخص ناسازگاری هر ماتریس در وزن عنصری که ماتریس در مقایسه با آن ساخته شده است و محاسبه حاصل جمع آنها ($\bar{I.I}$)
- ۵) ضرب شاخص ناسازگاری تصادفی هر ماتریس در وزن عنصری که ماتریس در مقایسه با آن ساخته شده است و محاسبه حاصل جمع آنها ($R.I.I$)

در صورتی نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی کمتر از ۰/۱ باشد قضاوت‌ها منطقی است. [۹۱]

¹ Inconsistency Ratio

۴ ۵ روش شباهت به گزینه ایده آل TOPSIS

روش شباهت به گزینه ایده آل یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به صورت وزن دهی کمی می‌باشد. در این روش گزینه‌ها بر اساس شباهت به گزینه ایده آل رتبه بندی می‌شوند، به طوری که هرچه یک گزینه شبیه‌تر به گزینه ایده آل باشد رتبه بیشتری دارد. به عبارت دیگر بهترین گزینه انتخابی باید دارای کم‌ترین فاصله از گزینه ایده آل و دورترین فاصله از گزینه ضد ایده آل باشد. در تعریف این روش از دو مفهوم «حل ایده آل» و «شباهت به حل ایده آل» استفاده شده است. حل ایده آل چنانچه از اسم آن پیدا است، آن حلی است که از هر جهت بهترین باشد که عموماً در عمل وجود نداشته و در روش مذکور سعی بر آن است که نزدیک‌ترین جواب به آن پیدا شود. به منظور اندازه‌گیری شباهت یک طرح (یا گزینه) به حل ایده آل و ضد ایده آل، فاصله آن طرح (یا گزینه) از حل ایده آل و ضد ایده آل اندازه‌گیری می‌شود و گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ضد ایده آل به مجموع فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل ارزیابی و رتبه بندی می‌شوند [۹۲].

اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، مراحل انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش شباهت به حل ایده آل، به شرح ذیل می‌باشد [۹۲]:

۴ ۵ ۱ - تشکیل ماتریس تصمیم

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

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (۴ ۶)$$

که در آن X_{ij} عملکرد گزینه i ام ($i=1, 2, \dots, m$) در رابطه با معیار یا شاخص j ام ($j=1, 2, \dots, n$)

می باشد.

۴ ۵ ۴ - بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می شود معیارهای با ابعاد مختلف به معیارهای بدون بعد تبدیل شوند و ماتریس R به صورت زیر تعریف می شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (۴ ۷)$$

روش های مختلفی برای بی بعد کردن ماتریس وجود دارد، اما در روش شباهت به گزینه ایده آل معمولاً از رابطه زیر استفاده می شود :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (۴ ۸)$$

۴ ۵ ۴ - تعیین ماتریس وزن معیارها

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم گیری، ماتریس وزن معیارها به صورت ذیل تعریف می شود:

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & W_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & W_n \end{bmatrix} \quad (۴ ۹)$$

ماتریس W یک ماتریس قطری به ابعاد $n \times n$ است که فقط عناصر روی قطر آن غیر صفر و مقدار این عناصر مساوی ضریب اهمیت بردار مربوطه است.

۴ ۵ ۴ - تعیین ماتریس تصمیم وزن دار

ماتریس تصمیم وزن دار از ضرب ماتریس تصمیم بی مقیاس شده در ماتریس وزن معیارها بدست می آید:

$$V = R \times W = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{m1} & V_{m2} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (10 \text{ ۴})$$

۴ ۵ ۵ - پیدا کردن حل ایده آل و ضد ایده آل

اگر حل ایده آل را با A^* و حل ضد ایده آل را با A^- نشان داده شود در این صورت :

$$\begin{aligned} A^* &= \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_i^*, \dots, V_n^*\} \\ A^- &= \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_i^-, \dots, V_n^-\} \end{aligned} \quad (11 \text{ ۴})$$

که در آن V_i^* بهترین مقدار i امین معیار از بین تمام گزینه ها و V_i^- بدترین مقدار i امین معیار از بین تمام گزینه ها می باشد. گزینه هایی که در A^* و A^- قرار می گیرند، به ترتیب نشان دهنده گزینه هایی کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

۴ ۵ ۶ - محاسبه فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل

در این مرحله برای هر گزینه، فاصله از حل ایده آل و فاصله از حل ضد ایده آل به ترتیب از روابط زیر محاسبه می شوند :

$$\begin{aligned} S_j^* &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2} \\ S_j^- &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \end{aligned} \quad (12 \text{ ۴})$$

در روابط فوق اندیس های i و j به ترتیب معرف معیار و گزینه مورد نظر می باشند.

۴ ۵ ۷ - محاسبه شاخص شباهت

در آخرین مرحله شاخص شباهت (C_j^*) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C_j^* = \frac{S_j^-}{S_j^* + S_j^-} \quad (13 \text{ ۴})$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می کند و هر چه گزینه مورد نظر به ایده آل مشابه تر باشد مقدار شاخص شباهت آن به یک نزدیک تر خواهد بود. کاملاً واضح است که اگر $A_j = A^*$ باشد، آنگاه

S_j^* مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی یک خواهد بود و در صورتی که $A_j = A^-$ آنگاه S_j^- مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی صفر خواهد بود؛ لذا رتبه بندی گزینه ها براساس مقدار شاخص شباهت خواهد بود، بدین ترتیب، گزینه ای که دارای بیشترین شاخص شباهت است، دارای رتبه اول و گزینه ای که دارای کمترین شاخص شباهت، است حائز رتبه آخر خواهد بود.

۴ ۴ روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی

عدم قطعیت همیشه در دنیای واقعی وجود داشته و شرایط نامطمئن همواره در مراحل مختلف مطالعه و بررسی یک مسأله وجود دارد. در بسیاری از موارد تمام یا قسمتی از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، فازی هستند. اگر تمام یا قسمتی از داده‌های یک مسأله فازی باشند و آن مسأله با استفاده از داده‌های قطعی مدل و فرموله شود، جواب درست و دقیقی به دست نخواهد آمد و در نتیجه گزینه ارجح انتخاب نخواهد شد. در چنین تصمیم‌گیری‌های غیر دقیقی نمی‌توان به هدف و مقصود مورد نظر دست یافت؛ لذا در مدل‌های تصمیم‌گیری که داده‌های آن تصادفی یا فازی هستند باید با وجود محاسبات و عملیات بیشتر به طور منطقی و دقیق برخورد کرده و عدم قطعیت را در مدل تصمیم‌گیری لحاظ کرد. مدل کردن عدم قطعیت در مسائل تصمیم‌گیری به وسیله تئوری مجموعه‌های فازی انجام می‌شود [۹۳].

۴ ۵ تئوری مجموعه‌های فازی

تئوری مجموعه‌های فازی که برای نخستین بار توسط پرفسور لطفی زاده ارائه شده در حل مسائلی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نمی‌توان پارامترها و کمیت‌ها را به طور دقیق تعریف نمود. مجموعه‌های فازی تعمیمی بر مجموعه‌های قطعی است. در نظریه مجموعه‌های قطعی، مجموعه‌ها به صورت معین تعریف می‌شوند. به عبارت دیگر هر مجموعه با یک ویژگی «خوش تعریف» مشخص

می‌شود. اگر یک شیء مفروض، دارای آن ویژگی باشد، عضو مجموعه متناظر است و اگر نباشد، عضو آن نیست. حال فرض کنید درباره آن دسته از مجموعه اعداد صحبت شود که «بزرگ» باشند در این جا با یک ویژگی «ناخوش» تعریف و مبهم یعنی «بزرگ» مواجه می‌شویم. این که چه اعدادی بزرگ هستند و چه اعدادی بزرگ نیستند، بسته به افراد مختلف فرق می‌کند. بیشتر مفاهیم و ویژگی‌هایی که در زندگی واقعی به کار برده می‌شوند این گونه‌اند، یعنی مفاهیم نادقیق و مبهم هستند. نظریه مجموعه‌های فازی می‌تواند به صورت کمی با این ابهامات برخورد نماید و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. در مواردی که می‌توان چندین مقدار برای هر پارامتر در نظر گرفت، به طوری که هر مقدار دارای یک درجه عضویت برای آنکه پارامتر مقدار مربوطه را اخذ کند، می‌توان یک مجموعه زوج‌های مرتب تعریف کرد که عناصر اول زوج‌های مرتب بیانگر مقادیر ممکن برای کمیت مربوطه بوده و عناصر دوم زوج‌های مرتب نشانگر درجه عضویت مقادیر مربوطه می‌باشند که اعدادی بین صفر و یک هستند. به عبارت دیگر می‌توان گفت مجموعه فازی \tilde{A} از تعدادی زوج مرتب تشکیل شده است که جزء اول «عضو» را نشان می‌دهد و جزء دوم «میزان عضویت» آن عضو به مجموعه مورد نظر را می‌رساند. به این نوع مجموعه‌ها، مجموعه‌های فازی می‌گویند [۹۴].

تعریف ۱- فرض کنید X یک مجموعه مرجع دلخواه باشد. مجموعه \tilde{A} که به صورت (۳-۱۴) تعریف می‌شود را یک مجموعه فازی می‌نامند.

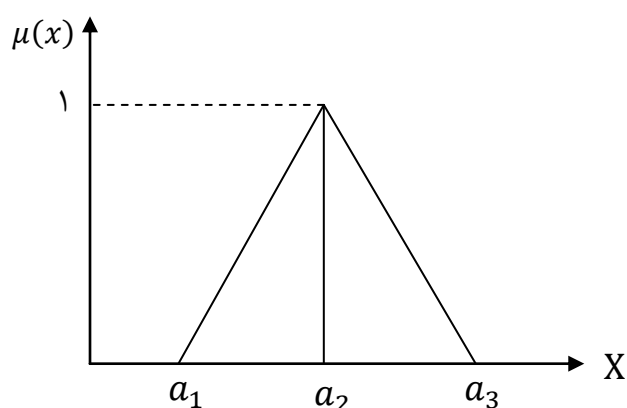
$$\tilde{A} = \{(x, \mu(x)) | x \in X, \mu(x) \in [0,1]\} \quad (۱۴ \ ۴)$$

μ را تابع عضویت گویند که هر $x \in X$ را به یک مقدار در بازه $[0,1]$ تصویر می‌کند. $\mu(x)$ را درجه عضویت x در مجموعه \tilde{A} نامند. بسته به اینکه X پیوسته یا گسسته باشد. \tilde{A} نیز پیوسته یا گسسته خواهد بود.

تعریف ۲- عدد فازی مثلثی یک مجموعه فازی پیوسته است که تابع عضویت آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ -\left(\frac{a_2-x_1}{a_2-a_1}\right) + 1 & a_1 \leq x \leq a_2 \\ -\left(\frac{x-a_2}{a_3-a_2}\right) + 1 & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 0 & x \geq a_3 \end{cases} \quad (15 \ 4)$$

معمولاً عدد فازی مثلثی را به صورت سه تایی (a_1, a_2, a_3) طبق شکل زیر نشان می دهند.



تعریف ۳- برای دو عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ که دارای

مجموعه های مرجع مثبت یکسان هستند، چهار عمل اصلی جمع، تفریق، ضرب و تقسیم به ترتیب به

صورت رابطه های (۱۶-۴)، (۱۷-۴)، (۱۸-۴) و (۱۹-۴) می باشد [۹۴].

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (16 \ 4)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (17 \ 4)$$

$$\tilde{A} \cdot \tilde{B} = (a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_3 \cdot b_3) \quad (18 \ 4)$$

$$\tilde{A} / \tilde{B} = \left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1}\right) \quad (19 \ 4)$$

۴ A روش شباهت به گزینه ایده آل فازی^۱ (FTOPSIS)

در روش شباهت به گزینه ایده آل کلاسیک، وزن معیارها و رتبه بندی گزینه‌ها توسط مقادیر دقیق و معین تعیین می‌شود. بسیاری از مواقع تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تأثیر گذار است؛ لذا 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 هردوی آن‌ها توسط متغیرهای زبانی که توسط اعداد فازی ارائه شده‌اند، ارزیابی شده و بدین ترتیب بر مشکلات روش شباهت به گزینه ایده آل کلاسیک غلبه شده است [۹۳].

اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل فازی باید مراحل زیر انجام شود [۹۳].

۴ A ۱ - تشکیل ماتریس تصمیم فازی

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

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{11} & \dots & \bar{X}_{1j} & \dots & \bar{X}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{X}_{i1} & \dots & \bar{X}_{ij} & \dots & \bar{X}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{X}_{m1} & \dots & \bar{X}_{mj} & \dots & \bar{X}_{mn} \end{bmatrix} \quad (۴-۲)$$

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

^۱ Fuzzy Technique for order performance by similarity to ideal solution (FTOPSIS)

در بیشتر مواقع برای تصمیم گیری در انتخاب یک گزینه از نظرات کارشناسان مختلفی استفاده می‌شود که در این صورت برای ترکیب نظرات کارشناسان مختلف و تعیین X_{ij} ها برای انتخاب محل مناسب به ترتیب زیر عمل کنیم.

اگر کمیته تصمیم گیرنده دارای k تصمیم گیرنده باشد و رتبه بندی فازی k امین تصمیم گیرنده $\bar{X}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk})$ (عدد فازی مثلثی) به ازای $i=1,2,\dots,m$ و $j=1,2,\dots,n$ باشد، رتبه بندی فازی ترکیبی $\bar{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ را با توجه به معیارها می توان از روابط زیر به دست آورد:

$$a_{ij} = \text{Min} \{a_{ijk}\} \quad b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^k b_{ijk}}{k} \quad c_{ij} = \text{Max} \{c_{ijk}\} \quad (21 \text{ } 4)$$

4 A 4 - تعیین ماتریس وزن معیارها

در این مرحله ضریب اهمیت معیارهای مختلف، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (22 \text{ } 4)$$

در صورتی که از اعداد فازی مثلثی استفاده شود:

$$\tilde{w}_j = (\tilde{w}_{j1}, \tilde{w}_{j2}, \tilde{w}_{j3}) \quad (23 \text{ } 4)$$

اگر کمیته تصمیم گیرنده دارای k تصمیم گیرنده باشد و ضریب اهمیت k امین تصمیم گیرنده $\bar{W}_{jk} = (w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3})$ (عدد فازی مثلثی) به ازای $j=1,2,\dots,n$ باشد، رتبه بندی فازی ترکیبی $\bar{W}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ را می توان از روابط زیر به دست آورد:

$$w_{j1} = \text{Min} \{w_{jk1}\} \quad w_{j2} = \frac{\sum_{k=1}^k w_{jk2}}{k} \quad w_{j3} = \text{Max} \{w_{jk3}\} \quad (24 \text{ } 4)$$

۴ A ۴ - نرمال کردن ماتریس تصمیم فازی

زمانی که X_{ij} ها به صورت فازی هستند، مسلماً r_{ij} ها نیز فازی خواهند بود. در این مرحله به جای محاسبات پیچیده نرمالیزه کردن در روش شباهت به گزینه ایده آل کلاسیک، تغییر مقیاس خطی برای تبدیل مقیاس معیارهای مختلف به مقیاس قابل مقایسه استفاده می‌شود.

اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، درایه‌های ماتریس تصمیم نرمال برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شود:

اگر \tilde{X}_{ij} جنبه مثبت داشته باشد:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), c_j^* = \text{Max}\{c_{ij}\} \quad (25 \text{ ۴})$$

اگر \tilde{X}_{ij} جنبه منفی داشته باشد:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), a_j^- = \text{Min}\{a_{ij}\} \quad (26 \text{ ۴})$$

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

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (27 \text{ ۴})$$

و یا :

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \bar{r}_{11} & \dots & \bar{r}_{1j} & \dots & \bar{r}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{r}_{i1} & \dots & \bar{r}_{ij} & \dots & \bar{r}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{r}_{m1} & \dots & \bar{r}_{mj} & \dots & \bar{r}_{mn} \end{bmatrix} \quad (28 \text{ ۴})$$

که m بیانگر تعداد گزینه‌ها و n بیانگر تعداد معیارها می‌باشد.

۴ A ۴ - تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن دار

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

$$\tilde{V} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j \quad (29 \text{ } \text{f})$$

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \bar{v}_{11} & \dots & \bar{v}_{1j} & \dots & \bar{v}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{v}_{i1} & \dots & \bar{v}_{ij} & \dots & \bar{v}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{v}_{m1} & \dots & \bar{v}_{mj} & \dots & \bar{v}_{mn} \end{bmatrix} \quad (30 \text{ } \text{f})$$

که (\tilde{w}_j) بیان کننده ضریب اهمیت معیار C_j می باشد.

اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، برای معیارهای با جنبه مثبت و منفی به ترتیب داریم:

$$\tilde{V} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \cdot (w_{j1} \text{ و } w_{j2} \text{ و } w_{j3}) = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*} w_{j1}, \frac{b_{ij}}{c_j^*} w_{j2}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} w_{j3} \right) \quad (31 \text{ } \text{f})$$

$$\tilde{V} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \cdot (w_{j1} \text{ و } w_{j2} \text{ و } w_{j3}) = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}} w_{j1}, \frac{a_j^-}{b_{ij}} w_{j2}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} w_{j3} \right) \quad (32 \text{ } \text{f})$$

۴ A ۵ - یافتن حل ایده آل فازی و حل ضد ایده آل فازی

$$A^* = \{ \tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^* \}, \tilde{v}_i^* = \text{Max}\{\tilde{v}_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (33 \text{ } \text{f})$$

$$A^- = \{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^- \}, \tilde{v}_i^- = \text{Min}\{\tilde{v}_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (34 \text{ } \text{f})$$

که \tilde{v}_i^* بهترین مقدار i امین معیار از بین تمام گزینه ها و \tilde{v}_i^- بدترین مقدار i امین معیار از بین تمام گزینه ها می باشد.

گزینه‌هایی که در آن A^* و A^- قرار می گیرند، به ترتیب نشان دهنده گزینه های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

۴ A ۶ - محاسبه فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل فازی

فاصله هر گزینه از حل ایده آل و ضد ایده آل فازی از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$S_i^* = \sum d_v(v_{ij}, v_j^*) \quad , i = 1, 2, \dots, m \quad (35 \text{ } \text{f})$$

$$S_i^- = \sum d_v(v_{ij}, v_j^-) \quad , i = 1, 2, \dots, m \quad (36 \text{ } \text{f})$$

فاصله از حل ایده آل برای اعداد فازی مثلثی مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر محاسبه می شود:

$$d_v(v_{ij}, v_j^*) = \sqrt{\frac{1}{3}(\sum(v_{ij} - v_j^*)^2)} \quad (37 \text{ ۴})$$

$$d_v(v_{ij}, v_j^-) = \sqrt{\frac{1}{3}(\sum(v_{ij} - v_j^-)^2)} \quad (38 \text{ ۴})$$

قابل ذکر است که $d_v(v_{ij}, v_j^-)$ و $d_v(v_{ij}, v_j^*)$ اعداد قطعی هستند.

۴ A ۷ - محاسبه شاخص شباهت

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

$$C_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^* + s_i^-} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (39 \text{ ۴})$$

۴ A A - رتبه بندی گزینه‌ها

در این مرحله با توجه به میزان شاخص شباهت گزینه‌ها رتبه بندی می‌شوند به طوری که گزینه‌های

با شاخص شباهت بیشتر در اولویت قرار دارند.

۴ ۹ روش تحلیل سلسله مراتبی فازی^۱ (FAHP)

اگرچه روش تحلیل سلسله مراتبی دانش کارشناسان را تسخیر کرده است ولی تحلیل سلسله مراتبی سنتی هنوز قادر نیست به خوبی تفکر بشر را بازتاب کند [۹۵]. روش تحلیل سلسله مراتبی سنتی در استفاده دقیق مقدار، برای بیان کردن نظر تصمیم گیرنده‌ها در گزینه‌های مقایسه‌ای دارای نقص است [۹۶]. همچنین روش تحلیل سلسله مراتبی سنتی به علت مقیاس نامتوازن^۲ در قضاوت‌ها و عدم قطعیت و نادقیق بودن مقایسه‌های زوجی مورد نکوهش قرار می‌گیرد. تصمیم گیرندگان اغلب در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را نسبت به یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند زیرا آن‌ها به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به صراحت نظرشان را در مورد برتری‌ها اعلام کنند [۹۷]. برای غلبه بر همه این نقایص تحلیل سلسله مراتبی فازی گسترش پیدا کرد. تصمیم گیرنده‌ها پی بردند که دادن یک فاصله قضاوتی از یک قضاوت ثابت معمولاً قابل اطمینان تر است [۹۵]. در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه شده توسط چنگ^۳ در سال ۱۹۹۶ استفاده شده است [۹۸]. در این روش اگر $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ مجموعه اشیاء و $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$ مجموعه هدف باشد، براساس روش چنگ، m تحلیل گسترش یافته برای هر شی می‌تواند طبق رابطه زیر به دست بیاید:

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (۴-۴)$$

گام‌های روش تحلیل سلسله مراتبی فازی چنگ به صورت زیر است [۹۸]:

گام یک: رسم نمودار سلسله مراتبی

گام دوم: تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

^۱ Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

^۲ Unbalanced Scale

^۳ Cheng

گام سوم: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (\tilde{A}) با بکارگیری اعداد فازی. ماتریس مقایسه زوجی به ترتیب زیر خواهد بود:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \bar{a}_{1j} & \dots & \bar{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{i1} & \dots & 1 & \dots & \bar{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{n1} & \dots & \bar{a}_{nj} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (41 \quad 4)$$

که این ماتریس حاوی اعداد فازی زیر است:

$$\bar{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ \{\tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} \text{ or } \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1}\} & i \neq j \end{cases} \quad (42 \quad 4)$$

اگر کمیته تصمیم گیرنده دارای چندین تصمیم گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به کار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی است که مؤلفه‌های اول آن حداقل نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن میانگین نظر سنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها می‌باشد.

گام چهارم: محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی.

S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (43 \quad 4)$$

که در این رابطه i بیانگر شماره سطر و j بیانگر شماره ستون می‌باشد. در این رابطه اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند.

برای بدست آوردن $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ عمل جمع فازی (M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) به صورت زیر انجام شده است.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (44 \quad 4)$$

و سپس مقدار معکوس رابطه بالا به صورت زیر به دست می‌آید:

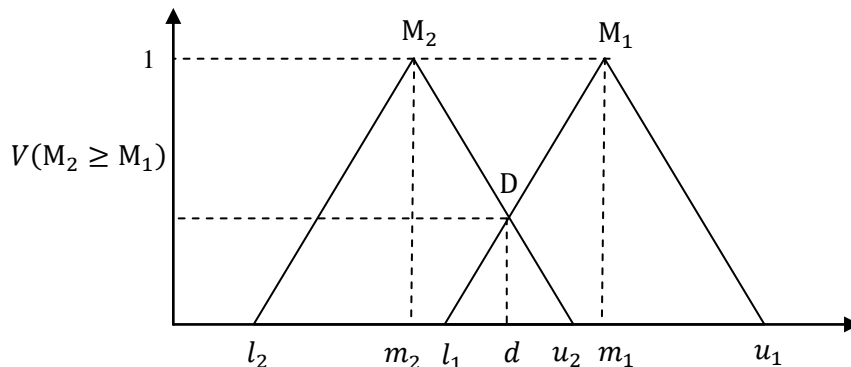
$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (45 \quad 4)$$

در روابط بالا l_1, m_1 و u_1 به ترتیب مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

گام پنجم: به طور کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند،

طبق شکل ۴-۱ درجه بزرگی M_1 نسبت به M_2 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (46 \ 4)$$



شکل (۴) تقاطع بین M_2 و M_1

از طرف دیگر میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از عدد فازی مثلثی دیگر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] = \min_{i=1,2,\dots,k} V(M \geq M_i) \quad (47 \ 4)$$

گام ششم: محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسه زوجی. بدین منظور از رابطه‌ی زیر

استفاده می‌شود.

$$d(A_i) = \min_{k=1,2,\dots,n, k \neq i} V(S_i \geq S_k) \quad (48 \ 4)$$

بنابراین بردار وزن نرمال نشده به صورت زیر خواهد بود:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (49 \ 4)$$

گام هفتم: محاسبه بردار وزن نهایی. برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در

مرحله قبل را نرمال کرد بنابراین داریم:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (50 \ 4)$$

۴ ۱۰ - استراتژی‌های اولویت بندی

در یک مسأله تصمیم گیری چند معیاره تصمیم گیرندگان برای تصمیم گیری ممکن است از چندین روش تصمیم گیری چند معیاره استفاده کنند و نتایج این روش‌ها ممکن است مشابه نباشد. در این گونه مواقع سوالی که مطرح می‌شود آن است که کدام گزینه باید انتخاب شود؟ در چنین وضعی باید از روش‌های مختلف ادغام^۱، از جمله روش میانگین رتبه‌ها^۲، روش بردا^۳ و روش کپ لند^۴ استفاده کرد.

[۹۲]

۴ ۱۰ ۱ - روش میانگین رتبه‌ها

در این روش برای هر گزینه، میانگین حسابی رتبه‌های به دست آمده برای هر گزینه با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم گیری چند معیاره تعیین می‌شود و بر این اساس گزینه‌ها اولویت بندی می‌شوند. بدیهی است که گزینه‌های با میانگین حسابی پایین‌تر در اولویت خواهند بود.

۴ ۱۰ ۲ - روش بردا

در این روش برای تصمیم گیری، ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها ایجاد می‌شود. در صورتی که بر اساس روش‌های مختلف تصمیم گیری چند معیاره تعداد ارجحیت گزینه‌ای بر گزینه دیگر بیش از تعداد مغلوب شدن آن گزینه بر گزینه دیگری باشد در ماتریس مقایسه زوجی عدد ۱ گذاشته می‌شود و در صورتی که رای اکثریت وجود نداشت و یا آرا باهم مساوی باشد در ماتریس مقایسه زوجی عدد صفر گذاشته می‌شود. عدد ۱ به منزله آن است که سطر بر ستون ارجحیت دارد و عدد صفر به منزله آن است که ستون بر سطر ارجحیت دارد. پس از $\frac{m(m-1)}{2}$ مقایسه زوجی (m تعداد گزینه‌ها) ماتریس مقایسه زوجی شکل خواهد گرفت. مجموع عناصر هر سطر تعداد مسلط شدن هر گزینه را نشان می‌دهد و گزینه‌ها براساس تعداد مسلط شدن اولویت بندی می‌شوند [۹۲].

¹ Aggregate method

² Ranks mean

³ Borda method

⁴ Copeland method

۴ ۱۰ ۴ - روش کپ لند

این روش مشابه روش بردا است؛ منتها در اولویت بندی علاوه بر تعداد مسلط شدن تعداد مغلوب شدن (مجموع عناصر هر ستون) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور گزینه‌ها بر اساس تفاضل مقادیر تعداد مسلط شدن و تعداد مغلوب شدن اولویت بندی می‌شود [۹۲].

۴ ۱۱ - نتیجه گیری

در این فصل مبانی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی توضیح داده شد؛ و به شرح روش‌هایی که قابلیت کاربرد در سیستم مدیریت ریسک را دارند پرداختیم. از بین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره روش شباهت به گزینه ایده آل، تحلیل سلسله مراتبی و در بین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی روش شباهت به گزینه ایده آل فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی بطور کامل شرح داده شد. در این پایان‌نامه برای رتبه بندی ریسک ماشین حفاری تمام مکانیزه (TBM) از روش‌های فوق استفاده خواهد شد که در فصل ششم به طور کامل نحوه رتبه بندی ریسک‌ها تشریح شده است.

فصل ۵. چالش‌های زمین‌شناسی پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه

۵-۱ مقدمه

رشد بسیار سریع فناوری، ساخت ماشین‌های حفار تمام مقطع (TBM) بزرگ‌تر و پیچیده‌تر و همچنین مشکلات زمین‌شناسی؛ مدیریت پروژه‌های تونل‌سازی را با چالش همراه کرده است. با توجه به ماهیت نامطمئن پروژه‌های تونل‌سازی و لزوم صرف بهینه منابع توجه به مدیریت ریسک این پروژه‌ها دارای اهمیت انکار ناپذیری است. حفاری در زمین‌های مشکل‌دار نظیر نواحی گسله با حجم بالای جریان آب زیرزمینی، تشکیلات گازدار و ... منجر به توقف‌های طولانی و در نتیجه کاهش راندمان دستگاه و در نهایت تحمیل هزینه اضافی به پروژه خواهد شد. وجود این شرایط در اکثر پروژه‌های تونل‌سازی (تونل‌های بلند) اجتناب ناپذیر است. لیکن می‌توان با انجام مطالعات برجا و مدیریت مناسب در مراحل طراحی و ساخت و ساز که منجر به شناسایی شرایط زمین‌شناسی در طول تونل می‌شود به روشی جهت پیشگیری و مقابله با خطرات دست یافت؛ و از تبعات چنین شرایطی کاست.

در تونل‌ها، مخاطرات تابع رفتار زمین و مشخصات پروژه مانند روش حفاری، سرعت حفاری، قطر حفاری و شکل آن است. رفتار زمین نیز تابع ویژگی توده سنگ و شرایط زمین‌شناسی محیطی است که تونل در آن حفاری می‌شود.

در این فصل چالش‌های زمین‌شناسی پروژه‌های حفاری مکانیزه از جمله نشت و هجوم آب زیرزمینی، نشت گاز، ناپایداری سینه کار، ناپایداری دیوار و سقف تونل، مچاله شوندگی (لهیدگی)، تورم سنگ‌های رسی، سینه کار مختلط، چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی بررسی شده است. در ادامه راهکارهای شناسایی و پیش‌بینی این ریسک‌ها و همچنین مهم‌ترین روش‌های پیش‌گیری و مقابله نیز بیان شده است.

تنوع ویژگی‌های توده سنگ و شرایط زمین‌شناسی باعث می‌شود تا هر تونل از نظر طراحی و ساخت منحصر به فرد باشد. ارزیابی رفتار زمین دربرگیرنده تونل و شناخت مخاطرات و لحاظ کردن راه‌های

مقابله با آن در طراحی از پیش نیازهای موفقیت در یک پروژه تونل سازی است. این ارزیابی باید بر پایه درک جامع زمین‌شناسی منطقه و تهیه مدل‌های زمین‌شناسی استوار باشد که در آن داده‌ها و شرایط زمین با توصیف‌های زمین‌شناسی مهندسی همراه است [۹۹].

جدا از عملکرد ماشین‌های حفر تمام مقطع تونل در شرایط مطلوب زمین، در بسیاری از موارد نرخ‌های واقعی پیشروی کمتر از مورد انتظار و پیش بینی شده است، لذا منطقی است که این ایده را بپذیریم که علاوه بر رخدادهای پیش بینی نشده مانند توقف و خرابی اجزاء TBM مشکلات ناشی از زمین اغلب کمتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و یا اصلاً نادیده گرفته می‌شوند. علت اصلی مواجهه با شرایط دشوار زمین، عدم شناخت کافی در شرایط پیچیده و متغیر زمین است. از این رو در همه مراحل طراحی و ساخت تونل عدم قطعیت‌های زمین‌شناسی بایستی در نظر گرفته شود [۱۰۰].

مشکلات اساسی همیشه از سوی ناهمگونی فیزیکی و ژئوتکنیکی توده سنگی که تونل باید در آن حفر شود، شکل می‌گیرد. برای حفاری مکانیزه تمام مقطع تونل که یک سیستم نسبتاً صلب است، ناهمگونی مقاومت مواد مورد حفاری (چه ماده سنگ و چه خاک) بسیار مهم‌تر است [۱۰۰].

روبرو شدن با مخاطراتی مانند هجوم آب، برخورد با زون‌های کارستی (حفرات انحلالی)، نشت گازهای مضر، برخورد با زون‌های گسلی و زمین‌های چسبنده، تورم و لهیدگی، روان شدن زمین و دیگر مخاطرات زیست محیطی مانند افت سطح آب زیرزمینی و خشک شدن چشمه‌ها و چاه‌ها از مهم‌ترین و متداول‌ترین چالش‌های زمین‌شناسی مهندسی در تونل‌های سنگی ایران است که توسط محققین متعددی گزارش شده است [۹۹].

۵ ۴ نشت و هجوم آب زیرزمینی

وجود آب در تونل می‌تواند بر روند فعالیت‌های تونل سازی بسیار مؤثر باشد. در تونل سازی مکانیزه حضور آب هم بر نرخ نفوذ و هم بر ضریب بهره وری دستگاه تأثیر گذار است.

پاشاکلائی و همکاران [۱۰۰] در مقاله خود با عنوان نقش پارامترهای زمین‌شناسی و مخاطرات ژئوتکنیکی در انتخاب ماشین تونل زنی به منظور انتخاب ماشین حفار در تونل انتقال آب نوسود اهمیت حضور آب در بین مخاطرات ژئوتکنیکی نظیر مچاله شوندگی، نشت گاز، ناپایداری دیوارها، ناپایداری سینه کار و زون گسلی؛ را بعد از مخاطرات زون های گسلی، مچاله شوندگی و ناپایداری دیوارها در رده چهارم قرار داده‌اند.

پاشاکلائی و همکاران [۷۴] در نتیجه مقاله خود آورده‌اند که، حداکثر مقدار فشار آبی که ماشین باز می‌تواند تحمل کند، ۱/۵ مگا پاسکال (تقریباً ۱۵ بار) است. و بنا به نظر بیکل و همکاران^۱ شدت جریان آب زیرزمینی از سینه کار تونل هنگام استفاده از TBM باز نباید بیش از ۱۷ لیتر بر ثانیه برای هر متر قطر تونل باشد. به طور خلاصه ماشین باز در نواحی که بتوان جریان آب زیرزمینی را کنترل کرد، کاربرد دارد. در ماشین‌های سپری نیز صفحه حفار ماشین باز است و امکان کنترل فشار هیدرواستاتیکی آب وجود ندارد ولی نسبت به ماشین باز فشار آب بیشتری را می‌تواند تحمل کند. این مقدار برای ماشین‌های سپری ۳/۵ مگا پاسکال است.

طاهری و همکاران [۱۰۱] در مقاله خود با عنوان ارزش گذاری پارامترهای فنی مؤثر در انتخاب ماشین تونل زنی در محیط‌های سنگی به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی بر روی قطار شهری اصفهان)، تأثیر جریان آب زیرزمینی در ماشین‌های مختلف حفار را به صورت جدول ۵-۱ ارزش گذاری نموده است. با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط طاهری و همکاران تأثیر جریان آب زیرزمینی بیشتر از ۱۷ Lit/s/diam در ماشین حفار باز (Open TBM) بیشتر از سایر ماشین‌ها می‌باشد

¹ Bickel et al

و کم‌ترین تأثیر جریان آب زیرزمینی بر ماشین حفار EPB می‌باشد [۱۰۲].

جدول (۵ +) وزن ماشین‌های حفار مختلف در برابر جریان آب زیرزمینی [۱۰۱]

Top Hammer	Road header	EPB	Double Shield	Single shield	Open TBM	
0.485	0.485	0.6	0.281	0.281	0.216	جریان آب زیرزمینی بیشتر از 17 Lit/s/diam

نمونه‌های زیادی از تونل‌هایی که در برخورد با آب زیرزمینی دچار توقفات طولانی مدت شده‌اند، در داخل و خارج از کشور وجود دارد. از آن جمله می‌توان به تونل سوم انتقال آب کوه‌رنگ، تونل انتقال آب زاگرس (قطعه دوم) و تونل قمرود اشاره نمود (شکل ۵-۱ و ۵-۲). در تونل انتقال آب کوه‌رنگ برخورد با زون گسلی زراب که از گسل‌های اصلی زاگرس محسوب می‌شود و در میان سازندهای آهکی زاگرس عبور می‌نماید، حجم زیادی از آب را وارد تونل نمود که باعث توقف طولانی مدت ماشین حفاری (TBM باز، ساخت شرکت هرکنشت) در یکی از جبهه‌های کاری گردید [۱۰۳].



شکل (۵ +) ریزش آب از دیواره‌های تونل و صعوبت کار برای پرسنل در تونل انتقال آب زاگرس (قطعه دوم) [۱۰۳]



شکل (۵ ۴) جریان آب زیاد در کف تونل و صعوبت کار برای پرسنل در قطعه دوم تونل انتقال آب قمرود [۱۰۳]

۵ ۴ ۱- مهم‌ترین مشکلات ناشی از نشت و هجوم آب زیرزمینی

مقاومت برخی سنگ‌ها (به ویژه سنگ‌های رسی) به حضور آب حساس است. در حقیقت حضور آب زیرزمینی با افزایش درجه دگرسانی توده سنگ و کاهش مقاومت ماده سنگ و مواد پرکننده درزه‌ها نقشی منفی در وقوع ریزش‌ها و ناپایداری دیواره‌های تونل دارد. پرکننده‌های درزه‌ها در صورت حضور آب به یک فشار آماسی رسیده و این امر می‌تواند سبب از بین بردن تقویت کننده‌های تونل شود. از سوی دیگر، حضور آب در سنگ‌هایی که طی فرایند خردایش ریزدانه زیادی تولید می‌کنند، می‌تواند باعث افزایش تولید گل و ایجاد مشکل در بارگیری مصالح کنده شده و تردد گردد که در مجموع کاهش ضریب بهره‌وری را به دنبال خواهد داشت. همچنین حضور آب باعث گل‌گرفتگی بخش‌های مختلف کله حفاری و دیسک کاترها و در نتیجه کاهش نرخ نفوذ ماشین می‌گردد. صرف زمان‌های زیاد برای تمیز کاری دیسک کاترها و کله حفاری، خسارت به سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی و افزایش صعوبت کار برای پرسنل از دیگر مشکلات ناشی از نشت و هجوم آب زیرزمینی می‌باشد [۱۰۵-۱۰۳].

[۱۰۳ و ۱۰۰].

۵ ۴ ۴ - روش‌های شناسایی و پیش‌بینی نشت و هجوم آب زیرزمینی

فرناندز و مون^۱ در سال ۲۰۰۹ [۱۰۶] با استفاده از وضعیت زمین‌شناسی، افت آب در چاه، هدایت هیدرولیکی با استفاده از آزمایش پکر^۲ و وضعیت تنش، به تخمین نرخ نفوذ جریان آب با استفاده از روش‌های تئوری (ریاضی) و مدل‌سازی به داخل تونل پرداخته‌اند.

با استفاده از روش‌های تحلیلی (Goodman et al (1965), Heuer, Freez and Cherry (1979), (1991), Lei (1999), Raymer (2001), El Tani (1999,2003) نیز می‌توان میزان جریان ناگهانی آب به داخل تونل را پیش‌بینی نمود [۱۰۷-۱۰۸ و ۴۴].

همچنین با بررسی پتانسیل کارست شدگی، اندازه‌گیری نوسانات تراز سطح آب زیرزمینی، شناخت ویژگی‌های آبگذری زمین اطراف تونل و شناسایی ساختارهای هدایت‌کننده جریان آب مانند گسل‌ها با حفر گمانه‌های اکتشافی می‌توان نشت و هجوم آب زیرزمینی را شناسایی و پیش‌بینی کرد [۱۰۳ و ۱۱۰-۱۰۹].

۵ ۴ ۴ - راهکارهای پیشگیری و مقابله با نشت و هجوم آب زیرزمینی

با انجام عملیات یخ‌بندان در سنگ و خاک، پیش‌تزریق، طرح آبکشی مناسب، استفاده از سگمنت‌های آب‌بند و استفاده از تجهیزات مناسب برای پرسنل می‌توان با نشت و هجوم آب زیرزمینی مقابله کرد [۱۰۵].

¹ G. Fernandez & J. Moon

² Paker tests

۵ ۴ نشت گازهای سمی

همان‌طور که با ابداع و استفاده از دستگاه‌های حفار تمام مقطع سرعت حفاری با نرخ قابل توجه ای رشد یافته است، در صورت برخورد با سازندی حاوی گازهای خطرناک، به سیستم‌های تهویه انعطاف پذیر ولی قدرتمند نیاز است؛ زیرا متناسب با افزایش نرخ پیشروی، سرعت انتشار گازها به درون تونل به دلیل گسترش سریع سطح تماس فزونی خواهد یافت. از طرف دیگر با افزایش قدرت ماشین آلات، میزان آلاینده‌های خروجی اگزوز یا حرارت تولیدی آن‌ها، نیز افزایش خواهد داشت [۱۱۱].

گازهای موجود در تونل‌های حفاری مکانیزه را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد [۱۱۲]:

الف) گازهای متصاعد شده از جداره تونل (تشکیلات سنگی و آب‌های زیرزمینی)

بسته به اینکه تونل از چه تشکیلات سنگی عبور می‌کند، گازهای همراه با این تشکیلات در هنگام حفاری در محیط تونل متصاعد می‌شوند. برای مثال گازهای سمی همچون متان و سولفید هیدروژن به هنگام تونل زنی در بسیاری از سنگ‌های رسوبی یافت می‌شود. عمدتاً سولفید هیدروژن و دی اکسید گوگرد در شکستگی‌های هر نوع سنگی که محتوی سولفید آهن (پیریت) باشد، تشکیل می‌شود. علاوه بر آن آب‌های زیرزمینی که از محل درزه و شکستگی های به وجود آمده در هنگام حفاری، به درون تونل جریان پیدا می‌کنند، می‌توانند شامل ترکیبات خطرناکی نظیر سولفید هیدروژن باشند که حضور آن‌ها در محیط کار سبب به وجود آمدن مشکلات بسیاری خواهد شد.

ب) گازهای ناشی از کارکرد ماشین آلات

در تونل‌های در حال حفر، عمدتاً از ماشین‌های دیزلی یا برقی، جهت حمل مواد حفر شده یا ابزارآلات استفاده می‌شود. در موتورهای دیزل، گازهای حاصله عمدتاً دی اکسید ازت، مونوکسید کربن و دی اکسید گوگرد است که درصد حجمی آن‌ها در جدول ۵-۲ آورده شده است.

جدول (۵ ۴) درصد حجمی محصولات ناشی از احتراق موتورهای دیزل [۱۱۲]

درصد حجمی	نوع محصول
۰,۱	مونوکسیدکربن (ماکزیمم)
۰,۰۲	مونوکسیدکربن (متوسط)
۹	دی اکسید کربن
۰,۰۴	اکسیدهای ازت
۰,۰۲	دی اکسید گوگرد
۰,۰۰۲	آلدئید
۰,۰۰۱	فرمالدئید

تونل بلند زاگرس، یکی از تونل‌های کشورمان است که با مسئله گاز دست و پنجه نرم کرد، گاز سولفید هیدروژن (H_2S)، سیانید هیدروژن (HCN) و متان (CH_4) نیز به صورت مقطعی در این تونل مشاهده شده، به طوری که غلظت گاز متان بالاتر از حد انفجار نیز ثبت و منجر به تعطیلی عملیات شده است [۱۱۲].

همچنین در قطعه دوم تونل انتقال آب زاگرس که در نزدیکی مناطق نفت خیز و بر روی میدان‌های نفتی غرب کشور می‌باشد، وجود گازهای محبوس (عمدتاً H_2S و متان) در توده سنگ‌های منطقه مشکلات زیادی را به وجود آورده است (شکل ۵-۳) [۱۱۳].



شکل (۵ ۴) پرسنل در حال کار در شرایط وجود حجم زیاد آب و گاز در تونل زاگرس [۱۱۳]

۵ ۴ ۱ - مهم‌ترین مشکلات ناشی از نشت گاز

خطر انفجار، کاهش توان پرسنل و به خطر انداختن سلامتی انسان، کاهش شیفت‌های کاری و تعطیلی مکرر فعالیت در تونل، اثر خوردگی بر قطعات الکترونیک ماشین حفار و نیاز به تعویض مکرر آن‌ها، خرابی و خوردگی قطعات فولادی (ریل‌های کف تونل، پوشیدگی نگهداری‌های فلزی روی دیواره‌های تونل، قلاب‌ها و سیم بکسل‌های نگهداری داکت تهویه و همچنین خوردگی سگمنت‌ها) را می‌توان مهم‌ترین مشکلات ناشی از نشت گاز در تونل دانست [۱۱۴ و ۱۱۱].

۵ ۴ ۴ - روش‌های شناسایی و پیش‌بینی نشت گاز

با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و استفاده از سیستم‌های گاز سنجی دقیق در موقعیت‌های مناسب در TBM می‌توان وجود گاز در تونل را تشخیص داد و با توجه به نوع گاز و شرایط تونل از راهکارهای پیشگیری و یا مقابله با نشت گاز استفاده کرد [۱۱۵ و ۱۰۵].

۵ ۴ ۳ - راهکارهای پیشگیری و مقابله با نشت گاز

در حالتی که گاز از طریق آب زیرزمینی وارد تونل‌ها می‌گردد (مانند سولفید هیدروژن، اکسیدهای ازت و ...) می‌توان با احداث چاه‌های زه‌کشی در اطراف تونل، ایجاد یخ‌بندان در سنگ‌ها یا خاک اطراف تونل، تزریق در سازند، جمع‌آوری و پمپاژ آب به بیرون از تونل، تجزیه شیمیایی گاز محلول در آب و استفاده از سگمنت‌های مناسب (یونیورسال به جای هگزاگونال)؛ و در حالتی که گاز از طریق درزه‌ها و منافذ وارد تونل‌ها می‌گردد (مانند گازمتان و ...) می‌توان با حفر گمانه به منظور تخلیه گازها (یا کاهش فشار گازهای محبوس)، قرار دادن لاستیک‌های آب‌بندی (گسکت) و پوشاندن سطح سازند بلافاصله پس از حفاری (با شاتکریت و یا سگمنت‌های پیش‌ساخته) از نشت و هجوم گاز به داخل تونل جلوگیری کرد [۱۰۳ و ۱۱۲-۱۱۱].

از دیگر راهکارهای پیشگیری و مقابله با نشت گاز می‌توان؛ استفاده از سیستم‌های الکتریکی ضد جرقه

و داکت آنتی استاتیک، استفاده از ماسک‌های با فیلتر زغال و کپسول‌های ضد گاز انفرادی، تقویت سیستم تهویه به منظور ارسال هوای تازه کافی در سینه کار، حفر چاه تهویه در مسیر تونل، استفاده از سیستم اطفاء حریق برای گازهای قابل انفجار و نصب کاتالیست بر روی آگزوز ماشین آلات و لکوموتیوها را نام برد [۱۱۷-۱۱۶ و ۱۱۳ و ۱۰۴].

۵ ۴-مچاله شوندگی (لهیدگی) زمین

طبق تعریف ارائه شده توسط انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM) لهیدگی سنگ تغییر شکل‌های بزرگ مقیاس وابسته به زمان می‌باشد که به خواص خزشی ایجاد شده توسط تنش‌های برشی، مرتبط می‌شود [۱۰۳].

از عوامل مؤثر بر رفتار مچاله شوندگی زمین می‌توان تنش‌های بالا، خواص مقاومتی ضعیف توده سنگ، اتساع پذیری بالای سنگ، وجود درصد بالایی از کانی‌های رسی با ظرفیت آماس پذیری کم (مثل ایلیت و کائولن، شیست‌های گرافیتی، شیل‌ها، آهک‌های رس دار، گل سنگ)، تأخیر نصب سازه نگه‌دارنده، تکنیک‌های حفاری و جهت ناپیوستگی‌ها (لایه بندی، شیستوزیته) را نام برد [۱۱۸].

از نمونه رفتار مچاله شوندگی زمین می‌توان تونل انتقال آب گاوشان، تونل انتقال آب قمرود (قطعات ۳ و ۴) و تونل امام زاده هاشم را نام برد (شکل ۴-۵).



شکل (۴ ۵) پدیده مچاله شوندگی و چسبیدن سنگ اطراف تونل به سگمنت و شیلد (قطعات ۳ و ۴ تونل قمرود) [۱۰۳]

۵ ۴ ۱ - مشکلات ناشی از رفتار مچاله شوندگی (لهیدگی) زمین

چسبیدن کاترهد به سنگ‌های روبره، گیر کردن سپر و تجهیزات پشتیبانی در اثر همگرایی غیرمجاز و در نهایت خرابی سیستم نگهداری از مهم‌ترین مشکلات ناشی از رفتار مچاله شوندگی (لهیدگی) زمین می‌باشد. [۱۱۹] [۱۲۰]

۵ ۴ ۴ - روش‌های شناسایی و پیش بینی رفتار مچاله شوندگی زمین

روش‌های گوناگونی جهت کمی سازی وضعیت مچاله شوندگی برای مقاصد تونل سازی وجود دارد. بیشتر این روش‌ها بر اساس مقایسه مقاومت توده سنگ با تنش القایی است. از روش‌های تجربی جهت برآورد اولیه لهیدگی می‌توان روش سینگ و همکاران (۱۹۹۲) و روش گوئل و همکاران (۱۹۹۵) را نام برد؛ و جهت برآورد دقیق‌تر رفتار لهیدگی معمولاً از روش‌های نیمه تجربی از قبیل روش جتوا و همکاران (۱۹۸۴)، آیدان و همکاران (۱۹۹۳)، روش بارلا (۱۹۹۵)، روش انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM)، روش باسین و گریمستاد (۱۹۹۶) و هوک و مارینوس (۲۰۰۰) استفاده می‌گردد [۱۰۳ و ۱۱۹ و ۱۲۱].

۵ ۴ ۴ - راهکارهای پیشگیری و مقابله رفتار مچاله شوندگی زمین

با استفاده از ماشین‌هایی با سپر کوتاه‌تر، طراحی سپر به صورت مخروطی (که به سمت انتها از قطر سپر کاسته می‌شود)، نصب دیسک کاترهای محیطی (gauge cutters) در حاشیه بیرونی کاترهد برای حفاری تونل با قطر بیشتر و تأمین فضای لازم برای جمع شدن زمین، کاهش توقف‌های ماشین در بخش‌هایی که پتانسیل این پدیده زیاد است، تزریق موادی مانند گریس به عنوان روان کننده به پشت سپر برای کاهش اصطکاک و در حالت بحرانی ممکن است آزادسازی ماشین نیازمند حفاری دستی در اطراف سپر باشد [۱۰۳ و ۱۱۹].

۵ تورم سنگ‌های رسی

بر اساس تعریف انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ ISRM، پدیده تورم یا آماس ترکیبی از واکنش‌های فیزیک و شیمیایی سنگ با آب و رها شدن تنش می‌باشد. واکنش فیزیک و شیمیایی با آب معمولاً سهم عمده این پدیده را دارا می‌باشد، ولی در بعضی مواقع این پدیده در نتیجه رها شدن تنش نیز رخ می‌دهد [۱۰۳ و ۱۲۲].

مکانیزم‌های تورم و پارامترهای تأثیرگذار و ایجاد کننده تورم در محیط‌های سنگی و خاکی و در حالت کلی در زمین‌های آماسی فراوان است. مکانیزم‌های فیزیکی- شیمیایی ناشی از آب، هیدراتاسیون سولفات کلسیم (انیدریت)، نفوذ و انحلال گازها در مصالح با سمناسیون سست، تورم در کانی‌های رسی و مواد پرکننده گسل‌ها و درزه‌ها، و تورمی که از جریان آب در ترک‌ها و شکاف‌هایی که در مجاورت مواد مستعد تورم هستند حاصل می‌شود از نمونه‌های بارز این مسئله می‌باشند. پدیده تورم (آماس پذیری)، به استثنای انیدریت که به علت نفوذ شیمیایی آب به آن به فرم ژپس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ متبلور می‌شود، اغلب در سنگ‌هایی که حاوی کانی‌های رسی فراوان یا ذراتی در اندازه‌های رس هستند، اتفاق می‌افتد. کانی‌های رسی مانند کائولینیت، ایلیت و خصوصاً مونت موریلونیت آب را جذب کرده و وقتی آب جذب شده به مقدار کافی رسید، متورم می‌شوند. حجم خاک‌ها و کانی‌های رسی با تغییر میزان رطوبت بسیار متغیر است، کاهش میزان رطوبت باعث انقباض و افزایش میزان رطوبت سبب افزایش تورم خاک یا سنگ مستعد تورم خواهد شد و در کل درجه تغییر حجم بستگی به عواملی نظیر نوع کانی‌های رسی موجود در خاک یا سنگ، سطح مخصوص ذرات، ساختار خاک یا سنگ، ظرفیت کاتیونهای تبدلی و غیره دارد [۱۲۲].

در حالت کلی فشار ناشی از تورم این گونه زمین‌ها، حال تحت هر شرایطی که ایجاد شود، موجب خرابی فضای مورد نظر خواهد شد. بنابراین شناخت کامل این‌گونه محیط‌های تورم‌زا و نگهداری

مناسب در مواجهه با چنین پیامدهایی، در طراحی تونل‌ها و فضای زیرزمینی که در این‌گونه مناطق حفر می‌شوند، لازم و ضروری خواهد بود.

۵ ۴ - مشکلات ناشی از تورم سنگ‌های رسی

عمل تورم می‌تواند ناگهانی ایجاد شود یعنی در خلال ایجاد سازه زیرزمینی مانند تونل رایکن^۱ و تونل اصلی هائن اشتاین^۲ در سوئیس که در مدت کوتاهی پس از ایجاد سازه مجموع تورم پذیری آن‌ها از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی متر گزارش شده است و یا می‌تواند به مدت طولانی و به آرامی ایجاد شود مانند تونل بوتس برگ در سوئیس که بین ۴ تا ۱۰ میلی متر در سال طبق اندازه‌گیری‌های بین سال‌های ۱۹۲۳ تا ۱۹۴۵ دیده شده است [۱۲۲].

تورم سنگ‌های رسی می‌تواند مسائل و مشکلات بزرگی را در امر تونل زنی و حفاری‌های زیرزمینی ایجاد نمایند که از جمله آن می‌توان به خرابی کامل پروژه، طولانی شدن زمان اجرای پروژه و افزایش هزینه‌ها را نام برد. از دیگر مشکلات می‌توان افزایش خطر ریزش، بالازدگی در سطح زمین، اعمال بار اضافی بر سیستم نگه‌دارنده و سپر ماشین حفاری، هم آمدگی فضای حفر شده و ناکارآمدی عملیات حفاری، فرورفتن وسایل نگهداری در تونل‌های دارای کف پلاستیک و ضعیف و کج شدگی کلی سیستم نگهداری در اثر برآمدگی یا بالا آمدن سنگ‌های اطراف فضای حفاری شده را نام برد [۱۰۳ و ۱۲۳-۱۲۲].

۵ ۴ - روش‌های شناسایی و پیش بینی فشار ناشی از تورم سنگ‌های رسی

به منظور اندازه‌گیری فشار ناشی از تورم سنگ‌های رسی می‌توان با استفاده از تجربه پروژه‌های دیگر این فشار را تخمین زد و یا با استفاده از تست فشار آماسی سنگ (ETH Zurich) نیز می‌توان این

¹ Riken

² Hauenstein

فشار را پیش بینی نمود. تحقیقات زیادی در خصوص اندازه گیری و پیش بینی تورم سنگ‌های رسی انجام شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان (Gysel, 1987; Kovari et al., 1988; Anagnostou,1993;) را نام برد [۱۲۲].
(ISRM, 1983, 1989, 1994a,b; Wittke, 2000; Barla, 2008; Mahdevari, 2012.

۵ ۴ - راهکارهای پیشگیری و مقابله تورم سنگ‌های رسی

برای تونل زنی در زمین‌های آماسی تلاش‌های زیادی به منظور محدود کردن بارهای وارده بر حلقه پوشش با استفاده از المان‌های کرنشی نصب شده صورت گرفته است. اتصالات با تغییر شکل پلاستیکی حلقه در مقابل آب نفوذ ناپذیر نیست. اما معلوم شد همچنین این بارها را می‌توان با به‌کارگیری موادی با سختی معین که بعد از گذشتن از حد مقاومت مشخص آن متلاشی می‌شود، محدود کرد. این مواد یا به سطح بیرونی قطعات پیش ساخته چسبانده شده و یا به مواد تزریق اضافه می‌شود [۱۲۳ و ۱۲۴].

۵ ۶ - ناپایداری سینه کار تونل

یکی از مشکلاتی که در برخی توده سنگ‌های درزه دار و بلوکی در صورت مناسب بودن وضعیت هندسی ناپیوستگی‌ها می‌تواند بر عملکرد ماشین‌های حفر تونل تأثیر منفی داشته باشد، جدا شدن بلوک‌های سنگی از سینه کار تونل و ایجاد مزاحمت برای کاترهد و دیسک کاترها می‌باشد. ناپایداری‌ها در سینه کار حفاری با ریزش بلوک‌های سنگی و مواد دانه ریز رخ می‌دهد به نحوی که تا برقراری تعادل در سینه کار و ایجاد حفاریات بزرگ متوقف نمی‌شود، رسیدن به یک شرایط محدود کننده برای عملکرد ماشین‌های سپری برای سنگ امکان پذیر است [۱۰۶].
تونل البرز و تونل زاگرس قطعه دوم نمونه‌هایی از پروژه‌های هستند که با ریزش و ناپایداری سینه کار تونل دست و پنجه نرم کردند (شکل ۵-۵).



شکل (۵ ۵) ریزش و ناپایداری سینه کار تونل در پروژه البرز [۱۰۳]

۵ ۶ ۱ - مشکلات ناشی از ناپایداری سینه کار

از مهم‌ترین مشکلات ناشی از ناپایداری سینه کار می‌توان به جابه‌جایی زمین، صدمه رسیدن به دیسک‌ها، مشکلات مربوط به تعویض دیسک‌ها، گیر کردن مجرای بارگیری مواد حفاری و جدا شدن بلوک‌های سنگی از سینه کار تونل را نام برد [۱۰۶].

۵ ۶ ۲ - روش‌های شناسایی و پیش‌بینی ناپایداری سینه کار

در تونل‌های سنگی با مطالعات وضعیت خردشدگی سنگ‌ها و شرایط تنش در منطقه و در تونل‌های زمین‌های نرم با استفاده از روش‌های عددی، تجربی و ابزار بندی می‌توان ناپایداری سینه کار تونل را پیش‌بینی نمود [۱۰۹].

۵ ۶ ۳ - راهکارهای پیشگیری و مقابله با ناپایداری سینه کار

در تونل‌های سنگی با عدم عقب کشیدن کاترهد به هنگام توقف، شناسایی به موقع با استفاده از حفر گمانه پیشرو و انجام عملیات پیش تزریق و روش‌های بهسازی زمین و در تونل‌های زمین‌های نرم نیز با کنترل و مانیتورینگ فشار سینه کار، انجام عملیات پیش تزریق و بهسازی زمین و ارزیابی ناپایداری سینه کار با استفاده از روش‌های عددی، تجربی و ابزار بندی می‌توان با ناپایداری سینه کار تونل مقابله کرد [۱۰۶ و ۱۰۹].

۵ ۴ - ناپایداری دیوار و سقف تونل

ناپایداری دیواره‌های حفاری یک مشخصه محدود کننده برای TBM های باز بشمار می‌آید. مشکلات هنگامی به وجود می‌آید که ناپایداری بلافاصله در پشت صفحه حفار رخ داده و نصب اجزاء اصلی سیستم نگهداری و جاگیری دیوار گیرها را با مشکل مواجه کند. در حالت کلی مشکلات ناشی از ناپایداری دیواره‌ها با کاهش کیفیت سنگ و RQD افزایش می‌یابد. اکثر بلوک‌های ریزشی به وسیله تقاطع درزه‌ها باهم و صفحات لایه بندی یا صفحات فولیاسیون تشکیل می‌شود.

ماشین‌های سپری (تک سپری یا تلسکوپی) به اندازه ماشین‌های باز به بروز ناپایداری دیواره‌های حفاری حساس نیستند. چرا که یک پوشش بتنی^۱ پیش ساخته یا فولادی در داخل و یا در محفظه سپر قابل نصب است. ماشین‌های سپری با تکیه بر پوشش بتنی و مستقل از ناپایداری‌ها قادر به پیشروی هستند [۱۰۰].

تونل البرز، تونل قمرود (قطعات ۲ و ۳ و ۴) تونل گاوشان و تونل انتقال آب کرج (قطعات ۱ و ۲) با ناپایداری دیواره‌ها روبرو شده‌اند (شکل ۵-۶).



شکل (۵ ۶) عمق ریزش سقف در بالای کاترهد در اثر ناپایداری سقف تونل گاوشان

^۱ lining concrete

۵ ۴ ۱- مشکلات ناشی از ناپایداری دیوار و سقف تونل

در اکثر تونل‌های سنگی احتمال وقوع دو نوع ناپایداری در جداره‌های تونل وجود دارد که عبارتند از:

- سقوط بلوک‌های سنگی یا ناپایداری‌های با کنترل ساختاری

- ریزش سنگ‌های خرد شده یا ناپایداری‌های بدون کنترل ساختاری

معمولاً در سنگ‌های شدیداً متورق مانند شیلها، اسلیت‌ها و انواع شیست‌ها و در زون‌های خرد شده گسلی به دلیل فاصله‌داری اندک ناپیوستگی‌ها و وجود سطوح تورق، همسانگردی سنگ‌های درون گیر تونل بیشتر بوده و پدیده ریزش که از انواع ناپایداری‌های بدون کنترل ساختاری است، پتانسیل وقوع دارد.

در سنگ‌های دارای لایه بندی، توده سنگ‌های بلوکی و درزه دار مانند ماسه سنگ‌ها و آهک‌ها با توجه به دسته ناپیوستگی‌ها عمل نموده و در آن‌ها بعضاً احتمال ناپایداری‌های با کنترل ساختاری و تشکیل بلوک‌های سنگی ناپایدار با ابعاد متفاوت در جداره تونل وجود دارد [۱۰۳].

۵ ۴ ۴- روش‌های شناسایی و پیش بینی ناپایداری دیوار و سقف تونل

از مهم‌ترین روش‌های شناسایی و پیش بینی ناپایداری دیوار و سقف تونل می‌توان مطالعه وضعیت خردشدگی سنگ‌ها، بررسی شرایط تنش در منطقه و شناسایی زون‌های گسله را نام برد.

۵ ۴ ۳- راهکارهای پیشگیری و مقابله با ناپایداری دیوار و سقف تونل

شناسایی با استفاده از حفر گمانه پیشرو، انجام عملیات پیش تزریق، کاهش دور کاترهد جهت کاهش ضربه کاترهد و جلوگیری از ضربه ریزش و عدم گریپ کردن در مناطق سست را می‌توان از راهکارهای پیشگیری و مقابله با ناپایداری دیوار و سقف تونل عنوان کرد [۱۰۳ و ۱۰۰].

۵ ۸ سینه کار مختلط

تنوع در فرایندهای زمین‌شناسی مانند رسوب گذاری، سرد شدن ماگما و اختلاط تشکیلات مختلف زمین‌شناسی، ممکن است باعث ایجاد محیط‌های پیچیده مخلوط و ناهمگنی شود که شامل قطعات سنگی با ابعاد مختلف در زمینه ماتریسی با سختی مختلف است. نمونه بارز از این محیط‌ها آبرفت‌های درشت دانه، کنگلومراها و برش‌ها هستند که قطعات سنگی با ابعاد متفاوت در زمینه خاکی نرم یا سخت شده قرار گرفته است (شکل ۵-۷). در تشکیلات آذرین نیز در اثر تداخل ماگما با سنگ‌های برجا محیط‌های مشابهی ایجاد می‌شود که می‌توان به توف‌ها، ملانژها و سنگ‌های آگلومرایبی اشاره کرد که دربرگیرنده قطعات سنگی سخت در ماتریس زمینه نرم‌تر سنگی هستند [۱۲۵].

رفتار مکانیکی محیط‌های مخلوط ژئومکانیکی به نسبت حجمی (یا وزنی) قطعات سنگی به ماتریس زمینه، شکل و جهت داری قطعات سنگی، اندازه قطعات و توزیع ابعادی آن‌ها، تفاوت سختی، مقاومت قطعات سنگی و ماتریس دربرگیرنده و مقاومت ناحیه فصل مشترک قطعات سنگی و ماتریس زمینه بستگی دارد [۱۲۵].



شکل (۷ ۵) رخنمون‌هایی از محیط‌های مخلوط سنگ و خاک (وجود قطعات سنگی در زمینه نرم‌تر با سختی یا

سیمان شدگی متفاوت)

۵ A ۱- مشکلات ناشی از سینه کار مختلط

اگر قطعات سنگی بزرگ نباشد، در مارپیچ انتقال امکان گیر کردن قطعات سنگی وجود دارد اما اگر قطعه سنگی بزرگ باشد و ماتریس دربرگیرنده آن مقاومت نسبتاً بالایی داشته باشد، آنگاه قطعه سنگ توسط کاترهد و دیسک‌های برنده تعبیه شده روی آن خرد شده و وارد دستگاه می‌شود. در غیر این صورت اگر ماتریس زمینه ضعیف باشد، قطعه سنگی در جای خود ثابت باقی نمی‌ماند و جا به جا می‌شود و ممکن است در اثر حرکت چرخشی کاترهد به صورت شعاعی به سمت محیط تونل حرکت کند و یا اینکه در وسط جبهه کار جلوی کاترهد باقی بماند. از جمله دیگر مشکلات ناشی از سینه کار مختلط می‌توان هجوم آب، انحراف کاترهد، عدم قطعیت در مورد استفاده از تئوری‌های مکانیک خاک یا مکانیک سنگ، مشکلات تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی معرف، افزایش گشتاور ماشین، توقف و کاهش نرخ پیشروی تونل و آسیب‌دیدگی و ساینده‌ی دیسک کاترها را نام برد [۱۲۶ و ۱۲۵].

۵ A ۴- روش‌های شناسایی و پیش‌بینی سینه کار مختلط

با بررسی‌های ژئوتکنیکی دقیق نظیر حفر گمانه‌های متعدد و با قطر بزرگ، حفر ترانشه و چاهک و با استفاده از تکنیک‌های ژئوفیزیکی می‌توان سینه کار مختلط را پیش‌بینی کرد. به طور کلی برخورد با قطعات سنگی در محیط مخلوط معمولاً با ایجاد لغزش در کاترهد و صدای زیاد، همراه با نوسان در چرخش کاترهد و تغییر در سیستم فشار هیدرولیک دستگاه قابل تشخیص است [۱۲۶ و ۱۲۵].

۵ A ۴- راهکارهای پیشگیری و مقابله با سینه کار مختلط

با کاهش نرخ پیشروی دستگاه می‌توان از آسیب رساندن به کاترهد و دیسک‌های برنده جلوگیری کرد. همچنین به منظور تسریع در عملیات حفاری با دستگاه‌های تمام مقطع باید تغییراتی در کاترهد و سیستم انتقال مواد انجام داد. با توجه به شرایط زمین، باید به منظور انتقال بهتر مواد به درون اتاقک حفاری وضعیت دیسک‌ها روی کاترهد اصلاح شود. بدین منظور باید برای افزایش فضای خالی برای

ورود بهتر و آسان‌تر مواد به درون دستگاه تعداد دیسک برنده را کاهش داد و بجای آن دندان‌های برش دهنده^۱ بیشتری در مسیر حرکت مواد قرار دارد. در مناطقی که فشار آب زیرزمینی بالا است، به منظور کاهش شسته شدگی ماتریس و در نتیجه ناپایداری قطعات سنگی و جبهه کار تونل، چال‌های افقی در جبهه کار حفر شده و فشار آب زیرزمینی در محدوده کاهش داده می‌شود. گاهی با توجه به شرایط زمین‌شناسی در جبهه کار ممکن است نیاز به پاشیدن شاتکریت به منظور افزایش چسبندگی مصالح در این ناحیه باشد [۱۲۵].

۵ ۹ چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی

در تونل‌هایی که ماشین‌های حفر تونل برای حفاری در سنگ‌ها و یا خاک‌های رسی و چسبنده به کار گرفته می‌شوند، همواره خطر گل گرفتگی^۲ و انسداد^۳، کله حفاری و ابزار برش را تهدید می‌نماید. معمولاً در چنین سنگ‌ها یا خاک‌هایی، چسبناکی کانی‌های رسی به سطوح فلزی ماشین سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در بهره‌وری ماشین می‌گردد. مشکل چسبناکی و گل گرفتگی مربوط به رس غالباً منجر به هدایت پذیری سخت، نرخ پیشروی پایین و تمیز کاری اضافه می‌گردد [۱۰۳].

۵ ۹ ۱ - مشکلات ناشی از چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی

از مشکلات ناشی از چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی می‌توان به افزایش گشتاور ماشین، سایش نامتقارن دیسک کاترها، مشکل حمل مواد بر روی نوار نقاله و باقی ماندن حجم زیادی از مصالح حفاری بین سینه کار و کله حفار را نام برد [۱۲۷ و ۱۱۳].

^۱ Scraper teeth

^۲ Clogging

^۳ Blockage

۴ ۹ ۵ - روش‌های شناسایی و پیش‌بینی چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی

در سال‌های اخیر، به منظور شناسایی رفتار چسبناکی کانی‌های رسی و ارزیابی خطر انسداد و گل‌گرفتگی در ماشین TBM، پژوهش‌هایی توسط Thewes and Burger 2004 , GEODATA 1995 , Sass & Burbaum 2008 انجام شده است. در میان پژوهش‌های مختلف، نموداری که توسط Thewes and Burger در سال ۲۰۰۴ برای ارزیابی خطر انسداد و گل‌گرفتگی ارائه شده از مقبولیت بیشتری برخوردار است [۱۱۳و۱۲۷].

۴ ۹ ۵ - راهکارهای پیشگیری و مقابله با چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی

از جمله راهکارهای پیشنهادی به منظور کنترل مشکلات ناشی از شرایط زمین چسبنده می‌توان؛ استفاده از جت آب پرفشار در کله حفار، تزریق هوای فشرده برای کاهش مشکل گل‌گرفتگی، استفاده از روش‌های آماده‌سازی زمین همچون تزریق فوم در سینه کار و انجام اصلاحات اپراتوری ماشین، به عنوان مثال کاهش نیروی پیشران اعمالی به کله حفار را نام برد [۱۱۳].

فصل ٦. مدیریت ریسک تونل انتقال آب گلاب

۶-۱ مقدمه

پروژه ملی انتقال آب از زاینده رود به کاشان که ابتدای آن را تونل انتقال آب گلاب تشکیل می‌دهد جهت تأمین آب مورد نیاز شهرستان کاشان انجام می‌شود. از نظر جغرافیایی، تونل مذکور در ۱۱۰ کیلومتری شمال غربی اصفهان واقع گردیده و از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی در قسمتی از زون سندج- سیرجان قرار دارد. این تونل به صورت دو بخش احداث خواهد شد. قطعه اول آن که تونل اصلی نام دارد، با روند N66E و طول ۹۸۷۳ متر بوده و قطعه دوم که یک تونل دسترسی است، با روند N45E و طول تقریبی ۱۵۰۰ متر می‌باشد. تونل اصلی به روش حفاری مکانیزه و با استفاده از یک دستگاه ماشین حفار تمام مقطع با سپر دوگانه (تلسکوپی) مدل TB 458/TS و پوشش دیواره بتنی پیش ساخته از نوع هگزاگونال می‌باشد که از دهانه ورودی به سمت محل تقاطع با تونل دسترسی حفاری می‌شود.

در این فصل از پژوهش، با معرفی جایگاه منطقه مورد مطالعه و بررسی وضعیت زمین‌شناسی مهندسی تونل، ریسک ماشین حفاری TBM در تونل انتقال آب گلاب با استفاده از روش‌های AHP، TOPSIS، FAHP و FTOPSIS که در فصل سوم شرح داده شد، رتبه بندی شده است.

۶-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه

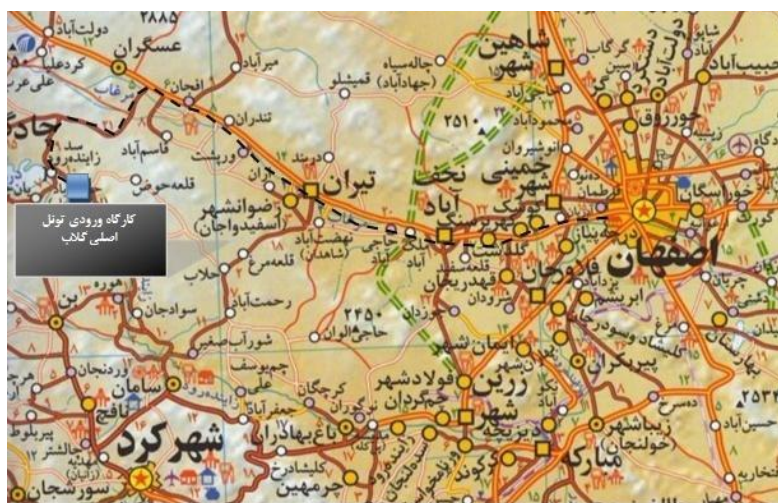
تونل انتقال آب گلاب و سازه‌های جنبی آن در فاصله بین مدارهای ۳۲ درجه و ۴۲٫۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و نصف‌النهارهای ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی در استان اصفهان واقع شده است. دره زاینده رود و سد تنظیمی پایین دست در گوشه جنوب شرقی ناحیه مورد بررسی پایین‌ترین نقطه در این محدوده به شمار می‌رود. کوه‌های پرپر، کماسون، گدار سرخ و دالان به صورت یک رشته ارتفاعات بلند از شمال غربی به سوی جنوب شرقی گسترش یافته که در شمال و شمال شرقی آن دشت کرون و در جنوب آن دره‌های ازون آخر، گنجگاه و دره

زاینده رود مشاهده می‌شوند.

تونل انتقال آب گلاب و تونل دسترسی ادامه‌ی آن، با مجموع طول ۱۱ کیلومتر از دامنه شرقی رودخانه زاینده رود تا زیر دشت کرون ادامه می‌یابد. تونل اصلی در ۱۸۰+۹ به فضای زیرزمینی تلمبه خانه منتهی می‌شود و تونل دسترسی به این تلمبه خانه از روی دشت کرون آغاز و پس از ۱/۵ کیلومتر و با شیبی در حدود ۱۳/۴ درصد به آن خواهد رسید. موقعیت دهانه ورودی تونل اصلی تا اصفهان حدود ۱۲۰ کیلومتر است که سراسر آن آسفالت می‌باشد [۱۲۸].

۴ ۶ - راه‌های دسترسی

جهت دسترسی به ورودی تونل در ۱۵ کیلومتری تیران از جاده اصلی اصفهان- داران، جاده آسفالتی چادگان-سد زاینده رود جدا می‌شود (سه راه اصفهان-داران-چادگان) در این جاده فرعی پس از گذشتن از روستای گلاب که نام تونل از آن گرفته شده است، دو راهی چادگان-سد زاینده رود مشخص است. با پیشروی در جاده سد، به سمت روستای حجت آباد، پل زمانخان-سامان می‌توان به موقعیت دهانه ورودی تونل دست یافت که طرح کانال انتقال آب از محل مخزن سد تنظیمی زاینده رود تا دهانه تونل اصلی نیز بدین ترتیب قابل دسترسی می‌باشد (شکل ۶-۱).



شکل (۶ ۴) موقعیت جغرافیایی پروژه [۱۲۸]

۶ ۴ زمین‌شناسی

گستره طرح تونل انتقال آب گلاب در زون سنندج-سیرجان قرار دارد. روند عمومی این پهنه شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. از نظر چینه‌شناسی، سازندهای دارای رخنمون در محدوده مورد بررسی به دو گروه سازندهای سنگی و سازندهای خاکی رده بندی می‌گردند. سازندهای سنگی دارای رخنمون در گستره طرح عبارتند از: سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین (یا پالئوزوئیک و با ترکیب شیست متاسوماتیک، سربیسیت شیست، میکا شیست، سربیسیت کالک فیلیت، فیلیت، سربیسیت کالک شیست و ...)، سازند کالک اسلیت و ماسه سنگ یا درجه دگرگونی پایین و با سن ژوراسیک، سنگ‌های کرتاسه با لیتولوژی آهک اربیتولین دار، آهک ماسه‌ای و مارنی و کنگلومرای مستحکم ائوسن با سیمان آهکی می‌باشد. علاوه بر آن در این گستره، دایکها و سیل‌هایی با ترکیب دلریت-دیاباز مشاهده شده است. سازندهای خاکی که بر روی سازندهای سنگی شکل گرفته‌اند، جوان‌ترین رسوبات منطقه را تشکیل می‌دهند. این رسوبات متعلق به دوره کواترنری بوده و شامل خاک‌های برجا، رسوبات بادبزی (مخروطه افکنه ای) پادگانه‌های رودخانه‌ای، رسوبات دشت و نهشته‌های مسیلی می‌باشد [۱۲۸].

۶ ۵ مطالعات هیدروژئولوژی عمومی

۶ ۵ ۴ - ویژگی‌های آب‌شناسی سازندهای سخت منطقه

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، به طور کلی توده سنگ‌های موجود در گستره طرح را می‌توان (از نظر آب‌شناسی) به دو گروه عملاً ناتراوا و تراوا تقسیم نمود [۱۲۹]:

الف) سازندهای سخت ناتراوا

علیرغم وجود ناپیوستگی‌ها و سطوح ضعف طبیعی در تمامی سازندهای سخت موجود در منطقه، سنگ‌های شکل‌پذیر مانند شیست‌های پرکامبرین و کالک اسلیت‌های ژوراسیک را می‌توان در رده سنگ‌های عملاً ناتراوا قرار داد. زیرا شکل‌پذیری این سنگ‌ها موجب می‌گردد که در عمق‌های زیاد،

دهانه ناپیوستگی ها بسته و کیپ شده و توده سنگ عملاً به صورت ناتراوا درآید. شایان ذکر است که سازندهای فوق‌الذکر که به صورت عملاً ناتراوا معرفی گردیده‌اند، در پهنه‌های برشی و خرد شده تراوایی بیشتری داشته، می‌تواند موجبات جریان مقدار محدودی از آب را به داخل سازندهای زیرزمینی فراهم آورد. موضوع دیگر اینکه، با حفر تونل (به ویژه در صورت عدم نگهداری به موقع سینه کار و جدار تونل و گسترش پهنه خمیری) تراوایی توده‌های شیستی و کالک اسلیتی افزایش خواهد یافت.

(ب) سازندهای سخت تراوا :

تراوایی نسبتاً بالای برخی از سازندهای سخت منطقه به دلیل شکنندگی یا تردی آن‌ها از یکسو و انحلال پذیری آن‌ها از سوی دیگر می‌باشد. سازندهای مزبور شامل سنگ آهک‌های کرتاسه و کنگلومراهای ائوسن با سیمان کربناته است که در بخش‌های شمالی گستره طرح و نزدیک به دهانه خروجی تونل دارای گسترش می‌باشد.

۶ ۵ ۴ - ویژگی‌های آب شناسی سازندهای نرم منطقه

از میان سازندهای نرم موجود در منطقه، تنها رسوبات آبرفت دامنه‌ای و دشت است که از نظر هیدروژئولوژی مطرح و درخور توجه می‌باشد. رسوبات آبرفت دامنه‌ای و دشت، بیشتر از شن ماسه‌ای با پرکننده لای و رس (به نسبت‌های متفاوت) تشکیل یافته که از نظر تراوایی عمدتاً در رده زمین‌های با تخلیه اندک و زهکش ناچیز قرار می‌گیرند. در میان رسوبات آبرفت دامنه‌ای و دشت، سیلابراه‌های قدیمی و مدفون وجود دارند که در آن‌ها به دلیل پایین بودن نسبت پرکننده ریزدانه (لای و رس) تراوایی خاک به مراتب بیشتر از خاک‌های فراگیر می‌باشد. این رسوبات را که وجود آن‌ها موجب افزایش انتقال پذیری آبخوان آبرفتی می‌گردد، می‌توان در رده خاک‌های با تخلیه بالا و زهکشی آزاد قرار داد [۱۲۹].

۶ ۶ زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل اصلی

در انتخاب محل مناسب برای حفر تونل و فضاهای زیرزمینی بیش از همه نیاز به شناسایی زمین و انجام مطالعات زمین‌شناسی مهندسی به منظور تعیین پارامترهای مهندسی واحدهای مختلف سنگی در مسیر تونل می‌باشد. هدف اصلی از این مطالعات بدست آوردن اطلاعات لازم در بررسی رفتار مکانیکی سنگ و پیش بینی شرایط پایداری در مسیر تونل است. برای این منظور با حفر ۱۴ گمانه در مسیر تونل اصلی انتقال آب گلاب؛ مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شد. همچنین آزمایش‌های دانسیته، تخلخل، دوام سنگ، بار نقطه‌ای، مقاومت تراکمی تک محوری و سه محوری بر روی مغزه های بدست آمده از گمانه‌ها انجام شد. به منظور مطالعه بیشتر پیرامون نتایج آزمایش‌های صورت گرفته می‌توان به منبع [۱۲۹] مراجعه کرد.

با در نظر گرفتن مجموع پارامترهای بدست آمده (لیتولوژی، ساختارهای تکتونیکی، وضعیت آب‌های زیرزمینی، مقاومت سنگ‌ها و ...) می‌توان مسیر تونل را به صورتی که در جدول ۶-۱ ارائه شده بخش بندی نمود و برای هر یک ویژگی‌های ژئومکانیکی آن را ارائه داد.

جدول (۶ +) ویژگی‌های ژئومکانیکی مسیر تونل انتقال آب گلاب [۱۲۹]

بخش تونل	از کیلومتر	تا کیلومتر	طول (متر)	لیتولوژی	حداکثر روبراه (متر)	چگالی میانگین (gr/Cm ³)		تنش روبراه (MPa)	مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ (MPa)	شاخص کیفی سنگ (Q)
						خشک	اشباع			
I	0+0	0+105	۱۰۵	میکاشیست با میان لایه ماسه سنگ و سنگ آهک دگرگونه	۱۵	۲,۶۲	۲,۶۳	۰,۴	۳,۸	۰,۴۱
II	0+105	2+055	۱۹۵۰	میکاشیست همراه با اسلیت و ماسه سنگ دگرگونه	۲۰۰	۲,۶۲	۲,۶۳	۵,۲۵	۳,۸	۰,۴۵
III	2+055	2+520	۴۶۵	میکا شیست	۱۲۰	۲,۶۵	۲,۷۱	۳,۲۳	۲,۷	۰,۴
IV	2+520	3+000	۴۸۰	اسلیت و ماسه سنگ دگرگونه	۱۳۰	۲,۶۵	۲,۷۴	۳,۵۲	۳	۱,۱

ادامه جدول (۶-۱) ویژگی‌های ژئومکانیکی مسیر تونل انتقال آب گلاب [۱۲۹]

۰,۴۵	۳,۸	۵,۷۸	۲,۶۳	۲,۶۲	۲۲۰	میکاشیست با میان لایه‌هایی از اسلیت، ماسه سنگ و سنگ آهک دگرگونه	۶۶۰	3+660	3+000	V
۰,۲	۲,۷	۹,۳۷	۲,۸۸	۲,۶۵	۳۳۰	میکاشیست و فیلیت	۱۳۱۰	4+970	3+660	VI
۰,۲	۲,۷	۱۱,۴	۲,۸۸	۲,۶۵	۴۰۰	فیلیت و اسلیت	۱۲۸۰	6+250	4+970	VII
۴,۸	۳۲	۱۱,۴۲	۲,۸۳	۲,۸۲	۴۰۰	مونزونیت - دیوریت	۱۹۰	6+440	6+250	VIII
۰,۲	۲,۷	۱۱,۴۳	۲,۶۶	۲,۶۵	۴۳۰	شیل ژوراسیک	۲۱۴۵	8+585	6+440	IX
۴,۸	۳۲	۱۲,۲۷	۲,۸۳	۲,۸۲	۴۵۰	مونزونیت - دیوریت	۳۰۵	8+890	8+585	X
۱,۲۵	۱۰	۱۴,۲	۲,۷	۲,۶۲	۵۳۰	سنگ آهک کرتاسه	۳۲۵	9+215	8+890	XI
۳,۳	۲۲	۱۴,۳۶	۲,۷۲	۲,۶۸	۵۳۰	کنگومرا	۴۹۵	9+770	9+215	XII
۱,۲	۸	۹,۰۱	۲,۶۵	۲,۶۳	۳۴۰	کنگومرای قرمز رنگ قاعده‌ای	۳۹۰	10+160	9+770	XIII
۰,۴۱	۳,۵	۱۱,۷۷	۲,۵۹	۲,۵۲	۲۵۰	شیل و مارن	۸۷۰	11+030	10+160	XIV

پروفیل زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل که توسط مهندسین مشاور ری آب تهیه شده در پیوست ۱ ارائه شده است. این پروفیل حاصل یافته‌های شش روش بررسی گمانه‌های اکتشافی، سنجش از دور، ژئوفیزیک، پیمایش صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و مطالعات دفتری می‌باشد.

در پروفیل فوق‌الذکر ورودی محور تونل اصلی در تراز ۱۹۵۵ متری از سطح دریا و انتهای آن (محل تقاطع با تونل دسترسی) در تراز ۱۹۴۵ متری می‌باشد. ارتفاع برخورد تونل دسترسی به دشت کرون نیز در تراز ۲۱۴۵ متری است. در مرحله اول ترسیم، پروفیل به صورت مقطع زمین‌شناسی ترسیم گردید. این کار با برداشت نقاط ارتفاعی و توپوگرافی از روی نقشه‌های ۱/۴۰۰۰ توپوگرافی در مسیر تونل و سپس جدا کردن لایه‌های زمین‌شناسی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۵۰۰۰ تهیه شده است [۱۳۰].

از ورودی تونل اصلی تا کیلومتر حدود ۷۰۰ + ۶ را عمدتاً سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین (یا

پالئوزوئیک) تشکیل می دهد که خود به زون های A، B و C (که بر اثر خصوصیات و نفوذ توده های آذرین) تقسیم می گردد. از کیلومتر ۶ + ۷۰۰ تا کیلومتر ۸ + ۶۰۰ را سازند کالک اسلیت و ماسه سنگ کمی دگرگون شده ژوراسیک تشکیل می دهد که زون D نامیده شده است.

پیش بینی می شود که یکی از قسمت های مشکل ساز در هنگام حفاری تونل مورد مطالعه، زون D باشد، زیرا علاوه بر ماهیت سست سنگ های این قسمت و RQD پایین، گسل های متعددی نیز در آن شناسایی شده است. پس از این زون، از کیلومتر حدود ۸ + ۶۰۰ تا کیلومتر ۹ + ۸۷۳ را زون E تشکیل می دهد که لیتولوژی آن شامل کنگلومرای مستحکم ائوسن با سیمان آهکی می باشد. مرز این سازند با سازندهای مجاورش به صورت گسله بوده که در تصویر ماهواره ای منطقه کاملاً واضح و مشخص است. این زون یکی از زون های مناسب و پایدار در مسیر مورد مطالعه می باشد ولی هجوم آب از قسمت های خرد شده و گسلی این سازند را نباید نادیده گرفت.

بعد از عبور از زون مذکور، در کیلومتر ۹ + ۸۷۳ از دهانه ورودی، به زون F (با کنتاکت گسلی) خواهیم رسید که از آهک های اربیتولین دار کرتاسه تشکیل شده است. این آهک ها اغلب به صورت آهک ماسه ای بوده که در برخی نقاط به آهک مارنی تبدیل می گردد. مشکلاتی که در برخورد با این سازند پیش بینی می شود، هجوم آب از مناطق خرد شده و شکاف دار آن است. همچنین توجه به کاهش کیفیت سنگ های این سازند، در قسمتهایی که مارن آن افزایش می یابد ضروری است.

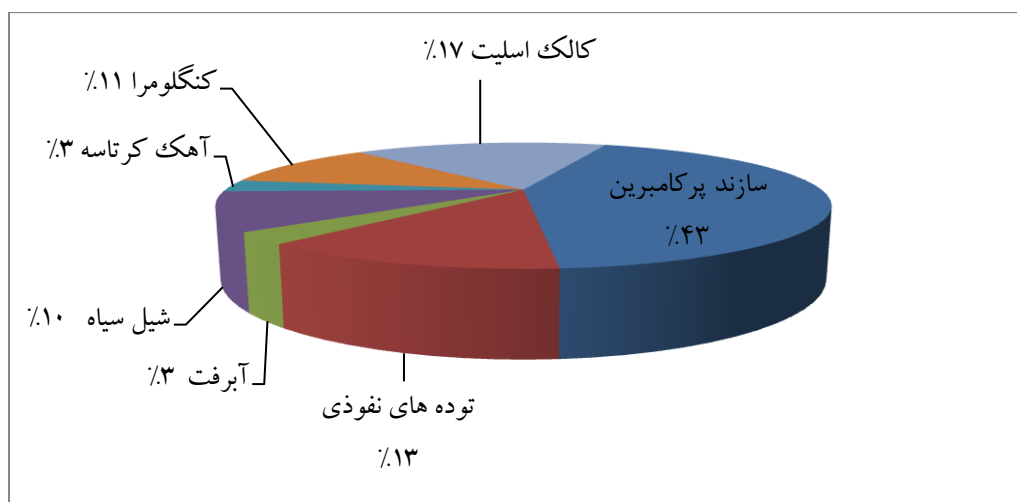
شیل های سیاه ژوراسیک که انتهای مسیر تونل دسترسی را تشکیل می دهند جزء زون G بوده که دارای کنتاکت گسلی با زون F است. این زون در کیلومتر حدود ۱۰ + ۳۰۱ از دهانه ورودی تونل اصلی آغاز می گردد. در این زون هم هجوم آب پیش بینی می گردد.

بعد از زون G در کیلومتر حدود ۱۱ + ۶۹ از دهانه ورودی زون H آغاز می گردد که تا انتهای مسیر مورد مطالعه ادامه دارد. جنس این قسمت از آبرفت های دشت کرون بوده و بخشی از آن در زیر سطح ایستابی و بخشی دیگر در بالای سطح ایستابی قرار می گیرد [۱۲۸ و ۱۲۹].

۶ ۴ مدیریت ریسک تونل انتقال آب گلاب

۶ ۴ ۱- نشت و هجوم آب زیرزمینی در تونل گلاب

با توجه به توزیع سازندهای زمین‌شناسی مسیر تونل مشاهده می‌شود بیشتر مسیر تونل را سازند دگرگونی پرکامبرین تشکیل می‌دهد (شکل ۶-۲)، که واحدهای دگرگونی و آذرین به عنوان واحدهای غیرقابل نفوذ یا با نفوذپذیری کم عمل می‌کنند. بنابراین احتمال نشت آب از این واحدها به درون تونل کم می‌باشد. با توجه به گمانه‌های حفر شده تا محور تونل تمام نمونه‌های تهیه شده خشک است. بررسی هیدروگراف‌های سطح آب در گمانه‌ها و نیز مقدار بارندگی منطقه همگی تایید کننده این مطلب است که تراز سطح آب زیرزمینی پایین‌تر از تراز تونل می‌باشد و تغییرات تراز آب گمانه‌ها تحت تأثیر بارش منطقه است [۱۳۱]. با این حال می‌بایست توجه داشت که حفر تونل ممکن است بر تراز سطح آب زیرزمینی تأثیر گذارد. تنها نگرانی که از آب ورودی به تونل وجود دارد مربوط به محل گسل‌های یادشده در بخش قبل و کنتاکت‌های مربوط به توده‌های نفوذی می‌باشد.



شکل (۶ ۴) نمودار توزیع سازندهای مسیر تونل

۴ ۶ - نشت گاز در تونل گلاب

در کشور ایران لایه‌هایی از سازند شمشک که در سرتاسر کوه‌های البرز و جاهای دیگر یافت می‌شود، ممکن است گازدار باشند [۱۳۲]. (یادآوری می‌شود که قسمتی از تونل مورد پژوهش از سازند شمشک در زون سنندج - سیرجان، عبور می‌کند). دی اکسید گوگرد یک گاز بی رنگ، مضر و خفه کننده است و زمانی که در آب حل شود تشکیل اسید سولفوریک را می‌دهد. این گاز معمولاً به همراه فوران‌های آتشفشانی از زمین خارج می‌شود و یا ممکن است از تجزیه پیریت به وجود آید. لازم به ذکر است که در برخی از نقاط مغزه های حفاری در مسیر تونل مورد مطالعه، پیریت به فراوانی یافت می‌شود و احتمال وجود دی اکسید گوگرد رد نمی‌شود، دی اکسید کربن نیز در برخی تونل‌ها گزارش شده است. این گاز که یک گاز سمی و مضر است، همراه با رسوبات آتشفشانی و سنگ‌های آهنی مشاهده شده است. به هر صورت در جاهایی که بررسی‌های زمین‌شناسی امکان وجود گاز را رد نمی‌کند، باید قبل از کلیه تمهیدات ایمنی از جمله وسایل و تجهیزات حفاری ضد جرقه و سیستم تهویه مناسب در نظر گرفته شده باشد [۱۲۱ و ۱۱۷].

۴ ۶ - پدیده مچاله شوندگی (لهیدگی) در تونل گلاب

با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط واحدی و هم‌متی (۱۳۸۲)، قیاسوند (۱۳۸۵)، شریف زاده و دلبری (۱۳۸۵)، رحیم دل و همکاران (۱۳۹۰)، شریفی و هاشمی (۱۳۹۰) به منظور ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی (لهیدگی) در توده سنگ‌های مسیر تونل انتقال آب گلاب در تحقیقات بخش‌های II، III، IV، V، VI، VII، IX، XI و XIV واجد شرایط مچاله شوندگی شناخته شده‌اند. این بخش‌ها در مجموع ۹۴۸۵ متر از مسیر ۱۱۰۳۰ متری مسیر تونل را شامل شده و اغلب از سنگ‌های دگرگونی ضعیف (اسلیت، فیلیت و شیست) و شیل تشکیل شده‌اند. وجود تورق در این سنگ‌ها نقش مهمی در افزایش رفتار لهیدگی خواهد داشت [۱۳۷-۱۳۳].

از آنجا که تونل گلاب با سطح مقطع کوچک و به روش تمام مقطع حفر خواهد شد، میزان تغییر شکل‌ها و آثار لهیدگی تا حدودی کاهش خواهد یافت. اما از سوی دیگر صاف بودن دیواره‌ها در این روش باعث تمرکز تنش‌ها خواهد شد. [۱۳۶]

جدول (۴ ۶) پیش‌بینی پتانسیل رفتار مجاله شوندگی در بخش‌های مختلف مسیر تونل گلاب [۱۳۶]

(*-دارای پتانسیل لهیدگی، *-لهیدگی کم، **-لهیدگی متوسط، ***-لهیدگی زیاد)

روش ارزیابی								بخش تونل
روشهای کمی				روشهای کیفی				
روش هوک ومارینوس (۲۰۰۰)	روش باسین وگریمستاد (۱۹۹۶)	روش ISRMI	روش Barla (۱۹۹۵)	روش آیدان و همکاران (۱۹۹۳)	روش جتوا و همکاران (۱۹۸۴)	روش گوئل و همکاران (۱۹۹۵)	روش سینگ و همکاران (۱۹۹۲)	
								I
	**	**	*	***	**			II
	**	**	*	***	*			III
	**	**	*	***	*			IV
	**	*	*	***	**			V
*	***	**	**	***	***	*	*	VI
*	***	**	**	***	***	*	*	VII
								VIII
*	***	**	**	***	***	*	*	IX
								X
	**	**	*	***	*	*	*	XI
	*	*		***	*			XII
	**	*	*	***	*			XIII
*	***	*	**	***	***			XIV

۴ ۶ - تورم سنگ‌های رسی در تونل گلاب

با توجه به نمونه‌های بدست آمده از گمانه‌های اکتشافی و مطالعات ژئوفیزیک مبنی بر وجود اندک کانی‌های رسی در شیل‌های مسیر تونل و پایین‌تر بودن تراز سطح آب زیرزمینی از تراز تونل احتمال وقوع این پدیده ضعیف است. البته می‌بایست جهت بررسی بیشتر در مناطق کنتاکت گسلی و در مناطق پیریت دار آزمایش‌های تورم صورت پذیرد. همچنین به منظور رفتار سنجی تورم سنگ می‌بایست مشخصات سنگ شامل نوع و مقدار کانی‌های رسی، چگالی خشک، درصد رطوبت، ساختار

خاک، سطح الکترولیت‌ها در آب، مقدار آب باعث تورم و مقدار تنش مشخص شود [۱۳۸ و ۱۳۰].

۶ ۴ ۵ - ناپایداری سینه کار در تونل گلاب

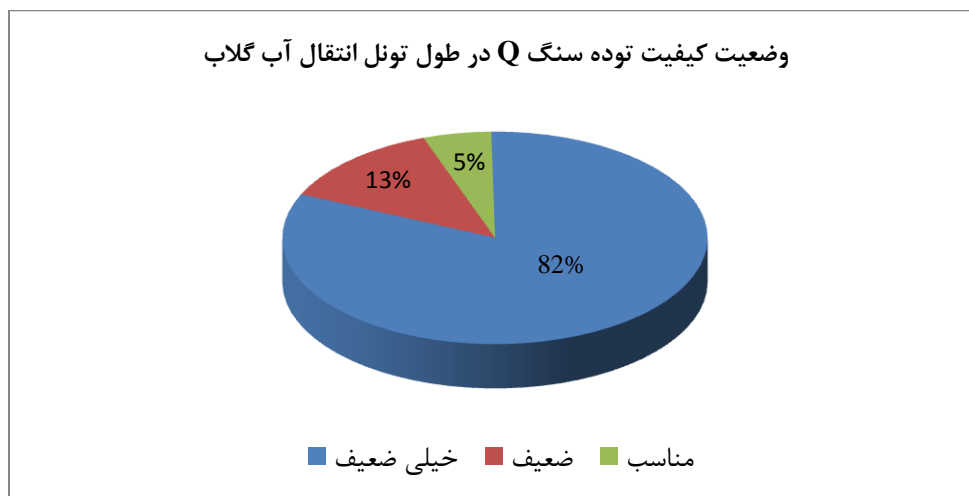
ناپیوستگی‌هایی که بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی توده سنگ‌های منطقه تأثیر مستقیم دارند، به سه دسته شامل سطوح لایه بندی، تورق (شیستوزیته) و درزه‌های ساختاری تقسیم می‌شوند. درزه‌ها پدیده‌هایی هستند که کاملاً به تکتونیک و شرایط ساختاری منطقه وابسته هستند (از نظر جهت داری، فاصله داری، تعداد و ...). سطوح لایه بندی نیز پدیده‌هایی چینه‌شناسی هستند که ویژگی‌های آن‌ها به شرایط رسوب گذاری منطقه بستگی کامل دارد. سطوح تورق و شیستوزیته نیز بیانگر خصوصیات ذاتی سنگ و عملکرد پدیده متامورفیسم (دگرگونی) در منطقه می‌باشند. از میان انواع ناپیوستگی‌ها در واحدهای سنگی مورد مطالعه، به دلیل شدت تورق و شیستوزیته موجود در سنگ و همچنین به دلیل روباره زیاد و خواص ژئومکانیکی ضعیف در مقاطع مورد بررسی، عامل تورق و شیستوزیته مهم‌ترین نقش را دارد و تأثیر سایر ناپیوستگی‌ها در صورت وجود ناچیز است. با توجه به مطالعات ژئوتکنیکی انجام گرفته، گسل‌های متعددی در مسیر تونل شناسایی شده است که پهنه‌های خرد شده‌ای را ایجاد نموده‌اند (جدول ۶-۳). همچنین بخش‌های وسیعی از تونل توسط سنگ‌های خیلی ضعیف و ضعیف قرار دارد، بنابراین امکان وقوع ناپایداری در سینه کار تونل به هنگام حفاری بسیار محتمل است. (شکل ۶-۳) [۱۳۹ و ۱۳۰].

جدول (۶ ۴) گسل‌های مسیر تونل انتقال آب گلاب [۱۳۰]

متر از تونل	نام گسل	طول تقریبی گسل (کیلومتر)
0+560	F1	۷
1+065		۵
2+055	گسل جنوبی	۵
2+250	گسل جنوبی	۶
3+450	اوزون اختر - گنجگاه	۶
3+655	F2	۶

ادامه جدول (۳-۶) گسل‌های مسیر تونل انتقال آب گلاب [۱۳۰]

4+640		۶
6+150	F4	۱۱
6+955	بازه-کله-کپهوز	۶
8+885	پرپر-گدارسرخ	۶
9+310	گسل جنوبی	۱۱
9+310	F7-8	۱۰



شکل (۶ ۳) وضعیت کیفیت توده سنگ در طول تونل انتقال آب گلاب

۶ ۴ ۶ - ناپایداری دیوار و سقف تونل گلاب

در ماشین‌های تمام مقطع باز^۱ ناپایداری دیوارهای تونل عاملی محدود کننده محسوب می‌شود، به خصوص زمانی که ناپایداری بلافاصله در پشت کاترهد ایجاد شود. در این شرایط علاوه بر کاهش شدید بازدهی حفاری، نصب سیستم نگهداری و عملکرد گریپرها نیز با مشکل روبرو خواهد شد. لازم به ذکر است که ناپایداری‌های دیواره تونل به طور مستقیم تأثیر چندانی در حفر تونل با ماشین سپردار نخواهد داشت، لیکن در ماشین سپردار تلسکوپی در صورت عدم امکان به کارگیری گریپرها به

^۱ Open TBM

دلیل سست بودن دیواره‌ها، نرخ پیشروی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

با بررسی وضعیت ناپیوستگی‌ها و همچنین جنس توده سنگ‌ها در مسیر تونل انتقال آب گلاب، تشکیل بلوک‌های سنگی کوچک در زون‌های خرد شده و گسله و بخش‌هایی از مسیر قابل انتظار است. این بلوک‌ها با توجه به ابعاد کوچک، آسیبی به سگمنت‌های نصب شده وارد نمی‌آورند، لیکن می‌توانند در تزریق شن‌های نخودی به پشت سگمنت، مشکلاتی ایجاد نموده و موجب توزیع بار غیریکنواخت در اطراف سگمنت شود. از این رو می‌بایست در مراحل طراحی سگمنت این موضوع مد نظر قرار گیرد.

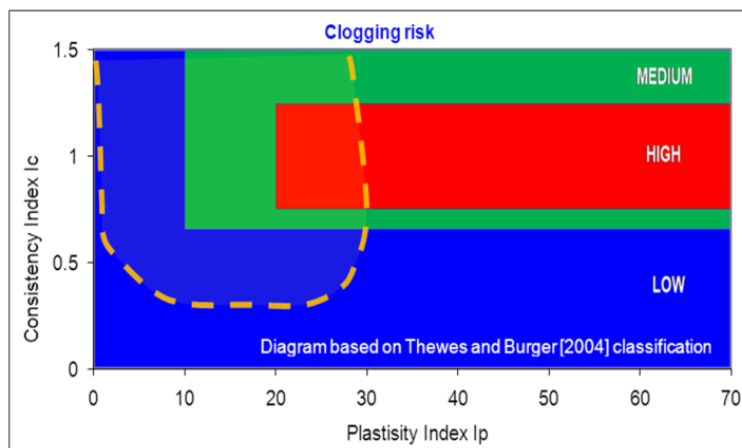
جهت مطالعه بیشتر پیرامون بار وارد بر سگمنت و تنش‌های ایجاد شده در آن می‌توان به مقاله واحدی و همتی (۱۳۸۲) و گزارش طراحی و روش اجرای فضاهای زیرزمینی پروژه گلاب (۱۳۸۴) مراجعه کرد [۱۴۰ و ۱۳۷].

۶ ۷ ۷ - سینه کار مختلط در تونل گلاب

در مسیر تونل انتقال آب گلاب در محل زون‌های گسله، امکان برخورد با سینه کار مختلط وجود دارد. همچنین با توجه به این که راستای تونل عمود بر ساختار زمین‌شناسی منطقه است و همچنین عمده واحدهای سنگی در مسیر تونل، دارای شیب تقریباً ۵۰ درجه هستند، لذا احتمال رخداد این پدیده در محل کنتاکت واحدهای زمین‌شناسی با لیتولوژی متفاوت بیشترین مقدار خواهد بود. در صورت وجود این شرایط، افزایش لرزش ماشین ابراتور را از وجود تناوب سنگ‌های سخت و نرم در سینه کار تونل آگاه می‌کند.

۶ ۴ ۸ - چسبناکی خاک‌ها و سنگ‌های رسی در تونل گلاب

عوامل تعیین کننده برای بروز چسبناکی و انسداد، وجود آب و کانی‌های رسی تورم پذیر می‌باشد. به عبارت دیگر درجه چسبناکی وابسته به شاخص استحکام (Ic) است به گونه‌ای که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود بر اساس این پارامتر و شاخص خمیری (PI) خطر انسداد ماشین به سه رده خطر بالا، متوسط و پایین تقسیم بندی شده است. [۱۲۷]



شکل (۴ ۶) نمودار خطر انسداد برای ماشین به سبب کانی‌های رسی [۱۲۷]

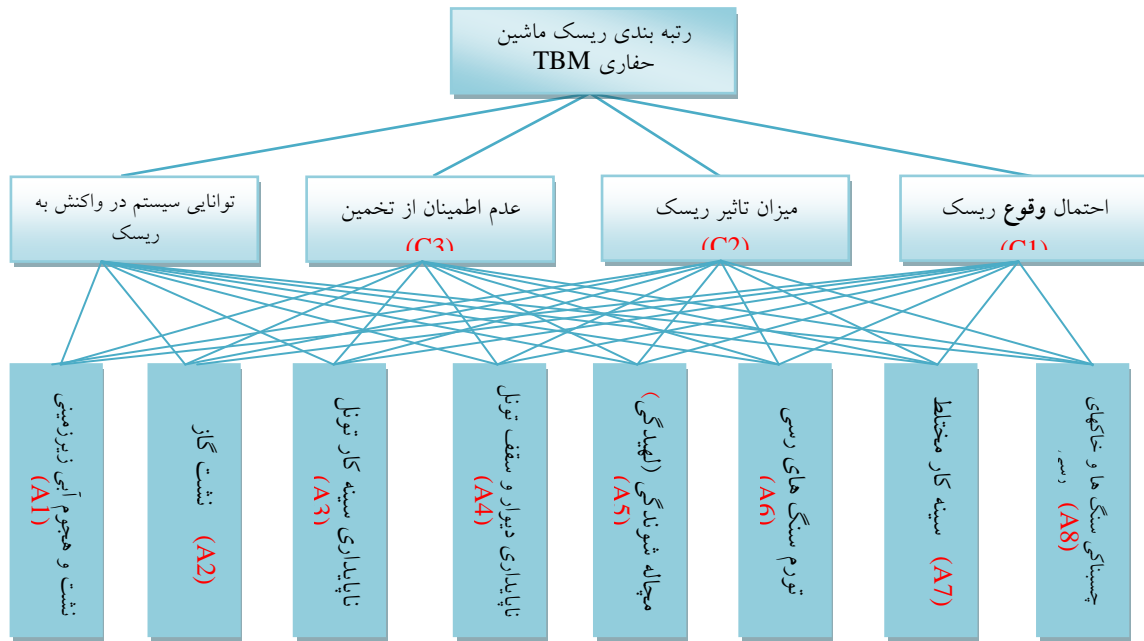
شاخص استحکام بر اساس حد روانی (LL)، حد خمیری (PL)، شاخص خمیری (PI) و درصد رطوبت طبیعی سنگ‌های رسی (W) محاسبه می‌گردد. از آنجا که حد روانی و خمیری از جمله ویژگی‌های زمین‌شناسی و ذاتی کانی‌های رسی محسوب می‌گردند، شاخص استحکام برای یک کانی رسی مشخص ثابت است، ولی چون درصد رطوبت طبیعی در بخش‌های مختلف تونل می‌تواند متفاوت باشد، بنابراین برای یک کانی رسی مشخص، شاخص استحکام و به طبع آن پتانسیل خطر گل‌گرفتنی می‌تواند در قسمت‌های مختلف تونل متفاوت باشد [۱۲۷].

با توجه به عدم وجود رطوبت در گمانه‌های حفر شده و وجود مقدار اندکی رس در ترکیبات شیلی احتمال وقوع چسبندگی سنگ‌های رسی اندک می‌باشد با این حال در مناطق کنتاکت‌های گسلی که احتمال نشت آب وجود دارد و همچنین در سازندهای شیل دار می‌بایست این پدیده را مورد توجه قرار داد.

۶ ۸ ارزیابی ریسک تونل انتقال آب گلاب

به منظور تعیین ریسک زمین شناسی در ماشین حفاری تمام مقطع TBM در تونل انتقال آب گلاب ریسک‌های نشت و هجوم آب زیرزمینی، نشت گاز، ناپایداری سینه کار تونل، ناپایداری دیوار و سقف تونل، مچاله شوندگی (لهیدگی)، تورم سنگ‌های رسی، سینه کار مختلط، چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی، ترکیدن سنگ، برخورد با کارست، برخورد با زون‌های گسلی، ساینده‌گی سنگ و خاک بر اساس تجربه تعریف گردید، لیکن پس از برگزاری جلسات مختلف مشورتی با صاحب‌نظران و تلفیق و حذف برخی از معیارهای اولیه، تعداد آن‌ها تقلیل یافت و در نهایت، ۸ ریسک در حوزه‌های مختلف از جمله نشت و هجوم آب زیرزمینی (A1)، نشت گاز (A2)، ناپایداری سینه کار تونل (A3)، ناپایداری دیوار و سقف تونل (A4)، مچاله شوندگی (لهیدگی) (A5)، تورم سنگ‌های رسی (A6)، سینه کار مختلط (A7) و چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی (A8) تعریف گردید. بعنوان مثال ریسک برخورد با زون های گسلی با ریسک های ناپایداری دیوار و سقف تونل ، ناپایداری سینه کار تونل ، تورم سنگ های رسی ، نشت و هجوم آب زیرزمینی و گاز تلفیق شده است.

لازم به یادآوری است همان‌طور که در فصل‌های دوم و سوم اشاره شد شاخص‌های تصمیم‌گیری این مسأله شامل احتمال وقوع ریسک (C1)، میزان تأثیر ریسک بر هزینه ، زمان و کیفیت پروژه (C2) ، میزان عدم اطمینان از تخمین (C3) و توانایی سازمان در واکنش به ریسک (C4) می‌باشند. ساختار سلسله مراتبی مسأله به صورت شکل (۶-۵) می‌باشد.



شکل (۶-۵) ساختمان سلسله مراتبی رتبه بندی ریسک ماشین حفاری TBM

پس از بررسی در منابع علمی و استفاده از نظر متخصصان پیرامون شاخص های تصمیم گیری در تونل انتقال آب گلاب و با توجه به مطالب ارائه شده در این فصل می توان احتمال وقوع ریسک، میزان تأثیر ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت پروژه، میزان عدم اطمینان از تخمین و توانایی مدیریت پروژه در واکنش به ریسک را به صورت جداول (۶-۴ تا ۶-۷) زیر نشان داد.

جدول (۶-۴) احتمال وقوع ریسک در تونل انتقال آب گلاب

احتمال وقوع ریسک					رویداد ریسک
خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	
	*				نشت و هجوم آب زیرزمینی
*					نشت گاز
			*		ناپایداری سینه کار تونل
		*			ناپایداری دیوار و سقف تونل
				*	مچاله شوندهگی (لهیدگی)
	*				تورم سنگ های رسی
	*				سینه کار مختلط
*					چسبناکی سنگ ها و خاک های رسی

جدول (۶ ۵) میزان تأثیر ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت پروژه در تونل انتقال آب گلاب

میزان تأثیر ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت پروژه						رویداد ریسک
کمتر از ۱۰٪	۱۰٪-۳۰٪	۳۰٪-۵۰٪	۵۰٪-۷۰٪	۷۰٪-۹۰٪	بیشتر از ۹۰٪	
		*				نشست و هجوم آب زیرزمینی
	*					نشست گاز
			*			ناپایداری سینه کار تونل
		*				ناپایداری دیوار و سقف تونل
				*		مچاله شوندگی (لهیدگی)
	*					تورم سنگ‌های رسی
	*					سینه کار مختلط
	*					چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی

جدول (۶ ۶) میزان عدم اطمینان از تخمین در تونل انتقال آب گلاب

میزان عدم اطمینان از تخمین						رویداد ریسک
کمتر از ۱۰٪	۱۰٪-۳۰٪	۳۰٪-۵۰٪	۵۰٪-۷۰٪	۷۰٪-۹۰٪	بیشتر از ۹۰٪	
		*				نشست و هجوم آب زیرزمینی
	*					نشست گاز
	*					ناپایداری سینه کار تونل
		*				ناپایداری دیوار و سقف تونل
	*					مچاله شوندگی (لهیدگی)
	*					تورم سنگ‌های رسی
	*					سینه کار مختلط
		*				چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی

جدول (۶ ۴) توانایی سازمان در واکنش به ریسک در تونل انتقال آب گلاب

توانایی سازمان در واکنش به ریسک					رویداد ریسک
پایه کم	پایه متوسط	پایه زیاد	پایه بسیار زیاد	پایه کم	
		*			نشت و هجوم آب زیرزمینی
*					نشت گاز
		*			ناپایداری سینه کار تونل
			*		ناپایداری دیوار و سقف تونل
	*				مچاله شوندگی (لهیدگی)
	*				تورم سنگ‌های رسی
	*				سینه کار مختلط
	*				چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی

۶ ۹ - رتبه بندی ریسک با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

۶ ۹ ۱ - رسم نمودار سلسله مراتبی

نمودار سلسله مراتبی در واقع نشان دهنده استراتژی تصمیم گیرنده به صورت گرافیکی می باشد که در مسئله رتبه بندی ریسک ماشین حفاری TBM به صورت شکل ۶-۵ است.

۶ ۹ ۴ - محاسبه وزن عناصر در روش سلسله مراتبی

در این مرحله با تشکیل ماتریس های مقایسه زوجی، باید اولویت معیارهای مختلف برای رسیدن به هدف تعیین شود. در این تحقیق بردارهای وزن از روش بردار ویژه به دست آمده است. ماتریس های مقایسه زوجی و بردار وزن برای معیارهای مختلف به شرح زیر است.

شکل (۶ ۶) ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها

	C1	C2	C3	C4	وزن
C1	1	0.333	0.5	1	0.136
C2	3	1	2	4	0.470
C3	2	0.5	1	3	0.280
C4	1	0.25	0.333	1	0.114

مقایسه زوجی معیارها

معیار	وزن
C1	0.136
C2	0.47
C3	0.28
C4	0.114

پس از تحلیل جداول ۶-۴ تا ۶-۷، جدول ۶-۸ حاصل شد. در این رتبه بندی، زیاد بودن مقدار شاخص های احتمال و تأثیر موجب افزایش رتبه ریسک و زیاد شدن مقدار شاخص های عدم اطمینان و توانایی سازمان در واکنش به ریسک موجب کاهش رتبه ریسک می گردد. بدین معنی که در مورد هر ریسک شاخص احتمال و تأثیر بالاتر باشد، آن ریسک دارای اهمیت بیشتری بوده و رتبه آن بالاتر

خواهد بود. عکس این موضوع نیز در مورد دو شاخص عدم اطمینان از تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک صادق است [۷۵ و ۴۰].

جدول (۶ ا) نتایج ارزیابی ریسک

توانایی سازمان در واکنش به ریسک	میزان عدم اطمینان از تخمین	میزان تأثیر ریسک	احتمال وقوع ریسک	رویداد ریسک
متوسط	۳۰٪-۵۰٪	۳۰٪-۵۰٪	کم	نشست و هجوم آب زیرزمینی
خیلی کم	۱۰٪-۳۰٪	۱۰٪-۳۰٪	خیلی کم	نشست گاز
متوسط	۱۰٪-۳۰٪	۵۰٪-۷۰٪	زیاد	ناپایداری سینه کار تونل
زیاد	۳۰٪-۵۰٪	۳۰٪-۵۰٪	متوسط	ناپایداری دیوار و سقف تونل
کم	۱۰٪-۳۰٪	۷۰٪-۹۰٪	خیلی زیاد	مچاله شوندگی (لهیدگی)
کم	۱۰٪-۳۰٪	۱۰٪-۳۰٪	کم	تورم سنگ‌های رسی
کم	۱۰٪-۳۰٪	۱۰٪-۳۰٪	کم	سینه کار مختلط
کم	۳۰٪-۵۰٪	۱۰٪-۳۰٪	خیلی کم	چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی

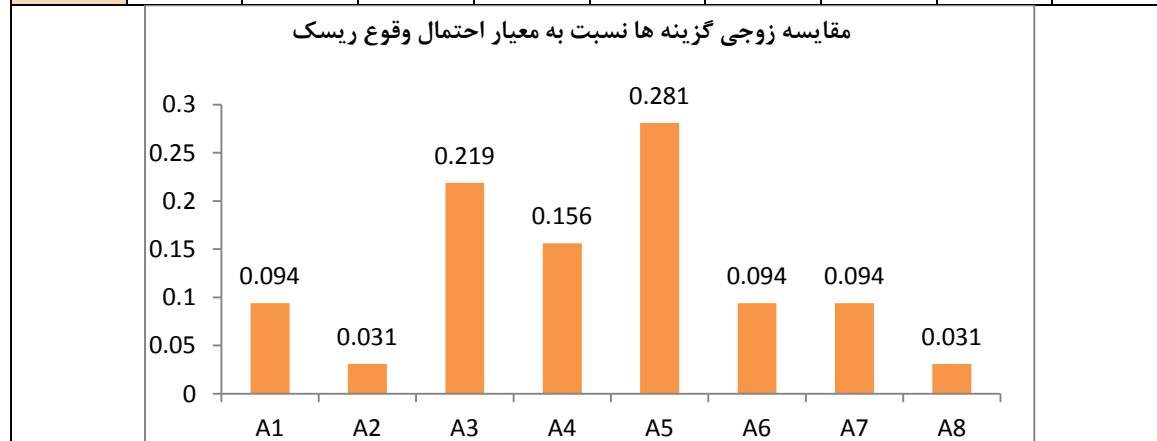
برای کمی کردن شاخص‌های کیفی از مقیاس دوقطبی استفاده شده است. ماتریس کمی شده مسأله رتبه بندی ریسک‌ها در جدول ۶-۹ آورده شده است.

جدول (۶ ب) ماتریس کمی مسأله رتبه بندی ریسک

توانایی سازمان در واکنش به ریسک	میزان عدم اطمینان از تخمین	میزان تأثیر ریسک	احتمال وقوع ریسک	رویداد ریسک
۵	۴۰	۴۰	۳	نشست و هجوم آب زیرزمینی
۹	۲۰	۲۰	۱	نشست گاز
۵	۲۰	۶۰	۷	ناپایداری سینه کار تونل
۳	۴۰	۴۰	۵	ناپایداری دیوار و سقف تونل
۷	۲۰	۸۰	۹	مچاله شوندگی (لهیدگی)
۷	۲۰	۲۰	۳	تورم سنگ‌های رسی
۷	۲۰	۲۰	۳	سینه کار مختلط
۷	۴۰	۲۰	۱	چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی

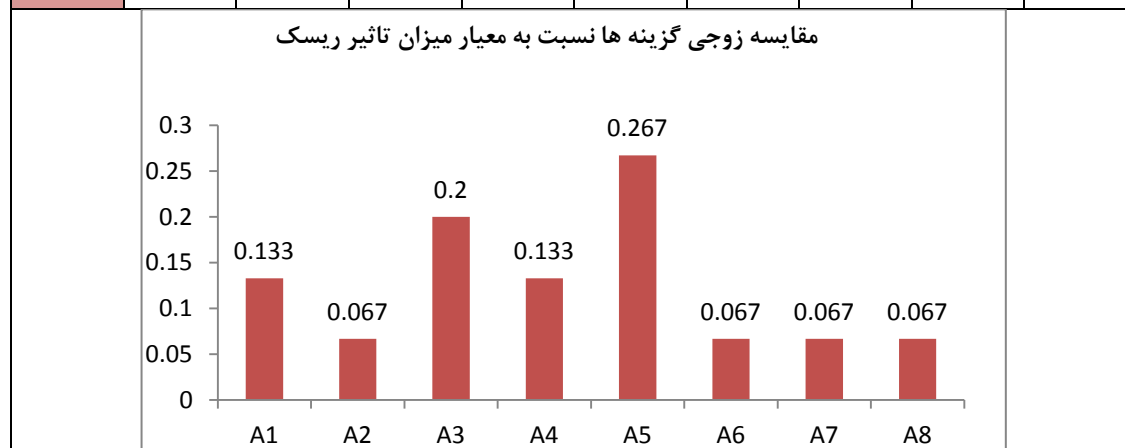
ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیارهای احتمال وقوع ریسک، میزان تأثیر ریسک، توانایی میزان عدم قطعیت از تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک بر اساس اطلاعات جدول ۶-۹ بدست آمده است.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	وزن
A1	1	3	0.429	0.6	0.333	1	1	3	0.094
A2	0.333	1	0.143	0.2	0.111	0.333	0.333	1	0.031
A3	2.333	7	1	1.4	0.778	2.333	2.333	7	0.219
A4	1.667	5	0.714	1	0.556	1.667	1.667	5	0.156
A5	3	9	1.286	1.8	1	3	3	9	0.281
A6	1	3	0.429	0.6	0.333	1	1	3	0.094
A7	1	3	0.429	0.6	0.333	1	1	3	0.094
A8	0.333	1	0.143	0.2	0.111	0.333	0.333	1	0.031



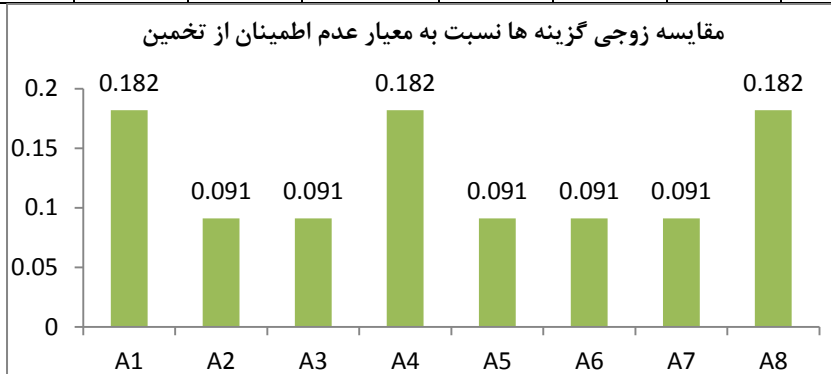
شکل (۶) ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار احتمال وقوع ریسک

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	وزن
A1	1	2	0.667	1	0.5	2	2	2	0.133
A2	0.5	1	0.333	0.5	0.25	1	1	1	0.067
A3	1.5	3	1	1.5	0.75	3	3	3	0.2
A4	1	2	0.667	1	0.5	2	2	2	0.133
A5	2	4	1.333	2	1	4	4	4	0.267
A6	0.5	1	0.333	0.5	0.25	1	1	1	0.067
A7	0.5	1	0.333	0.5	0.25	1	1	1	0.067
A8	0.5	1	0.333	0.5	0.25	1	1	1	0.067



شکل (۶) ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار میزان تأثیر ریسک

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	وزن
A1	1	2	2	1	2	2	2	1	0.182
A2	0.5	1	1	0.5	1	1	1	0.5	0.091
A3	0.5	1	1	0.5	1	1	1	0.5	0.091
A4	1	2	2	1	2	2	2	1	0.182
A5	0.5	1	1	0.5	1	1	1	0.5	0.091
A6	0.5	1	1	0.5	1	1	1	0.5	0.091
A7	0.5	1	1	0.5	1	1	1	0.5	0.091
A8	1	2	2	1	2	2	2	1	0.182



شکل (۶-۹) ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار عدم اطمینان از تخمین

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	وزن
A1	1	0.556	1	1.667	0.714	0.714	0.714	0.714	0.1
A2	1.8	1	1.8	3	1.286	1.286	1.286	1.286	0.18
A3	1	0.556	1	1.667	0.714	0.714	0.714	0.714	0.1
A4	0.6	0.333	0.6	1	0.429	0.429	0.429	0.429	0.06
A5	1.4	0.778	1.4	2.333	1	1	1	1	0.14
A6	1.4	0.778	1.4	2.333	1	1	1	1	0.14
A7	1.4	0.778	1.4	2.333	1	1	1	1	0.14
A8	1.4	0.778	1.4	2.333	1	1	1	1	0.14



شکل (۶-۱۰) ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار توانایی سیستم در واکنش به ریسک

۴ ۹ ۶ - محاسبه نرخ ناسازگاری

در جدول ۶-۱۰ مقادیر λ_{max} شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ ناسازگاری ماتریس های مقایسه زوجی درج شده اند. ملاحظه می شود که شاخص ناسازگاری و نرخ ناسازگاری برای همه ماتریس ها کمتر از ۰/۱ است که این دلالت بر قضاوت منطقی ارائه شده در خصوص مقایسه زوجی پارامترها و گزینه ها دارد. در صورتی که نرخ ناسازگاری محاسبه شده در این جدول برای هریک از پارامترها از عدد ۰/۱ بیشتر شده بود، می بایست مقایسه زوجی مربوط به آن معیار مورد بازنگری قرار می گرفت.

جدول (۶-۱۰) مقادیر λ_{max} شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ ناسازگاری ماتریس های مقایسه زوجی

نرخ ناسازگاری	شاخص ناسازگاری تصادفی	شاخص ناسازگاری	λ_{max}	وزن	
۰.۰۱۱۴۷	۰.۹	۰.۰۱۰۳۲۶	۴.۰۳۰۹	۱	هدف
۰	۱.۴۱	۰	۸	۰.۱۳۶	احتمال وقوع ریسک
۰	۱.۴۱	۰	۸	۰.۴۷۰	میزان تأثیر ریسک
۰	۱.۴۱	۰	۸	۰.۲۸۰	عدم اطمینان از تخمین
۰.۰۰۰۰۰۴	۱.۴۱	۰.۰۰۰۰۰۶	۸.۰۰۰۰۴	۰.۱۱۴	توانایی سیستم در واکنش به ریسک

نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی نیز برابر است با:

$$I.R = \frac{\bar{I}}{R.II} = \frac{0.010326 \times 1 + 0.136 \times 0 + 0.470 \times 0 + 0.280 \times 0 + 0.114 \times 0.00006}{0.9 \times 1 + 1.41 \times 0.136 + 1.41 \times 0.470 + 1.41 \times 0.280 + 1.41 \times 0.114} = 0.00447 < 0.1$$

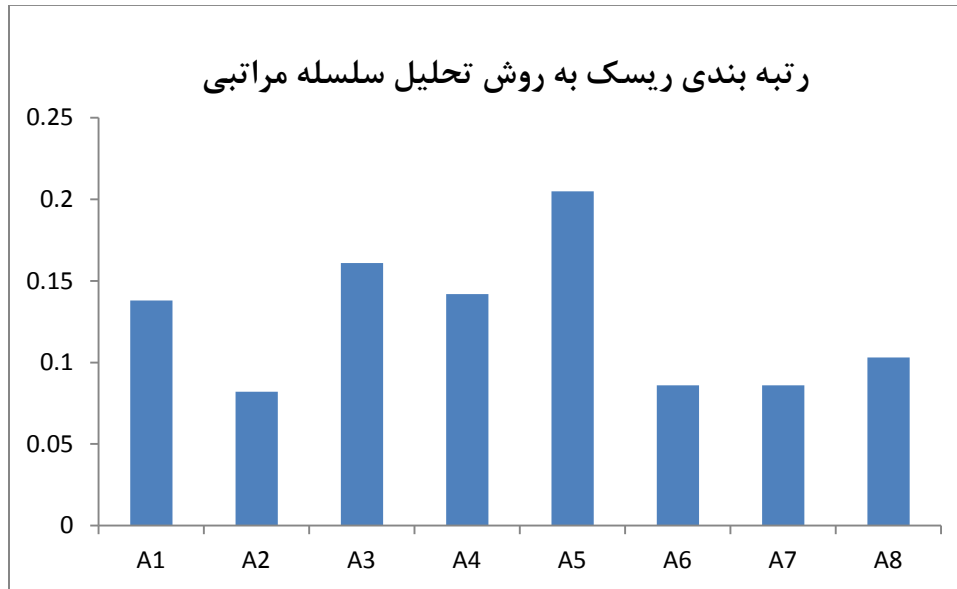
نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی نیز کمتر از ۰/۱ است، لذا قضاوتها منطقی است.

۴ ۹ ۶ - محاسبه امتیاز هر یک از ریسکها

اکنون امتیاز هر یک از ریسکها با توجه به بردارهای وزن محاسبه شده است:

$$\begin{bmatrix} 0.094 & 0.133 & 0.182 & 0.1 \\ 0.031 & 0.067 & 0.091 & 0.18 \\ 0.219 & 0.2 & 0.091 & 0.1 \\ 0.156 & 0.133 & 0.182 & 0.06 \\ 0.281 & 0.267 & 0.091 & 0.14 \\ 0.094 & 0.067 & 0.091 & 0.14 \\ 0.094 & 0.067 & 0.091 & 0.14 \\ 0.031 & 0.067 & 0.182 & 0.14 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.136 \\ 0.470 \\ 0.280 \\ 0.114 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.138 \\ 0.082 \\ 0.161 \\ 0.142 \\ 0.205 \\ 0.086 \\ 0.086 \\ 0.103 \end{bmatrix}$$

با توجه به این محاسبات رتبه بندی ریسک ماشین حفاری TBM در تونل انتقال آب گلاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به صورت $(A5 > A3 > A4 > A1 > A8 > A6 = A7 > A2)$ است.



شکل (۶-۱۴) رتبه بندی ریسک زمین شناسی به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی

۶-۱۰ رتبه بندی ریسک با روش شباهت به گزینه ایده آل (TOPSIS)

به منظور رتبه بندی ریسک با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل به جای گزینه‌ها در این روش، ریسک‌های مختلف و به جای شاخص‌های تصمیم‌گیری نیز شاخص‌های ارزیابی ریسک (میزان تأثیر، احتمال وقوع ریسک، عدم اطمینان از تخمین و توانایی سیستم در واکنش به ریسک) قرار گرفته است.

در جدول شماره ۶-۱۱، ماتریس بی‌مقیاس شده مسأله رتبه بندی ریسک به کمک رابطه شماره ۴-۸ محاسبه گردیده است.

جدول (۶-۱۱) ماتریس بی‌مقیاس شده مسأله رتبه بندی ریسک

رویداد ریسک	احتمال وقوع ریسک	میزان تأثیر ریسک	میزان عدم اطمینان از تخمین	توانایی سازمان در واکنش به ریسک
نشت و هجوم آب زیرزمینی	۰.۲۲۱	۰.۳۲۹	۰.۴۸۵	۰.۲۷۳
نشت گاز	۰.۰۷۴	۰.۱۶۴	۰.۲۴۳	۰.۴۹۱
ناپایداری سینه کار تونل	۰.۵۱۶	۰.۴۹۳	۰.۲۴۳	۰.۲۷۳
ناپایداری دیوار و سقف تونل	۰.۳۶۹	۰.۳۲۹	۰.۴۸۵	۰.۱۶۴
مچاله شوندگی (لهیدگی)	۰.۶۶۳	۰.۶۵۸	۰.۲۴۳	۰.۳۸۲
تورم سنگ‌های رسی	۰.۲۲۱	۰.۱۶۴	۰.۲۴۳	۰.۳۸۲
سینه کار مختلط	۰.۲۲۱	۰.۱۶۴	۰.۲۴۳	۰.۳۸۲
چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی	۰.۰۷۴	۰.۱۶۴	۰.۴۸۵	۰.۳۸۲

پس از تعریف ریسک‌های اولیه، نیاز به تعیین اهمیت نسبی ریسک‌ها بر اساس یک روش علمی مشخص است این اوزان توسط ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها در روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شده و در جدول ۶-۱۲ نشان داده شده است.

جدول (۶-۱۴) اهمیت نسبی معیارها

اهمیت نسبی معیارها	احتمال وقوع ریسک	میزان تأثیر ریسک	عدم اطمینان از تخمین	توانایی سیستم در واکنش به ریسک
۰,۱۳۶	۰,۴۷۰	۰,۲۸۰	۰,۱۱۴	

در جدول شماره ۶-۱۳، ماتریس بی مقیاس وزن دار به کمک جدول شماره ۶-۱۱ و ۶-۱۲ محاسبه گردیده است.

جدول (۶ ۱۳) ماتریس بی مقیاس وزن دار مسأله رتبه بندی ریسک

توانایی سازمان در واکنش به ریسک	میزان عدم اطمینان از تخمین	میزان تأثیر ریسک	احتمال وقوع ریسک	رویداد ریسک
۰.۰۳۱	۰.۱۳۶	۰.۱۵۵	۰.۰۳	نشست و هجوم آب زیرزمینی
۰.۰۵۶	۰.۰۶۸	۰.۰۷۷	۰.۰۱	نشست گاز
۰.۰۳۱	۰.۰۶۸	۰.۲۳۲	۰.۰۷	ناپایداری سینه کار تونل
۰.۰۱۹	۰.۱۳۶	۰.۱۵۵	۰.۰۵	ناپایداری دیوار و سقف تونل
۰.۰۴۴	۰.۰۶۸	۰.۳۰۹	۰.۰۹	مچاله شوندگی (لهیدگی)
۰.۰۴۴	۰.۰۶۸	۰.۰۷۷	۰.۰۳	تورم سنگ‌های رسی
۰.۰۴۴	۰.۰۶۸	۰.۰۷۷	۰.۰۳	سینه کار مختلط
۰.۰۴۴	۰.۱۳۶	۰.۰۷۷	۰.۰۱	چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی

فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل و شاخص شباهت برای هر یک از گزینه‌ها به صورت جدول ۶-۱۴ است :

$$A^* = \{0.09, 0.309, 0.08, 0.068, 0.019\} \quad \text{حل ایده آل } (A^*) :$$

$$A^- = \{0.01, 0.077, 0.136, 0.056\} \quad \text{حل ضدایده آل } (A^-) :$$

جدول (۶ ۱۴) فاصله از حل ایده آل ، ضد ایده آل و شاخص شباهت

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
فاصله از حل ایده آل	۰.۱۷۹	۰.۲۴۸	۰.۰۸	۰.۱۷۳	۰.۰۲۵	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۵۶
فاصله از حل ضد ایده آل	۰.۰۸۴	۰.۰۶۸	۰.۱۸۱	۰.۰۹۵	۰.۲۵۵	۰.۰۷۲	۰.۰۷۲	۰.۰۱۲
شاخص شباهت	۰.۳۲۰	۰.۲۱۵	۰.۶۹۳	۰.۳۵۴	۰.۹۱۱	۰.۲۲۹	۰.۲۲۹	۰.۰۴۵

با توجه به مقادیر شاخص شباهت برای گزینه‌های مختلف، نتایج رتبه بندی ریسک‌ها با تکنیک شباهت به گزینه ایده آل به صورت $(A5 > A3 > A4 > A1 > A6 = A7 > A2 > A8)$ است.



شکل (۶ ۱۴) رتبه بندی ریسک زمین شناسی به کمک روش شباهت به گزینه ایده آل

۱۱ ۶ - رتبه بندی ریسک با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

۱۱ ۶ ۱ - رسم نمودار سلسله مراتبی

نمودار سلسله مراتبی همانند شکل شماره ۶-۵ می‌باشد.

۱۱ ۶ ۴ - تعریف اعداد فازی

در این تحقیق برای رتبه بندی گزینه‌های احتمال وقوع ریسک و توانایی سازمان در واکنش به ریسک که متغیرهای زبانی می‌باشند از جدول (۶-۱۵)، برای رتبه بندی گزینه‌های میزان تأثیر ریسک و میزان عدم اطمینان از تخمین که متغیر عددی می‌باشند، از جدول (۶-۱۶) استفاده شده است. با توجه به تشکیل ماتریس مقایسه زوجی اهمیت معیارها در روش تحلیل سلسله مراتبی، از اعداد فازی مثلثی که به صورت جدول (۶-۱۷) می‌باشند جهت تعریف درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی فازی اهمیت معیارها استفاده شده است.

جدول (۶ ۱۵) متغیر زبانی برای رتبه بندی گزینه‌ها

متغیر زبانی	عدد فازی متناظر
خیلی ضعیف (VP)	(۱ و ۱ و ۳)
ضعیف (P)	(۱ و ۳ و ۵)
متوسط (F)	(۳ و ۵ و ۷)
خوب (G)	(۵ و ۷ و ۹)
خیلی خوب (VG)	(۷ و ۹ و ۱۱)

جدول (۶ ۱۶) متغیر عددی برای رتبه بندی گزینه‌ها

متغیر عددی	عدد فازی متناظر
کمتر از ۱۰٪	(۰ و ۰ و ۱)
۱۰٪ - ۳۰٪	(۱ و ۲ و ۳)
۳۰٪ - ۵۰٪	(۳ و ۴ و ۵)
۵۰٪ - ۷۰٪	(۵ و ۶ و ۷)
۷۰٪ - ۹۰٪	(۷ و ۸ و ۹)
بیشتر از ۹۰٪	(۹ و ۱۰ و ۱۰)

با توجه به تشکیل ماتریس مقایسه زوجی اهمیت معیارها در روش تحلیل سلسله مراتبی، از اعداد فازی مثلثی که به صورت جدول (۶-۱۷) می‌باشند، جهت تعریف درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی فازی اهمیت معیارها استفاده شده است.

جدول (۶-۱۷) اعداد فازی مثلثی تعریف شده جهت تعریف درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی فازی اهمیت معیارها

عدد فازی	مقیاس فازی مثلثی	عدد فازی	مقیاس فازی مثلثی
$\tilde{9}$	$(7,9,11)$	$\tilde{9}^{-1}$	$(\frac{1}{11}, \frac{1}{9}, \frac{1}{7})$
$\tilde{8}$	$(6,8,10)$	$\tilde{8}^{-1}$	$(\frac{1}{10}, \frac{1}{8}, \frac{1}{6})$
$\tilde{7}$	$(5,7,9)$	$\tilde{7}^{-1}$	$(\frac{1}{9}, \frac{1}{7}, \frac{1}{5})$
$\tilde{6}$	$(4,6,8)$	$\tilde{6}^{-1}$	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{6}, \frac{1}{4})$
$\tilde{5}$	$(3,5,7)$	$\tilde{5}^{-1}$	$(\frac{1}{7}, \frac{1}{5}, \frac{1}{3})$
$\tilde{4}$	$(2,4,6)$	$\tilde{4}^{-1}$	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2})$
$\tilde{3}$	$(1,3,5)$	$\tilde{3}^{-1}$	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, 1)$
$\tilde{2}$	$(1,2,4)$	$\tilde{2}^{-1}$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1)$
$\tilde{1}$	$(1,1,3)$		$(\frac{1}{3}, 1, 1)$
1	$(1,1,1)$		

۶ ۱۱ ۴- ماتریس مقایسه زوجی فازی

ماتریس مقایسه زوجی فازی بین اهمیت معیارها

	C1	C2	C3	C4
C1	1	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}^{-1}$
C2	$\tilde{3}$	1	$\tilde{2}$	$\tilde{4}$
C3	$\tilde{2}$	$\tilde{2}^{-1}$	1	$\tilde{3}$
C4	$\tilde{1}$	$\tilde{4}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	1

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار C1

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1 1 1	0.333 3 5	0.111 0.429 1	0.143 0.6 1.667	0.091 0.333 0.714	0.2 1 5	0.2 1 5	0.333 3 5
A2	0.2 0.333 3	1 1 1	0.111 0.143 0.6	0.143 0.2 1	0.091 0.111 0.429	0.2 0.333 3	0.2 0.333 3	0.333 1 3
A3	1 2.333 9	1.667 7 9	1 1 1	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	1 2.333 9	1 2.333 9	1.667 7 9
A4	0.6 1.667 7	1 5 7	0.333 0.714 1.4	1 1 1	0.273 0.556 1	0.6 1.667 7	0.6 1.667 7	1 5 7
A5	1.4 3 11	2.333 9 11	0.778 1.286 2.2	1 1.8 3.667	1 1 1	1.4 3 11	1.4 3 11	2.333 9 11
A6	0.2 1 5	0.333 3 5	0.111 0.429 1	0.143 0.6 1.667	0.091 0.333 0.714	1 1 1	0.2 1 5	0.333 3 5
A7	0.2 1 5	0.333 3 5	0.111 0.429 1	0.143 0.6 1.667	0.091 0.333 0.714	0.2 1 5	1 1 1	0.333 3 5
A8	0.2 0.333 3	0.333 1 3	0.111 0.143 0.6	0.143 0.2 1	0.091 0.111 0.429	0.2 0.333 3	0.2 0.333 3	1 1 1

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار C2

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1 1 1	1 2 5	0.429 0.667 1	0.6 1 1.667	0.333 0.5 0.714	1 2 5	1 2 5	1 2 5
A2	0.2 0.5 1	1 1 1	0.143 0.333 0.6	0.2 0.5 1	0.111 0.25 0.429	0.333 1 3	0.333 1 3	0.333 1 3
A3	1 1.5 2.333	1.667 3 7	1 1 1	1 1.5 2.333	0.556 0.75 1	1.667 3 7	1.667 3 7	1.667 3 7
A4	0.6 1 1.667	1 2 5	0.429 0.667 1	1 1 1	0.333 0.5 0.714	1 2 5	1 2 5	1 2 5
A5	1.4 2 3	2.333 4 9	1 1.333 1.8	1.4 2 3	1 1 1	2.333 4 9	2.333 4 9	2.333 4 9
A6	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.143 0.333 0.6	0.2 0.5 1	0.111 0.25 0.429	1 1 1	0.333 1 3	0.333 1 3
A7	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.143 0.333 0.6	0.2 0.5 1	0.111 0.25 0.429	0.333 1 3	1 1 1	0.333 1 3
A8	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.143 0.333 0.6	0.2 0.5 1	0.111 0.25 0.429	0.333 1 3	0.333 1 3	1 1 1

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار C3

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1 1 1	1 2 5	1 2 5	0.6 1 1.667	1 2 5	1 2 5	1 2 5	0.6 1 1.667
A2	0.2 0.5 1	1 1 1	0.333 1 3	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1
A3	0.2 0.5 1	0.333 1 3	1 1 1	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1
A4	0.6 1 1.667	1 2 5	1 2 5	1 1 1	1 2 5	1 2 5	1 2 5	0.6 1 1.667
A5	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	1 1 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1
A6	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	0.333 1 3	1 1 1	0.333 1 3	0.2 0.5 1
A7	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	1 1 1	0.2 0.5 1
A8	0.6 1 1.667	1 2 5	1 2 5	0.6 1 1.667	1 2 5	1 2 5	1 2 5	1 1 1

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار C4

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1 1 1	0.273 0.556 1	0.429 1 2.333	0.6 1.667 7	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4
A2	1 1.8 3.667	1 1 1	1 1.8 3.667	1.4 3 11	0.778 1.286 2.2	0.778 1.286 2.2	0.778 1.286 2.2	0.778 1.286 2.2
A3	0.429 1 2.333	0.273 0.556 1	1 1 1	0.6 1.667 7	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4
A4	0.143 0.6 1.667	0.091 0.333 0.714	0.143 0.6 1.667	1 1 1	0.111 0.429 1	0.111 0.429 1	0.111 0.429 1	0.111 0.429 1
A5	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	0.714 1.4 3	1 2.333 9	1 1 1	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8
A6	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	0.714 1.4 3	1 2.333 9	0.556 1 1.8	1 1 1	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8
A7	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	0.714 1.4 3	1 2.333 9	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	1 1 1	0.556 1 1.8
A8	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	0.714 1.4 3	1 2.333 9	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	1 1 1

پس از شکل گیری ماتریس های مقایسه زوجی باید بردارهای وزن با استفاده از روش تحلیل سلسله

مراتبی فازی تعیین شود که این محاسبات به شرح زیر است:

ماتریس مقایسه زوجی فازی بین معیارها

	C1	C2	C3	C4	$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$
C1	1 1 1	0.2 0.333 1	0.25 0.5 1	0.333 1 1	1.783 2.833 4
C2	1 3 5	1 1 1	1 2 4	2 4 6	5 10 16
C3	1 2 4	0.25 0.5 1	1 1 1	1 3 5	3.25 6.5 11
C4	1 1 3	0.16 0.25 0.5	0.2 0.333 1	1 1 1	2.36 2.583 5.5

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (12.39, 21.92, 36.5) \quad \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (0.027, 0.046, 0.081)$$

$$S_1 = (1.783, 2.833, 4) \times (0.027, 0.046, 0.081) = (0.048, 0.13, 0.324)$$

$$S_2 = (5, 10, 16) \times (0.027, 0.046, 0.081) = (0.135, 0.46, 1.296)$$

$$S_3 = (3.25, 6.5, 11) \times (0.027, 0.046, 0.081) = (0.088, 0.299, 0.891)$$

$$S_4 = (2.36, 2.583, 5.5) \times (0.034, 0.055, 0.089) = (0.064, 0.119, 0.446)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر

$$V(S_1 \geq S_2) = 0.364$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 0.583$$

$$V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 0.824$$

$$V(S_3 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_1) = 0.973$$

$$V(S_4 \geq S_2) = 0.477$$

$$V(S_4 \geq S_3) = 0.665$$

C4	C3	C2	C1	معیار
0.477	0.824	1	0.364	وزن نرمال نشده
0.179	0.309	0.375	0.137	وزن نرمال شده

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار C1

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$
A1	1 1 1	0.333 3 5	0.111 0.429 1	0.143 0.6 1.667	0.091 0.333 0.714	0.2 1 5	0.2 1 5	0.333 3 5	2.411 10.362 24.381
A2	0.2 0.333 3	1 1 1	0.111 0.143 0.6	0.143 0.2 1	0.091 0.111 0.429	0.2 0.333 3	0.2 0.333 3	0.333 1 3	2.278 3.453 15.029
A3	1 2.333 9	1.667 7 9	1 1 1	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	1 2.333 9	1 2.333 9	1.667 7 9	8.503 24.177 50.286
A4	0.6 1.667 7	1 5 7	0.333 0.714 1.4	1 1 1	0.273 0.556 1	0.6 1.667 7	0.6 1.667 7	1 5 7	5.406 17.271 38.4
A5	1.4 3 11	2.333 9 11	0.778 1.286 2.2	1 1.8 3.667	1 1 1	1.4 3 11	1.4 3 11	2.333 9 11	11.644 31.086 61.867
A6	0.2 1 5	0.333 3 5	0.111 0.429 1	0.143 0.6 1.667	0.091 0.333 0.714	1 1 1	0.2 1 5	0.333 3 5	2.411 10.362 24.381
A7	0.2 1 5	0.333 3 5	0.111 0.429 1	0.143 0.6 1.667	0.091 0.333 0.714	0.2 1 5	1 1 1	0.333 3 5	2.411 10.362 24.381
A8	0.2 0.333 3	0.333 1 3	0.111 0.143 0.6	0.143 0.2 1	0.091 0.111 0.429	0.2 0.333 3	0.2 0.333 3	1 1 1	2.278 3.453 15.029

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (37.342, 110.53, 253.75) \quad \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (0.004, 0.009, 0.027)$$

$$S_1 = (2.411, 10.362, 24.381) \times (0.004, 0.009, 0.027) = (0.01, 0.093, 0.658)$$

$$S_2 = (2.278, 3.453, 15.029) \times (0.004, 0.009, 0.027) = (0.009, 0.031, 0.406)$$

$$S_3 = (8.503, 24.177, 50.286) \times (0.004, 0.009, 0.027) = (0.034, 0.218, 1.358)$$

$$S_4 = (5.406, 17.271, 38.4) \times (0.004, 0.009, 0.027) = (0.022, 0.155, 1.037)$$

$$S_5 = (11.644, 31.086, 61.867) \times (0.004, 0.009, 0.027) = (0.047, 0.28, 1.67)$$

$$S_6 = (2.411, 10.362, 24.381) \times (0.004, 0.009, 0.027) = (0.01, 0.093, 0.658)$$

$$S_7 = (2.411, 10.362, 24.381) \times (0.004, 0.009, 0.027) = (0.01, 0.093, 0.658)$$

$$S_8 = (2.278, 3.453, 15.029) \times (0.004, 0.009, 0.027) = (0.009, 0.031, 0.406)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_1 \geq S_3) = 0.833$	$V(S_1 \geq S_4) = 0.911$	$V(S_1 \geq S_5) = 0.766$	$V(S_1 \geq S_6) = 1$	$V(S_1 \geq S_7) = 1$	$V(S_1 \geq S_8) = 1$
$V(S_2 \geq S_1) = 0.865$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.665$	$V(S_2 \geq S_4) = 0.756$	$V(S_2 \geq S_5) = 0.59$	$V(S_2 \geq S_6) = 0.865$	$V(S_2 \geq S_7) = 0.865$	$V(S_2 \geq S_8) = 1$
$V(S_3 \geq S_1) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_5) = 0.955$	$V(S_3 \geq S_6) = 1$	$V(S_3 \geq S_7) = 1$	$V(S_3 \geq S_8) = 1$
$V(S_4 \geq S_1) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.941$	$V(S_4 \geq S_5) = 0.888$	$V(S_4 \geq S_6) = 1$	$V(S_4 \geq S_7) = 1$	$V(S_4 \geq S_8) = 1$
$V(S_5 \geq S_1) = 1$	$V(S_5 \geq S_2) = 1$	$V(S_5 \geq S_3) = 1$	$V(S_5 \geq S_4) = 1$	$V(S_5 \geq S_6) = 1$	$V(S_5 \geq S_7) = 1$	$V(S_5 \geq S_8) = 1$
$V(S_6 \geq S_1) = 1$	$V(S_6 \geq S_2) = 1$	$V(S_6 \geq S_3) = 0.833$	$V(S_6 \geq S_4) = 0.911$	$V(S_6 \geq S_5) = 0.766$	$V(S_6 \geq S_7) = 1$	$V(S_6 \geq S_8) = 1$
$V(S_7 \geq S_1) = 1$	$V(S_7 \geq S_2) = 1$	$V(S_7 \geq S_3) = 0.833$	$V(S_7 \geq S_4) = 0.911$	$V(S_7 \geq S_5) = 0.766$	$V(S_7 \geq S_6) = 1$	$V(S_7 \geq S_8) = 1$
$V(S_8 \geq S_1) = 0.865$	$V(S_8 \geq S_2) = 1$	$V(S_8 \geq S_3) = 0.665$	$V(S_8 \geq S_4) = 0.756$	$V(S_8 \geq S_5) = 0.59$	$V(S_8 \geq S_6) = 0.865$	$V(S_8 \geq S_7) = 0.865$

A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	معیار
0.59	0.766	0.766	1	0.888	0.955	0.59	0.766	وزن نرمال نشده
0.093	0.121	0.121	0.158	0.14	0.151	0.093	0.121	وزن نرمال شده

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار C2

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$
A1	1 1 1	1 2 5	0.429 0.667 1	0.6 1 1.667	0.333 0.5 0.714	1 2 5	1 2 5	1 2 5	6.362 11.167 24.381
A2	0.2 0.5 1	1 1 1	0.143 0.333 0.6	0.2 0.5 1	0.111 0.25 0.429	0.333 1 3	0.333 1 3	0.333 1 3	2.653 5.583 13.029
A3	1 1.5 2.333	1.667 3 7	1 1 1	1 1.5 2.333	0.556 0.75 1	1.667 3 7	1.667 3 7	1.667 3 7	10.224 16.75 34.666
A4	0.6 1 1.667	1 2 5	0.429 0.667 1	1 1 1	0.333 0.5 0.714	1 2 5	1 2 5	1 2 5	6.362 11.167 24.381
A5	1.4 2 3	2.333 4 9	1 1.333 1.8	1.4 2 3	1 1 1	2.333 4 9	2.333 4 9	2.333 4 9	14.132 22.333 44.8
A6	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.143 0.333 0.6	0.2 0.5 1	0.111 0.25 0.429	1 1 1	0.333 1 3	0.333 1 3	2.653 5.583 13.029
A7	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.143 0.333 0.6	0.2 0.5 1	0.111 0.25 0.429	0.333 1 3	1 1 1	0.333 1 3	2.653 5.583 13.029
A8	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.143 0.333 0.6	0.2 0.5 1	0.111 0.25 0.429	0.333 1 3	0.333 1 3	1 1 1	2.653 5.583 13.029

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (47.692, 83.749, 180.344) \quad \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (0.006, 0.012, 0.021)$$

$$S_1 = (6.362, 11.167, 24.381) \times (0.006, 0.012, 0.021) = (0.038, 0.134, 0.512)$$

$$S_2 = (2.653, 5.583, 13.029) \times (0.006, 0.012, 0.021) = (0.016, 0.067, 0.274)$$

$$S_3 = (10.224, 16.75, 34.666) \times (0.006, 0.012, 0.021) = (0.061, 0.201, 0.728)$$

$$S_4 = (6.362, 11.167, 24.381) \times (0.006, 0.012, 0.021) = (0.038, 0.134, 0.512)$$

$$S_5 = (14.132, 22.333, 44.8) \times (0.006, 0.012, 0.021) = (0.085, 0.268, 0.941)$$

$$S_6 = (2.653, 5.583, 13.029) \times (0.006, 0.012, 0.021) = (0.016, 0.067, 0.274)$$

$$S_7 = (2.653, 5.583, 13.029) \times (0.006, 0.012, 0.021) = (0.016, 0.067, 0.274)$$

$$S_8 = (2.653, 5.583, 13.029) \times (0.006, 0.012, 0.021) = (0.016, 0.067, 0.274)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_1 \geq S_3) = 0.871$	$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_1 \geq S_5) = 0.761$	$V(S_1 \geq S_6) = 1$	$V(S_1 \geq S_7) = 1$	$V(S_1 \geq S_8) = 1$
$V(S_2 \geq S_1) = 0.779$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.614$	$V(S_2 \geq S_4) = 0.779$	$V(S_2 \geq S_5) = 0.485$	$V(S_2 \geq S_6) = 1$	$V(S_2 \geq S_7) = 1$	$V(S_2 \geq S_8) = 1$
$V(S_3 \geq S_1) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_5) = 0.906$	$V(S_3 \geq S_6) = 1$	$V(S_3 \geq S_7) = 1$	$V(S_3 \geq S_8) = 1$
$V(S_4 \geq S_1) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.871$	$V(S_4 \geq S_5) = 0.761$	$V(S_4 \geq S_6) = 1$	$V(S_4 \geq S_7) = 1$	$V(S_4 \geq S_8) = 1$
$V(S_5 \geq S_1) = 1$	$V(S_5 \geq S_2) = 1$	$V(S_5 \geq S_3) = 1$	$V(S_5 \geq S_4) = 1$	$V(S_5 \geq S_6) = 1$	$V(S_5 \geq S_7) = 1$	$V(S_5 \geq S_8) = 1$
$V(S_6 \geq S_1) = 0.779$	$V(S_6 \geq S_2) = 1$	$V(S_6 \geq S_3) = 0.614$	$V(S_6 \geq S_4) = 0.779$	$V(S_6 \geq S_5) = 0.485$	$V(S_6 \geq S_7) = 1$	$V(S_6 \geq S_8) = 1$
$V(S_7 \geq S_1) = 0.779$	$V(S_7 \geq S_2) = 1$	$V(S_7 \geq S_3) = 0.614$	$V(S_7 \geq S_4) = 0.779$	$V(S_7 \geq S_5) = 0.485$	$V(S_7 \geq S_6) = 1$	$V(S_7 \geq S_8) = 1$
$V(S_8 \geq S_1) = 0.779$	$V(S_8 \geq S_2) = 1$	$V(S_8 \geq S_3) = 0.614$	$V(S_8 \geq S_4) = 0.779$	$V(S_8 \geq S_5) = 0.485$	$V(S_8 \geq S_6) = 1$	$V(S_8 \geq S_7) = 1$

A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	معیار
0.485	0.485	0.485	1	0.761	0.906	0.485	0.761	وزن نرمال نشده
0.09	0.09	0.09	0.186	0.142	0.169	0.09	0.142	وزن نرمال شده

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار C3

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$
A1	1 1 1	1 2 5	1 2 5	0.6 1 1.667	1 2 5	1 2 5	1 2 5	0.6 1 1.667	7.2 13 29.334
A2	0.2 0.5 1	1 1 1	0.333 1 3	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	2.932 6.5 16
A3	0.2 0.5 1	0.333 1 3	1 1 1	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	2.932 6.5 16
A4	0.6 1 1.667	1 2 5	1 2 5	1 1 1	1 2 5	1 2 5	1 2 5	0.6 1 1.667	7.2 13 29.334
A5	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	1 1 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	2.932 6.5 16
A6	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	0.333 1 3	1 1 1	0.333 1 3	0.2 0.5 1	2.932 6.5 16
A7	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	0.2 0.5 1	0.333 1 3	0.333 1 3	1 1 1	0.2 0.5 1	2.932 6.5 16
A8	0.6 1 1.667	1 2 5	1 2 5	0.6 1 1.667	1 2 5	1 2 5	1 1 1	7.2 13 29.334	

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (36.26, 71.5, 168.002) \quad \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (0.006, 0.014, 0.028)$$

$$S_1 = (7.2, 13, 29.334) \times (0.006, 0.014, 0.028) = (0.043, 0.182, 0.821)$$

$$S_2 = (2.932, 6.5, 16) \times (0.006, 0.014, 0.028) = (0.018, 0.091, 0.448)$$

$$S_3 = (2.932, 6.5, 16) \times (0.006, 0.014, 0.028) = (0.018, 0.091, 0.448)$$

$$S_4 = (7.2, 13, 29.334) \times (0.006, 0.014, 0.028) = (0.043, 0.182, 0.821)$$

$$S_5 = (2.932, 6.5, 16) \times (0.006, 0.014, 0.028) = (0.018, 0.091, 0.448)$$

$$S_6 = (2.932, 6.5, 16) \times (0.006, 0.014, 0.028) = (0.018, 0.091, 0.448)$$

$$S_7 = (2.932, 6.5, 16) \times (0.006, 0.014, 0.028) = (0.018, 0.091, 0.448)$$

$$S_8 = (7.2, 13, 29.334) \times (0.006, 0.014, 0.028) = (0.043, 0.182, 0.821)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_1 \geq S_5) = 1$	$V(S_1 \geq S_6) = 1$	$V(S_1 \geq S_7) = 1$	$V(S_1 \geq S_8) = 1$
$V(S_2 \geq S_1) = 0.817$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 0.817$	$V(S_2 \geq S_5) = 1$	$V(S_2 \geq S_6) = 1$	$V(S_2 \geq S_7) = 1$	$V(S_2 \geq S_8) = 0.817$
$V(S_3 \geq S_1) = 0.817$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 0.817$	$V(S_3 \geq S_5) = 1$	$V(S_3 \geq S_6) = 1$	$V(S_3 \geq S_7) = 1$	$V(S_3 \geq S_8) = 0.817$
$V(S_4 \geq S_1) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 1$	$V(S_4 \geq S_5) = 1$	$V(S_4 \geq S_6) = 1$	$V(S_4 \geq S_7) = 1$	$V(S_4 \geq S_8) = 1$
$V(S_5 \geq S_1) = 0.817$	$V(S_5 \geq S_2) = 1$	$V(S_5 \geq S_3) = 1$	$V(S_5 \geq S_4) = 0.817$	$V(S_5 \geq S_6) = 1$	$V(S_5 \geq S_7) = 1$	$V(S_5 \geq S_8) = 0.817$
$V(S_6 \geq S_1) = 0.817$	$V(S_6 \geq S_2) = 1$	$V(S_6 \geq S_3) = 1$	$V(S_6 \geq S_4) = 0.817$	$V(S_6 \geq S_5) = 1$	$V(S_6 \geq S_7) = 1$	$V(S_6 \geq S_8) = 0.817$
$V(S_7 \geq S_1) = 0.817$	$V(S_7 \geq S_2) = 1$	$V(S_7 \geq S_3) = 1$	$V(S_7 \geq S_4) = 0.817$	$V(S_7 \geq S_5) = 1$	$V(S_7 \geq S_6) = 1$	$V(S_7 \geq S_8) = 0.817$
$V(S_8 \geq S_1) = 1$	$V(S_8 \geq S_2) = 1$	$V(S_8 \geq S_3) = 1$	$V(S_8 \geq S_4) = 1$	$V(S_8 \geq S_5) = 1$	$V(S_8 \geq S_6) = 1$	$V(S_8 \geq S_7) = 1$

A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	معیار
1	0.817	0.817	0.817	1	0.817	0.817	1	وزن نرمال نشده
0.141	0.115	0.115	0.115	0.141	0.115	0.115	0.141	وزن نرمال شده

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار C4

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$
A1	1 1 1	0.273 0.556 1	0.429 1 2.333	0.6 1.667 7	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	3.634 7.079 16.933
A2	1 1.8 3.667	1 1 1	1 1.8 3.667	1.4 3 11	0.778 1.286 2.2	0.778 1.286 2.2	0.778 1.286 2.2	0.778 1.286 2.2	7.512 12.744 28.134
A3	0.429 1 2.333	0.273 0.556 1	1 1 1	0.6 1.667 7	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	0.333 0.714 1.4	3.634 7.079 16.933
A4	0.143 0.6 1.667	0.091 0.333 0.714	0.143 0.6 1.667	1 1 1	0.111 0.429 1	0.111 0.429 1	0.111 0.429 1	0.111 0.429 1	1.821 4.249 9.048
A5	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	0.714 1.4 3	1 2.333 9	1 1 1	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	5.551 9.911 22.686
A6	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	0.714 1.4 3	1 2.333 9	0.556 1 1.8	1 1 1	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	5.551 9.911 22.686
A7	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	0.714 1.4 3	1 2.333 9	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	1 1 1	0.556 1 1.8	5.551 9.911 22.686
A8	0.714 1.4 3	0.455 0.778 1.286	0.714 1.4 3	1 2.333 9	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	0.556 1 1.8	1 1 1	5.551 9.911 22.686

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (38.805, 70.795, 161.792) \quad \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (0.006, 0.014, 0.026)$$

$$S_1 = (3.634, 7.079, 16.933) \times (0.006, 0.014, 0.026) = (0.022, 0.099, 0.44)$$

$$S_2 = (7.512, 12.744, 28.134) \times (0.006, 0.014, 0.026) = (0.045, 0.178, 0.731)$$

$$S_3 = (3.634, 7.079, 16.933) \times (0.006, 0.014, 0.026) = (0.022, 0.099, 0.44)$$

$$S_4 = (1.821, 4.249, 9.048) \times (0.006, 0.014, 0.026) = (0.011, 0.059, 0.235)$$

$$S_5 = (5.551, 9.911, 22.686) \times (0.006, 0.014, 0.026) = (0.033, 0.139, 0.59)$$

$$S_6 = (5.551, 9.911, 22.686) \times (0.006, 0.014, 0.026) = (0.033, 0.139, 0.59)$$

$$S_7 = (5.551, 9.911, 22.686) \times (0.006, 0.014, 0.026) = (0.033, 0.139, 0.59)$$

$$S_8 = (5.551, 9.911, 22.686) \times (0.006, 0.014, 0.026) = (0.033, 0.139, 0.59)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر

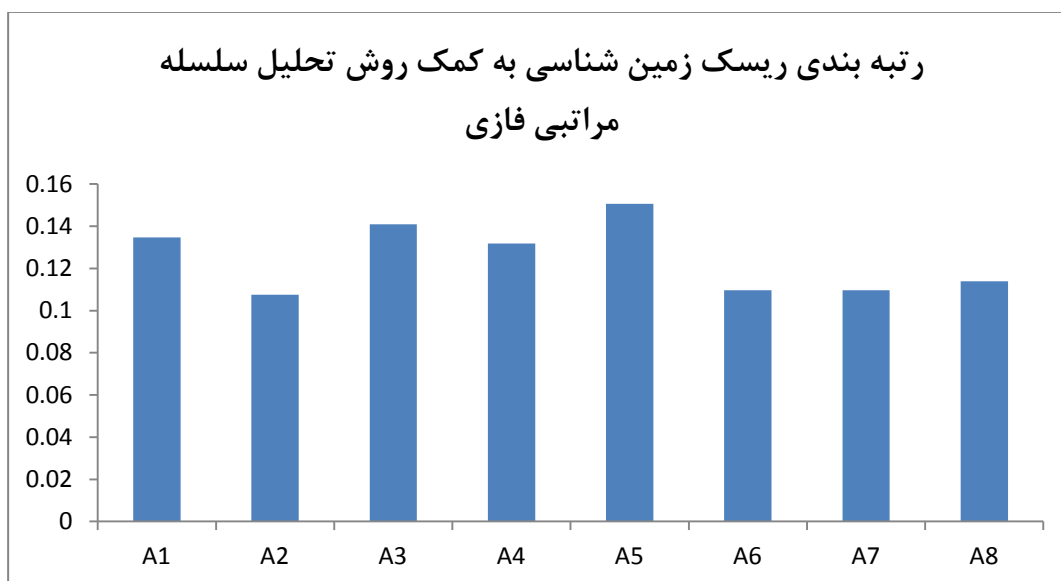
$V(S_1 \geq S_2) = 0.833$	$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_1 \geq S_5) = 0.911$	$V(S_1 \geq S_6) = 0.911$	$V(S_1 \geq S_7) = 0.911$	$V(S_1 \geq S_8) = 0.911$
$V(S_2 \geq S_1) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_5) = 1$	$V(S_2 \geq S_6) = 1$	$V(S_2 \geq S_7) = 1$	$V(S_2 \geq S_8) = 1$
$V(S_3 \geq S_1) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.833$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_5) = 0.911$	$V(S_3 \geq S_6) = 0.911$	$V(S_3 \geq S_7) = 0.911$	$V(S_3 \geq S_8) = 0.911$
$V(S_4 \geq S_1) = 0.842$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.615$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.842$	$V(S_4 \geq S_5) = 0.716$	$V(S_4 \geq S_6) = 0.716$	$V(S_4 \geq S_7) = 0.716$	$V(S_4 \geq S_8) = 0.716$
$V(S_5 \geq S_1) = 1$	$V(S_5 \geq S_2) = 0.933$	$V(S_5 \geq S_3) = 1$	$V(S_5 \geq S_4) = 1$	$V(S_5 \geq S_6) = 1$	$V(S_5 \geq S_7) = 1$	$V(S_5 \geq S_8) = 1$
$V(S_6 \geq S_1) = 1$	$V(S_6 \geq S_2) = 0.933$	$V(S_6 \geq S_3) = 1$	$V(S_6 \geq S_4) = 1$	$V(S_6 \geq S_5) = 1$	$V(S_6 \geq S_7) = 1$	$V(S_6 \geq S_8) = 1$
$V(S_7 \geq S_1) = 1$	$V(S_7 \geq S_2) = 0.933$	$V(S_7 \geq S_3) = 1$	$V(S_7 \geq S_4) = 1$	$V(S_7 \geq S_5) = 1$	$V(S_7 \geq S_6) = 1$	$V(S_7 \geq S_8) = 1$
$V(S_8 \geq S_1) = 1$	$V(S_8 \geq S_2) = 0.933$	$V(S_8 \geq S_3) = 1$	$V(S_8 \geq S_4) = 1$	$V(S_8 \geq S_5) = 1$	$V(S_8 \geq S_6) = 1$	$V(S_8 \geq S_7) = 1$

A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	معیار
0.933	0.933	0.933	0.933	0.615	0.833	1	0.833	وزن نرمال نشده
0.133	0.133	0.133	0.133	0.088	0.119	0.143	0.119	وزن نرمال شده

به طور خلاصه نتایج محاسبه ضرایب اهمیت در ماتریس های مقایسه زوجی و امتیاز هر یک از گزینه‌ها به شرح زیر است:

	C1	C2	C3	C4	جمع امتیاز
وزن	0.137	0.375	0.309	0.179	
A1	0.121	0.142	0.141	0.119	0.1347
A2	0.093	0.09	0.115	0.143	0.1076
A3	0.151	0.169	0.115	0.119	0.1409
A4	0.14	0.142	0.141	0.088	0.1318
A5	0.158	0.186	0.115	0.133	0.1507
A6	0.121	0.09	0.115	0.133	0.1097
A7	0.121	0.09	0.115	0.133	0.1097
A8	0.093	0.09	0.141	0.133	0.1139

با توجه به محاسبات فوق رتبه بندی ریسک‌های ماشین حفاری TBM در تونل انتقال آب گلاب با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) به شرح $(A5 > A3 > A1 > A4 > A8 > A6 = A7 > A2)$ است.



شکل (۶ ۱۴) رتبه بندی ریسک زمین شناسی به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

۱۴ ۶ - رتبه بندی ریسک با روش شباهت به گزینه ایده آل فازی (FTOPSIS)

۱۴ ۶ -۴ - ماتریس تصمیم و بردار وزن معیارها

گزینه‌ها از نظر معیارهای مختلف ارزیابی شده‌اند و نتایج به عنوان ماتریس تصمیم به صورت جدول ۱۸-۶ ارائه شده است. برای تشکیل ماتریس تصمیم فازی از جداول ۱۵-۶ و ۱۶-۶ استفاده شده است.

جدول (۱۸ ۶) ماتریس تصمیم فازی

	C1	C2	C3	C4
A1	(۱ ۳ ۵)	(۳ ۴ ۵)	(۳ ۴ ۵)	(۳ ۵ ۷)
A2	(۱ ۱ ۳)	(۱ ۲ ۳)	(۱ ۲ ۳)	(۱ ۱ ۳)
A3	(۵ ۷ ۹)	(۵ ۶ ۷)	(۱ ۲ ۳)	(۳ ۵ ۷)
A4	(۳ ۵ ۷)	(۳ ۴ ۵)	(۳ ۴ ۵)	(۵ ۷ ۹)
A5	(۷ ۹ ۱۱)	(۷ ۸ ۹)	(۱ ۲ ۳)	(۱ ۳ ۵)
A6	(۱ ۳ ۵)	(۱ ۲ ۳)	(۱ ۲ ۳)	(۱ ۳ ۵)
A7	(۱ ۳ ۵)	(۱ ۲ ۳)	(۱ ۲ ۳)	(۱ ۳ ۵)
A8	(۱ ۱ ۳)	(۱ ۲ ۳)	(۳ ۴ ۵)	(۱ ۳ ۵)

برای تشکیل بردار وزن معیارها از جدول ۱۹-۶ استفاده شده است و بردار وزن معیارها در جدول ۲۰-۶ ارائه شده است:

جدول (۱۹ ۶) متغیر زبانی برای ارزیابی اهمیت گزینه‌ها

متغیر زبانی	عدد فازی متناظر
خیلی ضعیف (VP)	(۰/۳ و ۰/۱ و ۰)
ضعیف (P)	(۰/۵ و ۰/۳ و ۰/۱)
متوسط (F)	(۰/۷ و ۰/۵ و ۰/۳)
خوب (G)	(۰/۹ و ۰/۷ و ۰/۵)
خیلی خوب (VG)	(۱ و ۰/۹ و ۰/۷)

جدول (۲۰ ۶) وزن معیارها

احتمال وقوع ریسک	میزان تأثیر ریسک	عدم اطمینان از تخمین	توانایی سیستم در واکنش به ریسک	وزن معیارها
(۰/۱ ۰/۳ ۰/۵)	(۰/۵ ۰/۷ ۰/۹)	(۰/۳ ۰/۵ ۰/۷)	(۰/۱ ۰/۳ ۰/۵)	

۶ ۱۴ ۴ - بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم

با توجه به مثبت بودن معیارهای اول و دوم و منفی بودن معیارهای سوم و چهارم، ماتریس تصمیم

فازی بی مقیاس شده تشکیل و در جدول ۶-۲۱ درج شده است:

جدول (۶ ۲۱) ماتریس تصمیم فازی بی مقیاس شده

	C1			C2			C3			C4		
A1	۰.۰۹۱	۰.۲۷۳	۰.۴۵۵	۰.۳۳۳	۰.۴۴۴	۰.۵۵۶	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳۳	۰.۱۴۳	۰.۲	۰.۳۳۳
A2	۰.۰۹۱	۰.۰۹۱	۰.۲۷۳	۰.۱۱۱	۰.۲۲۲	۰.۳۳۳	۰.۳۳۳	۰.۵	۱	۰.۰۹۱	۰.۱۱۱	۰.۱۴۳
A3	۰.۴۵۵	۰.۶۳۶	۰.۸۱۸	۰.۵۵۶	۰.۶۶۷	۰.۷۷۸	۰.۳۳۳	۰.۵	۱	۰.۱۴۳	۰.۲	۰.۳۳۳
A4	۰.۲۷۳	۰.۴۵۵	۰.۶۳۶	۰.۳۳۳	۰.۴۴۴	۰.۵۵۶	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳۳	۰.۲	۰.۳۳۳	۱
A5	۰.۶۳۶	۰.۸۱۸	۱	۰.۷۷۸	۰.۸۸۹	۱	۰.۳۳۳	۰.۵	۱	۰.۱۱۱	۰.۱۴۳	۰.۲
A6	۰.۰۹۱	۰.۲۷۳	۰.۴۵۵	۰.۱۱۱	۰.۲۲۲	۰.۳۳۳	۰.۳۳۳	۰.۵	۱	۰.۱۱۱	۰.۱۴۳	۰.۲
A7	۰.۰۹۱	۰.۲۷۳	۰.۴۵۵	۰.۱۱۱	۰.۲۲۲	۰.۳۳۳	۰.۳۳۳	۰.۵	۱	۰.۱۱۱	۰.۱۴۳	۰.۲
A8	۰.۰۹۱	۰.۰۹۱	۰.۲۷۳	۰.۱۱۱	۰.۲۲۲	۰.۳۳۳	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳۳	۰.۱۱۱	۰.۱۴۳	۰.۲

۶ ۱۴ ۴ - ماتریس تصمیم فازی بی مقیاس شده وزن دار

ماتریس تصمیم فازی بی مقیاس شده وزن دار تشکیل و در جدول ۶-۲۲ درج شده است:

جدول (۶ ۲۲) ماتریس تصمیم فازی بی مقیاس شده وزن دار

	C1			C2			C3			C4		
A1	۰.۰۰۹	۰.۰۸۲	۰.۲۲۸	۰.۱۶۷	۰.۳۱۱	۰.۵	۰.۰۶	۰.۱۲۵	۰.۲۳۳	۰.۰۱۴	۰.۰۶	۰.۱۶۷
A2	۰.۰۰۹	۰.۰۲۷	۰.۱۳۷	۰.۰۵۶	۰.۱۵۵	۰.۳	۰.۱	۰.۲۵	۰.۷	۰.۰۰۹	۰.۰۳۳	۰.۰۷۲
A3	۰.۰۴۶	۰.۱۹۱	۰.۴۰۹	۰.۲۷۸	۰.۴۶۷	۰.۷	۰.۱	۰.۲۵	۰.۷	۰.۰۱۴	۰.۰۶	۰.۱۶۷
A4	۰.۰۲۷	۰.۱۳۷	۰.۳۱۸	۰.۱۶۷	۰.۳۱۱	۰.۵	۰.۰۶	۰.۱۲۵	۰.۲۳۳	۰.۰۲	۰.۱	۰.۵
A5	۰.۰۶۴	۰.۲۴۵	۰.۵	۰.۳۸۹	۰.۶۲۲	۰.۹	۰.۱	۰.۲۵	۰.۷	۰.۰۱۱	۰.۰۴۳	۰.۱
A6	۰.۰۰۹	۰.۰۸۲	۰.۲۲۸	۰.۰۵۶	۰.۱۵۵	۰.۳	۰.۱	۰.۲۵	۰.۷	۰.۰۱۱	۰.۰۴۳	۰.۱
A7	۰.۰۰۹	۰.۰۸۲	۰.۲۲۸	۰.۰۵۶	۰.۱۵۵	۰.۳	۰.۱	۰.۲۵	۰.۷	۰.۰۱۱	۰.۰۴۳	۰.۱
A8	۰.۰۰۹	۰.۰۲۷	۰.۱۳۷	۰.۰۵۶	۰.۱۵۵	۰.۳	۰.۰۶	۰.۱۲۵	۰.۲۳۳	۰.۰۱۱	۰.۰۴۳	۰.۱

۴ ۱۴ ۶- تعیین حل ایده آل و ضد ایده آل فازی

حل ایده آل فازی و ضد ایده آل فازی برای معیارهای مختلف به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A^* = \left[\begin{array}{l} (0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5) , (0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9) \\ (0.7, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7) , (0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5) \end{array} \right]$$

$$A^- = \left[\begin{array}{l} (0.009, 0.009, 0.009, 0.009, 0.009, 0.009, 0.009, 0.009) , (0.056, 0.056, 0.056, 0.056, 0.056, 0.056, 0.056, 0.056) \\ (0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06) , (0.011, 0.011, 0.011, 0.011, 0.011, 0.011, 0.011, 0.011) \end{array} \right]$$

۵ ۱۴ ۶- تعیین فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل

فاصله بین هر گزینه از حل ایده آل برای هر معیار، و فاصله بین هر گزینه و حل ضد ایده آل برای هر

معیار برای گزینه‌های مختلف محاسبه شده و در جدول‌های ۶-۲۴ و ۶-۲۳ درج شده است:

جدول (۶ ۲۴) فاصله هر گزینه از حل ایده آل

	C1	C2	C3	C4	فاصله هر گزینه از حل ایده آل
$d(A_1, A^*)$	۰.۴۰۴	۰.۵۹	۰.۵۶۵	۰.۴۲۵	۱.۹۸۴
$d(A_2, A^*)$	۰.۴۴۶	۰.۷۳۷	۰.۴۳۳	۰.۴۶۳	۲.۰۷۹
$d(A_3, A^*)$	۰.۳۲۱	۰.۴۵۳	۰.۴۳۳	۰.۴۲۵	۱.۶۳۲
$d(A_4, A^*)$	۰.۳۶	۰.۵۹	۰.۵۶۵	۰.۳۶۱	۱.۸۷۶
$d(A_5, A^*)$	۰.۲۹۲	۰.۳۳۶	۰.۴۳۳	۰.۴۵	۱.۵۱۱
$d(A_6, A^*)$	۰.۴۰۴	۰.۷۳۷	۰.۴۳۳	۰.۴۵	۲.۰۲۴
$d(A_7, A^*)$	۰.۴۰۴	۰.۷۳۷	۰.۴۳۳	۰.۴۵	۲.۰۲۴
$d(A_8, A^*)$	۰.۴۴۶	۰.۷۳۷	۰.۵۶۵	۰.۴۵	۲.۱۹۸

جدول (۶ ۲۴) فاصله هر گزینه از حل ضد ایده آل

	C1	C2	C3	C4	فاصله هر گزینه از حل ضد ایده آل
$d(A_1, A^-)$	۰.۱۳۳	۰.۳۰۲	۰.۱۰۷	۰.۰۹۴	۰.۶۳۶
$d(A_2, A^-)$	۰.۰۷۵	۰.۱۵۲	۰.۳۸۶	۰.۰۳۷	۰.۶۵
$d(A_3, A^-)$	۰.۲۵۵	۰.۴۵۹	۰.۳۸۶	۰.۰۹۴	۱.۱۹۴
$d(A_4, A^-)$	۰.۱۹۳	۰.۳۰۲	۰.۱۰۷	۰.۲۸۷	۰.۸۸۹
$d(A_5, A^-)$	۰.۳۱۶	۰.۶۱۷	۰.۳۸۶	۰.۰۵۵	۱.۳۷۴
$d(A_6, A^-)$	۰.۱۳۳	۰.۱۵۲	۰.۳۸۶	۰.۰۵۵	۰.۷۲۶
$d(A_7, A^-)$	۰.۱۳۳	۰.۱۵۲	۰.۳۸۶	۰.۰۵۵	۰.۷۲۶
$d(A_8, A^-)$	۰.۰۷۵	۰.۱۵۲	۰.۱۰۷	۰.۰۵۵	۰.۳۸۹

۶ ۱۴ ۶ - تعیین شاخص شباهت

فاصله هر گزینه از حل ایده آل، فاصله هر گزینه از حل ضد ایده آل و شاخص شباهت برای گزینه‌های مختلف محاسبه و در جدول ۶-۲۵ درج شده است:

جدول (۶ ۲۵) تعیین شاخص شباهت

A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	
۲.۱۹۸	۲.۰۲۴	۲.۰۲۴	۱.۵۱۱	۱.۸۷۶	۱.۶۳۲	۲.۰۷۹	۱.۹۸۴	فاصله از حل ایده آل
۰.۳۸۹	۰.۷۲۶	۰.۷۲۶	۱.۳۷۴	۰.۸۸۹	۱.۱۹۴	۰.۶۵	۰.۶۳۶	فاصله از حل ضد ایده آل
۰.۱۵	۰.۲۶۴	۰.۲۶۴	۰.۴۷۶	۰.۳۲۲	۰.۴۲۳	۰.۲۳۸	۰.۲۴۳	شاخص شباهت

۶ ۱۴ ۷ - رتبه بندی ریسک‌ها

با توجه به محاسبات فوق رتبه بندی ریسک‌های ماشین حفاری TBM در تونل انتقال آب گلاب به روش شباهت به گزینه ایده آل فازی به شرح (A5>A3>A4>A6=A7>A1>A2>A8) است.



شکل (۶ ۱۴) رتبه بندی ریسک زمین شناسی به کمک روش شباهت به گزینه ایده آل فازی

۶ ۱۴ استراتژی‌های اولویت بندی روش های تصمیم گیری چند معیاره

برای تعیین استراتژی اولویت بندی با استفاده از روش میانگین رتبه‌ها، رتبه هر یک از گزینه‌ها در روش‌های شباهت به گزینه ایده آل و تحلیل سلسله مراتبی و در نتیجه میانگین رتبه هر یک از گزینه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی A8	سینه کار مختلط A7	تورم سنگ‌های رسی A6	مچاله شونده‌گی (لهیدگی) A5	ناپایداری دیوار و سقف تونل A4	ناپایداری سینه کار تونل A3	نشت گاز A2	نشت و هجوم آب زیرزمینی A1	
۷	۵	۵	۱	۳	۲	۶	۴	رتبه بندی ریسک با روش TOPSIS
۵	۶	۶	۱	۳	۲	۷	۴	رتبه بندی ریسک با روش AHP
۶	۵/۵	۵/۵	۱	۳	۲	۶/۵	۴	میانگین رتبه‌ها

بر اساس روش میانگین رتبه‌ها ترتیب اولویت ریسک ماشین حفاری TBM در تونل انتقال آب گلاب به صورت مچاله شونده‌گی (لهیدگی)، ناپایداری سینه کار تونل، ناپایداری دیوار و سقف تونل، نشت و هجوم آب، سینه کار مختلط و تورم سنگ‌های رسی، چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی و نشت گاز ($A5 > A3 > A4 > A1 > A7 = A6 > A8 > A2$) خواهد بود.

برای تعیین استراتژی اولویت بندی با استفاده از روش‌های بردا و کپ لند، ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها به صورت زیر ایجاد شده است:

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	مجموع سطری	تفاضل مجموع سطری و ستونی
A1	0	1	0	0	0	1	1	1	4	1
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6
A3	1	1	0	1	0	1	1	1	6	5
A4	1	1	0	0	0	1	1	1	5	3
A5	1	1	1	1	0	1	1	1	7	7
A6	0	1	0	0	0	0	0	0	1	-3
A7	0	1	0	0	0	0	0	0	1	-2
A8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5
مجموع ستونی	3	6	1	2	0	4	3	5		

با استفاده از روش بردا اولویت گزینه‌ها به صورت مچاله شوندگی (لهیدگی)، ناپایداری سینه کار تونل، ناپایداری دیوار و سقف تونل، نشت و هجوم آب زیرزمینی، سینه کار مختلط، تورم سنگ‌های رسی، چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی و نشت گاز (A5>A3>A4>A1>A7>A6>A8>A2) می‌باشد.

۶ ۱۴- استراتژی‌های اولویت بندی روش های تصمیم گیری چند معیاره فازی

برای تعیین استراتژی اولویت بندی با استفاده از روش میانگین رتبه‌ها، رتبه هر یک از گزینه‌ها در روش‌های شباهت به گزینه ایده آل فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی و در نتیجه میانگین رتبه هر یک از گزینه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

رتبه بندی ریسک با روش FTOPSIS	A8 چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی	A7 سینه کار مختلط	A6 تورم سنگ‌های رسی	A5 مچاله شوندگی (لهیدگی)	A4 ناپایداری دیوار و سقف تونل	A3 ناپایداری سینه کار تونل	A2 نشت گاز	A1 نشت و هجوم آب زیرزمینی
رتبه بندی ریسک با روش FAHP	۷	۴	۴	۱	۳	۲	۶	۵
میانگین رتبه‌ها	۵	۶	۶	۱	۴	۲	۷	۳
	۶	۵	۵	۱	۳/۵	۲	۶/۵	۴

بر اساس روش میانگین رتبه‌های فازی ترتیب اولویت ریسک ماشین حفاری TBM در تونل انتقال آب گلاب به صورت مچاله شوندگی (لهیدگی)، ناپایداری سینه کار تونل، ناپایداری دیوار و سقف تونل، نشت و هجوم آب، سینه کار مختلط و تورم سنگ‌های رسی، چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی و نشت گاز (A5>A3>A4>A1>A7=A6>A8>A2) خواهد بود.

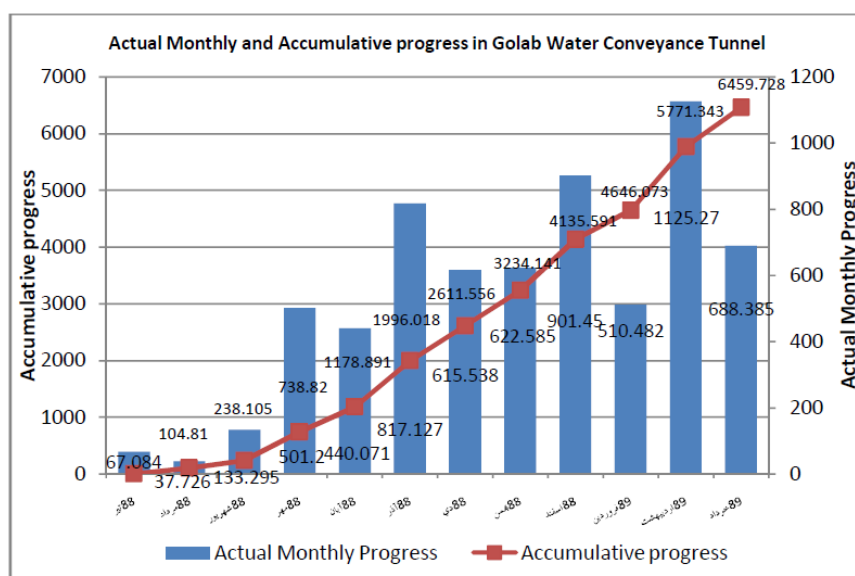
برای تعیین استراتژی اولویت بندی با استفاده از روش‌های بردا و کپ لند، ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها به صورت زیر ایجاد شده است:

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	مجموع سطری	تفاضل مجموع سطری و ستونی
A1	0	1	0	0	0	1	1	1	4	1
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6
A3	1	1	0	1	0	1	1	1	6	5
A4	1	1	0	0	0	1	1	1	5	3
A5	1	1	1	1	0	1	1	1	7	7
A6	0	1	0	0	0	0	0	0	1	-3
A7	0	1	0	0	0	0	0	0	1	-2
A8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5
مجموع ستونی	3	6	1	2	0	4	3	5		

با استفاده از روش بردا اولویت گزینه‌ها به صورت مچاله شوندگی (لهیدگی)، ناپایداری سینه کار تونل، ناپایداری دیوار و سقف تونل، نشت و هجوم آب زیرزمینی، سینه کار مختلط، تورم سنگ‌های رسی، چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی و نشت گاز (A5>A3>A4>A1>A7>A6>A8>A2) می‌باشد.

۶ ۱۵ بررسی عملکرد ماشین حفاری TBM در تونل گلاب

در این قسمت گزارش عملکرد ماشین حفاری TBM و فعالیت‌های صورت گرفته از تاریخ ۱۳۸۹/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۹/۰۳/۳۱ مورد بررسی قرار گرفته است. در محدوده مورد بررسی که تقریباً یک چهارم مسیر تونل را پوشش می‌دهد براساس اطلاعات موجود، تعداد روزهای حفاری در این سه ماه ۷۶ روز از مترائز ۴۱۳۵+۵۹ تا ۶۴۵۹+۷۳ با پیشروی ۲۳۲۴/۱۴ متر بوده است.



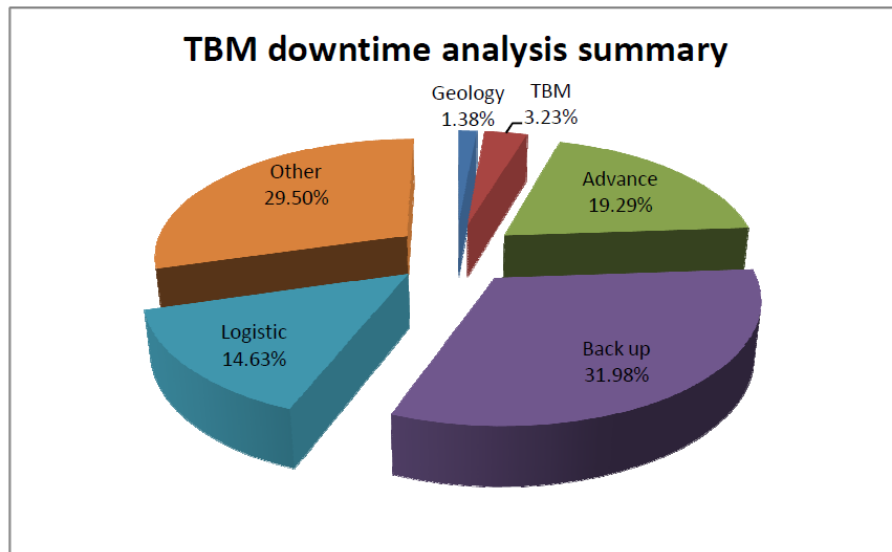
شکل (۶ ۱۵) مقایسه مقدار پیشروی از زمان شروع به کار دستگاه [۱۷۱]

۶ ۱۵ ۱ - توزیع زمانی فعالیت تونل

در این بخش عوامل تاثیر گذار بر زمان حفاری و عملکرد ماشین حفاری مکانیزه TBM مورد بررسی قرار می گیرد. به منظور بررسی و تحلیل عوامل تاثیر گذار بر ضریب بهره وری ماشین TBM، تعیین و ثبت زمانی فعالیت های تونل صورت گرفته در امر حفاری توسط دستگاه به شدت احساس می شود. براساس تجربیات گذشته فعالیت های زمانی در ارتباط با امر حفاری توسط دستگاه حفاری با سپر تلسکوپی در شش گروه Advance , Geology , TBM , Logistic , Back-up , Other طبقه بندی می شوند که هرکدام از این گروه ها جزئیات بدست آمده از توزیع زمانی را در فروردین، اردیبهشت و خرداد ماه ۸۹ به صورت کمی در جدول های ۶-۲۶ تا ۶-۲۸ نشان می دهد.

جدول (۶ ۲۶) تقسیم بندی و توزیع زمانی فعالیت های مرتبط با حفاری در فروردین ماه ۱۳۸۹ [۱۶۹]

<i>TBM downtime analysis summary</i>		<i>Time(%)</i>	
Geology	<i>rock jam/ clean muck from cutter head</i>	0.00	1.38
	<i>clear rock fallout</i>	0.00	
	<i>cutter change</i>	1.38	
	<i>ground improvement/ foam, mortar injection</i>	0.00	
	<i>water inflow problems</i>	0.00	
	<i>probe drilling or other drilling</i>	0.00	
TBM	<i>hydraulic & related problems</i>	1.08	3.23
	<i>mechanical & related problems</i>	2.15	
	<i>electrical & related Problems</i>	0.00	
Advance	<i>net boring</i>	13.99	19.29
	<i>support placment (segment Installation)</i>	0.00	
	<i>re-storck/regrip TBM</i>	5.30	
Back up	<i>Pea gravel injection</i>	0.48	31.97
	<i>track placement & Problems</i>	0.94	
	<i>conveyore problems</i>	12.90	
	<i>train exchange</i>	17.65	
	<i>hydromechanical & related problems</i>	0.00	
	<i>electrical & related Problems</i>	0.00	
Logistic	<i>utility installation(water, air, power)</i>	6.45	14.63
	<i>derailment</i>	2.42	
	<i>lack of materials</i>	1.34	
	<i>transportation & unloading</i>	4.41	
Other	<i>shift change and safety meeting</i>	20.43	29.50
	<i>lunch & sandwiches</i>	4.17	
	<i>washing & cleaning/ cutter check/ routine maintenance</i>	4.91	
	<i>unknown</i>	0.00	



شکل (۶ ۱۴) نمودار توزیع زمانی فعالیت های روزانه تونل در فروردین ماه ۱۳۸۹ [۱۶۹]

با جمع بندی تاخیرات و توزیع فعالیت های صورت گرفته در فروردین ماه ۸۹ می توان به نکات زیر اشاره نمود [۱۶۸]:

- در گروه Back-up که در این ماه بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است (۳۱/۹۸ درصد)، یکی از عمده ترین مشکلات که سهمی برابر ۱۷/۶۵ درصد را دارا می باشد مربوط به تعویض قطار در پشت Back-up و بر روی کالیفرنیا سوئیچ و به علت خرابی یکی از لکوموتیوها و ادامه روند کار تنها با یک لکوموتیو می باشد. رده بعدی مربوط به خرابی نوار یک و توقف چند روزه دستگاه به علت نبود گریبکس این نوار بوده که سهمی برابر ۱۲/۹۰ درصد را به خود اختصاص داده است.
- در گروه Other، بخش عمده این گروه مربوط به تعطیلات ایام نوروز و توقف عملیات حفاری بوده که در این ماه در رده دوم قرار گرفته است.
- گروه Advance که از مهمترین بخش از فعالیت های زمانی در کارگاه می باشد، در این ماه باتوجه به تعطیلات نوروز و همچنین توقف های ناشی از خرابی نوار یک در این ماه در رده سوم قرار گرفته است.

گروه های زمانی خالص حفاری^۱، نصب سگمنت^۲ و جابه‌جایی^۳ که در واقع جزء زمان های الزامی جهت حفاری محسوب می شوند به ترتیب ۱۳/۹۹ و ۱۷/۶۵ و ۵/۳۰ درصد از سهم گروه Advance را به خود اختصاص داده اند.

- گروه Logistic که سهم ۱۴/۶۳ درصد را به خود اختصاص داده است در رده چهارم قرار گرفته است که علت اصلی این مسئله مربوط به تاخیرهای بوجود آمده در ترابری ریلی به علت خرابی یکی از لکوموتیوهای موجود در کارگاه می باشد که می بایست نسبت به جایگزین نمودن دستگاه های جدید و یا انجام تعمیرات اساسی بر روی آنها اقدامات لازم صورت گیرد.

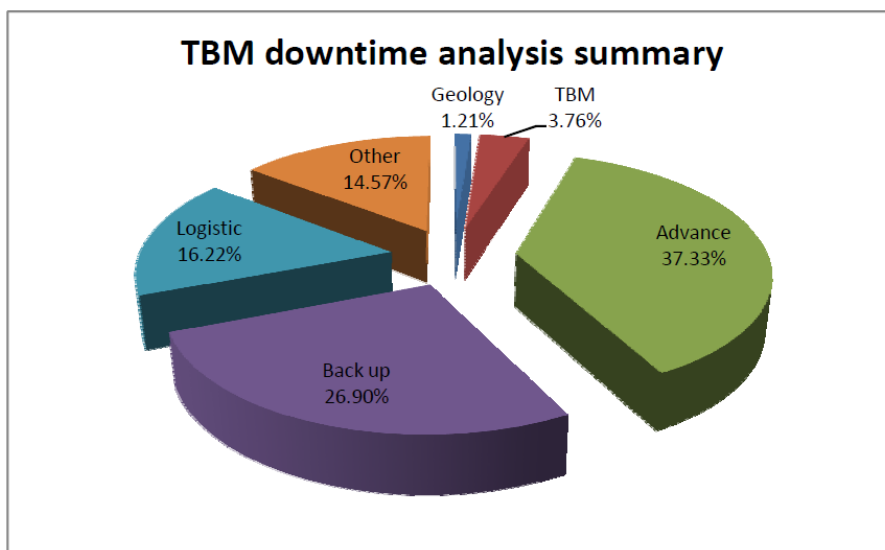
- گروه TBM در این ماه ۳/۲۳ درصد را به خود اختصاص داده است که این مسئله مربوط به مشکلات جزئی هیدرولیکی و مکانیکی بوجود آمده در ماشین می باشد.

- در گروه Geology با سهمی برابر ۱/۳۸ درصد مربوط به سهم تعویض نمودن دیسک کاترها و تمیز نمودن دیسک کاترها می باشد.

¹ Net boring
² Segment Installation
³ Regripping

جدول (۶ ۲۴) تقسیم بندی و توزیع زمانی فعالیت های مرتبط با حفاری در اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ [۱۷۰]

<i>TBM downtime analysis summary</i>		<i>Time(%)</i>	
Geology	<i>rock jam/ clean muck from cutter head</i>	0.00	1.21
	<i>clear rock fallout</i>	0.00	
	<i>cutter change</i>	1.21	
	<i>ground improvement/ foam, mortar injection</i>	0.00	
	<i>water inflow problems</i>	0.00	
	<i>probe drilling or other drilling</i>	0.00	
TBM	<i>hydraulic & related problems</i>	3.76	3.76
	<i>mechanical & related problems</i>	0.00	
	<i>electrical & related Problems</i>	0.00	
Advance	<i>net boring</i>	25.71	19.29
	<i>support placment (segment Installation)</i>	0.00	
	<i>re-storck/regrip TBM</i>	11.63	
Back up	<i>Pea gravel injection</i>	0.00	26.90
	<i>track placement & Problems</i>	0.00	
	<i>conveyore problems</i>	4.17	
	<i>train exchange</i>	19.38	
	<i>hydromechanical & related problems</i>	1.48	
	<i>electrical & related Problems</i>	1.88	
Logistic	<i>utility installation(water, air, power)</i>	11.25	16.22
	<i>derailment</i>	3.90	
	<i>lack of materials</i>	0.00	
	<i>transportation & unloading</i>	1.08	
Other	<i>shift change and safety meeting</i>	3.23	14.57
	<i>lunch & sandwiches</i>	4.17	
	<i>washing & cleaning/ cutter check/ routine maintenance</i>	7.12	
	<i>unknown</i>	0.05	



شکل (۶ ۱۴) نمودار توزیع زمانی فعالیت های روزانه تونل در اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ [۱۷۰]

با جمع بندی تاخیرات و توزیع فعالیت های صورت گرفته در اردیبهشت ماه ۸۹ می توان به نکات زیر اشاره نمود [۱۷۰]:

- گروه Advance که از مهمترین بخش از فعالیت های زمانی در کارگاه می باشد، در این ماه باتوجه به رکورد حفاری ثبت شده در این ماه با درصدی برابر ۳۷/۳۳ درصد در رده اول قرار گرفته است. گروه های زمانی خالص حفاری ، نصب سگمنت و جابه جایی که در واقع جزء زمان های الزامی جهت حفاری محسوب می شوند به ترتیب ۲۵/۷۱ و ۳۸/۷۵ و ۱۱/۶۳ درصد از سهم گروه Advance را به خود اختصاص داده اند.

- در گروه Back-up که در این ماه با سهم ۲۶/۹۰ درصد در رده دوم قرار گرفته است بیشترین سهم مربوط به تعویض قطارها در محدوده Back-up دستگاه تا کالیفرنیا سوئیچ متحرک می باشد که به علت فاصله ای که از دستگاه گرفته باعث ایجاد تاخیراتی در عملکرد دستگاه می شود. لازم به ذکر است باتوجه به افزایش طول تونل افزودن کالیفرنیا سوئیچ ثابت در محدوده کیلومتر ۵/۵ تا ۶ تونل الزامی می باشد و در ادامه روند حفاری، نبود آن باعث افزایش تاخیرات حفاری خواهد شد.

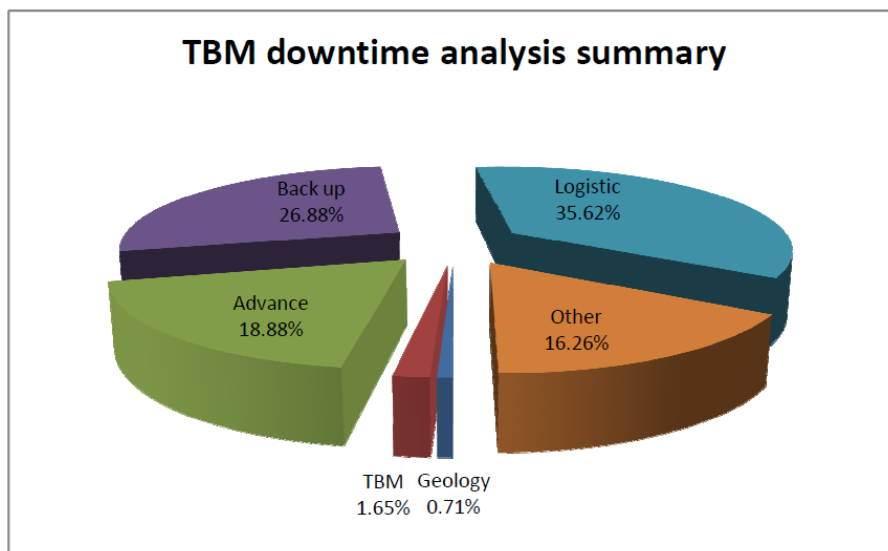
- گروه Logistic که سهم ۱۶/۲۲ درصد را به خود اختصاص داده است در رده سوم قرار گرفته است که علت اصلی این مسئله مربوط به تاخیرهای بوجود آمده در ترابری ریلی به علت خرابی لکوموتیوهای موجود در کارگاه می باشد که می بایست نسبت به جایگزین نمودن دستگاه های جدید و یا انجام تعمیرات اساسی بر روی آنها اقدامات لازم صورت گیرد.

- گروه TBM در این ماه ۳/۷۶ درصد را به خود اختصاص داده است که این مسئله مربوط به مشکلات جزئی هیدرولیکی و مکانیکی بوجود آمده در دستگاه می باشد.

- در گروه Geology با سهمی برابر ۱/۲۱ درصد مربوط به سهم تعویض نمودن دیسک کاترها و تمیز نمودن دیسک کاترها می باشد.

جدول (۶ ۲۸) تقسیم بندی و توزیع زمانی فعالیت های مرتبط با حفاری در خرداد ماه ۱۳۸۹ [۱۷۱]

<i>TBM downtime analysis summary</i>		<i>Time(%)</i>	
Geology	<i>rock jam/ clean muck from cutter head</i>	0.00	0.71
	<i>clear rock fallout</i>	0.00	
	<i>cutter change</i>	0.71	
	<i>ground improvement/ foam, mortar injection</i>	0.00	
	<i>water inflow problems</i>	0.00	
	<i>probe drilling or other drilling</i>	0.00	
TBM	<i>hydraulic & related problems</i>	0.00	1.65
	<i>mechanical & related problems</i>	1.25	
	<i>electrical & related Problems</i>	0.40	
Advance	<i>net boring</i>	15.32	18.88
	<i>support placment (segment Installation)</i>	0.00	
	<i>re-storck/regrip TBM</i>	3.56	
Back up	<i>Pea gravel injection</i>	0.00	26.87
	<i>track placement & Problems</i>	0.00	
	<i>conveyore problems</i>	0.81	
	<i>train exchange</i>	23.52	
	<i>hydromechanical & related problems</i>	2.55	
	<i>electrical & related Problems</i>	0.00	
Logistic	<i>utility installation(water, air, power)</i>	2.02	35.62
	<i>derailment</i>	3.90	
	<i>lack of materials</i>	25.81	
	<i>transportation & unloading</i>	3.90	
Other	<i>shift change and safety meeting</i>	4.30	16.26
	<i>lunch & sandwiches</i>	4.17	
	<i>washing & cleaning/ cutter check/ routine maintenance</i>	7.80	
	<i>unknown</i>	0.00	



شکل (۶ ۱۸) نمودار توزیع زمانی فعالیت های روزانه تونل در خرداد ماه ۱۳۸۹ [۱۷۱]

با جمع بندی تاخیرات و توزیع فعالیت های صورت گرفته در خرداد ماه ۸۹ می توان به نکات زیر اشاره نمود [۱۷۰]:

- گروه Logistic که سهم ۳۵/۶۲ درصد را به خود اختصاص داده است در رده اول قرار گرفته است که علت اصلی این مسئله مربوط به توقف های بوجود آمده به علت کمبود ریل و سگمنت و همچنین انتقال تجهیزات بوستر فن و کالیفرنیا سوئیچ ثابت به داخل تونل بوده است.

- در گروه Back-up که در این ماه با سهم ۲۶/۸۸ درصد در رده دوم قرار گرفته است بیشترین سهم مربوط به تعویض قطارها در محدوده Back-up دستگاه تا کالیفرنیا سوئیچ متحرک می باشد که به علت فاصله ای که این سوئیچ از دستگاه و دهانه تونل گرفته باعث ایجاد تاخیراتی در عملکرد دستگاه می شود. لذا باتوجه به افزایش طول تونل افزودن کالیفرنیا سوئیچ ثابت در محدوده ۵/۵ تا ۶ تونل الزامی بود که خوشبختانه با توقف دستگاه در این ماه و انتقال کالیفرنیا سوئیچ ثابت به داخل تونل، امید است بخش عمده ای از تاخیرات مربوط به این بخش در ماه های آینده از بین رود.

- گروه Advance که از مهمترین بخش از فعالیت های زمانی در کارگاه می باشد، با درصدی برابر ۱۸/۸۸ درصد در رده سوم قرار گرفته است. گروه های زمانی خالص حفاری ، نصب سگمنت و جابه جایی که در واقع جزء زمان های الزامی جهت حفاری محسوب می شوند به ترتیب ۱۵/۳۲ و ۲۳/۷۰ و ۳/۵۶ درصد از سهم گروه Advance را به خود اختصاص داده اند.

- گروه TBM در این ماه ۱/۶۵ درصد را به خود اختصاص داده است که این مسئله مربوط به مشکلات جزئی هیدرولیکی و مکانیکی بوجود آمده در ارکتور دستگاه می باشد.

- در گروه Geology با سهمی برابر ۰/۷۱ درصد مربوط به سهم تعویض نمودن دیسک کاترها و تمیز نمودن دیسک کاترها می باشد.

فصل ۷. نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۴ نتیجه گیری

ساخت تونل و سایر سازه‌های زیرزمینی، به دلیل متغیرهای زیاد، منجمله شرایط غیرقابل پیش بینی و نامطمئن زمین، با خطرهایی مواجه می‌باشد که می‌تواند ایمنی و یا اقتصاد طرح را به مخاطره افکند. ایمنی طرح، در بکار گرفتن روش‌های سنتی تونل زنی، و اقتصادی طرح، در استفاده از ماشین‌های تونل سازی بیشتر در معرض مخاطره و ریسک قرار دارد. در هر حال، در طراحی یک سازه زیرزمینی، حذف کامل خطرهای عملی نبوده، پذیرفتن ریسک کار تا یک حد قابل قبولی اجتناب ناپذیر می‌باشد. از این رو، تحلیل مخاطرات تونل سازی بخشی از خدمات مهندسی مطالعات ژئوتکنیکی را تشکیل می‌دهد.

ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های پرمخاطره نظیر پروژه‌های تونل سازی مکانیزه از جمله اقدامات ضروری برای مدیریت و ارائه پاسخ به ریسک‌های مرتبط است. این امر مستلزم شناسایی و تعیین مجموعه عوامل ریسک زاست که در این تحقیق در قالب نظر کارشناسی و مطالعات زمین-شناسی، ریسک در ۸ سطح مورد توجه واقع شده است. به منظور رتبه‌بندی دقیق‌تر ریسک‌ها، با استفاده از شاخص‌های: احتمال وقوع ریسک، تأثیر (شدت) ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت پروژه و شاخص‌های تکمیلی: عدم اطمینان تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک نیز در نظر گرفته شده است. رتبه‌بندی نهایی با استفاده از روش‌های AHP، TOPSIS، FTOPSIS و FAHP انجام گردید. از آنجا که روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ریسک‌ها با توجه به شاخص‌های گوناگون بهتر ارزیابی می‌گردند و در نتیجه واقع بینانه‌تر رتبه بندی می‌شوند. با توجه به این که نتایج حاصل از اجرای روش‌های فوق در مواردی با یکدیگر هم‌خوانی نداشت، برای رسیدن به یک اجماع کلی از رتبه-بندی ریسک‌ها، از تکنیک‌های ادغامی که شامل روش‌های میانگین، بردا و کپ لند است، استفاده شد. در نهایت مجاله شونده‌گی و ناپایداری سینه کار تونل بیشترین و نشت گاز و چسبناکی سنگ‌ها و خاک‌های رسی به ترتیب کم‌ترین رتبه ریسک‌ها را به خود اختصاص دادند.

به منظور کاهش و کنترل ریسک مچاله شوندگی در تونل انتقال آب گلاب که در بخش‌های II، III، IV، V، VI، VII، IX، XI و XIV مستعد این پدیده شناخته شده‌اند، راهکارهای ذیل برای کاهش و کنترل این پدیده پیشنهاد می‌شود:

- طراحی سپر به صورت مخروطی که به سمت انتها از قطر سپر کاسته شود؛
- نصب دیسک کاترهای محیطی (*gauge cutters*) در حاشیه بیرونی کاترهد برای حفاری تونل با قطر بیشتر و تأمین فضای لازم برای جمع شدن زمین؛
- کاهش توقف‌ها ماشین در بخش‌هایی که پتانسیل این پدیده زیاد است؛
- تزریق موادی مانند گریس به عنوان روان کننده به پشت سپر برای کاهش

اصطکاک

- در حالت بحرانی ممکن است، آزادسازی ماشین نیازمند حفاری دستی در اطراف سپر باشد.

همچنین در محل‌های کنتاکت های گسلی و پهنه‌های خرد شده که بخش وسیعی از تونل را در بر گرفته است به منظور کاهش ریسک ناپایداری سینه کار در تونل انتقال آب پیشنهاد می‌گردد تا به هنگام توقف دستگاه حفاری TBM، کاترهد به عقب کشیده نشود تا با حفظ تماس کاترهد با سینه کار تونل مانع از جدا شدن بلوک‌ها و افتادن آن‌ها به فضای جلوی کاترهد شود.

۴۷- پیشنهادات

- ارزیابی ریسک ماشین حفر تونل TBM با استفاده از دیگر تکنیک‌های کمی نظیر شبیه سازی مونت کارلو، ارزیابی درخت رویداد، ارزیابی درخت خطا، تجزیه تحلیل آثار شکست و اثرات آن
- ارزیابی ریسک سایر ماشین‌های مکانیزه حفر تونل نظیر EPB, Slurry Shield, Single Shield و Open TBM
- تحلیل حساسیت روش‌های تصمیم گیری چند معیاره رتبه بندی ریسک ماشین حفاری TBM
- پیشنهاد می‌گردد چک لیست‌هایی جهت رتبه بندی ریسک ماشین‌های حفاری TBM تهیه گردد.
- پیشنهاد می‌گردد پیرامون تأثیر تجمعی عوامل مؤثر بر ریسک ماشین حفار TBM تحقیقاتی صورت پذیرد.

- [1] PMI, "Project Management Body of Knowledge," 2004.
- [2] Y. Y. Haimes, Risk Modeling, Assessment and Management, John Wiley and Sons, 1998.
- [3] "Risk Management," Government of western Australia, 11 Mar 2009. [Online]. Available: www.dsr.wa.gov.au/293.
- [4] "A Risk Management Standard", AIRMIC.۲۰۰۲،
- [5] C. Pritchard "Risk Management: Concept and Guidance".ESI international.
- [6] R. Wideman, "Project and Program Risk Management: a guide to managing project risks & opportunities," Project Management Institute, 1992.
- [7] "A Guide to Project management body of knowledge (PMBOK)," Project Management Institute, 2004.
- [8] El-Sayegh, "Risk Assessment and allocation in the UAE construction industry," *international of project Management*, vol. 26, pp. 431-438, 2007.
- [9] ص. روزبهي و خ. جدا، مدیریت ريسک پروژه با استفاده از نرم افزار pertmaster، انتشارات کيان رایانه سبز، ۱۳۸۷.
- [۱۰] ر. عبدالمحمدي، فرآيند کاربردی مدیریت ريسک پروژه خودآموز نرم افزار pertmaster، مرکز آموزش و تحقيقات صنعتی ايران، ۱۳۸۷.
- [11] J. Reilly and R. Thompson, "international survey, 1400 projects," internal report, 2001.
- [12] H. Wagner, "Risk Evaluation and Control in Underground Construction," ITA AITES, 2006.
- [13] S. Ghosh and J. jintanapakanont, "Identifying and assessing the critical risk factors in an underground rail project in Thailand: a factor analysis approach," *International Journal of Project Management*, vol. 22, pp. 633-643, 2004.
- [14] K. Rezaei, M. Amalnik, A. Gereie, B. Ostadi and M. Shakhsheniaee, "Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management: Consideration of relationships between uncertainties," *Applied Mathematics and Computation*, pp. 1492-1501, 2007.
- [15] S. Au, Z. Wang and S. Lo, "Compartment fire risk analysis by advanced Monte Carlo simulation," *Engineering Structures*, vol. 29, pp. 2381-2390, 2007.
- [16] Y. Wu, "Correlated sampling techniques used in Monte Carlo simulation for risk assessment," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 85, pp. 662-669, 2008.
- [17] B. Amigun, D. Petrie and J. Görgens, "Economic risk assessment of advanced process technologies for bioethanol production in South Africa: Monte Carlo analysis," in *Renewable Energy*, 2011.
- [18] E. Linder, G. Patil and D. Vaughan, "Application of event tree risk analysis to

- fisheries management," *Ecological Modelling*, vol. 36, pp. 15-28, 1987.
- [19] A. Meloy, "Arenal-type pyroclastic flows: A probabilistic event tree risk analysis," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 157, pp. 121-134, 2006.
- [20] J. Vílchez, V. Espejo and J. Casal, "Generic event trees and probabilities for the release of different types of hazardous materials," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2011.
- [21] A. Lindhe, L. Rosén, T. Norberg and O. Bergstedt, "Fault tree analysis for integrated and probabilistic risk analysis of drinking water systems," *Water Research*, vol. 43, pp. 1641-1653, 2009.
- [22] R. Ferdous, F. Khan, B. Veitch and P. Amyotte, "Methodology for computer aided fuzzy fault tree analysis," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 87, pp. 217-226, 2009.
- [23] J. Vaurio, "Ideas and developments in importance measures and fault-tree techniques for reliability and risk analysis," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 95, pp. 99-107, 2010.
- [24] R. Farret, P. Gombert, F. Lahaie, A. Cherkaoui, S. Lafortune and P. Roux, "Design of fault trees as a practical method for risk analysis of CCS: Application to the different life stages of deep aquifer storage, combining long-term and short-term issues," *Energy Procedia*, vol. 4, pp. 4193-4198, 2011.
- [25] B. Carlsson, "Initial Risk Analysis of Potential Failure Modes," *Performance and Durability Assessment*, pp. 147-157, 2004.
- [26] R. Gowland, "The accidental risk assessment methodology for industries (ARAMIS)/layer of protection analysis (LOPA) methodology: A step forward towards convergent practices in risk assessment?," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 130, p. 307-310, 2006.
- [27] Y. Wang, K. Chin, G. Poon and J. Yang, "Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 1195-1207, 2009.
- [28] J. Leeuwen ,M. Nauta ,D. Kaste ,Y. Odekerken-Rombouts ,M. Oldenhof ,M. Vredendregt 9 D. Barends" ,Risk analysis by FMEA as an element of analytical validation " *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* p. 1085-1087 . 2009
- [29] A. Hu, C. Hsu, T. Kuo and W. Wu, "Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, p. 7142-7147, 2009.
- [30] N. Xiao, H. Huang, Y. Li, L. He and T. Jin, "Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA," *Engineering Failure Analysis*, vol. 18, pp. 1162-1170, 2011.
- [31] Z. Zhang and X. Chu, "Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty," *Expert Systems with Application*, 2011.
- [32] S. Chen and S. Chen, "Fuzzy risk analysis based on measures of similarity between interval-valued fuzzy numbers," *Computers & Mathematics with*

- Applications*, vol. 55, pp. 1670-1685, 2008.
- [33] L. Lee and S. Chen, "Fuzzy risk analysis based on fuzzy numbers with different shapes and different deviations," *Expert Systems with Applications*, vol. 34, pp. 2763-2771, 2008.
- [34] S. Chen and C. Wang, "Fuzzy risk analysis based on ranking fuzzy numbers using α -cuts, belief features and signal/noise ratios," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 5576-5581, 2009.
- [35] L. Feng and G. Luo, "Analysis on fuzzy risk of landfall typhoon in Zhejiang province of China," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 79, pp. 3258-3266, 2009.
- [36] Z. Xu, S. Shang, W. Qian and W. Shu, "A method for fuzzy risk analysis based on the new similarity of trapezoidal fuzzy numbers," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, pp. 1920-1927, 2010.
- [37] S. Hejazi, A. Doostparast and S. Hosseini, "An improved fuzzy risk analysis based on a new similarity measures of generalized fuzzy numbers," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, pp. 9179-9185, 2011.
- [38] A. Idrus, M. Nuruddin and M. Rohman, "Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, pp. 1501-1508, 2011.
- [39] M. M. Fouladgar, A. Y. Chamzini and M. H. Basiri, "Risk evaluation of tunneling projects by guzzy TOPSIS," in *INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT*, 2011.
- [۴۰] A. R. Sayadi, A. Rajabzadeh, M. Hosseinpor و M. Hayati“ ,Risk Ranking In Tunneling Projects Using TOPSIS Method در ”, *8th Iranian Tunneling conference ,tehran*, 2009.
- [41] Linkov, "From Comparative risk assessment to multi criteria decision analysis and adaptive management: recent developments and application," *Environment international*, vol. 32, pp. 1072-1093, 2006.
- [42] T. Wang and H. Lee, "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weight and objective weight," *Expert system with application*, 2008.
- [43] Y. Wang and T. Elhag, "Fuzzy TOPSIS Method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment," *expert system with application*, vol. 31, pp. 309-319, 2006.
- [44] R. Heuer, "Estimating rock tunnel water inflow," in *proceeding of the rapid excavation and tunneling confrence*, 1995.
- [45] J. Michnik and M. Lo, "MCDM Approach to financial risk management," in *35th international conference on computer and industrial engineering*, 2005.
- [46] J. H. Lambert, "Identification , ranking , and management of risks in a major system acquisition," *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 72, pp. 315-325, 2001.
- [47] M. Abdel Salaml, "Contractual sharing of risks in underground construction: ITA views," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 10, p. 433-437, 1995.

- [48] H. Einstein, "Risk and risk analysis in rock engineering," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 11, p. 141–155, 1996.
- [49] R. Sturk, L. Olsson and J. Johansson, "Risk and decision analysis for large underground projects, as applied to the Stockholm ring road tunnels," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 11, p. 157–164, 1996.
- [50] G. Salmon, D. Cattanaach and D. Hartford, "Risk management at Whleach dam," *Civil Engineering ASCE*, vol. 67, p. 39–41, 1997.
- [51] R. Whitman, "Organizing and evaluating uncertainty in geotechnical engineering," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 126, p. 583–593, 2000.
- [52] V. Guglielmetti, P. Grasso, A. Mahtab and S. Xu, *Mechanized tunneling in urban areas: design methodology and construction control*, Taylor and Francis, 2007.
- [53] H. Chou, C. Yang, B. Hsieh and S. Chang, "A study of liquefaction related damages on shield tunnels," *Tunneling and Underground Space Technology*, vol. 16, pp. 185-193, 2001.
- [54] P. Grasso ,M. Mahtab ,G. Kalamaras 9 H. Einstein" .On the Development of a Risk Management Plan for Tunnelling ,Proc "AITES-ITA Downunder 2002 World Tunnel Congress ,sydney.۲۰۰۲ .
- [55] Y. Chungsik and K. Jae-Hoon, "A web-based tunneling-induced building utility damage assessment system: TURISK," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 18, p. 497–511, 2003.
- [56] G. Arendsb, RolfBielecki, J. Castlec, S. Drabekc, A. Haack, F. Nedbalc, A. Nordmark and R. Sterling, "Risk Budget management in progressing underground works International Society for Trenchless Technology (ISTT) and International Tunnelling Association (ITA) Joint Working Group Report," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 19, p. 29–33, 2004.
- [57] H. Du`zgu`n and H. Einstein, "Assessment and management of roof fall risks in underground coal mines," *Safety Science*, vol. 42, p. 23– 41, 2004.
- [58] A. Benardos and D. Kaliampakos, "A methodology for assessing geotechnical hazards for TBM tunnelling—illustrated by the Athens Metro, Greece," *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, vol. 41, p. 987–999, 2004.
- [59] J. Reilly and J. Brown, "Management and control of cost and risk for tunneling and infrastructure projects," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 19, p. 2004, 330.
- [60] D. E. Søren, T. Per, K. Jørgen and H. V. Trine, "Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group No. 2," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 19, p. 217–237, 2004.
- [61] I. T. A. W. G. N. 2, "Guidelines for Tunneling Risk Management," ITA, 2004.
- [62] Y. Kwangho, Y. Park and L. Jun S, "Risk analysis for determination of a tunnel support pattern," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 20, p. 479–486, 2005.

- [63] T. Isaksson and H. Stille., "Model for Estimation of Time and Cost for Tunnel Projects Based on Risk Evaluation," *Rock Mech. Rock Engng*, vol. 38, p. 373–398, 2005.
- [64] T. I. T. I. Group, "A Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works," ITA, 2006.
- [65] A. Kwong, "Risk management of SSDS stage I Tunnel B – tunnelling under the eastern harbour crossing tunnel in Hong Kong," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 21, p. 358, 2006.
- [66] E. M. Herrenknecht and K. Ba'ppler., "Mastering risks during mechanized excavation in urban centers with highly complex ground conditions," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 21, p. 260, 2006.
- [67] D. Lamont and R. Booth, "Occupation as a risk factor in tunnelling decompression illness," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 21, p. 280, 2006.
- [68] J. Reilly, "Cost Estimating, Probable Cost, Risk Identification and Risk Management for Infrastructure Projects," in *Proceedings American Public Transportation (APTA) Conference*, 2006.
- [69] J. Reilly and H. Parker, "Benefits and Life-Cycle Costs of Underground Projects," in *AITES-ITA World Tunnel Congress*, Prague, 2007.
- [70] H. W. Parker and J. Reilly, "Risk and Life Cycle Costs and Benefits for Underground Projects," in *North American Tunneling Conference*, San Francisco, 2008.
- [71] S. Miguel A, A. Foyo, T. Carmen and I. Eneko, "A proposed Natural Risk Index and Safety Factor for protection of prehistoric caves," *Engineering Geology*, vol. 94, p. 180–200, 2007.
- [72] K. Shahriar, M. Sharifzadeh and J. Khademi Hamidi, "Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection in difficult ground conditions," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 23, p. 318–325, 2008.
- [73] H. Eun-Soo, b. In-Mo Lee, S. Hee-Soon, N. Seok-Woo and K. Jung-Sik, "Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: Application to the design of shield TBM," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 24, p. 269–277, 2009.
- [74] A. Beard, "Problems with using models for fire safety," in *The Handbook of Tunnel Fire Safety*, London, Thomas Telford, 2005.
- [75] م. س. جبل عاملی، آ. رضائی فر و ع. چ. ب. لنگرودی، "رتبه بندی ریسک پروژه با استفاده از تصمیم گیری چند معیاره،" نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۱، ۱۳۸۶، pp. 863-871.
- [76] م. ج. جعفری و ن. قراری، "آنالیز ریسک تی بی ام به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن،" در هشتمین کنفرانس تونل، تهران، ۱۳۸۸.
- [77] ا. ر. صیادی، م. حیاتی و م. ح. پ. سجیدان، "ارزیابی ریسک پروژه های تونل سازی به کمک روش FMEA و منطق فازی،" در سومین کنفرانس مهندسی معدن/ایران، یزد، ۱۳۸۸.
- [78] C. Chapman and S. Ward, Project risk management: processes , techniques and

- insights, John Wiley and Sons, 2003.
- [79] J. Pipattanapiwong, "Development of Multi-party Risk and Uncertainty Management Process for an Infrastructure Project," PhD Thesis, Kochi University of Technology, 2004.
- [80] R. E. McDermott, "The basics of FMEA," *Quality Resources*, p. 12, 1996.
- [81] J. H. Klein and R. B. Cork, "An approach to technical risk assessment," *International Journal of Project Management*, vol. 16, pp. 345-351, 1998.
- [82] D. Baccarini and R. Archer, "The risk ranking of projects: a methodology," *International Journal of Project Management*, vol. 19, pp. 139-145, 2001.
- [83] L. Waterland, S. Venkatesh and T. L. Unnasch, "Safety and Performance Assessment of Ethanol/Diesel Blends (E-Diesel)," National Renewable Energy Laboratory, 2003.
- [84] L. E. Shirland, R. R., R. L. Jesse and C. L. Thompson, "Determining attribute weights using mathematical programming," *Omega*, vol. 31, pp. 423-437, 2003.
- [85] J. Pimerol and R. S.B, Multi criteria decision in management: principles and practice, Kluwer Academic Publisher, 2000.
- [۸۶] ع. آذر و ع. رجب زاده, تصمیم گیری کاربردی, تهران: نگاه دانش, ۱۳۸۷.
- [۸۷] م. ج. اصغر پور, تصمیم گیری های چند معیاره, تهران: دانشگاه تهران, ۱۳۷۷.
- [۸۸] س. ح. میرفخرالدینی, "تحلیل داده ها در شش سیگما با رویکرد MADM," رساله دکتری مدیریت گرایش تحقیق در عملیات, دانشکده علوم انسانی, دانشگاه تربیت مدرس, ۱۳۸۶.
- [۸۹] س. ح. قدسی پور, فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP, تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر, ۱۳۸۹.
- [90] Saaty and Alexander, Thinking with Models: Mathematical models in Physical, Biological and Social Sciences, London: Pergammum Press, 1981.
- [91] T. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.
- [۹۲] م. عطایی, تصمیم گیری چند معیاره, شاهرود: دانشگاه صنعتی شاهرود, ۱۳۸۹.
- [۹۳] م. عطایی, تصمیم گیری چند معیاره فازی, شاهرود: دانشگاه صنعتی شاهرود, ۱۳۸۹.
- [94] S. Chen and C. Hwang, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Berlin: Springer-Verlag, 1992.
- [95] C. Kahraman, U. Cebeci and D. Runa, "Multi-Attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP," *international journal of production Economics*, vol. 87, pp. 171-184, 2004.
- [96] T. Wang and Y. Chen, "Applying consistent fuzzy preference relations to patnership selection," *international journal of mangement science*, vol. 35, pp. 384-388, 2007.
- [97] H. Deng, "Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison," *International journal Approx Reason*, vol. 21, pp. 215-231, 1999.
- [98] C. Cheng, "A New approach for ranking fuzzy numbers by distance method," *Fuzzy Sets and System*, vol. 95, pp. 307-317, 1998.

- ع. ارومیه ای، ا. مظفری، م. شریف زاده و ح. زارعی، "چالش های زمین شناسی مهندسی برای تونل های سنگی در ایران،" *نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل*، 10-25، p. [۹۹] 12 آبان ۱۳۹۰.
- م. ر. پاشاکلائی، ع. م. ن. نوری و ج. خ. حمیدی، "نقش پارامترهای زمین شناسی و مخاطرات ژئوتکنیکی در انتخاب ماشین تونلزنی،" *نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل*، [۱۰۰] ۱۰-۱۲ آبان ۱۳۹۰.
- ع. طاهری و ح. ا. م. بروجنی، "ارزش گذاری پارامترهای فنی مؤثر در انتخاب ماشین تونلزنی در محیط های سنگی به کمک روش AHP - مثال موردی قطار شهری اصفهان،" *در ششمین کنفرانس تونل*، تهران، ۱۳۸۲.
- ع. طاهری و ح. ا. منصوره بروجنی، "ارزش گذاری پارامترهای فنی مؤثر در انتخاب ماشین تونلزنی در محیط های سنگی به کمک روش AHP-مثال موردی قطار شهری اصفهان،" [۱۰۲] *ششمین کنفرانس تونل*، ۱۳۸۲.
- ج. حسن پور و غ. شمسی، "نقش مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک در تونلسازی مکانیزه،" *نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل*، p. 57, 1390 [۱۰۳]
- D. Wenner and H. Wannemacher, "Alborz Service Tunnel in iran: TBM tunneling in difficult ground conditions and its solutions," in *8th iranian tunneling conference*, tehran, 2009. [104]
- R. Goodman, D. Moye, A. Schalkwyk and I. Javandel, "Ground water inflow during tunnel driving," *engineering geology*, vol. 1, pp. 150-162, 1965. [105]
- G. Fernandez and J. Moon, "Excavation -induced hydraulic conductivity reduction around a tunnel - par1: Guideline for estimate of ground water inflow rate," *tunneling and underground space technology*, vol. 25, pp. 560-566, 2010. [106]
- M. El Tani, "Circular tunnel in a semi infinite aquifer," *Tunneling and underground space technology*, vol. 18, pp. 49-55, 2003. [107]
- J. Raymer, "Predicting ground water inflow into hard rock tunnels : estimating the high end of permeability," *RETC*, pp. 201-217, 2003. [108]
- ع. یساقی و ح. ک. مقدم، "ارزیابی خطرات زمین شناسی در ساخت تونلهای بزرگ البرز،" [۱۰۹] *آزادراه تهران شمال، ششمین کنفرانس تونل*، ۱۳۸۲.
- م. عباسی، م. گلیان، ا. شریفی تشنیزی، ا. ایزدی و ع. آغاسی، "بررسی پتانسیل کارست در مسیر تونل انتقال آب سبز کوه با استفاده از RS و GIS،" *نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل*، ۱۳۹۰. [۱۱۰]
- م. خسروتاش، م. خسروتاش و م. ترابی، "مدیریت شرایط اضطراری تهویه در حفاری با دستگاه تمام مقطع،" *در نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل*، تهران، ۱۳۹۰. [۱۱۱]
- ق. ستاری، ش. آجودانی و ج. بطحایی، "تونلسازی مکانیزه در شرایط بحران آب و گاز، مطالعه [۱۱۲]

- موردی ؛ تونل بلند زاگرس، "نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، pp. 1-8, 1390.
- ع. افتخاری و ج. خ. حمیدی، "مخاطرات زمین شناسی در تونل‌زنی با TBM - با مطالعه موردی [۱۱۳] در تونل بلند زاگرس، "هشتمین کنفرانس تونل، ۱۳۸۸.
- H. Zarei, M. Sharifzadeh and A. Uromyehie, "Gas ground risks and geological [114] investigations for TBM tunneling in Iran," *first asian and 9th Iranian tunneling Symposium*, 2011.
- ح. رمضی، "کاربرد روش های ژئوفیزیکی در مطالعات ساختگاهی با نگرشی ویژه به تونل ها،" [۱۱۵] در نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، تهران، آبان ۱۳۹۰.
- ح. مدنی، تهویه در معادن (جلد اول)، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۵. [۱۱۶]
- ح. مدنی، تونلسازی (جلد دوم - خدمات فنی)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۷. [۱۱۷]
- م. دلبری، ع. طاهری و م. زورآبادی، "تونلسازی در زمین های مچاله شونده،" در ششمین [۱۱۸] کنفرانس تونل، دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۲.
- ا. جعفری، م. ملائی و ح. شمسی، "ارزیابی مچاله شوندگی در توده سنگهای مسیر قطعه دوم [۱۱۹] تونل انتقال آب نوسود،" سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، ۱۳۸۶.
- M. Ramoni and G. Anagnostou, "Tunnel Boring Machine under squeezing [120] condition," *tunnel and underground space technology*, vol. 25, pp. 139-157, 2010.
- م. کرمی، ل. فرامرزی و د. رئیسی، "ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی و تعیین اضافه حفاری بهینه برای TBM دو سپری در تونل انتقال آب سبز کوه،" نخستین همایش آسیایی و نهمین [۱۲۱] همایش ملی تونل، ۱۳۹۰.
- س. ج. مرتضوی امیری و س. ر. ترابی، "کنترل و نگهداری تونلها در زمینهای آماسی،" در [۱۲۲] پنجمین کنفرانس تونل، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۰.
- م. شریف زاده، ج. خادمی حمیدی و ا. ترکمنی قطب، تونلسازی مکانیزه سپری، تهران: جهاد [۱۲۳] دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۶.
- ح. میرمحرابی، ص. طریق ازلی، م. غفوری و غ. لشکری پور، "بررسی خطر گل گرفتگی در سنگ های رسی (آرژلیتی) تونل اسپر،" در هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط [۱۲۴] زیست/ایران، شاهرود، شهریور ۱۳۹۰.
- م. عقیفی پور و پ. معارف وند، "بررسی چالش های اجرای تونل در محیط های مخلوط سنگ [۱۲۵] و خاک،" نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، ۱۳۹۰.
- A. Asadzadeh and A. Soroush, "Direct shear testing on a rock fill material," *The [126] Arabian Journal for science and Engineering*, vol. 34, pp. 379-396, 2009.

M. Thewes and W. Burger, "clogging of TBM drives in clay - identification and mitigation of risks," *underground space use: analysis of the past and lessons for future*, Vols. 1-2, 2005.

[127] موسسه مهندسين مشاور ايمن سازان, "گزارش مطالعات زمين شناسي عمومي پروژه تونل انتقال آب گلاب," ۱۳۸۸.

[۱۲۸] س. د. محمدی, "بررسی ویژگی های زمين شناسي مهندسي مسیر تونل گلاب," پایان نامه کارشناسی ارشد گروه علوم زمين دانشگاه بوعلی سینا, همدان, ۱۳۸۱.

[۱۲۹] م. م. ر. آب, "گزارش زمين شناسي مهندسي تونل انتقال آب گلاب," تحویل به سازمان آب منطقه ای اصفهان, ۱۳۸۳.

[۱۳۰] موسسه مهندسين مشاور ايمن سازان, "گزارش ماهيانه پروژه تونل انتقال آب گلاب منتهی به ۸۸/۴/۳۱," ۱۳۸۸.

[۱۳۱] ح. معماریان, زمين شناسي مهندسي و ژئوتکنیک, انتشارات دانشگاه تهران, ۱۳۷۷.

[۱۳۲] م. ج. رحيم دل, ر. باقرپور و س. مهدوری, "بررسی مچاله شوندي در توده سنگهای مسیر تونل انتقال آب گلاب," در *پانزدهمین همایش انجمن زمين شناسي ايران*, ۱۳۹۰.

[۱۳۳] م. شريف زاده و س. م. دلبری, "تأثير مچاله شوندي در برآورد بار وارده بر سيستم نگهدارنده - مطالعه موردی تونل گلاب," ۱۳۸۵.

[۱۳۴] ا. شريفی و م. هاشمی, "ارزيابی پتانسیل مچاله شوندي در تونل انتقال آب گلاب با استفاده از تحليل عددی به روش ناپيوسته," در *نخستین همایش آسيابی و نهمین همایش ملی تونل*, تهران, ۱۳۹۰.

[۱۳۵] ص. قیاسوند, "ارزيابی پتانسیل لهیدگی در تود هسنگهای مسیر تونل انتقال آب گلاب," ۱۳۸۵.

[۱۳۶] ع. ا. واحدی و پ. همتی, "طراحی پوشش بتنی تونل انتقال آب گلاب," در *ششمین کنفرانس تونل*, دانشگاه علم و صنعت ايران, ۱۳۸۲.

[۱۳۷] H. Seed, R. Woodward and R. Lundgren, "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays," *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, vol. 3, pp. 53-87, 1962.

[۱۳۸] س. ع. پسند, غ. خانلری و س. د. محمدی, "کاربرد هندسه فراکتال در اکتشاف گسلها (مطالعه موردی تونلهای گلاب)," در *کنفرانس بین المللی زلزله*, دانشگاه باهنر کرمان, ۱۳۸۳.

[۱۳۹] گ. س. ه. زیرزمینی, "طراحی و روش اجرای فضاهای زیرزمینی پروژه گلاب," موسسه مهندسين مشاور ايمن سازان, تهران, ۱۳۸۴.

[۱۴۰] S. Ward and C. Chapman, "Transforming project management into project uncertainty," *international journal of project management*, vol. 21, pp. 97-105, 2003.

- [142] S. Heller, "Managing industrial risk- having a tested and proven system to prevent and assess risk," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 130, pp. 58-63, 2006.
- [143] FTA, "Risk Assessment Procedures, Requirements and Report Formats for PMO Contractor Deliverables and Services," US DOT, 2003.
- [144] FTA, "Risk Assessment Methodologies and Procedures," Project No. DC-03-5649 Work Order No. 6, 2004.
- [145] FHWA, "Guide to Risk Assessment and Allocation for Highway Construction Management," Report FHWA-PL- 06-032, 2006.
- [146] D. .. U. Deere, "adverse geology and TBM tunneling problems," *rapid excavation and tunneling conference (RETC)*, pp. 574-585, 1981.
- [147] Bickel, Tunnel Engineering Handbook, Van Nostrand Co, 1982.
- [۱۴۸] م. م. ر. آب, "گزارش زمین شناسی مهندسی تونل انتقال آب گلاب," تحویل به سازمان آب منطقه ای اصفهان, ۱۳۷۹.
- [۱۴۹] م. سرابی, "برآورد مصرف دیسکهای برشی تونل انتقال آب کرج," پایان نامه کارشناسی دانشگاه صنعتی شاهرود, ۱۳۸۹.
- [۱۵۰] M. Thewes و W. Burger "clogging of TBM drives in clay - identification and mitigation of risks " *underground space use: analysis of the past and lessons for future 2005*.
- [151] E. Hoek, P. Kaiser and W. F. Bawden, support of underground excavation in hard rock, rotterdam: A.A. Balkemn, 1997.
- [152] G. Barla and S. Pelizza, "TBM tunneling in difficult ground conditions," *Geoeng*, 2000.
- [153] P. Marinos, "excavations, geological behavior of rock masses in underground," *Bulletin of geological society of greece*, 2010.
- [۱۵۴] ب. صالحی, فن تونل زنی با TBM, انتشارات صانعی, ۱۳۸۶.
- ح. زمانی, ن. ع. هوشیار و م. نصیری, "محاسبه نرخ مصرف دیسک برشی دستگاه حفر تمام مقطع (TBM) در حفاری سنگ سخت , مثال مورد مطالعه قطعه پنجم تونل انتقال آب قمرود," *ششمین کنفرانس تونل*, ۱۳۸۲.
- [155] [۱۵۵]
- [156] D. Kolumbas, *Tunnelling and Tunnel Mechanics*, Springer.
- [۱۵۷] ع. طاهری, "مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی در طرح های تونل سازی," *نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل*, pp. 39-48, 1390.
- [۱۵۸] ع. مهرپور, "نکات ایمنی در محیط های آلوده به H2S," امور بهداشت ایمنی و محیط زیست شرکت ملی نفت ایران, پیک ایمنی شماره ۵.
- [۱۵۹] A. Asadzadeh و A. Soroush "Direct shear testing on a rock fill material ", *The Arabian Journal for science and Engineering*, جلد ۳۴, pp. 379-396, 2009.

- ق. س. خ. الانبیاء، تونل سازی در سنگهای مجاله شونده، تهران: موسسه مهندسی مشاور طرح [۱۶۰] جامع، ۱۳۸۳.
- M. Alber, "stress dependency of the cerchar abrasivity index (CAI) and its effect [161] on wear of selected on wear of select rock cutting tools," *Tunnelling and underground space technology* 23, pp. 351-359, 2008.
- [162] Herrenknecht, "Technical Documentation TBM S-338 Dez-Qomroud Lot 1&2," ITA / AITES Working Group No 14 (2000), 2005.
- [۱۶۳] "www.wbiononline.de.[متصل]"،
- [۱۶۴] س. زندی، "انتخاب روش کنترل گاز H2S در تونل زاگرس با روش تصمیم گیری چند معیاره،" پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج معدن دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۸۹.
- ح. علیزاده، م. خراسانیان و س. م. علوی خوشحال، "بررسی مشکلات اجرایی و خطرات زمان بهره برداری تونلهای شهری (مترو)،" در نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، [۱۶۵] تهران، ۱۳۹۰.
- ع. رودینی، م. ع. ابراهیمی فرسنگی و ر. رحمان نژاد، "کاربرد شبکه عصبی در پیش بینی ماکزیمم نشست در اطراف تونل های کم عمق،" در نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، تهران، ۱۳۹۰. [۱۶۶]
- ع. مجدی، م. حیاتی و ا. روشنی، "تحلیل ریسک و آنالیز حساسیت نشست سطح زمین در پروژه های تونلسازی،" در سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، یزد، ۱۳۸۸. [۱۶۷]
- م. عباسی، م. گلیان، ا. شریفی تشنیزی و ع. آغاسی، "بررسی پتانسیل کارست در مسیر تونل انتقال آب سبز کوه با استفاده از RS و GIS،" در نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، تهران، ۱۳۹۰. [۱۶۸]
- موسسه مهندسی مشاور ایمن سازان، "گزارش ماهیانه پروژه تونل انتقال آب گلاب منتهی به [۱۶۹] ۸۹/۰۱/۳۱" تهران، ۱۳۸۹.
- موسسه مهندسی مشاور ایمن سازان، "گزارش ماهیانه پروژه تونل انتقال آب گلاب منتهی به [۱۷۰] ۸۹/۰۲/۳۱" تهران، ۱۳۸۹.
- موسسه مهندسی مشاور ایمن سازان، "گزارش ماهیانه پروژه تونل انتقال آب گلاب منتهی به [۱۷۱] ۸۹/۰۳/۳۱" تهران، ۱۳۸۹.

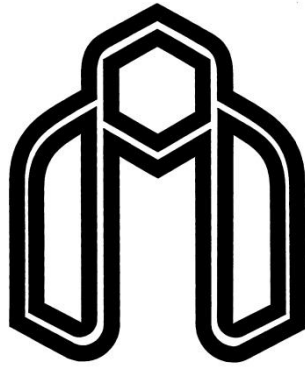
پیوست ۱

Abstract

There are many variables that make ground conditions unpredicted and uncertain in Tunnel and underground constructions. It could endanger the safety or economy of project. Evaluating and ranking of risky projects like mechanized tunneling is necessary to manage and respond to the associated risks, this required to identification of risk factors. In this study by help of experienced technicians and geological study to identify risk factors, eight (category) level of risk are considered. The most important factors of risk are water inflows, gas emissions, face instability, roof and wall instability, squeezing, swelling of rock, mixed face conditions and clogging of soil. The main problems of these risks and ways to predict and prevent have been discussed.

Probability factors and impact factor are using in ideal risk analysis but in this study we use both of ideal and some supplementary factor like uncertainty of estimate and risk manageability. Some multi criteria decision making technique like Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Analytical Hierarchy Process (AHP), and Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS) and Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) are used to ranking of risk. To normalized ranking of risk in all techniques, aggregate methods like Rank means, Borda method and Copeland method are used. In final squeezing and face instability are high level and gas emissions clogging of soil are less level of risk.

Key words: *risk management, geology risk, multi criteria decision making, Golab tunnel*



Shahrood University of Technology
Faculty of Mine, Petroleum and Geophysics

Ranking of risks by multiple criteria decision making
for TBMs Machines

Thesis
Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science (M.Sc)

Hamid Reza Nezarat

Supervisors

Dr.F. Sereshki

Dr.M.Ataei

Date: September 2012