

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک
گروه استخراج معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد
تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل های دسترسی معدن
گوشفیل با استفاده از تصمیم گیری چندمعیاره

اساتید راهنما

دکتر محمد عطایی

دکتر سید محمد اسماعیل جلالی

استاد مشاور

مهندس فریدون روشن

دانشجو

زینب رنجبر فلیانی

تابستان ۱۳۸۹

تقدیم بہ

مادر م کہ بہ بی نہایت وزمین پیوست

و

پدر م کہ فراتر از وظیفہ پدری و حتی توان انسانی می کوشد و عرق می ریزد.

تقدیر و تشکر

نفسست شکر ایزد بی همتا، که جان را در انسان و زمین دمید و پرورید و بعد سپاس از آنان که یار و همیار این کوچک بودند تا این مرحله را پشت سر گذارد، که زندگی همه فود تعریفی و درکی از مجموعه این مراحل است و فدای را سپاس می‌گویم که به من توان داد تا این مراحل را پشت سر بگذارم و به آغازی دگر بیندیشم؛ با یاری این دست‌ها:

۱- استادان عزیزم جناب آقای دکتر محمد عطایی و دکتر سید محمد اسماعیل جلالی که بی یاری و همکاری آنان هرگز این مرحله انجام نمی‌یافت.

۲- مشاور عزیزم جناب آقای مهندس فریبرز روشن

۳- مسئولان و کارکنان ممتز شرکت باما

۴- جناب آقای مهندس مفتاری (شرکت مهندسین مشاور شامل)

۵- برادر عزیزم جناب آقای امسان رنجبر

و تمامی دوستان و عزیزانی که هر کدام به نمودی در موفقیت اینجانب نقش بسیار داشته‌اند.

چکیده

یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی فضاهای زیرزمینی انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای آن فضا است. در بسیاری از موارد، سیستم‌های نگهداری برای تونل بر اساس تجربه مهندسين طراح انتخاب می‌شود. بنابراین به جای استفاده از معیارهای علمی، قضاوت‌های شخصی بیشترین نقش را در انتخاب سیستم نگهداری ایفا می‌کند. اما انتخاب سیستم نگهداری مناسب به پارامترهای اقتصادی و فنی بستگی دارد. بنابراین مسأله انتخاب سیستم نگهداری برای فضاهای زیرزمینی یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این تحقیق انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی معدن سرب و روی گوسفیل مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، یکی از تونل‌های دسترسی به ماده معدنی این معدن که در تراز ۱۵۶۵ قرار گرفته است، مورد بررسی ژئومکانیکی قرار گرفته است. این تونل دارای مقطع مربع شکل و ابعاد $4/5 \times 4/5$ متر است و از دو تونل عمود بر هم تشکیل شده است. همچنین هر دو تونل از دو محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه عبور می‌کنند. در این تحقیق ۸ نوع سیستم نگهداری برای ۴ محدوده مختلف این تونل در نظر گرفته شده و با استفاده از نرم‌افزار UDEC مقادیر جابجایی و ضریب اطمینان محاسبه شده است. سپس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW، TOPSIS، ELECTRE و AHP و با توجه به معیارهای ضریب اطمینان، سهولت اجرای سیستم، جابجایی و نیاز به نیروی انسانی، سیستم نگهداری مناسب برای هر کدام از محدوده‌های این تونل، انتخاب شده است. سیستم نگهداری انتخاب شده برای هر ۴ محدوده معرفی شده در این تونل، استفاده از پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و با فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌های تونل است.

کلمات کلیدی: معدن سرب و روی گوسفیل، سیستم نگهداری، تصمیم‌گیری چندمعیاره، تحلیل

پایداری تونل، UDEC

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات

- ۱-۱- ضرورت طراحی سیستم نگهداری برای حفريات زیرزمینی ۲
- ۲-۱- مراحل انجام تحقیق ۳

فصل دوم: کلیاتی در مورد معدن گوشفیل

- ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه ایرانکوه و معدن گوشفیل ۷
- ۲-۲- زمین شناسی ۹
 - ۲-۲-۱- زمین شناسی منطقه و معدن ۹
 - ۲-۲-۲- تکتونیک معدن گوشفیل ۱۱
 - ۲-۲-۳- مشخصات کانسنگ و سنگ های درونگیر ۱۱
 - ۲-۳- کارهای معدنی موجود ۱۲
 - ۲-۴- محدوده مرزهای کانسار در معدن گوشفیل ۱۲
 - ۲-۵- ذخایر معدنی ۱۲
 - ۲-۶- ظرفیت استخراجی ۱۲
 - ۲-۷- باز کردن معدن ۱۳
 - ۲-۸- آماده سازی کارگاه های استخراجی ۱۳

فصل سوم: مقدمه ای بر برآورد سیستم نگهداری موقت

- ۱-۳- مقدمه ۱۶
- ۲-۳- طبقه بندی مهندسی سنگ ۱۶
 - ۲-۳-۱- طبقه بندی ژئومکانیکی (روش RMR) ۱۷
 - ۲-۳-۲- طبقه بندی شاخص کیفی تونلسازی (روش Q) ۱۸

۱۹	۳-۲-۳- شاخص مقاومت زمینی شناسی.....
۲۱	۳-۳- محاسبه جابجایی‌های زمین.....
۲۱	۳-۳-۱- مدل‌های محیط پیوسته.....
۲۱	۳-۳-۲- مدل‌های محیط ناپیوسته.....
۲۳	۳-۴- روش‌های عددی.....
۲۶	۳-۴-۱- آشنایی با نرم‌افزار UDEC.....

فصل چهارم: تحلیل پایداری توده‌سنگ گوشفیل بر اساس روش‌های طبقه‌بندی توده‌سنگ

۲۹	۴-۱- مقدمه.....
۲۹	۴-۲- برداشت‌های صحرایی.....
۳۱	۴-۲-۱- روش خط برداشت:.....
۳۶	۴-۳- مشخصات گمانه‌ها.....
۳۷	۴-۴- نتایج آزمایش‌ها.....
۳۷	۴-۵- تحلیل پایداری و طراحی نگهداری با استفاده از روش‌های تجربی.....
۳۷	۴-۵-۱- تعیین امتیاز RMR.....
۳۹	۴-۵-۲- تعیین مقدار Q.....
۴۰	۴-۶- استفاده از RMR در تعیین پارامترهای ویژه توده‌سنگ.....
۴۰	۴-۶-۱- تعیین مدول تغییر شکل بر جا.....
۴۰	۴-۶-۲- مدت زمان پایداری تونل.....
۴۱	۴-۶-۳- توصیف کیفی سنگ و تعیین ϕ و C توده‌سنگ.....
۴۱	۴-۶-۴- تعیین بار روی سنگ.....
۴۱	۴-۶-۵- تعیین فشار وارد بر سیستم نگهداری.....
۴۲	۴-۷- استفاده از شاخص کیفی تونلسازی (Q) در تعیین پارامترهای ویژه توده‌سنگ.....
۴۲	۴-۷-۱- نوع سیستم نگهداری.....

۴۳	۴-۷-۲- تعیین دهانه پایدار (بدون نگهداری).....
۴۳	۴-۷-۳- تعیین فشار وارد بر سیستم نگهداری.....
۴۴	۴-۸-۱- شاخص مقاومت زمین‌شناسی (GSI).....
۴۴	۴-۸-۱- روش‌های محاسبه GSI.....
۴۶	۴-۸-۲- استفاده از GSI در تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده‌سنگ.....
۴۷	۴-۹- معرفی نرم‌افزار ROCLAB.....
۵۰	۴-۱۰- نتیجه‌گیری.....

فصل پنجم: تحلیل پایداری با استفاده از روش اجزا مجزا

۵۳	۵-۱- مقدمه.....
۵۴	۵-۲- فرضیات و روند مدل‌سازی عددی.....
۵۷	۵-۳-۱- مدل‌سازی مقطع تونل در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه.....
۵۷	۵-۳-۱- هندسه مدل.....
۵۸	۵-۳-۲- مدل رفتاری و نسبت دادن خواص.....
۵۹	۵-۳-۳- خواص ناپیوستگیها.....
۵۹	۵-۳-۴- شرایط مرزی و اولیه.....
۶۰	۵-۳-۵- مدل‌سازی مقطع تونل شماره ۱ در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه.....
۶۳	۵-۳-۶- مدل‌سازی مقطع تونل شماره ۲ در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه.....
۶۵	۵-۴- بررسی سیستم‌های نگهداری مختلف.....

فصل ششم: روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

۶۹	۶-۱- مقدمه.....
۷۰	۶-۲- انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره.....
۷۱	۶-۲-۱- روش وزن‌دهی ساده (SAW).....
۷۲	۶-۲-۲- روش تسلط تقریبی (الکتر).....

۷۶	۳-۲-۶- روش شباهت به گزینه ایده‌ال
۷۹	۴-۲-۶- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)
۸۳	۳-۶- استراتژی‌های اولویت بندی
۸۴	۱-۳-۶- روش میانگین رتبه‌ها
۸۴	۲-۳-۶- روش بردا
۸۴	۳-۳-۶- روش کپ لند

فصل هفتم: انتخاب سیستم نگهداری مناسب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

۸۶	۱-۷- مقدمه
۸۶	۲-۷- مراحل دستیابی به معیارهای مختلف در رابطه با تصمیم‌گیری
۸۶	۱-۲-۷- مطالعات مدل‌سازی
۸۷	۲-۲-۷- معیار جابجایی در سقف، کف و دیواره تونل
۸۸	۳-۲-۷- معیار ضریب ایمنی سیستم‌های نگهداری مورد مطالعه
۸۹	۴-۲-۷- معیار هزینه سیستم‌های نگهداری مورد مطالعه
۹۰	۵-۲-۷- معیارهای سهولت اجرای سیستم نگهداری و نیاز به کارگر
۹۲	۳-۷- انتخاب گزینه مناسب
۹۳	۱-۳-۷- تعیین ضریب اهمیت معیارها
۹۳	۴-۷- کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی گوشفیل
۹۴	۱-۴-۷- کاربرد روش وزندهی ساده در انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل
۹۹	۲-۴-۷- کاربرد روش تسلط تقریبی در تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوشفیل
۱۰۴	۳-۴-۷- کاربرد روش شباهت به گزینه ایده‌ال در انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوشفیل

۷-۴-۴- کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵

گوشفیل..... ۱۰۹

۷-۵- نتیجه گیری..... ۱۱۵

فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۸-۱- جمع بندی و نتیجه گیری..... ۱۱۸

۸-۲- پیشنهادات..... ۱۱۸

منابع..... ۱۲۱

پیوست ها..... ۱۲۵

فهرست جدول‌ها

- جدول ۴-۱- شرایط درزه‌ها در محدوده دولومیت..... ۳۶
- جدول ۴-۲- شرایط درزه‌ها در محدوده دولومیت مینرالیزه..... ۳۶
- جدول ۴-۳- مقادیر RQD برای ترازهای مختلف محدوده دولومیت..... ۳۶
- جدول ۴-۴- مقادیر RQD برای ترازهای مختلف محدوده دولومیت مینرالیزه..... ۳۶
- جدول ۴-۵- خواص فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ..... ۳۷
- جدول ۴-۶- امتیازبندی محدوده دولومیت تونل شماره ۱..... ۳۷
- جدول ۴-۷- امتیازبندی محدوده دولومیت تونل شماره ۲..... ۳۸
- جدول ۴-۸- امتیاز بندی دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱..... ۳۸
- جدول ۴-۹- امتیاز بندی دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲..... ۳۸
- جدول ۴-۱۰- RMR محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل..... ۳۹
- جدول ۴-۱۱- مقادیر پارامترهای مورد نیاز در طبقه‌بندی Q..... ۳۹
- جدول ۴-۱۲- مدول الاستیسیته توده سنگ در محدوده‌های مختلف تونل ۱۵۶۵..... ۴۰
- جدول ۴-۱۳- پارامترهای ویژه توده سنگ با توجه به RMR..... ۴۲
- جدول ۴-۱۴- طراحی سیستم نگهداری اولیه محدوده‌های مختلف تونل با استفاده از سیستم طبقه‌بندی Q..... ۴۳
- جدول ۴-۱۵- پارامترهای ویژه توده سنگ با توجه به Q..... ۴۴
- جدول ۴-۱۶- شاخص GSI بر اساس RMR برای محدوده‌های مختلف تونل..... ۴۵
- جدول ۴-۱۷- محاسبه GSI بر اساس Q..... ۴۶
- جدول ۴-۱۸- پارامترهای ورودی نرم افزار ROCLAB برای محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل..... ۴۸
- جدول ۴-۱۹- پارامترهای خروجی نرم افزار ROCLAB برای محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل..... ۴۸

جدول ۴-۲۰- محاسبه مدول حجمی و برشی محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل.....	۵۰
جدول ۵-۱- مشخصات پیچ‌سنگ‌های مورد استفاده در مدلسازی با قطر ۲۵ میلیمتر.....	۵۶
جدول ۵-۲- مشخصات شاتکریت مورد استفاده در مدلسازی.....	۵۶
جدول ۵-۳- مشخصات دسته درزه‌های محدوده دولومیتی تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوسفیل.....	۵۷
جدول ۵-۴- مشخصات دسته درزه‌های محدوده دولومیت مینرالیزه تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوسفیل.....	۵۷
جدول ۵-۵- خواص مواد.....	۵۸
جدول ۵-۶- میزان حداکثر جابجایی‌ها در سقف و کف تونل به ازای Kهای مختلف در شرایط کرنش صفحه‌ای.....	۶۰
جدول ۶-۱- طبقه‌بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها.....	۸۱
جدول ۶-۲- ماتریس مقایسه زوجی.....	۸۱
جدول ۶-۳- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی.....	۸۳
جدول ۷-۱- سیستم‌های نگهداری معرفی شده برای نگهداری تونل تراز ۱۵۶۵.....	۸۷
جدول ۷-۲- نتایج حاصل از مدلسازی عددی (جابجایی‌ها و ضریب ایمنی) در سیستم‌های نگهداری مختلف برای محدوده دولومیت تونل شماره ۱.....	۸۸
جدول ۷-۳- نتایج حاصل از مدلسازی عددی (جابجایی‌ها و ضریب ایمنی) در سیستم‌های نگهداری مختلف برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱.....	۸۸
جدول ۷-۴- نتایج حاصل از مدلسازی عددی (جابجایی‌ها و ضریب ایمنی) در سیستم‌های نگهداری مختلف برای محدوده دولومیت تونل شماره ۲.....	۸۸
جدول ۷-۵- نتایج حاصل از مدلسازی عددی (جابجایی‌ها و ضریب ایمنی) در سیستم‌های نگهداری مختلف برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲.....	۸۹
جدول ۷-۶- مقایسه سیستم‌های نگهداری مختلف تونل شماره یک تراز ۱۵۶۵ معدن گوسفیل در محدوده دولومیت از نظر معیارهای مختلف.....	۹۰

- جدول ۷-۷- مقایسه سیستم‌های نگهداری مختلف تونل شماره یک تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل در محدوده دولومیت
مینرالیزه از نظر معیارهای مختلف..... ۹۱
- جدول ۷-۸- مقایسه سیستم‌های نگهداری مختلف تونل شماره ۲ تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل در محدوده دولومیت از نظر
معیارهای مختلف..... ۹۱
- جدول ۷-۹- مقایسه سیستم‌های نگهداری مختلف تونل شماره ۲ تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل در محدوده دولومیت
مینرالیزه از نظر معیارهای مختلف..... ۹۱
- جدول ۷-۱۰- معیارهای انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی معدن گوشفیل..... ۹۲
- جدول ۷-۱۱- ماتریس مقایسه زوجی و محاسبه درجه اهمیت معیارها..... ۹۳
- جدول ۷-۱۲- ماتریس وزن معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری..... ۹۳
- جدول ۷-۱۳- آستانه موافقت و مخالفت برای محدوده‌های مختلف..... ۹۹
- جدول ۷-۱۴- مقادیر λ_{max} ، I.I، R.I.I و I.R. برای ماتریس‌های مختلف..... ۱۱۰
- جدول ۷-۱۵- مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره..... ۱۱۵
- جدول ۷-۱۶- مقایسه نتایج حاصل از روش میانگین رتبه‌ها..... ۱۱۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- مراحل انجام تحقیق و ساختار پایان نامه..... ۵
- شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه ایرانکوه..... ۸
- شکل ۲-۲- منطقه ایرانکوه..... ۸
- شکل ۳-۲- موقعیت معدن گوشفیل نسبت به منطقه ایرانکوه..... ۹
- شکل ۴-۲- ستون چینه شناسی معدن گوشفیل..... ۱۰
- شکل ۵-۲- وضعیت آماده‌سازی در طبقات مختلف مرکزی..... ۱۴
- شکل ۱-۳- فرض محیط‌های پیوسته و ناپیوسته در طراحی‌های مهندسی در سنگ..... ۲۴
- شکل ۲-۳- الف) شکل شماتیکی از یک توده سنگ ب) روش‌های المان محدود و تفاضل محدود ج) روش المان مرزی د) روش اجزا مجزا..... ۲۵
- شکل ۳-۳- نمایش مفهومی روش ترکیبی در مدل‌سازی عددی سازه‌های مهندسی در سنگ..... ۲۶
- شکل ۱-۴- پلان تونل تراز ۱۵۶۵ گوشفیل..... ۳۳
- شکل ۲-۴- دسته درزه‌ها، زبری، میزان بازشدگی و شرایط آب در محدوده دولومیت..... ۳۴
- شکل ۳-۴- دسته درزه‌ها، زبری، میزان بازشدگی و شرایط آب در محدوده دولومیت مینرالیزه..... ۳۵
- شکل ۴-۴- نمودارها و نتایج حاصل از نرم‌افزار ROCLAB در محدوده دولومیت..... ۴۹
- شکل ۵-۴- نمودارها و نتایج حاصل از نرم‌افزار ROCLAB در محدوده دولومیت مینرالیزه..... ۴۹
- شکل ۱-۵- مدل ساخته شده از محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱..... ۶۱
- شکل ۲-۵- نمودار جابجایی در اطراف محدوده دولومیتی تونل شماره ۱..... ۶۱
- شکل ۳-۵- نمودار جابجایی در اطراف محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱..... ۶۲
- شکل ۴-۵- منطقه پلاستیک ایجاد شده ایجاد شده در محدوده دولومیتی تونل شماره ۱..... ۶۲

- شکل ۵-۵- منطقه پلاستیک ایجاد شده ایجاد شده در محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱ ۶۳
- شکل ۵-۶- مدل ساخته شده از محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه در تونل شماره ۲ ۶۳
- شکل ۵-۷- نمودار جابجایی‌ها در محدوده دولومیت تونل شماره ۲ ۶۴
- شکل ۵-۸- نمودار جابجایی‌ها در محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ ۶۴
- شکل ۵-۹- منطقه پلاستیک ایجاد شده در محدوده دولومیت تونل شماره ۲ ۶۵
- شکل ۵-۱۰- منطقه پلاستیک ایجاد شده در محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ ۶۵
- شکل ۵-۱۱- نمودار پروفیل تغییر شکل طولی زمین با توجه به رابطه کارانزاتورس ۶۶
- شکل ۵-۱۲- پروفیل جابجایی‌های شعاعی برای تونل بدون سیستم نگهداری در مجاورت جبهه کار تونل ۶۷
- شکل ۶-۱- فرآیند تصمیم‌گیری عقلانی ۷۰
- شکل ۷-۱- موقعیت نقاط مورد بررسی در سیستم‌های نگهداری ۸۷
- شکل ۷-۲- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۱ بر اساس روش وزن‌دهی ساده ۹۵
- شکل ۷-۳- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱ بر اساس روش وزن‌دهی ساده ۹۶
- شکل ۷-۴- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۲ بر اساس روش وزن‌دهی ساده ۹۷
- شکل ۷-۵- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ بر اساس روش وزن‌دهی ساده ۹۶
- شکل ۷-۶- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره یک گوشفیل به روش تسلط تقریبی ۱۰۰
- شکل ۷-۷- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره یک گوشفیل به روش تسلط تقریبی ۱۰۱

- شکل ۷-۸- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۲ گوشفیل به روش تسلط تقریبی..... ۱۰۲
- شکل ۷-۹- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ گوشفیل به روش تسلط تقریبی..... ۱۰۳
- شکل ۷-۱۰- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیتی تونل شماره یک گوشفیل به روش شباهت به گزینه ایده‌ال..... ۱۰۵
- شکل ۷-۱۱- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره یک گوشفیل به روش شباهت به گزینه ایده‌ال..... ۱۰۶
- شکل ۷-۱۲- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیتی تونل شماره ۲ گوشفیل به روش شباهت به گزینه ایده‌ال..... ۱۰۷
- شکل ۷-۱۳- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ گوشفیل به روش شباهت به گزینه ایده‌ال..... ۱۰۷
- شکل ۷-۱۴- ساختمان سلسله مراتبی انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل تراز ۱۵۶۵ گوشفیل..... ۱۰۹
- شکل ۷-۱۵- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۱ بر اساس روش AHP..... ۱۱۱
- شکل ۷-۱۶- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱ بر اساس روش AHP..... ۱۱۲
- شکل ۷-۱۷- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۲ بر اساس روش AHP..... ۱۱۳
- شکل ۷-۱۸- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ بر اساس روش AHP..... ۱۱۴

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- ضرورت طراحی سیستم نگهداری برای سازه‌های زیرزمینی

قبل از حفر یک حفریه زیرزمینی، هر نقطه از زمین تحت تنش‌هایی قرار دارد که برآیند آن‌ها باعث ایجاد تعادل در آن نقاط می‌شود. پس از حفر حفریه، محیط اطراف آن به حالت تعادل اولیه باقی نخواهد ماند؛ زیرا:

۱- توده‌سنگ کمر بالا (سقف) تکیه‌گاه زیرین خود را از دست خواهد داد.

۲- بار وارده از بالا به کف (کمر پائین) قطع می‌شود.

۳- تنش‌های وارد بر دیواره باعث می‌شود که سازه تحت تأثیر قرار بگیرد.

با توجه به مواردی که ذکر شد، حفریه ایجاد شده تمایل به تغییر شکل دارد و این تغییر شکل با توجه به مقاومت سنگ صورت می‌گیرد. اگر سنگ دارای مقاومت کافی نباشد، سنگ‌های اطراف حفریه تمایل به تغییر شکل به سمت داخل پیدا می‌کنند و چنانچه وسایل مصنوعی برای مقابله با این تغییر شکل مهیا نشده باشد، حفریه ریزش خواهد کرد. در دانش حفظ پایداری زمین، رفتار توده-سنگ در انتقال از حالت تعادل اولیه به یک حالت تعادلی دیگر مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. این علم زمینه لازم را برای طراحی سیستم‌های تکیه‌گاهی و نگهدارنده به منظور جلوگیری از ریزش یا گسیختگی سقف، کف و دیواره‌های آن‌ها با برقراری شرایط ایمنی به نحو اقتصادی فراهم می‌سازد. به منظور حل مشکل تنش ایجاد شده ناشی از برهم زدن تعادل تنش‌ها قبل از حفر سازه، بایستی از وسایل تکیه‌گاهی پس از حفر کمک گرفت. بنابراین تعیین بهترین روش نگهداری از نظر ایمنی و اقتصادی موازی با سایر فعالیت‌های معدن‌کاری با توجه به اصول مکانیک سنگ و مکانیک خاک

اجتناب ناپذیر است. برای ایجاد فضای ایمن در حفر حفریه‌های زیرزمینی انواع زیادی از وسایل نگهداری وجود دارد که هر کدام حالت خاصی از تعادل برای سیستم ایجاد می‌کند و انتخاب آن‌ها به پارامترهای متعددی بستگی دارد (اورعی، ۱۳۸۴).

در بسیاری از موارد، سیستم‌های نگهداری برای تونل بر اساس تجربه مهندسين طراح انتخاب می‌شود. بنابراین به‌جای استفاده از معیارهای علمی، قضاوت‌های شخصی بیشترین نقش را در انتخاب سیستم نگهداری ایفا می‌کند (Oraee et al, 2009). اما انتخاب سیستم نگهداری مناسب، به پارامترهای اقتصادی و تکنیکی بستگی دارد. یکی از روش‌های تعیین سیستم نگهداری مناسب در تونل‌ها، استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره است.

۱-۲- مراحل انجام تحقیق

هدف از این تحقیق، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی معدن گوسفیل می‌باشد، که بدین منظور بازدید یک ماهه از محل پروژه به عمل آمد. طی این بازدید، ضمن آشنا شدن با منطقه و مراحل استخراج زیرزمینی معدن سرب و روی گوسفیل، یکی از تونل‌های دسترسی به ماده معدنی مورد بررسی درزنگاری قرار گرفت. سپس با به‌دست آوردن گزارش زمین‌شناسی و همچنین نتایج آزمایش‌های مکانیک سنگی انجام گرفته روی نمونه‌ها، داده‌های اصلی و اولیه، طراحی سیستم نگهداری حاصل شد. طراحی سیستم نگهداری دارای چندین مرحله است، که هرچه به مراحل انتهایی نزدیک می‌شود، از خطای کار کاسته می‌شود.

اولین قدم در طراحی سیستم نگهداری مناسب برای تونل، تقسیم‌بندی تونل به محدوده‌های مختلف می‌باشد، که این تقسیم‌بندی با توجه به شرایط زمین‌شناسی، ناپیوستگی‌ها و خواص مکانیک سنگی توده‌سنگ انجام می‌گیرد. بر این اساس تونل مورد نظر به دو محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه

تقسیم شد. پس از این مرحله با استفاده از مطالعه گمانه‌ای، پارامترهای مکانیکی توده‌سنگ برای هر محدوده تعیین شد. با استفاده از این اطلاعات، اولین مرحله از طراحی سیستم نگهداری یعنی استفاده از سیستم‌های طبقه‌بندی توده‌سنگ آغاز شد. استفاده از سیستم‌های طبقه‌بندی روشی سریع، ولی با دقت متوسط است. تعیین سیستم نگهداری با استفاده از این روش، بر مبنای استفاده از تجارب قبلی است. به این ترتیب که محققان با ابداع هر سیستم طبقه‌بندی آن را با پروژه‌های در حال کار یا قدیمی جهان آزمایش کرده و با توجه به سیستم نگهداری به کار رفته در آن تجارب و مقادیر به‌دست آمده از طبقه‌بندی، جداولی را ارائه دادند که به کمک آن، می‌توان توده‌سنگ مورد نظر خود را بر حسب یکی از سیستم‌های موجود، طبقه‌بندی و سپس با استفاده از جداول مربوطه، سیستم نگهداری مناسب را استخراج نمود. البته همان‌طور که در ابتدا اشاره شد، این روش‌ها از دقت بالایی برخوردار نبوده و فقط می‌توانند تخمین مناسبی از سیستم نگهداری مورد نیاز برای تونل را در اختیار بگذارند. پس از طراحی سیستم نگهداری با این روش، این سیستم باید به کمک سایر روش‌ها ارزیابی و بررسی شود. در فصل پنجم این پایان نامه با استفاده از روش‌های عددی و نرم‌افزار تحلیل تنش، تونل مورد نظر، مورد بررسی و تحلیل عددی قرار گرفته است. در این فصل از نرم‌افزار المان مجزای UDEC برای مدلسازی استفاده شده است. علت انتخاب این نرم‌افزار تطابق خوب شرایط پروژه با مبانی اصلی این نرم‌افزار می‌باشد. برای هر یک از محدوده‌های شناخته شده در پروژه یک مقطع بحرانی در نظر گرفته شد، که این مقطع بحرانی در واقع مقطعی با بیشترین مقدار روباره می‌باشد. سیستم‌های نگهداری مختلف با استفاده از امکانات موجود در نرم‌افزار مدل شد. سپس از نتایج حاصل از این روش، در فصل ششم با استفاده از چندین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، مناسب‌ترین سیستم نگهداری انتخاب شده است. مراحل انجام این تحقیق در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



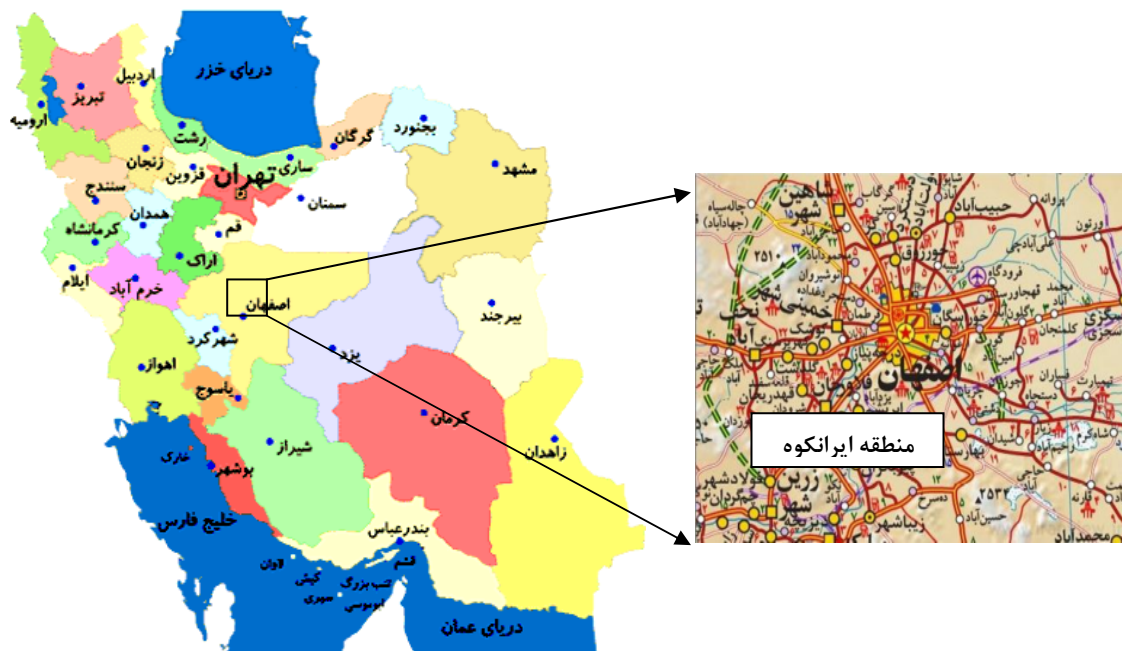
شکل ۱-۱- مراحل انجام تحقیق و ساختار پایان‌نامه

فصل دوم

کلیاتی در مورد معدن گوسفیل

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه ایرانکوه و معدن گوشفیل

محدوده ایرانکوه در رشته‌کوه ایرانکوه و در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان بین طول جغرافیایی ۳۱° و ۵۱° تا ۴۵° و ۵۱° و عرض جغرافیایی ۲۸° و ۳۲° تا ۳۷° و ۳۲° واقع شده است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه ایرانکوه

میانگین طول محدوده برابر ۲۵ کیلومتر و عرضی برابر ۳ کیلومتر است (شکل ۲-۲). کمینه بلندای محدوده از سطح دریا برابر ۱۶۶۰ متر و بیشینه آن برابر ۲۷۵۰ متر است (عامری و محمد علی، ۱۳۸۳).



شکل ۲-۲- منطقه ایرانکوه (سایت اینترنتی www.bamacoir.com)

در این رشته کوه انباشتگی‌هایی از ماده معدنی سرب و روی نهفته است. از این رو برای اکتشاف و بهره‌برداری منطقه ایرانکوه با توجه به شکستگی‌های موجود، منطقه به چند بلوک تقسیم شده است، که بلوک‌های اصلی دربرگیرنده کانسارهای کلاه دروازه، گودزدان، خانه گرگی در یال جنوبی و کانسارهای تپه سرخ و گوشفیل در یال شمالی است. آب و هوای منطقه معتدل و میانگین میزان بارندگی ۵۰ میلیمتر در سال است و در همه فصول سال می‌توان درمعدن فعالیت کرد. در این معدن می‌توان ۲۵۰ روز کار مفید در سال انجام داد.

معدن گوشفیل یکی از سه معدن فعال در سایت معدنی ایرانکوه است (شکل ۲-۳). در سایت معدنی ایرانکوه شرکت باما از معادن کلاه دروازه، تپه سرخ و گوشفیل کانسارهای اکسید، کربناته و سولفور سرب و روی استخراج می‌شود (عامری و محمد علی، ۱۳۸۳).



شکل ۲-۳- موقعیت معدن گوشفیل نسبت به منطقه ایرانکوه

۲-۲- زمین شناسی

۲-۲-۱- زمین شناسی منطقه و معدن

قدیمی ترین سنگ های این منطقه متعلق به ژوراسیک زیرین بوده که از شیل های سیاه همراه با سیلت استون و ماسه سنگ تشکیل شده اند و تنها در یال شمالی این رشته کوه و به صورت بیرون زدگی دیده می شوند. این رسوبات از نظر سنی متعلق به بارمین تا آلبین زیرین است. ضخامت این رسوبات در حدود ۸۰۰ متر می باشد که به طور عمومی از آهک و دولومیت همراه مقدار کمی شیل و مارن تشکیل شده اند. این سنگ های اصلی با توجه به ستون سنگ شناسی (شکل ۲-۴) به ترتیب عبارتند از (عامری و محمد علی، ۱۳۸۳):

سن	نشانه	علامت اختصاری	لیتولوژی
چهارم دوران		Q	رسوبات دوران چهارم
پارمین		Ta	قطعات آهک و دولومیت
		MI	آهک توده‌ای با فسیل اربیتولین
		K3TLr	آهک‌های ضخیم‌لایه با فسیل‌های رودیسیت و
		K3DI	دولومیت با میان لایه‌هایی از آهک
		K3Di	دولومیت حاوی اکسید آهن
		K3Ld	آهک با لنزهای دولومیتی
		K3Td	دولومیت با لایه‌بندی نازک
		K3Tld	آهک نازک لایه و دولومیت
		K3Db	دولومیت با باریت فراوان
		K3TIO	سنگ آهک نازک همراه فسیل اربیتولین
اپنین		J	شیل ژوراسیک
ژوراسیک			

دولومیت ضخیم لایه

دولومیت ضخیم لایه

شکل ۲-۴- ستون چینه‌شناسی معدن گوشفیل (عامری و مجمدعلی، ۱۳۸۳)

الف: کنگلومرای قاعده و دولومیت ماسه‌ای به رنگ صورتی تا قرمز

ب: آهک خاکستری مایل به زرد حاوی فسیل اوربیتولینا

ج: دولومیت‌های قرمز تا قهوه‌ای و آهک‌های خاکستری

این آهک‌های دولومیتی واحد اصلی مینراله سنگ‌های معدنی ایرانکوه را تشکیل می‌دهد و از دولومیت‌های ضخیم لایه و لایه‌های آهکی که در امتداد رشته‌کوه قرار گرفته‌اند، تشکیل شده‌اند.

د: آهک‌های خاکستری اوربیتولین‌دار با لایه‌بندی مشخص

ر: آهک‌های توده‌ای حاوی فسیل اوربیتولین

ز: سنگ‌های شیلی مارنی به همراه عدسی‌هایی از آهک

و: طبقات مارنی آهکی اوربیتولین‌دار

ی: کنگلومرا و آهک‌های ماسه‌ای اولیگومیوسن

۲-۲-۲- تکتونیک معدن گوشفیل

بر اساس اطلاعات اکتشافی و نقشه‌های دریافت شده، به‌جز گسل گوشفیل که گسلی نرمال با شیب ۷۵ تا ۸۰ درجه در سطح و حدود ۵۵ درجه در عمق و با امتداد N60W است و دولومیت‌های کرتاسه را در کنار شیل‌های ژوراسیک قرار داده است، گسل قابل توجهی در معدن گوشفیل عنوان نشده است.

۲-۲-۳- مشخصات کانسنگ و سنگ‌های درونگیر

تمرکز ماده معدنی مفید در معدن گوشفیل نیز مانند سایر معادن ایرانکوه در دولومیت‌ها است. در نتیجه‌ی عملکرد گسل گوشفیل، شیل‌های ژوراسیک در مقابل دولومیت‌های کرتاسه قرار گرفته‌اند و توده معدنی (رگه معدنی) در طول این گسل کشیده شده است. کمر بالای ماده معدنی شیل و کمر پایین آن دولومیت و آهک است (عامری و محمد علی، ۱۳۸۳).

۲-۳- کارهای معدنی موجود

بخش فوقانی ذخیره معدنی معدن گوشفیل با روش روباز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و در حال حاضر ارتفاع کف معدن روباز در حال بهره‌برداری ۱۵۳۰ + متر (از سطح دریا) است. عمق معدن روباز ۲۲۰ متر می‌باشد.

۲-۴- محدوده مرزهای کانسار در معدن گوشفیل

در طرح مفهومی، مزر بالایی معدن زیر زمینی در تراز ۱۵۳۰ + متر در نظر گرفته شده است. مرز پایینی تعیین ذخیره معدن زیر زمینی (با توجه به نتایج عملیات اکتشافی که گسترش طولی قابل قبولی از ماده معدنی را تا عمق ۱۴۰۰ + متر پیش‌بینی کرده است) تراز ۱۴۰۰ + متر در نظر گرفته شده است.

۲-۵- ذخایر معدنی

ذخایر قطعی شناخته شده تا پایان سال ۱۳۸۶ بر اساس اطلاعات داده شده از طرف شرکت باما در محدوده گوشفیل به صورت ۳ میلیون تن ذخیره با عیار متوسط ۱۱ درصد سولفور سرب و روی در معدن گوشفیل است.

۲-۶- ظرفیت استخراجی

ظرفیت استخراجی حداقل روزانه معدن زیرزمینی ۶۰۰ تن بوده و به مدت ۱۲ سال کار استخراجی صورت خواهد گرفت (گزارش شرکت تته، ۱۳۸۷).

۲-۷- باز کردن معدن

بر اساس محاسبات و طراحی انجام شده رمپ اصلی از مختصات $X=558760.91, Y=3598117.45, Z=1710.35$ در تراز ۱۷۱۰ و با احداث دهانه ورودی و متعاقب آن عملیات احداث تونل اصلی (راه دسترسی اصلی) شروع شده است. دهانه ورودی دوم نیز در تراز ۱۵۹۰ و از مختصات $X=558913.49, Y=3598096.84, Z=1590.51$ شروع شده است. امتداد تونل اصلی شروع شده از تراز ۱۷۱۰ در راستای جنوب غربی پس از گذر از آزمونهای ۲۱۰ و ۴۰۰ و پیشروی به میزان ۵۰۰ متر و گذر از آزمون ۳۰ تا تراز ۱۵۹۰ می‌رسد. شیب تونل اصلی (۱۲/۵ درصد) و سطح مقطع آن $4/5 \times 4/5$ (۲۰ مترمربع) می‌باشد (گزارش شرکت تته، ۱۳۸۷).

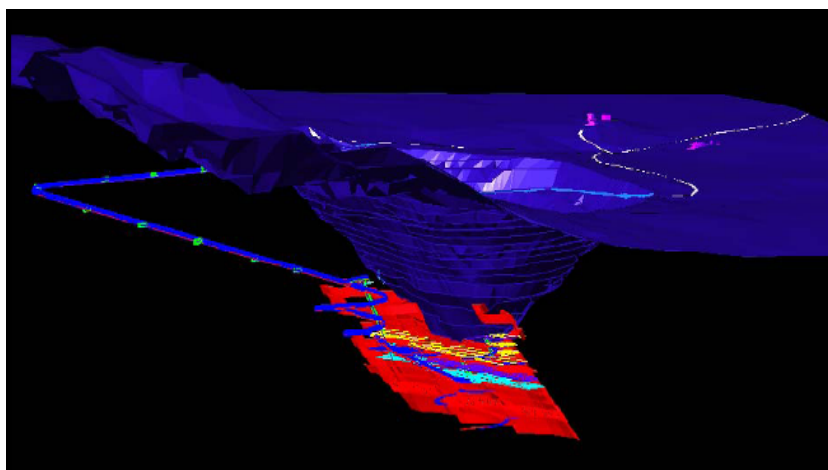
برای اینکه کلیه آماده‌سازی‌ها به شکل ایمن‌تر صورت بگیرد، کلیه آماده‌سازی‌ها در درون دولومیت‌ها صورت گرفته است. بدین شکل، انعطاف‌پذیری بیشتر برای انجام روش‌های استخراجی میسر خواهد بود. ساختار زمین شناسی منطقه نیز برای اجرای سیستم رمپ مساعد می‌باشد. محدوده جنوب غربی معدن گوسفیل در واقع مرکز انجام فعالیت‌های زیرزمینی به‌ویژه احداث راه اصلی دسترسی به ذخیره معدنی است. واقع شدن محدوده غربی در داخل دولومیت‌ها که نسبت به قسمت جنوب شرقی معدن که متشکل از شیل می‌باشد، باعث می‌شود که هم هزینه نگهداری تونل‌ها کاهش یابد و هم فعالیت‌های زیرزمینی با ضریب اطمینان و ایمنی به مراتب خیلی بالاتری صورت پذیرد. به همین دلیل این محدوده به عنوان مرکز شروع فعالیت‌های زیرزمینی انتخاب شده است (گزارش شرکت تته، ۱۳۸۷).

۲-۸- آماده‌سازی کارگاه‌های استخراجی

استخراج مواد معدنی از طبقات استخراجی که فواصل آن‌ها از همدیگر ۱۰ متر است، صورت خواهد گرفت. مواد معدنی استخراجی توسط لودرهای زیرزمینی از طریق دوپل‌های مواد معدنی به تونل اصلی ترابری ریخته می‌شود و از طریق رمپ، این مواد به بیرون حمل می‌شود. طبقات اصلی به ترتیب در

ترازهای ۱۵۰۰، ۱۴۵۰، ۱۴۰۰ و ۱۳۵۰ احداث خواهند شد. در مناطقی که ضخامت کانسار زیاد است، فواصل تونل‌های دنباله رو ۱۰ متر خواهد بود. در مناطقی که ضخامت کانسار زیاد نیست (مناطق غربی، شرقی و در مناطق کمر پایین) پیشروی تونل‌های دنباله‌رو در امتداد کانسار صورت خواهد گرفت. در تراز ۱۵۲۰ در فاصله ۲۰ متری کانسار، طبقه سرویس‌دهی اصلی احداث خواهد شد. این سرویس در واقع دومین تونل ارتباطی (خروجی) زیرزمینی است که به موازات استخراج مواد معدنی و از طریق دوپل‌ها در امر تخلیه مواد و هوای آلوده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. رمپ اصلی که از تراز ۱۷۱۰ و با شیب ۱۲/۵ درصد شروع شده است، تا تراز ۱۵۹۰ به شکل موازی با توده معدنی ادامه خواهد یافت. بعد از گذشتن از این تراز به شکل حلزونی تا کمر پایین (در تراز ۱۳۰۰) و با همان شیب ادامه می‌یابد.

پس از اتمام آماده‌سازی‌های اولیه در تراز ۱۵۰۰، احداث طبقه ۱۵۲۰، رمپ سرویس‌دهی و دوپل‌ها به پایان می‌رسد. آماده‌سازی‌های بعدی بسته به نیاز به مواد معدنی در هر ۲-۳ بار یک بار به شکل دوره‌ای و با احداث طبقات (تونل‌ها) اصلی ادامه خواهد یافت (شکل ۲-۵). در قسمت غربی نیز فضای خالی مواد معدنی استخراجی با مواد باطله پر خواهد شد تا حفاظت لازم برای بخش مواد معدنی موجود در قسمت شمال غربی ایجاد شود (گزارش شرکت تته، ۱۳۸۷).



شکل ۲-۵- وضعیت آماده‌سازی در طبقات مختلف مرکزی (گزارش شرکت تته، ۱۳۸۷)

مقدمه‌ای بر برآورد سیستم نگهداری موقت

۳-۱- مقدمه

تحلیل پایداری به سه روش تجربی، تحلیلی و عددی انجام می‌شود. به کمک روش‌های تجربی و جداول مربوط به آن‌ها می‌توان یک دید اولیه به دست آورد. به کمک روش تحلیلی و نمودارهای مربوط به آن درباره نقاط پلاستیک ایجاد شده در سازه مورد نظر، می‌توان فهمید که بیشترین جابه‌جایی‌ها در کجا اتفاق می‌افتد، سپس با کمک نمودارهای مشخصه زمین و نگهداری، سیستم مناسب‌تر را پیش‌بینی کرد. در جاهایی که روش‌های تحلیلی قادر به حل واقعی مسأله توزیع تنش‌ها و تغییر شکل‌ها نیستند، قابلیت روش‌های عددی آشکار می‌شود. در این روش‌ها معادلات مربوطه از طریق شرایط تعادل و قانون رفتاری اتخاذ شده به طور گام به گام حل می‌شوند.

۳-۲- طبقه‌بندی مهندسی سنگ

محققین بسیاری در زمینه طبقه‌بندی توده‌سنگ‌ها کار کرده‌اند و اساس کار آن‌ها نیز امتیازدهی و عددی کردن ویژگی‌های ژئوتکنیکی مؤثر بر رفتار توده‌سنگ و سپس ترکیب این امتیازات و تعیین یک امتیاز کلی می‌باشد که با استفاده از آن، نوع نگهداری تونل در آن توده مشخص می‌شود. روش‌های تجربی، روش‌های ساده و کم هزینه‌ای را برای پیش‌بینی ارائه می‌دهند. رده‌بندی توده‌سنگ، یکی از رهیافت‌های محققان و مهندسان مکانیک سنگ برای دستیابی به موارد فوق است. منظور از رده‌بندی، قرار دادن سنگ‌ها در گروه‌های مختلف با توجه به خصوصیات ذاتی، رفتاری و شاخص‌های مکانیکی آن‌ها در ارتباط با نوع سازه مورد نظر است.

مهم‌ترین روش‌های رده‌بندی توده‌سنگ‌ها، روش ژئومکانیکی (RMR) و رده‌بندی بر اساس شاخص کیفیت تونل‌سازی (Q) می‌باشند. از نتایج این مرحله از تحقیق برای ارزیابی و پیشنهاد نگهداری اولیه مورد نیاز به روش تجربی، جهت پیش‌بینی یا لزوم نگهداری توده‌سنگ‌های مسیر تونل و آگاهی از خصوصیات ژئوتکنیکی این توده‌سنگ‌ها استفاده شده است (در امتیازدهی پارامترها و تعیین کلاس توده‌سنگ از پیوست ۱، جداول پ ۱-۱ و پ ۲-۱ و شکل پ ۱-۱ استفاده شده است).

۳-۲-۱- طبقه‌بندی ژئومکانیکی (روش RMR)

در سال ۱۹۷۶ میلادی، بیناوسکی از مرکز مطالعات علمی و صنعتی آفریقای جنوبی (CSIR)^۱ طبقه‌بندی جدیدی از سنگ‌ها را بر مبنای ویژگی‌های ژئومکانیکی آن‌ها ارائه داد؛ که به روش RMR یا CSIR معروف است و به عنوان یکی از موفق‌ترین سیستم‌های رده‌بندی سنگ‌ها در مسائل تونل-سازی به کار می‌رود. این روش در سال ۱۹۸۹ اصلاح شد. کیفیت توده‌های سنگی^۲ با بررسی تعدادی از عوامل مکانیکی مؤثر در مشخصات مکانیکی و مقاومتی آن تعیین می‌گردد. بیناوسکی در طبقه-بندی ژئومکانیکی، پارامترهای ذیل را با یکدیگر مرتبط ساخته و اثرات آن‌ها را در نظر می‌گیرد؛ به صورتی که تمامی این موارد را می‌توان از داده‌های گمانه‌ها و نیز در محل به‌دست آورد (هراتی، ۱۳۷۴). این نظریه بر مبنای شش پارامتر به شرح زیر پایه‌گذاری شده است:

۱. مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ سالم،
۲. اندیس کیفی سنگ RQD،
۳. فاصله‌داری درزه‌ها^۳،
۴. وضعیت درزه‌ها شامل جدایش، امتدادیافتگی، زبری سطوح و طبیعت پرکننده درزه‌ها،
۵. شرایط آب‌های زیرزمینی بر اساس میزان نفوذ آب به حفاری‌ها و نسبت فشار آب موجود درزه‌ها به تنش اصلی،

^۱ South Africa for Scientific and Industrial Research

^۲ Rock Mass Rating

^۳ Spacing of joints

۶. جهت یابی ناپیوستگی ها.

پس از تعیین وضعیت سنگ، از نظر پارامترهای فوق و با توجه به جداول مربوطه به هر یک از پارامترها امتیازی داده می شود و در نهایت با در نظر گرفتن مجموع امتیازهای ناشی از عوامل فوق که به عنوان امتیاز RMR شناخته می شود، سنگ در یکی از پنج گروه خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف طبقه بندی می شود. بر اساس این طبقه بندی می توان زمان پایداری فضای حفاری شده، مشخصات مکانیکی توده های سنگی، نوع و نگهداری مورد نیاز را به طور تقریبی ارزیابی کرد (مدنی، ۱۳۷۹).

۳-۲-۲- طبقه بندی شاخص کیفی تونلسازی (روش Q)

این روش در سال ۱۹۷۴ توسط بارتون^۱ و همکارانش از انستیتو ژئوتکنیکی نروژ^۲ (NGI) ارائه شد. اساس این روش بر مبنای محاسبه مقدار Q و سپس ارائه سیستم نگهداری می باشد. مقدار Q از رابطه زیر محاسبه می شود (مدنی، ۱۳۷۹):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (۱-۳)$$

که در آن

- RQD: شاخص کیفیت توده سنگ،

J_n : تعداد دسته درزه ها،

J_r : عدد زبری درزه ها،

J_a : عدد هوازدگی درزه ها،

J_w : عدد کاهش آب،

SRF : ضریب کاهش تنش می باشد.

^۱ Barton

^۲ Norwegian Geotechnical Institute

به نظر می‌رسد شاخص کیفی تونل‌سازی (Q) را می‌توان تابعی از سه پارامتر مشخص در نظر گرفت که عبارتند از: اندازه بلوک‌های سنگی ($\frac{RQD}{J_n}$)، مقاومت برشی بین بلوک‌های سنگی ($\frac{J_r}{J_a}$) و تنش فعال ($\frac{J_w}{SRF}$).

با توجه به عدد Q، می‌توان نوع و مقدار نگهداری اولیه مورد نیاز مقطع تونل را به طور تقریبی و با استفاده از گراف مربوطه (پیوست ۱ شکل پ ۱-۲) تعیین کرد.

۳-۲-۳- شاخص مقاومت زمین‌شناسی

این سیستم توسط هوک و همکاران (۱۹۹۵) ابداع شده و در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ نیز توسط آن‌ها بازبینی شده است. این سیستم برای ارزیابی کاهش مقاومت توده‌سنگ به وسیله‌ی مشاهده‌های صحرایی در شرایط مختلف زمین‌شناسی معرفی شده و به‌طور مستقیم برای ارزیابی پارامترهای طراحی و مهندسی (مدول تغییر شکل‌پذیری و پارامترهای مقاومتی هوک - براون و موهر-کولمب) به کار می‌رود. در این روش، بر حسب تعداد دسته‌درزه‌ها (اندازه بلوک) و شرایط درزه‌های توده‌سنگ به‌طور کلی بر پایه توصیف‌های زمین‌شناسی توده‌سنگ، می‌توان شاخص مقاومت زمین‌شناسی را تعیین کرد (مدنی، ۱۳۸۳).

۳-۲-۳-۱- تعیین GSI با استفاده از طبقه‌بندی RMR و Q

شاخص مقاومت زمین‌شناسی را می‌توان با استفاده از مقادیر RMR و Q و همچنین به‌طور مستقیم با استفاده از گراف‌های مربوطه تعیین کرد (مقادیر RMR و Q را می‌توان از جداول پیوست ۱ به‌دست آورد). در رده‌بندی ژئومکانیکی سال ۸۹ اگر $RMR_{99} > 23$ باشد، میزان GSI با توجه به رابطه (۳-۲) تعیین می‌شود (Hoek and Brown, 1982). ولی باید در نظر باشیم که برای آب زیرزمینی امتیاز ۱۵، یعنی توده‌سنگ در شرایط کاملاً خشک فرض می‌شود و همچنین جهت ناپیوستگی‌ها باید خیلی مطلوب در نظر گرفته شود. به این صورت که برای تعدیل جهت ناپیوستگی‌ها امتیاز آن‌ها را معادل صفر قرار داده می‌شود:

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (2-3)$$

اگر میزان RMR_{89} 23 باشد، در این صورت نمی‌توان برای به‌دست آوردن شاخص مقاومت زمین‌شناسی از رابطه بالا استفاده کرد و به‌جای آن از مقدار Q' (شاخص کیفیت تونل‌سازی اصلاح شده) استفاده می‌شود (Hoek and Brown, 1982). در این حالت برای J_w و SRF در رده‌بندی Q ، مقدار ۱ که معادل یک توده‌سنگ خشک تحت تأثیر شرایط تنش متوسط است، استفاده می‌شود. با توجه به توضیحات بالا مقدار اصلاح شده Q برابر خواهد بود با:

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \quad (3-3)$$

و در نتیجه با استفاده از رابطه زیر مقدار GSI تخمین زده می‌شود:

$$GSI = 9 \ln Q' + 44 \quad (4-3)$$

برای جمع‌آوری اطلاعات صحرایی و پارامترهای مربوطه باید به نکات زیر توجه کرد:

طول سنگ رخنمون یافته یا مغزه حفاری لازم برای تخمین چهار پارامتر اول (J_a, J_r, J_n, RQD) بستگی به یکنواختی توده‌سنگ دارد. اگر تنوع کمی وجود داشته باشد، مغزه یا دیواره سنگی به طول ۵-۱۰ متر ممکن است کافی باشد. به هر حال در چند متر محدوده برشی حاوی درزه‌های نزدیک به هم، همراه با سنگ‌های سالم متناوب، لازم است که تخمین پارامترهای فوق‌الذکر به صورت مجزا صورت گیرد و اگر منطقه برشی با درزه‌های نزدیک به هم به اندازه کافی گسترش داشته باشد، ترمیم ویژه‌ای علاوه بر شاتکریت را در مقایسه با حالتی که فقط پیچ‌سنگ منظم وجود دارد نیاز خواهد داشت. به عبارت دیگر اگر منطقه برشی کمتر از ۰/۵ متر بوده و تکرار زیادی داشته باشد، آن‌گاه کاهش کلی مقدار Q ، برای تمام طول تونل بهترین روش بوده که باعث افزایش سیستم نگهدارنده می‌شود و این شبیه این است که در طول کل این مسیر یکنواختی وجود داشته باشد. در چنین مواردی ممکن است مغزه یا طول دیواره‌ای به اندازه ۱۰ تا ۵۰ متر برای تعیین یک تصویر کلی از کیفیت توده‌سنگ لازم باشد (اجل لوئیان، ۱۳۸۲).

۳-۳- محاسبه جابجایی‌های زمین

برای پیش‌بینی نگهداری لازم، باید از طریق مدل‌های تحلیلی یا عددی، شناختی از جابجایی‌های زمین که در اثر حفاری به وجود می‌آید، کسب شود. البته دوری یا نزدیکی نتایج حاصل از این روش‌ها به واقعیت بستگی به شناخت ما از زمین و انتخاب مدل مناسب دارد. به طور کلی مدل‌های مورد استفاده به دو دسته تقسیم می‌شوند: مدل‌هایی که زمین را یک محیط پیوسته و مدل‌هایی که آن را به صورت اجتماعی از قطعات ناپیوسته در نظر می‌گیرند (ژاک فین، ۱۳۸۲).

۳-۳-۱- مدل‌های محیط پیوسته

در شرایط زیر می‌توان از مدل‌های محیط پیوسته استفاده کرد:

- زمین همگن و یکپارچه باشد.
- ناپیوستگی‌های موجود تأثیری بر رفتار سازه زیرزمینی نداشته باشد.
- توده‌سنگ بسیار پر درزه و شکاف باشد که در این صورت می‌توان توده مزبور را یک توده پیوسته معادل تعریف و قانون رفتاری برای آن شبیه‌سازی کرد.

۳-۳-۲- مدل‌های محیط ناپیوسته

این مدل‌ها توده‌سنگ را به صورت اجتماعی از بلوک‌ها که به وسیله درزه‌های طبیعی محدود شده‌اند، شبیه‌سازی می‌کند. در این مدل‌ها، بلوک‌های مزبور معمولاً صلب و درزه‌ها تغییر شکل‌پذیر در نظر گرفته می‌شوند. این مدل‌ها بیشتر برای تحلیل رفتار توده‌سنگ‌های نسبتاً محکم با درزه‌داری کم کاربرد دارند.

در حال حاضر دو روش اصلی برای حل این مدل‌ها وجود دارد:

الف-روش دینامیکی

این روش توسط کاندال^۱ (۱۹۷۱) پیشنهاد شد و در برنامه‌های 3DEC, UDEC مورد استفاده قرار گرفته است. اصول این روش عبارت است از :

۱-محاسبه یک وضعیت تعادل اولیه که در آن مدل به وسیله نیروی وزن بلوک‌ها و احتمالاً بارهای خارجی نظیر وزن زمین بالای تونل بارگذاری شده است.

۲-شبیه‌سازی فضای حفر شده با بیرون کشیدن بلوک‌ها. در این شرایط، سازه دچار جابجایی می‌شود؛ زیرا بلوک‌ها تحت نیرو قرار می‌گیرند. اساس این برنامه محاسبه جابجایی بلوک‌ها در مراحل زمانی مختلف است. به این صورت که در هر مرحله زمانی واکنش بین بلوک‌ها محاسبه می‌شود. با اتخاذ برخی احتیاط‌ها (انتخاب صحیح مراحل زمانی، اعمال ضریب ویسکوزیته تقریباً مجازی برای میرایی ارتعاشات) می‌توان به وضعیت تعادل نهایی دست یافت (ژاک فین، ۱۳۸۲).

ب-روش استاتیکی

اساس این روش، کمینه سازی انرژی پتانسیل سازه برای محاسبه مستقیم تعادل نهایی است (البته با فرض الاستیک برای درزه‌ها). این روش در برنامه BRIG3D مدرسه عالی معدن پاریس مورد استفاده قرار گرفته است (ژاک فین، ۱۳۸۲).

وقتی فشار همه جانبه ذاتی در محیط، سنگ را به حد شکستنی می‌رساند، بخشی از محیط اطراف تونل در اثر این فشارها خرد شده و منطقه خرد شده (محدوده پلاستیک) اطراف تونل را تشکیل می‌دهد. حال هرچه این فشار نسبت به مقاومت سنگ بیشتر باشد، محدوده پلاستیک اطراف تونل بیشتر شده و تغییر شکل حاصل از پلاستیسیته سنگ بیشتر خواهد شد.

¹ Cundall

۴-۳- روش‌های عددی

در واقعیت مشاهده می‌شود که مقطع اکثر تونل‌ها غیر دایره‌ای، یا زمین اطراف تونل ناهمگن، تنش‌های طبیعی غالباً ناهمسان و رفتار زمین نه الاستیک و نه الاستوپلاستیک کامل است. علاوه بر این موارد، تأثیر سینه‌کار نیز موجب می‌شود که تونل یک سازه سه‌بعدی باشد. در این شرایط قابلیت روش‌های عددی آشکار می‌شود. در این روش‌ها معادلات مربوط، از طریق شرایط تعادل و قانون رفتاری اتخاذ شده به طور گام به گام حل می‌شوند.

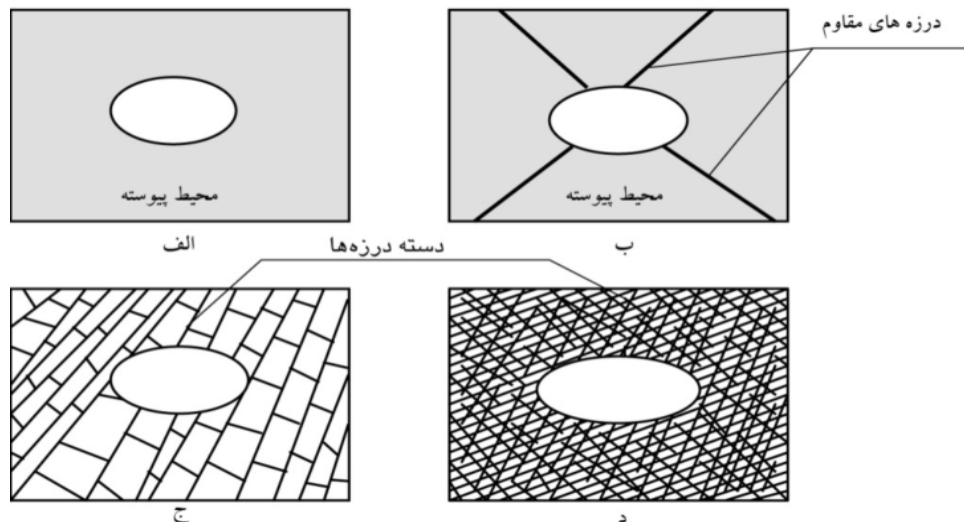
رایج‌ترین روش‌های عددی استفاده شده در زمینه‌ی مسائل مربوط به مکانیک سنگ طبق تقسیم‌بندی Jing در سال ۲۰۰۳ در جدول ۱-۳ آورده شده است. مبنای این تقسیم‌بندی ویژگی‌های محیط سنگی مورد نظر برای شبیه‌سازی بوده است. وی روش‌های عددی را بر مبنای محیط‌های پیوسته و ناپیوسته بر پایه‌ی وجود درزه‌ها و سایر ناپیوستگی‌ها و نیز وضعیت آن‌ها تقسیم‌بندی کرده است.

جدول ۱-۳- روش‌های عددی مختلف در مدل‌سازی محیط‌های سنگی (Jing, 2003)

روش تفاضلات محدود (FDM)	روش‌های پیوسته
روش اجزاء محدود (FEM)	
روش المان مرزی (BEM)	
روش اجزاء گسسته (DEM)	روش‌های ناپیوسته
روش شبکه‌ی شکستگی‌های گسسته (DFN)	
روش ترکیبی FEM/BEM	روش‌های ترکیبی محیط‌های پیوسته / ناپیوسته
روش ترکیبی FEM/DEM	
روش ترکیبی FEM/BEM	
سایر روش‌های ترکیبی	

روش‌های المان مرزی بیشتر برای شبیه‌سازی سنگ‌های دورتر از محدوده اغتشاش و در محیط‌های الاستیک پیوسته مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این در حالی است که دو روش المان محدود و تفاضل محدود بیشتر برای تحلیل سنگ‌های نزدیک به محدوده اغتشاش با رفتار مکانیکی غیر خطی و رفتارهای پلاستیک به کار رفته‌اند. روش‌های ترکیبی نیز که امروزه به شکل گسترده‌ای در کارهای مهندسی سنگ وارد شده‌اند ترکیبی از روش‌های قبلی هستند که برای مدل‌سازی سنگ‌های نزدیک و

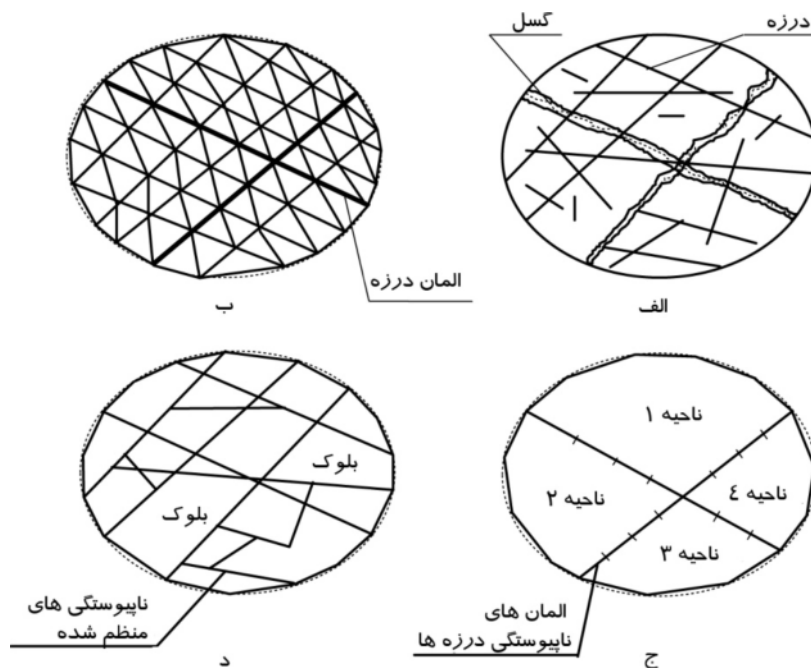
یا دور از محدوده اغتشاش به کار می‌روند (Jing & Hudson, 2002). در شکل ۱-۳ تفاوت محیط پیوسته و ناپیوسته به صورت مفهومی نمایش داده شده است.



شکل ۱-۳- فرض محیط‌های پیوسته و ناپیوسته در طراحی‌های مهندسی در سنگ (شکل الف- محیط کاملاً پیوسته، شکل ب- محیط ناپیوسته یا محیط پیوسته به شرط وجود درزه‌های محدود و مقاوم و بدون وجود هیچ بلوک سنگی مجزا، شکل ج- محیط ناپیوسته و شکل د- محیط تماماً درزه‌دار اما پیوسته) (after Jing, 2003)

انتخاب روش عددی مناسب خود مفهوم گسترده‌ای است که محققین بسیاری بر روی آن کار کرده‌اند. اما به طور کلی می‌توان گفت که روش‌های عددی پیوسته (FEM, FDM, BEM) مناسب برای محیط‌های پیوسته‌ی سنگی و یا محیط‌هایی با ناپیوستگی‌های اندک و بدون جداشدگی بلوک‌ها و روش‌های ناپیوسته (DEM, DFN) نیز مناسب برای محیط‌های سنگی با درجه‌ی شکستگی متوسط نظیر آنچه در شکل ۱-۳ نمایش داده شده به کار می‌روند. به بیان بهتر می‌توان انتخاب روش عددی مناسب برای تحلیل را منوط به پارامترهای خاص مسأله نظیر مقیاس و هندسه‌ی سیستم ناپیوستگی‌ها دانست. در جایی که محدودیت‌های موجود برای هر یک از این روش‌ها مشکلاتی را در حل مسائل ایجاد کند، از روش‌های ترکیبی حل مسائل استفاده خواهد شد (Jing & Hudson, 2002).

روش تفاضل محدود (FDM) برای مدل‌سازی ژئومکانیکی مسائلی که در آن ترتیب مراحل نظیر حفاری‌های ترتیبی، پرکردن و بارگذاری مجدد، بازیابی پایه‌های ذغالی در روش اتاق و پایه و غیره وجود دارد، بسیار استفاده شده و نرم‌افزارهای زیادی نیز بر پایه این روش عددی برای توصیف رفتار سنگ‌ها استفاده شده‌اند که از جمله مشهورترین آن‌ها می‌توان به FLAC 2D و FLAC 3D اشاره کرد. در روش المان مجزا (DEM) نیز هر المان از سنگ هیچ محدودیتی در دوران و تغییر شکل در سطح تماس بلوک نداشته و بنابراین تغییر شکل‌ها بسیار بزرگتر از آن‌چه در سنگ بکر اتفاق می‌افتد خواهد بود که این فرض در محیط‌های پیوسته‌ی مورد نظر برای این تحقیق مناسب نخواهد بود. در شکل‌های ۲-۳ و ۳-۳ به ترتیب فضای تحلیل در هر یک از روش‌های عددی به صورت شماتیک و نیز کلیت روش‌های ترکیبی نمایش داده شده است.



شکل ۲-۳- الف) شکل شماتیکی از یک توده سنگ ب) روش‌های المان محدود و تفاضل محدود ج) روش المان مرزی د) روش اجزا مجزا (after Jing, 2003)



شکل ۳-۳- نمایش مفهومی روش ترکیبی در مدل سازی عددی سازه های مهندسی در سنگ (After Jing, 2003)

۳-۴-۱- آشنایی با نرم افزار UDEC

نرم افزار UDEC یک برنامه عددی دو بعدی است که به زبان برنامه نویسی فرترن ۷۷ نوشته شده است. این نرم افزار، از ویژگی های روش اجزا مجزا پیروی می نماید و بر اساس روش حل صریح وابسته به زمان، محیط های ناپیوسته را تحلیل می نماید. UDEC به وسیله "لاگرانژ" یک برنامه حسابی پایه گذاری شده است که به خوبی با حرکات و جابجایی های بزرگ در یک سیستم بلوکی سازگار است (UDEC manual, 2004). در نرم افزار UDEC، هر بلوک می تواند به صورت صلب یا تغییر شکل پذیر در نظر گرفته شود. بلوک های صلب در محیط های کم تنش و یا در جاهایی که سنگ بکر دارای مقاومت بالا و توانایی دگرشکل پذیری کم است، به کار برده می شود. رفتار بلوک های صلب بدون دگرگونی در هندسه آن ها تحلیل می شود. بلوک های دگرشکل پذیر، به چندین بخش کوچک تر به صورت اجزای تفاضل محدود تقسیم می شوند. در این حالت رفتار اجزا بر اساس قوانین تنش - کرنش خطی بیان می شود و حرکت نسبی ناپیوستگی ها نیز تحت تأثیر روابط نیرو- جابجایی خطی یا غیر خطی وابسته به حرکت در جهات قائم و برشی گسترش می یابد. نرم افزار UDEC کارایی بالایی از نظر دنبال نمودن روند رفتارهای خطی و یا غیر خطی بلوک های سنگی و ناپیوستگی ها دارد و از نظر ترکیب مسائل هیدرولیکی یا حرارتی با مسائل مکانیک سنگی توانایی بسیار بالایی را دارد. توانایی های ویژه این نرم افزار را می توان به گونه زیر بیان نمود (UDEC manual, 2004):

- ۱- به کارگیری ساختارهای مختلف ناپیوستگی‌ها (لایه‌بندی، درزه، گسل و...) به گونه ترکیبی و نسبت دادن مدل‌های رفتاری گوناگون به هر یک از آن‌ها
- ۲- نسبت دادن مدل‌های رفتاری گوناگون سنگ بکر و بلوک‌های مجزا و همچنین توانایی تحلیل مسائل در محدوده‌های رفتاری الاستیک و پلاستیک
- ۳- در نظر گرفتن مواد گوناگون با ویژگی‌های متفاوت در مدل
- ۴- مدل کردن سیالات و جریان آن از میان درزه‌ها
- ۵- مدل کردن جریان گرمایی زودگذر و تنش‌های القایی - حرارتی ناشی از آن
- ۶- دارا بودن منطق اجزا ساختاری به منظور شبیه‌سازی نگهداری و پوشش فضاهای زیرزمینی
- ۷- به کارگیری شرایط اولیه و مرزی گوناگون و پیچیده در تحلیل استاتیکی و دینامیکی
- ۸- توانایی در پی بردن به اشتباهات و خطاهای دستوری در زمان مدلسازی
- ۹- فایل داده‌های ورودی این نرم‌افزار به آسانی و با استفاده از یک ویرایش‌گر متن قابل تهیه است.
- ۱۰- شبیه‌سازی مهندسی معمولاً شامل مراحل گوناگون مانند تعادل اولیه، وارد کردن بار، حفر فضا و در آخر قرار دادن سیستم نگهدارنده می‌باشد. در برنامه UDEC با استفاده از یک سری دستورهای ورودی مراحل بالا را می‌توان به دقت شبیه سازی نمود.
- ۱۱- از فایل‌های ورودی نرم‌افزار می‌توان به عنوان داده‌های ثبت شده برای یک تحلیل مهندسی استفاده نمود.
- ۱۲- خروجی‌های گوناگون برنامه توانایی تحلیل نتایج را آسان می‌نماید.

**تحلیل پایداری توده سنگ گوشفیل بر اساس روش -
های طبقه بندی توده سنگ**

۴-۱- مقدمه

در فرآیند تحلیل پایداری حفريات زیرزمینی به دلیل پیچیده بودن طبیعت رفتار زمین، همواره مسائل و مشکلات بسیار زیادی وجود دارد. در این گونه موارد منطقی ترین راه حل، استفاده همزمان از روش های مختلف است. مطابق نظر و عقیده محققان با تلفیق روش های عددی و تجربی می توان به نتایج اطمینان بخش تری رسید.

دلایل استفاده از روش های تجربی برای تحلیل مقدماتی را می توان به صورت زیر بیان نمود:

- عدم امکان استفاده از ابزار نگاری در محل

- سهولت کاربرد

با توجه به موارد فوق الذکر، در این فصل ابتدا برداشت صحرایی از منطقه مورد نظر انجام شده و سپس با استفاده از روش های RMR و Q توده سنگ تونل های منطقه، طبقه بندی و سیستم نگهداری مناسب پیشنهاد شده است.

قابل ذکر است که توضیحات مربوط به انواع سیستم های طبقه بندی به همراه جداول و نمودارهای مورد نیاز این بخش در پیوست ۲ آمده است و فقط نتایج در این بخش ذکر شده است.

۴-۲- برداشت های صحرایی

در احداث سازه هایی نظیر معادن زیرزمینی، تونل ها، معادن روباز و ...، تعیین خواص توده سنگ از مشکلات اصلی به شمار می آید. برای تعیین این خواص، مطالعات بر روی دو عامل ماده سنگ و

توده سنگ انجام می‌گیرد. اطلاعات گردآوری شده از کیفیت و خصوصیات هر یک از این دو عامل، نقش مهمی در طراحی سازه‌ها دارد. ماده سنگ یا سنگ بکر به نمونه‌های سنگی فاقد هرگونه ناپیوستگی یا سطوح ضعیف ساختاری گفته می‌شود. در چنین نمونه‌هایی مقاومت و سایر پارامترهای ژئوتکنیکی تابع خواص ماده سنگ است.

توده سنگ یا محیط سنگی شامل محیطی است که در آن، ماده سنگ در اثر شرایط ساختاری و همچنین عوامل محیطی دچار سطوح ناپیوستگی متعددی می‌شوند و رفتار مقاومتی توده را به مقدار زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهند. بدین ترتیب، رفتار توده سنگ توسط خواص مواد و ناپیوستگی‌ها متقابلاً تعیین می‌شود. بدین لحاظ آگاهی از وضعیت توده سنگ بیش از ماده سنگ حیاتی است. زیرا در زمان احداث سازه با توده سنگ سر و کار داریم.

برای تعیین خصوصیات توده سنگ، روش‌های گوناگونی از قبیل آزمایش‌های برجا، برداشت ناپیوستگی‌ها و رده‌بندی مهندسی سنگ‌ها وجود دارد. امروزه به علت هزینه سنگین آزمایش‌های برجا، استفاده از روش‌های آماری، نظیر برداشت ناپیوستگی‌ها رونق زیادی یافته و دارای این حسن است که خصوصیات کل منطقه را شامل بوده و با سرعت بیشتر و هزینه بسیار کمتری عملی است. برای برداشت و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ناپیوستگی‌های توده سنگ از روش خط برداشت، روش پنجره‌ای و روش حجمی استفاده شده است.

به منظور تحلیل پایداری تونل‌های حفر شده در معدن زیرزمینی سرب و روی گوشفیل، یکی از تونل‌هایی که در مرحله آماده‌سازی استخراج زیرزمینی، برای استخراج مواد معدنی باقی مانده در دیواره‌های روباز حفر شده است، مورد بررسی درزه‌نگاری و برداشت صحرایی قرار گرفته است. این تونل با مقطع مربع شکل به ابعاد $4/5 \times 4/5$ متر و طول ۶۰ متر در تراز ۱۵۶۵ این معدن قرار گرفته است و دارای دو گالری تقریباً عمود بر هم می‌باشد. گالری اول با آزمون ۱۰۵ درجه و گالری دوم با آزمون ۱۰ درجه حفر شده است. هریک از این گالری‌ها از دو محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه

عبور می‌کند. در این فصل و فصل‌های بعد، از این گالری‌ها به عنوان تونل شماره ۱ و تونل شماره ۲ نام برده شده است.

در این تحقیق، به روش خط برداشت نمونه‌ای، ناپیوستگی‌ها در امتداد یک خط، برداشت شده است.

۴-۲-۱- روش خط برداشت:

در روش خط برداشت در ساختگاه مورد نظر، در امتداد دلخواه که عملاً برخی محدودیت‌ها نظیر وضعیت دسترسی، وضعیت توپوگرافی و وجود رخنمون‌های مناسب، نظیر ترانشه‌ها جاده‌ها و یا وجود تونل‌های پیشرو که برای همین منظور حفر شده‌اند و امتداد آن‌ها را تعیین می‌کنند، مترکشی انجام می‌شود و ناپیوستگی‌های موجود در آن امتداد برداشت را می‌نمایند. اصول کار چنین است که در ابتدا به کمک عکس‌های هوایی و با یک مرور کلی بر وضعیت کلی، ساختگاه مورد فعالیت به بخش‌های مشخصی تقسیم می‌شوند، که در آن‌ها شرایط حاکم در هر بخش تقریباً ثابت باشد (Brady & Brown, 1985).

بدیهی است، عملیات بعدی در هر بخش به طور مجزا انجام شده و تجزیه و تحلیل‌هایی که صورت خواهد گرفت، برای هر بخش به‌طور مستقل انجام می‌گیرد و نتایج حاصله در آن قسمت صادق می‌باشد. مبنای تقسیم یک محدوده به بخش‌های گوناگون، معمولاً فاصله متوسط ناپیوستگی‌هایی است که مستقیماً کیفیت توده‌سنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در این میان، بخش‌هایی که در آن فاصله بین ناپیوستگی‌ها نسبتاً وسیع‌تر است، یک منطقه و بخش‌هایی که در آن فاصله ناپیوستگی‌ها کمتر است، منطقه دیگری را تشکیل می‌دهند. بدیهی است در این ساختگاه ممکن است در چندین نقطه از یک نوع منطقه داشته باشیم (Canada center for mineral and energy technology, 1981).

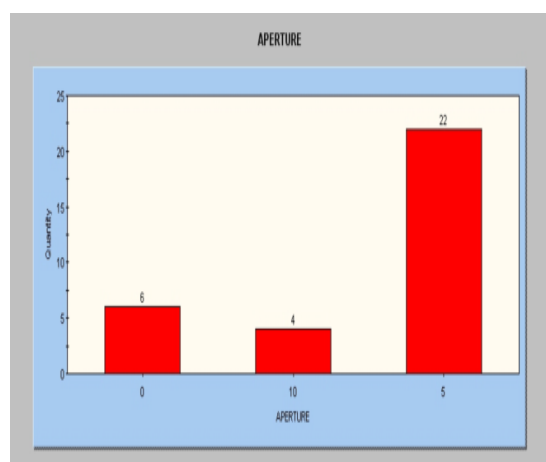
گام بعدی تعیین امتدادهای مناسب جهت برداشت می‌باشد. غالباً یک متر معمولی (به طول ۳۰-۵۰ متر) در بین دو نقطه کشیده شده و کلیه ناپیوستگی‌هایی که در محدوده یک متر قرار دارند، چه

امتداد متر را قطع کنند و چه قطع نکنند و دارای اثر رخنمون بیشتر از ۳۰ سانتیمتر یادداشت می‌شود (Wayn & Sydney, 1976).

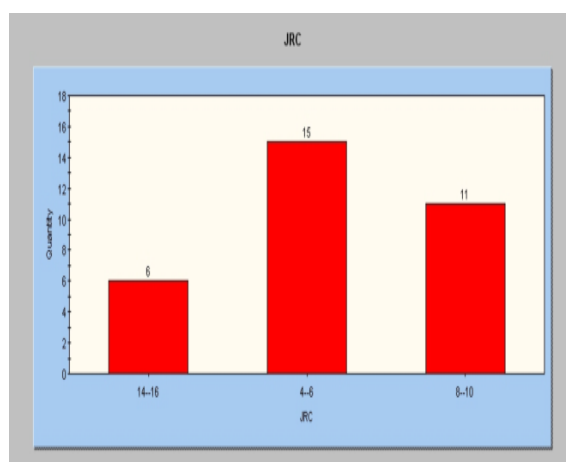
جمع‌آوری داده‌ها در فرم‌های خاص انجام می‌گیرد. نمونه‌ای از این فرم‌ها در پیوست ۲ موجود است. در این فرم اطلاعات مربوط به جهت‌داری و فاصله‌داری‌ها و اطلاعات مربوط به سطوح درزه‌ها و شرایط آب وارد می‌شود.

با توجه به پلان تونل ۱۵۶۵ ارائه شده در شکل ۴-۱ و برداشت‌هایی که از این تونل صورت گرفت، وجود دو محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه در این تونل در نظر گرفته شد که اطلاعات برداشت شده توسط نرم‌افزار DIPS مورد بررسی آماری قرار گرفت که نتایج محدوده دولومیت در شکل ۴-۲ و جدول ۴-۱ و نتایج محدوده دولومیت مینرالیزه در شکل ۴-۳ و جدول ۴-۲ درج شده است.

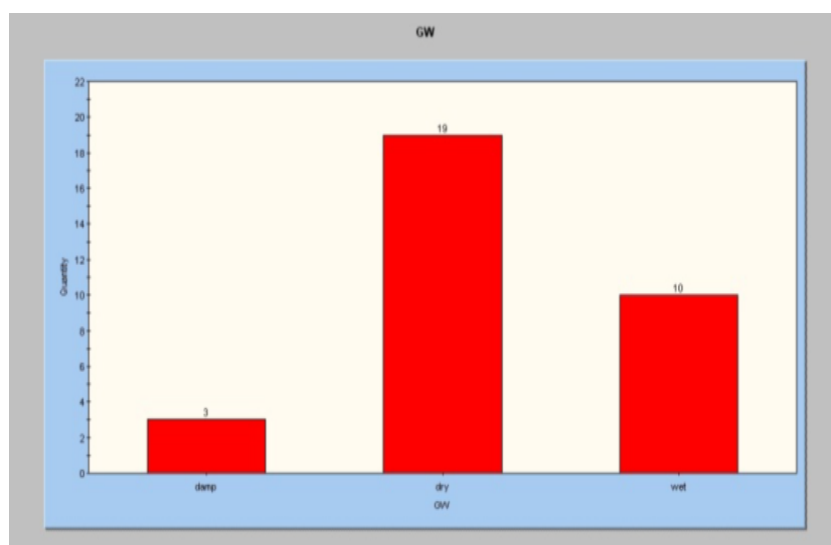
شکل ۴-۱- پلان تونل تراز ۱۵۶۵ گوشفیل



بازشدگی درزه‌ها

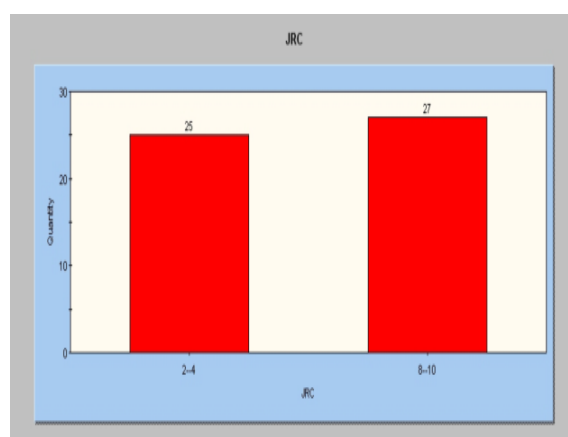
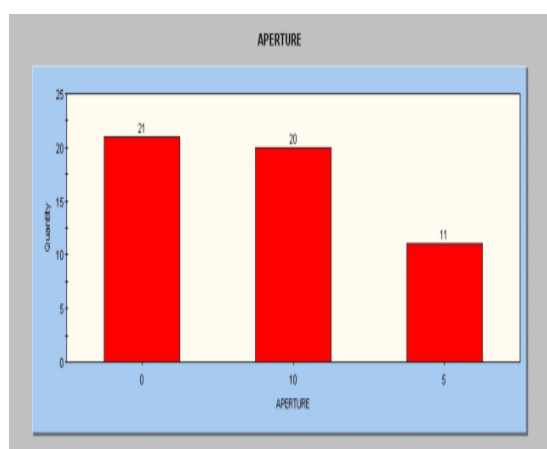
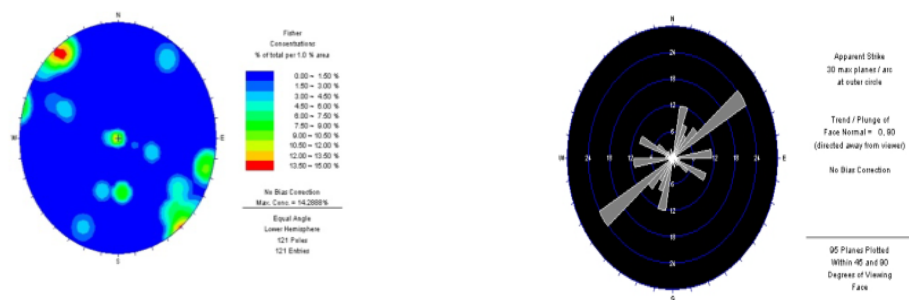


زبری درزه‌ها



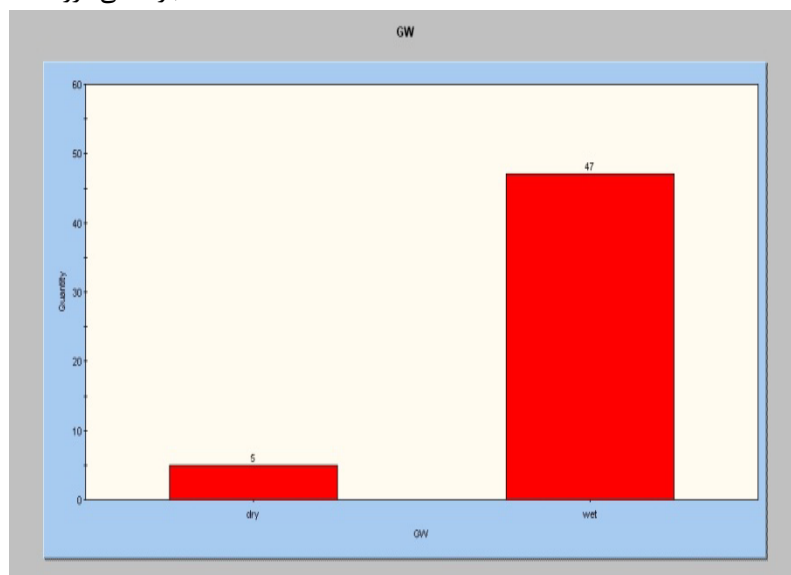
شرایط آب درزه‌ها

شکل ۴-۲- دسته درزه‌ها، زبری، میزان بازشدگی و شرایط آب در محدوده دولومیت



بازشدگی درزه‌ها

زبری درزه‌ها



شرایط آب درزه‌ها

شکل ۳-۴- دسته درزه‌ها، زبری، میزان بازشدگی و شرایط آب در محدوده دولومیت مینرالیزه

جدول ۴-۱- شرایط درزه‌ها در محدوده دولومیت

شماره دسته درزه	شیب	جهت شیب	فاصله‌داری (سانتیمتر)	زبری (JRC)	طول (متر)	دهانه بازشدگی (میلیمتر)	شرایط آب
۱	۰.۳	۳۱۹	۲۰-۳۰	۱۴-۱۶ و ۲-۴	۰/۵-۵	۱۰ و ۰	خشک- مرطوب
۲	۸۰	۲۷۰	۲۰-۳۰	۱۰-۸ و ۴-۲	۰/۵-۵	۰-۵	مرطوب
۳	۴۰	۱۷۵	۵۰	۴-۶	۲	۰	مزطوب

جدول ۴-۲- شرایط درزه‌ها در محدوده دولومیت مینرالیزه

شماره دسته درزه	شیب	جهت شیب	فاصله‌داری (سانتیمتر)	زبری (JRC)	طول (متر)	دهانه بازشدگی (میلیمتر)	شرایط آب
۱	۰.۳	۳۱۹	۵۰-۲۰	۸-۱۰ و ۲-۴	۰/۵-۵	۱۰ و ۰	خشک-مرطوب
۲	۸۰	۲۷۰	۲۰-۳۰	۱۴-۱۶ و ۲-۴	۲-۵	۵	مرطوب
۳	۴۰	۱۷۵	۳۰	۴-۶	۲	۰	مرطوب

۳-۴- مشخصات گمانه‌ها

به منظور تعیین پارامترهای برشی و اصلی سنگ، انجام تست‌های آزمایشگاهی و برجای ژئوتکنیکی بر روی گمانه‌ها ضروری می‌باشد. پس از بررسی مشخصات ۸۶ عدد گمانه که در سایت معدن موجود می‌باشد، نتایج مربوط به محاسبه RQD برای سطوح مختلف محدوده‌های مشخص شده در تونل‌های گوشفیل، مطابق جدول ۴-۳ و ۴-۴ می‌باشد.

جدول ۴-۳- مقادیر RQD برای ترازهای مختلف محدوده دولومیت

تراز	۱۵۵۰-۱۶۰۰	۱۵۰۰-۱۵۵۰	۱۴۵۰-۱۵۰۰	۱۴۰۰-۱۴۵۰
RQD	۵۱/۶	۴۸/۲۵	۴۹/۵۴	۵۰/۵۵

جدول ۴-۴- مقادیر RQD برای ترازهای مختلف محدوده دولومیت مینرالیزه

تراز	۱۵۵۰-۱۶۰۰	۱۵۰۰-۱۵۵۰	۱۴۵۰-۱۵۰۰	۱۴۰۰-۱۴۵۰
RQD	۶۲/۵۲	۴۱/۴۲	۴۰/۶۳	۵۲/۵۳

۴-۴- نتایج آزمایش‌ها

آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی ماده سنگ (دولومیت و دولومیت مینرالیزه) نتایج زیر را داشته است (رئییسی، ۱۳۷۲ و بهشتی زواره، ۱۳۸۰):

جدول ۴-۵- خواص فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ (رئییسی، ۱۳۷۲ و بهشتی زواره، ۱۳۸۰)

نوع سنگ	وزن مخصوص سنگ (KN/m^3)	نسبت پواسون	مقاومت فشاری (MPa)	چسبندگی (MPa)	زاویه اصطکاک
دولومیت	۲۸/۳	۰/۲۵	۱۵۲	۱۵	۶۰
دولومیت مینرالیزه	۲۸/۵	۰/۲۵	۷۶	۲۰	۳۵

۴-۵- تحلیل پایداری و طراحی نگهداری با استفاده از روش‌های تجربی

۴-۵-۱- تعیین امتیاز RMR

در فصل ۳ اشاره شد که برای تعیین امتیاز RMR توده سنگ از شش پارامتر استفاده می‌شود و مقدار RMR نهایی توده سنگ از مجموع امتیازهای اختصاص یافته به هر پارامتر حاصل می‌شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده، مقدار هر یک از پارامترهای مورد نظر برای محدوده‌های مختلف، مشخص و مقدار نهایی RMR برای هر یک از محدوده‌ها تعیین شده است.

جداول ۴-۶ الی ۴-۹ امتیازبندی محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۶- امتیازبندی محدوده دولومیت تونل شماره ۱

پارامتر	محدوده مقادیر	امتیاز
مقاومت فشاری تک محوره	۱۵۲ مگاپاسکال	۱۲
RQD	٪۵۲	۱۳
فاصله ناپیوستگی‌ها	۲۰-۵۰ سانتیمتر	۱۰
شرایط ناپیوستگی‌ها	سطوح پله‌ای صاف و صفحه‌ای زبر، جدایش حدود ۰ تا ۵ میلیمتر، بدون هوازدگی	۱۰
آب زیرزمینی	خشک - قطره قطره	۴-۱۵
جهت‌یابی درزه‌ها	مناسب (درزه شماره ۱، زاویه شیب ۳ درجه)	-۵
RMR	نسبتاً خوب	۴۴-۵۵

جدول ۴-۷- امتیازبندی محدوده دولومیت تونل شماره ۲

پارامتر	محدوده مقادیر	امتیاز
مقاومت فشاری تک محوره	۱۵۲ مگاپاسکال	۱۲
RQD	٪۵۲	۱۳
فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها	۳۰-۵۰ سانتیمتر	۱۰
شرایط ناپیوستگی‌ها	سطوح پله ای صاف و صفحه ای زیر، جدایش حدود ۰ تا ۵ میلیمتر، بدون هوازدگی	۱۰
آب زیرزمینی	خشک - (قطره قطره)	۴-۱۵
جهت‌یابی درزه‌ها	مناسب (درزه شماره ۱)	-۵
RMR	نسبتاً خوب	۴۴-۵۵

جدول ۴-۸- امتیاز بندی محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱

پارامتر	محدوده مقادیر	امتیاز
مقاومت فشاری تک محوره	۷۶ مگا پاسکال	۷
RQD	٪۶۲	۱۳
فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها	۳۰-۵۰ سانتیمتر	۱۰
شرایط ناپیوستگی‌ها	سطوح پله ای صاف و صفحه ای زیر، جدایش حدود ۰ تا ۱۰ میلیمتر، بدون هوازدگی	۱۰
آب زیرزمینی	خشک- مرطوب	۱۰-۱۵
جهت‌یابی درزه‌ها	مناسب (درزه شماره ۱)	-۵
RMR	نسبتاً خوب	۴۵-۵۰

جدول ۴-۹- امتیاز بندی محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲

پارامتر	محدوده مقادیر	امتیاز
مقاومت فشاری تک محوره	۷۶ مگا پاسکال	۷
RQD	٪۶۲	۱۳
فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها	۳۰-۵۰ سانتیمتر	۱۰
شرایط ناپیوستگی‌ها	سطوح پله ای صاف و صفحه ای زیر، جدایش حدود ۰ تا ۱۰ میلیمتر، بدون هوازدگی	۱۰
آب زیرزمینی	خشک-مرطوب	۱۰-۱۵
جهت‌یابی درزه‌ها	مناسب (درزه شماره ۱)	-۵
RMR	نسبتاً خوب	۴۵-۵۰

در جدول ۴-۱۰، RMR محدوده‌های مختلف تونل آورده شده است.

جدول ۴-۱۰- RMR محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل

RMR	شرح		
۴۴	منطقه آبدار	تونل شماره یک	دولومیت
۵۵	منطقه خشک		
۴۴	منطقه آبدار	تونل شماره ۲	
۵۵	منطقه خشک		
۴۵	منطقه آبدار	تونل شماره ۱	دولومیت مینرالیزه
۵۰	منطقه خشک		
۴۵	منطقه آبدار	تونل شماره ۲	
۵۰	منطقه خشک		

۴-۵-۲- تعیین مقدار Q

فرم مربوط به امتیازدهی شاخص کیفی تونل‌زنی در سنگ در جداول پیوست ۱ آمده است، که به کمک این جدول و اطلاعات موجود پروژه مقدار نهایی Q تعیین می‌شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده، مقدار هر یک از پارامترهای مورد نظر برای محدوده‌های مختلف به تفکیک مشخص و مقدار نهایی Q برای هر یک از محدوده‌های مورد نظر تعیین شده است. در جدول ۴-۱۱ نتایج به تفکیک آورده شده است.

جدول ۴-۱۱- مقادیر پارامترهای مورد نیاز در طبقه‌بندی Q

پارامتر		دولومیت		دولومیت مینرالیزه	
		شرح پارامتر	امتیاز	شرح پارامتر	امتیاز
RQD		%۵۲	%۵۲	%۶۲	%۶۲
J_n تعداد دسته درزه‌ها		۳دسته درزه+درزه‌های اتفاقی	۱۲	۳دسته درزه + درزه‌های اتفاقی	۱۲
J_r زبری بدترین درزه		سطوح پله ای صاف و صفحه‌ای زبر	۱-۱/۵	سطوح پله‌ای صاف و صفحه‌ای زبر	۱-۱/۵
J_a شرایط هوازدگی		دیواره‌های درزه بدون هوازدگی، رنگ سطوح اندکی تغییر کرده است.	۱	دیواره‌های درزه بدون هوازدگی، رنگ سطوح اندکی تغییر کرده است.	۱
J_w وضعیت جریان آب		خشک -قطره قطره	۱-۰/۶۶	خشک-مرطوب	۱-۰/۶۶
شرایط تنش SRF		نواحی ضعیف منفرد	۲/۵	نواحی ضعیف منفرد	۲/۵
مقدار شاخص Q برای منطقه آبدار		۱/۷۱		۱/۳۶۴	
مقدار شاخص Q برای منطقه خشک		۲/۶		۳/۱	

۴-۶- استفاده از RMR در تعیین پارامترهای ویژه توده سنگ

۴-۶-۱- تعیین مدول تغییر شکل برجا

برای تعیین مدول تغییر شکل برجا روابط زیادی ارائه شده است که چندین رابطه معروف در پیوست ۳ آمده است. ارتباط بین تغییر شکل برجا و RMRهای بزرگتر از ۵۵، توسط بیناوسکی در سال ۱۹۷۸ و با استفاده از تعدادی آزمایش در ۱۵ نقطه دنیا به فرم زیر بیان شد (ترابی، ۱۳۸۱):

$$RMR > 55 \Rightarrow E_m = 2(RMR) - 100 \quad (۱-۴)$$

برای RMRهای کوچکتر از ۵۵، سرافیم^۱ و پیرا^۲ در سال ۱۹۸۳ رابطه زیر را ارائه دادند (ترابی، ۱۳۸۱):

$$E_m = 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)} \quad (۲-۴)$$

با توجه به روابط بالا، مدول الاستیسیته توده سنگ در محدوده‌های مختلف تونل ۱۵۶۵ محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۴-۱۲ آمده است.

جدول ۴-۱۲- مدول الاستیسیته توده سنگ در محدوده‌های مختلف تونل ۱۵۶۵

مدول الاستیسیته (GPa)	RMR	شرح	
۲۰	۶۰	خشک	دولومیت
۹/۴۴	۴۹	آبدار	
۱۳/۳۳	۵۵	خشک	دولومیت مینرالیزه
۱۰	۵۰	آبدار	

۴-۶-۲- مدت زمان پایداری تونل

با مشخص شدن RMR، به کمک منحنی شکل پ ۱-۱، زمان پابرجایی برای دهانه مورد نظر تعیین شده است (جدول ۴-۱۳).

^۱ Serafim
^۲ Pereira

۴-۶-۳- توصیف کیفی سنگ و تعیین ϕ و C توده سنگ

با استفاده از جدول پ ۱-۱، می توان مقاومت چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی را با توجه به RMR تعیین کرد (جدول ۴-۱۳).

۴-۶-۴- تعیین بار روی سنگ

برای محاسبه ارتفاع بار سنگ از رابطه زیر که توسط انال^۱ (۱۹۸۳) ارائه شد، استفاده شده است (هوک و کیسر، ۱۳۸۰):

$$h_l = \frac{100 - RMR}{100} \times B \quad (۳-۴)$$

که در آن:

$$h_l = \text{ارتفاع بار سنگ (m)}$$

$$B = \text{دهانه تونل (m)}$$

نتایج محاسبه بار روی سنگ در جدول ۴-۱۳ درج شده است.

۴-۶-۵- تعیین فشار وارد بر سیستم نگهداری

برای تعیین فشار وارد بر سیستم نگهداری از دو رابطه زیر که به ترتیب توسط اونال (۱۹۸۳) و ونکاستوالو^۲ (۱۹۸۹) ارائه شده است، استفاده شده است (هوک و کیسر، ۱۳۸۰):

$$P = \gamma h_l \quad (۴-۴)$$

$$P = \gamma B (1.7 - 0.037RMR + 0.0002RMR^2) \quad (۵-۴)$$

که در این روابط

$$\gamma = \text{وزن حجمی سنگ ها (ton/m}^3\text{)}$$

$$P = \text{فشار وارد بر نگهداری (ton/m}^2\text{)}$$

^۱ Unal

^۲ Venkateswaelu

نتایج محاسبه فشار وارد بر سیستم نگهداری نیز در جدول ۴-۱۳ درج شده است.

جدول ۴-۱۳- پارامترهای ویژه توده سنگ با توجه به RMR

تونل شماره ۲				تونل شماره ۱				محدوده
دولومیت مینرالیزه آب دار	دولومیت مینرالیزه خشک	دولومیت آب دار	دولومیت خشک	دولومیت مینرالیزه آب دار	دولومیت مینرالیزه خشک	دولومیت آب دار	دولومیت خشک	
۴۵	۵۰	۴۴	۵۵	۴۵	۵۰	۴۴	۵۵	RMR
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	شماره کلاس
۳۰۰-۲۰۰	-۲۰۰ ۳۰۰	-۲۰۰ ۳۰۰	-۲۰۰ ۳۰۰	۳۰۰-۲۰۰	-۲۰۰ ۳۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۲۰۰	چسبندگی توده- سنگ (KPa)
۲۵-۲۵	۲۵-۲۵	۲۵-۲۵	۲۵-۲۵	۲۵-۲۵	۲۵-۲۵	۲۵-۲۵	۲۵-۲۵	زاویه اصطکاک توده- سنگ (درجه)
یک هفته	یک هفته	یک هفته	یک هفته	یک هفته	یک هفته	یک هفته	یک هفته	زمان پابرجایی برای دهانه ۵ متری
۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	B(m)
۲/۴۷۵	۲/۲۵	۲/۳۸۵	۱/۸۹	۲/۴۷۵	۲/۲۵	۲/۸۳۵	۲/۳۴	ارتفاع بارسنگ (m)
۶۹/۱۲۶	۶۲/۸۴۵	۶۶/۱۴۵	۵۲/۴۱۷	۶۹/۱۲۶	۶۲/۸۴۵	۷۸/۶۲۵	۶۴/۸۹۷	P(KPa) (ناتال)
۵۵/۳	۴۳/۹۸۹	۵۰/۲۷	۲۸/۳	۵۵/۳	۴۳/۹۸۹	۷۵/۴۸	۴۸	P(KP) (ونکاستور)

۴-۷- استفاده از شاخص کیفی تونل سازی (Q) در تعیین پارامترهای ویژه توده-

سنگ

۴-۷-۱- نوع سیستم نگهداری

پس از محاسبه Q این مقدار با کمیت دیگری موسوم به اندازه معادل حفاری، به سیستم نگهداری تونل ارتباط پیدا می کند. این کمیت تابعی از ابعاد فضا و نوع کاربرد آن است و با استفاده از رابطه ۴-۶ تعیین می شود:

$$B_{\text{بعد معادل حفاری}} = \frac{B}{ESR} \quad (۴-۶)$$

در رابطه فوق ESR یا ضریب پایداری عددی است که مطابق جدول پ ۱-۴ پیوست ۱ به کاربری فضای حفاری شده بستگی دارد (هوک و کیسر، ۱۳۸۰). با توجه به این جدول و کاربری تونل های دسترسی

گوشفیل $ESR=1/6$ انتخاب شد. در نتیجه، سیستم نگهداری برای تونل‌های مورد نظر تعیین شد، که نتایج در جدول ۴-۱۴ درج شده است.

جدول ۴-۱۴- طراحی سیستم نگهداری اولیه محدوده‌های مختلف تونل با استفاده از سیستم طبقه‌بندی Q

محدوده	$\frac{RQD}{J_n}$	J_r / J_a	سیستم نگهداری پیشنهادی	طول پیچ‌سنگ
دولومیت	۸/۶۷	۱/۵	پیچ‌سنگ در فواصل ۱/۷ تا ۲ متری به همراه شاتکریت تقویت شده با توری فلزی با ضخامت ۵۰ تا ۹۰ میلیمتر	۲/۴ متر
دولومیت مینرالیزه	۵/۱۷	۱/۵	پیچ‌سنگ در فواصل ۱/۷ تا ۲ متری به همراه شاتکریت تقویت شده با توری فلزی با ضخامت ۵۰ تا ۹۰ میلیمتر	۲/۴ متر

طول پیچ‌سنگ (L) را می‌توان با داشتن عرض فضای زیرزمینی (B) و ضریب اهمیت نگهدارنده (ESR) و قرار دادن آن در رابطه ۴-۷ تخمین زد (هوک و کیسر، ۱۳۸۰).

$$L = 2 + \frac{0.15B}{ESR} = 2 + \frac{0.15 \times 4.5}{1.6} = 2/42 \quad (4-7)$$

۴-۷-۲- تعیین دهانه پایدار (بدون نگهداری)

بین ماکزیمم دهانه بدون نگهداری و Q رابطه زیر برقرار است (هوک و کیسر، ۱۳۸۰):

$$2ESRQ^{0.4} = \text{ماکزیمم دهانه بدون نگهداری} \quad (4-8)$$

نتایج محاسبه ماکزیمم دهانه بدون نگهداری در جدول ۴-۱۵ درج شده است.

۴-۷-۳- تعیین فشار وارد بر سیستم نگهداری

گریمستاد و بارتن پیشنهاد کردند که فشار نگهدارنده سقف نهایی را می‌توان از رابطه زیر تخمین زد

(Bieniawski, 1984):

$$P_{roof} = \frac{2\sqrt{J_n}Q^{\frac{-1}{3}}}{3J_r} \quad (4-9)$$

که در آن P_{roof} فشار نگهدارنده سقف نهایی و واحد آن (Kg/cm^2) است.

در جدول ۴-۱۵ پارامترهای ویژه توده سنگ که با توجه به Q تعیین شده اند، آمده است:

جدول ۴-۱۵ - پارامترهای ویژه توده سنگ با توجه به Q

شرح	Q	J_n	J_r	$P_{roof} (Kg/Cm^2)$	ماکزیمم دهانه بدون نگهداری
دولومیت	۱/۷۱	۱۲	۱/۵	۱/۲۹	۴
	۲/۶	۱۲	۱/۵	۱/۱۲	۴/۷
مینرالیزه	۱/۳۶۴	۱۲	۱/۵	۱/۳۸۴	۳/۶
	۳/۱	۱۲	۱/۵	۱/۰۵	۵

۴-۸- شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI)

از آن جا که طبقه بندی توده سنگ با روش های متداول نظیر RMR و Q از یکسو نیازمند صرف زمان نسبتاً زیاد برای تعریف کمی پارامترهای متعدد بوده و از سوی دیگر دارای یکسری محدودیت ها می باشد، هوک و براون در سال ۱۹۷۷ به جای سیستم طبقه بندی RMR یک شاخص کاربردی تر به نام شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI) را پیشنهاد دادند، که بلافاصله به عنوان یک پارامتر ورودی در معیار شکست تجربی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت.

۴-۸-۱- روش های محاسبه GSI

۴-۸-۱-۱- تعیین شاخص GSI بر اساس شاخص RMR

از آنجا که شاخص RMR بر اساس دو جدول مربوط به سال های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۹ محاسبه می شود، لذا بسته به این که از کدام جدول برای محاسبه استفاده شده است، محاسبه عددی GSI متفاوت خواهد بود (هوک و کیسر، ۱۳۸۰).

الف: شاخص RMR بر اساس معیار سال ۱۹۷۶: اگر شاخص RMR توده سنگی بر اساس معیار سال ۱۹۷۶ میلادی تعیین شده باشد، برای محاسبه GSI باید امتیاز آب کاملاً خشک ۱۰ و جهت ناپیوستگی ها خیلی مطلوب یعنی صفر در نظر گرفته شود. در این صورت اگر RMR حاصل از ۱۸ بزرگ تر باشد، در این صورت اندازه عددی دو شاخص GSI و RMR یکسان خواهد بود. ولی اگر

RMR محاسبه شده کمتر از ۱۸ باشد، GSI را نمی‌توان بر اساس RMR تعیین کرد و در این موارد باید از سایر روش‌ها استفاده کرد.

ب: شاخص RMR بر اساس معیار سال ۱۹۸۹: اگر شاخص RMR بر اساس معیار سال ۱۹۸۹ میلادی تعیین شده باشد، برای محاسبه GSI باید امتیاز آب کاملاً خشک ۱۵ و جهت ناپیوستگی‌ها خیلی مطلوب یعنی صفر در نظر گرفته شود، در این صورت اگر RMR حاصل از ۲۳ بزرگتر باشد، می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$RMR_{89} > 23 \Rightarrow GSI = RMR_{89} - 5 \quad (۱۰-۴)$$

ولی اگر RMR محاسبه شده کمتر از ۲۳ باشد، شاخص GSI را نمی‌توان بر اساس RMR تعیین کرد و در این موارد باید از سایر روش‌ها استفاده کرد. با توجه به این که RMR محاسبه شده برای تونل ۱۵۶۵ بر مبنای سال ۱۹۸۹ می‌باشد، شاخص GSI برای محدوده‌های مختلف مورد نظر محاسبه شد که نتایج در جدول ۴-۱۶ درج شده است.

جدول ۴-۱۶- شاخص GSI بر اساس RMR برای محدوده‌های مختلف تونل

GSI	RMR_{89} (خشک و جهت ناپیوستگی خیلی مطلوب)	محدوده
۵۵-۵۰	$۵+۱۱+۴۴=۶۰$	دولومیت آبدار
۶۰-۵۵	$۰+۰+۶۰=۶۰$	دولومیت خشک
۵۵-۵۰	$۵+۵+۴۵=۵۵$	دولومیت مینرالیزه آبدار
۵۵-۵۰	$۵+۵۰=۵۵$	دولومیت مینرالیزه خشک

۴-۸-۱-۲- تعیین شاخص GSI بر اساس شاخص Q

در این روش، ابتدا شاخص تعدیل‌شده موسوم به Q' را از رابطه (۴-۱۱) تعیین می‌کنند (هوک و کیسر، ۱۳۸۰):

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_n} \quad (۱۱-۴)$$

سپس شاخص GSI را از رابطه ۴-۱۲ محاسبه می کنند:

$$GSI = 9LnQ + 44 \quad (۴-۱۲)$$

با توجه به روابط بالا، مقادیر Q' و سپس GSI برای محدوده های مختلف محاسبه شد که خلاصه نتایج در جدول ۴-۱۷ آمده است.

جدول ۴-۱۷ محاسبه GSI بر اساس Q

GSI	Q'	محدوده
۶۱	۶/۵	دولومیت آبدار
۶۱	۶/۵	دولومیت خشک
۶۲	۷/۷۵	دولومیت مینرالیزه آبدار
۶۲	۷/۷۵	دولومیت مینرالیزه خشک

۴-۸-۲- استفاده از GSI در تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ

امروزه برای ایجاد هر گونه سازه سطحی یا زیرزمینی دانستن وضعیت زمین شناسی منطقه و پارامترهای ژئومکانیکی واقعی توده سنگ، امری بدیهی به نظر می رسد. مسلماً با دانستن این اطلاعات است که می توان سازه ای را به درستی طراحی و اجرا نمود. Roclab نرم افزاری جهت تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ می باشد، که بر اساس آخرین اصلاحات انجام شده در خصوص معیار شکست هوک - براون تهیه و در سال ۲۰۰۲ منتشر شده است. این نرم افزار از قابلیت های بسیار بالایی برخوردار است، به طوری که پس از مشخص شدن نوع سازه در نرم افزار و با تعیین مقادیر مقاومت فشاری تک محوری سنگ سالم، شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI)، پارامتر ثابت سنگ (m_i) و فاکتور آشفستگی (D) سنگ اطراف سازه مورد نظر، می توان پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ، نظیر مقاومت کششی و فشاری، مدول تغییر شکل، زاویه اصطکاک داخلی، نیروی چسبندگی و ثابت های معیار شکست هوک-براون به همراه منحنی های پوش معیار شکست هوک -براون و موهر-کولمب را به طور همزمان دریافت نمود (RockScience Group, 2002).

معیار شکست هوک- براون برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ معرفی شد. طی سال‌های بعد نیز این دو نفر اصلاحاتی بر معیار شکست خود ارائه نمودند. آخرین اصلاحیه این معیار شکست در سال ۲۰۰۲ در نشست بین المللی مکانیک سنگ کانادا توسط هوک و همکارانش ارائه شد. بر این اساس، شکل کلی معادله در توده سنگ مطابق رابطه (۴-۱۳) تعریف شد (RockScience Group, 2002):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + S \right)^a \quad (4-13)$$

در این رابطه s, a و m_b بسته به کیفیت سنگ تغییر کرده و از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad (4-14)$$

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \quad (4-15)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right) \quad (4-16)$$

۹-۴- معرفی نرم افزار Roclab

نرم افزار Roclab برای تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ با استفاده از معیار شکست هوک و براون در سال ۲۰۰۲ طراحی شده است.

اطلاعات ورودی به این نرم افزار شامل موارد زیر است (RockScience Group, 2002):

- γ وزن مخصوص توده سنگ،
- σ_{ci} مقاومت تراکمی تک محوره سنگ سالم،
- GSI شاخص مقاومت زمین شناسی،
- m_i پارامتر ثابت سنگ،
- D فاکتور آشفستگی.

در صورت مشخص بودن مقادیر هر کدام از پارامترهای بالا، این مقادیر به طور مستقیم وارد نرم افزار می‌شوند. در غیر این صورت با استفاده از جداول و نمودارهای مختلفی که داخل نرم افزار تعبیه شده

است، می‌توان این مقادیر را مشخص نمود. پس از وارد کردن اطلاعات می‌توان بلافاصله پارامترهای خروجی را مشاهده نمود. در حالت کلی خروجی این برنامه می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

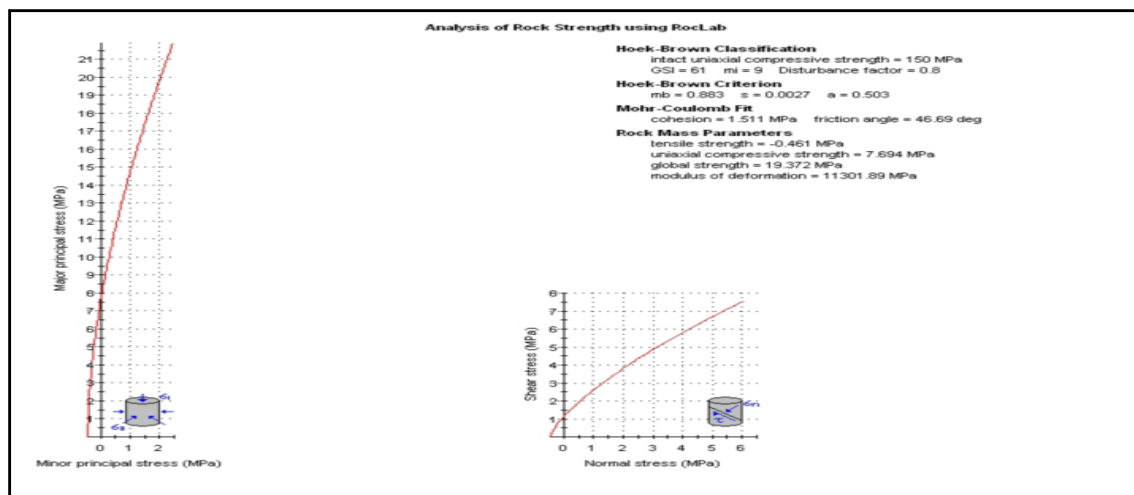
- σ_t مقاومت کششی،
 - σ_c مقاومت فشاری تک‌محوری توده‌سنگ،
 - σ_{cm} مقاومت فشاری تک‌محوره عمومی،
 - E_m مدول تغییر شکل،
 - ϕ زاویه اصطکاک داخلی،
 - ثابت‌های معیار شکست هوک - براون (m_b و a ، S)،
 - ترسیم منحنی‌های پوش معیار شکست هوک - براون در تنش‌های نرمال و اصلی،
 - ترسیم منحنی‌های پوش معیار شکست موهر - کولمب در تنش‌های نرمال و اصلی.
- برای تعیین پارامترهای توده‌سنگ در محدوده‌های موجود در محدوده تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل از نرم‌افزار Roclab استفاده شده است که ورودی‌ها و خروجی‌ها به ترتیب در جدول‌های ۴-۱۸ و ۴-۱۹ و شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵ درج شده است.

جدول ۴-۱۸ - پارامترهای ورودی نرم‌افزار Roclab برای محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل

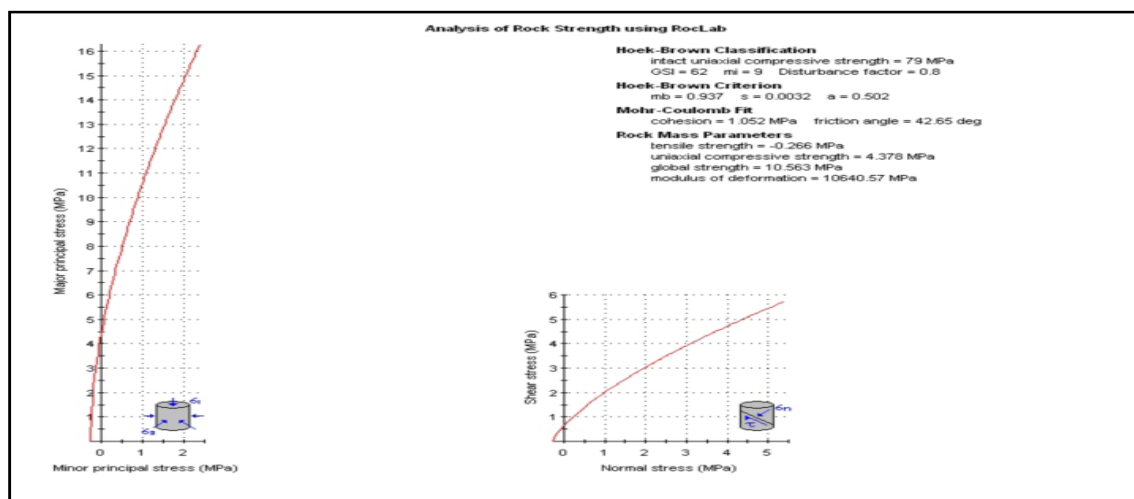
محدوده	$\gamma (KN/m^3)$	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	D	عمق تونل (m)
دولومیت	۲۸/۳	۱۵۲	۶۱	۹	۰/۸	۱۷۰
دولومیت مینرالیزه	۲۸/۵	۷۹	۶۲	۹	۰/۸	۱۷۰

جدول ۴-۱۹ - پارامترهای خروجی نرم‌افزار Roclab برای محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل

محدوده	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	σ_{cm} (MPa)	(GPa)E	(MPa)C	ϕ	a	S	m_b
دولومیت	۷/۶۹۴	-۰/۴۶۱	۱۹/۳۷۲	۱۱۳۰۱/۹	۱/۵۱۱	۴۶/۶۹	۰/۵۰۳	۰/۰۰۲۷	۱/۸۸۳
دولومیت مینرالیزه	۴/۳۷۸	-۰/۲۶۶	۱۰/۵۶۳	۱۰۶۴۰/۵۷	۱/۰۵۲	۴۲/۶۵	۰/۵۰۲	۰/۰۰۳۲	۰/۹۳۷



شکل ۴-۴- نمودارها و نتایج حاصل از نرم افزار Roclab در محدوده دولومیت



شکل ۴-۵- نمودارها و نتایج حاصل از نرم افزار Roclab در محدوده دولومیت مینرالیزه

برای محاسبه مدول برشی و مدول حجمی توده سنگ در محدوده های مختلف زمین شناسی از روابط

۴-۱۴ و ۴-۱۵ استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۴-۲۲ درج شده است.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (۴-۱۴)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (۴-۱۵)$$

که در آن:

G: مدول برشی توده سنگ،

K: مدول حجمی توده سنگ،

E: مدول الاستیسیته توده سنگ،

V: نسبت پواسون.

جدول ۴-۲۰- محاسبه مدول حجمی و برشی محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل

محدوده	مدول الاستیسیته (GPa)	نسبت پواسن	مدول حجمی (GPa)	مدول برشی (GPa)
دولومیت خشک	۲۰	۰/۲۵	۱۳/۳	۸
دولومیت آبدار	۹/۴۴	۰/۲۵	۶/۳	۳/۸
دولومیت مینرالیزه خشک	۱۰	۰/۲۵	۶/۷	۵/۳۳
دولومیت مینرالیزه آبدار	۱۳/۳	۰/۲۵	۸/۹	۴

۴-۱۰- نتیجه گیری

در این فصل به منظور طراحی سیستم نگهداری موقت تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوسفیل از روش‌های تجربی کمک گرفته شده است. روش‌های تجربی در واقع بر پایه تجربیات گذشته بنا نهاده شده‌اند. در واقع افراد مختلف با تلاش‌های فراوان و با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به صدها پروژه عمرانی و معدنی توانسته‌اند جداولی را در اختیار مهندسان قرار دهند؛ تا بدین وسیله افراد بتوانند در ابتدای کار طراحی تونل و با حداقل اطلاعات موجود از شرایط، یک برآورد نسبتاً خوبی از سیستم نگهداری تونل ارائه دهند. از مهم‌ترین سیستم‌های طبقه‌بندی توده سنگ که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به سیستم طبقه بندی RMR و Q اشاره کرد.

با توجه به توضیحات داده شده در بالا، سیستم نگهداری تونل‌های شماره یک و دو تراز ۱۵۶۵ در دو زون شناخته شده دولومیت و دولومیت مینرالیزه با استفاده از روش تجربی Q تعیین شد، که نتایج آن به صورت خلاصه در جدول ۴-۲۱ آمده است.

جدول ۴-۲۱- سیستم‌های نگهداری پیشنهاد شده توسط سیستم طبقه‌بندی Q

دولومیت مینرالیزه		دولومیت		زون سیستم
شاتکریت	پیچ سنگ	شاتکریت	پیچ سنگ	
شاتکریت تقویت شده با توری فلزی با ضخامت ۵۰ تا ۹۰ میلیمتر	پیچ سنگ در فواصل ۱/۷ تا ۲ متری	شاتکریت تقویت شده با توری فلزی با ضخامت ۵۰ تا ۹۰ میلیمتر	پیچ سنگ در فواصل ۱/۷ تا ۲ متری	Q

تحلیل پایداری با استفاده از روش اجزا مجزا

۵-۱- مقدمه

از جمله مهم‌ترین مراحل تحلیل عددی، انتخاب نرم‌افزار مناسب با توجه به نحوه عملکرد و محدودیت‌های موجود در هر نرم‌افزار می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام گرفته آنچه کاملاً واضح و مشهود می‌باشد، غالب بودن سطوح درزه‌داری موجود در منطقه می‌باشد. به عبارتی ناپیوستگی‌ها نقش اساسی در تعیین پایداری تونل دارند، لذا می‌بایست نرم‌افزار یا نرم‌افزارهایی انتخاب گردند که قابلیت مدلسازی محیط‌های ناپیوسته را دارا بوده و بتوانند گویای شرایط واقعی باشند. روش‌های پیوسته عددی در مدلسازی محیط‌های ناپیوسته به هنگام تعریف ناپیوستگی‌ها و رفتار معرف سنگ درزه دار محدودیت دارند؛ این محدودیت‌ها شامل موارد زیر می‌باشند:

الف- تعداد درزه‌ها

ب- گستره و وسعت درزه‌های متقاطع

ج- مقدار جابجایی

د- عدم کارایی محاسباتی ناشی از فرض رفتار پیوسته

روش‌های ناپیوسته روش‌های عددی هستند، که به ویژه برای تحلیل رفتار ناپیوستگی‌ها فرمول‌بندی شده‌اند. در این بین معروف‌ترین و پیشرفته‌ترین روش ناپیوسته، روش اجزای مجزا می‌باشد. روش اجزای مجزا یکی از روش‌های عددی است که برای ارزیابی پایداری و بررسی تغییرشکل و شکست محیط‌های ناپیوسته به کار می‌رود و امروزه استفاده از آن به طور وسیعی در محیط‌های ناپیوسته مورد توجه قرار گرفته است (UDEEC Manual, 2004).

به منظور تحلیل پایداری، نرم‌افزار UDEC با قابلیت فوق‌العاده در مدلسازی سطوح ناپیوستگی و بررسی تأثیر این سطوح در پایداری مورد استفاده قرار گرفته است.

با حفاری تونل وضعیت تنش‌های مؤثر بر زمین تغییر می‌کند که تغییر شکل‌هایی را به دنبال دارد. اگر برای مهار این تغییر شکل‌ها تدبیری اتخاذ نشود، ممکن است که جابجایی در سقف تونل انجام شده و تأثیر آن به سطوح زمین برسد.

در بعضی موارد طراحی و اجرای سیستم‌های نگهداری مناسب مانع از جابجایی می‌شود که میزان جابجایی به شرایط زمین‌شناسی، ابعاد تونل و روش حفاری و نگهداری بستگی دارد. جابجایی معمولاً در مورد زمین‌های خاکی مهم‌تر از زمین‌های سنگی است. اما در پاره‌ای از موارد اجرای نامناسب حفاری و نگهداری تونل در زمین‌های سنگی نیز جابجایی قابل توجهی را به دنبال داشته است.

به منظور مدلسازی عددی و تحلیل پایداری تونل باید تحلیل در مقاطع مختلف با توجه به ویژگی‌های خاص هر ناحیه صورت پذیرد. حاصل این فرآیند ممکن است نشان دهد که شرایط و خصوصیات توده‌سنگ و ناپیوستگی‌ها به گونه‌ای است که نیاز به سیستم نگهداری نیست یا بالعکس؛ برای حفظ پایداری بایستی سیستم نگهداری نصب گردد. لازم به ذکر است که پایداری و یا عدم پایداری یک سازه بستگی به عمر کاربری و شرایط حاکم بر سازه دارد که باید در تحلیل‌ها مورد توجه قرار گیرد.

۵-۲- فرضیات و روند مدلسازی عددی

فرضیات انجام گرفته برای مدلسازی به شرح ذیل است:

۱- مدلسازی در حالت دو بعدی در یک مقطع عرضی عمود بر محور تونل انجام شده و در فرمولاسیون حل مدل فرض وجود شرایط کرنش صفحه‌ای لحاظ شده است.

۲- ابعاد مدل به گونه‌ای انتخاب شده که فاصله مرز مدل از جداره تونل بیش از ۵ برابر ابعاد تونل باشد که البته این فاصله در شرایط توده‌سنگ ضعیف و اعماق زیاد ممکن است بیشتر باشد که در

هنگام مدلسازی این موضوع باید کنترل شود. بدین ترتیب می‌توان شرایط جابجایی صفر در مرز مدل را در نظر گرفت.

۳- شرایط تنش‌های اولیه به صورت ثقلی و بر اساس ارتفاع روباره در نظر گرفته شده است.

۴- مدل رفتاری توده‌سنگ، موهر کولمب است.

۵- سیستم نگهداری مرکب از شاتکریت، توری سیمی و پیچ‌سنگ می‌باشد. برای مدلسازی شاتکریت از المان تیر و برای پیچ‌سنگ‌ها از المان کابل استفاده شده است.

پارامترهای ورودی برای شاتکریت شامل سطح مقطع، مدول الاستیسیته، ممان اینرسی می‌باشد و

برای المان کابل شامل سطح مقطع کابل، مدول الاستیسیته کابل، مقاومت تسلیم، سختی دوغاب

(K_{bond}) و حداکثر نیروی برشی در واحد طول (S_{bond}) می‌باشد. با توجه به جابجایی برشی U_a بین

سطح کابل و دیواره چال، نیروی برشی F_a در واحد طول کابل، توسط رابطه (۵-۱) با سختی K_{bond}

مربوط می‌شود (UDEEC Manual, 2002):

$$F_a = K_{bond} \cdot U_a \quad (۵-۱)$$

با توجه به عدم انجام آزمایش‌های بیرون کشیدن پیچ‌سنگ از رابطه (۵-۲) برای محاسبه سختی

استفاده شده که برای استفاده در نرم‌افزار نتایج منطقی و مناسبی ارائه می‌دهد.

$$k_{bond} = \frac{2\pi G_g}{10 \ln(1 + 2 \frac{2t}{D})} \quad (۵-۲)$$

که در آن:

t = ضخامت دوغاب اطراف کابل

G_g = مدول برشی دوغاب

D = قطر کابل

حداکثر نیروی برشی در واحد طول (S_{bond}) را می‌توان با استفاده از رابطه (۵-۳) محاسبه کرد:

$$S_{bond} = \pi(D + 2t)\tau_{Peak} \quad (۵-۳)$$

که در آن τ_{Peak} حداکثر مقاومت برشی است که از نتایج آزمایش‌های بیرون کشیدن به دست می‌آید و در صورت عدم دسترسی به نتایج این تست‌ها می‌توان آن‌ها را توسط رابطه (۴-۵) برآورد نمود:

$$\tau_{Peak} = \tau_i \cdot Q_B \quad (۴-۵)$$

که در آن τ_i تقریباً نصف مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ یا دوغاب (ضعیف‌ترین ماده) و Q_B کیفیت تماس بین دوغاب و سنگ (برای تماس کامل $Q_B = 1$) است.

از آنجا که نرم‌افزار UDEC یک نرم‌افزار دو بعدی است، باید به روشی بتوان سیستم سه بعدی تحلیل پیچ‌سنگ‌ها را به صورت تقریبی به دو بعدی تبدیل نمود. در صورتی که کابل‌ها در امتداد عمود بر صفحه آنالیز با فواصل منظم (S) نصب شده باشند، آن‌گاه باید در تحلیل دوبعدی پارامترهای مربوط به کابل را (بجز کرنش گسیختگی) بر S تقسیم کرد.

با توجه به اطلاعات فوق پارامترهای مربوط به سیستم نگهداری پیچ‌سنگ و شاتکریت مطابق جدول ۵-۱ و ۵-۲ می‌باشد:

جدول ۵-۱- مشخصات پیچ‌سنگ‌های مورد استفاده در مدل‌سازی با قطر ۲۵ میلیمتر (دیابی، ۱۳۸۶)

پارامتر	ارزش پایه	ارزش معادل فاصله طولی پیچ‌سنگ برابر ۱/۵ متر
مدول یانگ (GP_a)	۲۲۰	۱۴۶/۶
نیروی فشاری جاری شدن (MN)	/۱۸	۰/۱۲
نیروی کششی جاری شدن (MN)	/۱۸	۰/۱۲
سختی دوغاب (GP_a)	۵/۲	۳/۴۶
حداکثر نیروی برشی در واحد طول (MN/m/m)	/۰۸	۰/۰۵۳
کرنش گسیختگی	/۰۰۳	/۰۰۳

جدول ۵-۲- مشخصات شاتکریت مورد استفاده در مدل‌سازی (دیابی، ۱۳۸۶)

مدول الاستیسیته (GPa)	وزن مخصوص (kg/m^3)	مقاومت فشاری (MPa)	نسبت پواسن	مقاومت خمشی (N/mm^2)
۲۰	۲۲۰۰	۲۵	/۲۵	۴

همچنین در مدلسازی شاتکریت مسلح، از توری سیمی با قطر میلگرد ۶ میلیمتر و فاصله چشمه‌های ۱۵ سانتیمتر استفاده شده است.

۵-۳- مدلسازی مقطع تونل در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه

۵-۳-۱- هندسه مدل

در این قسمت ابعاد مدل به همراه لایه‌بندی و سیستم ناپیوستگی به منظور ایجاد مدل دارای بلوک‌های مشخص، تعریف می‌شود.

در این طرح، مدل‌ها دارای ابعاد $(x \times y) = 45 \times 45$ m می‌باشند و اطلاعات مربوط به دسته درزه‌ها از جداول ۵-۳ و ۵-۴ استخراج شده است. مقطع انتخاب شده در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه با روباره حداکثر ۱۷۰ متر انتخاب شده است. همچنین برای شبکه‌بندی اجزا تفاضل محدود از المان‌های مثلثی استفاده شده است.

جدول ۵-۳- مشخصات دسته درزه‌های محدوده دولومیتی تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل

دسته درزه / مشخصات	شیب	جهت شیب	متوسط فاصله‌داری
دسته درزه ۱	۰۳	۳۱۹	۲۰-۳۰ سانتیمتر
دسته درزه ۲	۸۰	۲۷۰	۲۰-۳۰ سانتیمتر
دسته درزه ۳	۴۰	۱۷۵	۵۰ سانتیمتر

جدول ۵-۴- مشخصات دسته درزه‌های محدوده دولومیت مینرالیزه تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل

دسته درزه / مشخصات	شیب	جهت شیب	متوسط فاصله‌داری
دسته درزه ۱	۰۳	۳۱۹	۲۰-۵۰ سانتیمتر
دسته درزه ۲	۸۰	۲۷۰	۲۰-۳۰ سانتیمتر
دسته درزه ۳	۴۰	۱۷۵	۳۰ سانتیمتر

۵-۳-۲- مدل رفتاری و نسبت دادن خواص

انتخاب مدل رفتاری، به جنس سنگ و وضعیت تنش در منطقه بستگی دارد. در این طرح، مدل رفتاری انتخاب شده، مدل الاستو - پلاستیک با تئوری شکست موهر - کلمب می‌باشد. این مدل رفتار سنگ در بخش الاستیک را نفی نمی‌کند؛ بلکه در حالتی که رفتار آن‌ها از حالت الاستیک خارج شود و به منطقه پلاستیک برسد، این بخش را شامل می‌گردد.

مدل رفتاری مورد نظر برای ناپیوستگی‌ها، مدل تماس صفحه‌ای لغزش کلمب می‌باشد. مطابق مدل‌های رفتاری فوق الذکر، خواص مربوط به بلوک‌ها و ناپیوستگی‌ها نسبت داده می‌شود (جدول ۵-۵). این خواص که شامل پارامترهای مختلفی می‌شوند، عبارتند از:

- وزن مخصوص
- مدول الاستیک سنگ
- نسبت پواسون
- مقاومت چسبندگی
- زاویه اصطکاک داخلی
- مدول الاستیسیته سنگ بکر و توده‌سنگ

جدول ۵-۵- خواص مواد

محدوده	وزن مخصوص (kg/m^3)	نسبت پواسون	مقاومت چسبندگی (MP_a)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	مدول الاستیک سنگ بکر (GP_a)	مدول الاستیک توده‌سنگ (GP_a)
دولومیت	۲۸۳۰	۰/۲۵	۱/۵	۴۷	۵۴	۱۱/۳
دولومیت مینرالیزه	۲۸۵۰	۰/۲۵	۱/۵	۳۵	۵۴	۱۰/۶

۵-۳-۳- خواص ناپیوستگی ها

به دلیل انجام نشدن آزمایش‌های برشی برجا در منطقه، مقادیر سختی برشی نرمال درزه‌ها از طریق روابط پیشنهادی و ارائه شده در دفترچه راهنمای نرم‌افزار UDEC تخمین زده شد. این روابط عبارتند از:

$$JK_n = \frac{E_m \cdot E_r}{S(E_r - E_m)} \quad (۵-۵)$$

$$JK_s = 0.1JK_n \quad (۶-۵)$$

که در آن:

JK_n : سختی نرمال درزه‌ها (GP_a/m)

JK_s : سختی برشی درزه‌ها (GP_a/m)

E_r : مدول الاستیک سنگ بکر (GP_a)

E_m : مدول الاستیک توده سنگ (GP_a)

S : میانگین فاصله‌داری درزه‌ها $(Spacing)(m)$

۵-۳-۴- شرایط مرزی و اولیه

این شرایط عمدتاً شامل بارگذاری‌ها، شرایط مربوط به جهات آزادی مرزها و همچنین در نظر گرفتن تنش‌های برجای منطقه است. تنش قائم با افزایش عمق و دانسیته لایه‌های پوششی افزایش می‌یابد و تنش‌های افقی نیز بر اساس شرایط حاکم بر مواد و با توجه به تنش‌های تکتونیکی، حرارتی و غیره تعیین می‌شود. سپس تنش‌های افقی و قائم به وسیله ضریب K به یکدیگر مربوط می‌شوند.

با توجه به عدم اندازه‌گیری تنش‌های برجا و عدم تعیین نسبت تنش‌های افقی به قائم در منطقه، برای کنترل پایداری تونل بر اساس نسبت‌های مختلف K تحلیل حساسیت صورت گرفته است. نسبت‌های مورد بررسی عبارتند از: $K = 0.5$ و $K = 1$ و $K = 1.5$ و $K = 2$ نتایج حاصله به صورت جدول ۵-۶ می‌باشد.

جدول ۵-۶- میزان حداکثر جابجایی‌ها در سقف و کف تونل به ازای Kهای مختلف در شرایط کرنش صفحه‌ای

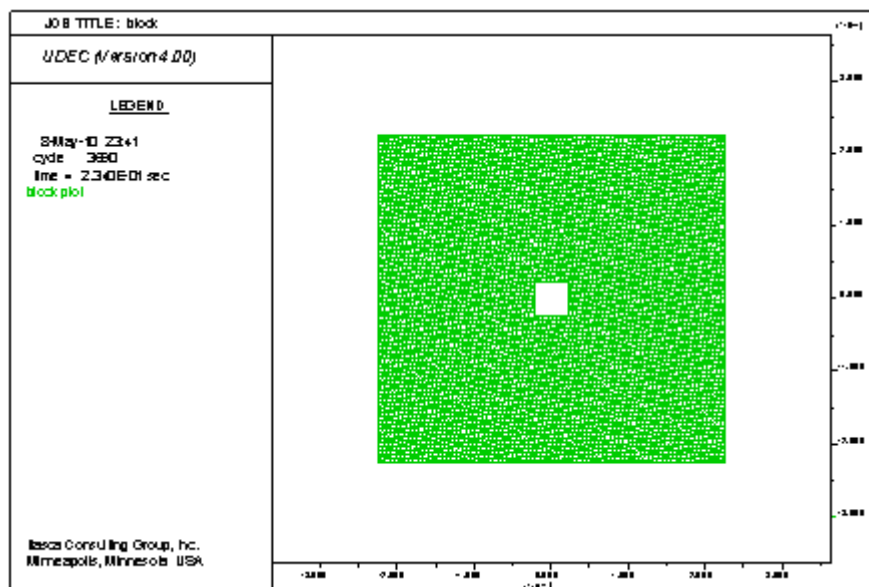
محدوده	K	بیشترین جابجایی در اطراف دهانه تونل (cm)
محدوده دولومیت	۰/۵	۲/۴۲
	۱	۳
	۱/۵	۳/۷۷
	۲	۵/۱۹
محدوده دولومیت مینرالیزه	۰/۵	۴/۲
	۱	۴/۵۲
	۱/۵	۴/۷۴
	۲	۵/۴۱

آنچه از جدول ۵-۶ پیداست، بحرانی بودن جابجایی‌های تونل به ازای $K = 2$ می‌باشد. لذا مقدار ۲ $K =$ برای این شکل مقطع تونل و برای اجرای سیستم نگهداری موقت در تمام مسیر تونل یک مقدار بیشینه خواهد بود و چنانچه بتوان مدلسازی درستی به ازای $K = 2$ انجام داد، می‌توان نتیجه گرفت که طراحی مناسبی به ازای Kهای دیگر نیز از لحاظ فنی صورت گرفته است.

روش مدلسازی بدین ترتیب است که ابتدا مدل زمین قبل از حفاری تهیه شده و در ادامه پس از حفر تونل، جابجایی‌های اطراف دهانه تونل به دست می‌آید. پس از تعیین مقدار جابجایی‌ها در تود سنگ اطراف تونل، لازم است که با توجه به نتایج به دست آمده، وضعیت پایداری تونل مورد بررسی قرار گیرد. همچنین مقدار تنش قائم منطقه ۴/۸ مگاپاسکال و تنش افقی نیز ۹/۶۲ مگاپاسکال است ($K=2$). در این بخش نتایج حاصله به صورت زیر مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد:

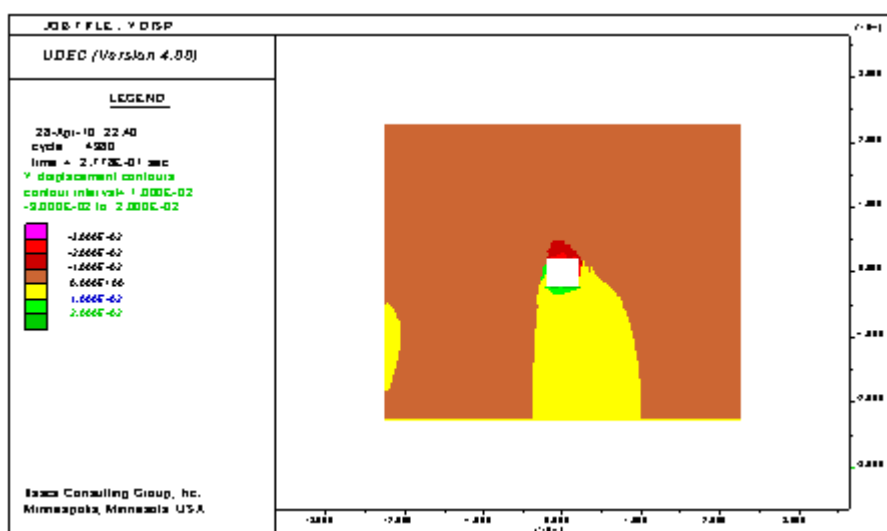
۵-۳-۵- مدلسازی مقطع تونل شماره ۱ در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه

در این مرحله با توجه به مراحل قبل، ابتدا تونل مورد نظر حفر می‌شود و اجرای برنامه تا رسیدن مدل به حالت تعادل ادامه می‌یابد تا وضعیت پایداری زمین بدون نصب سیستم نگهداری مشخص شود.

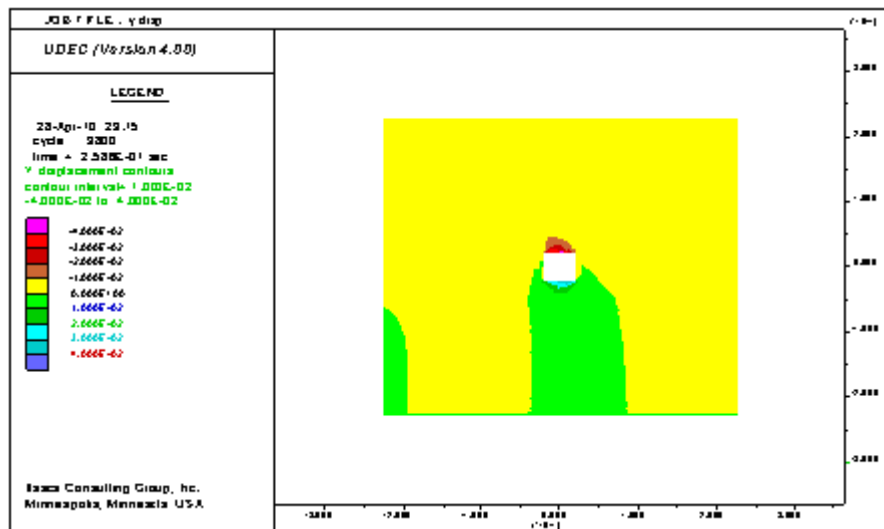


شکل ۵-۱- مدل ساخته شده از محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱

نتایج حاصل از این تحلیل مدل بدون نصب سیستم نگهداری که در شکل ۵-۲ و ۵-۳ آمده است، نشان داد که در صورت عدم نصب سیستم نگهداری در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه در تونل شماره ۱، به ترتیب جابجایی‌هایی در حدود ۵/۱۹ سانتیمتر و ۵/۴۹ سانتیمتر در اطراف تونل اتفاق خواهد افتاد.

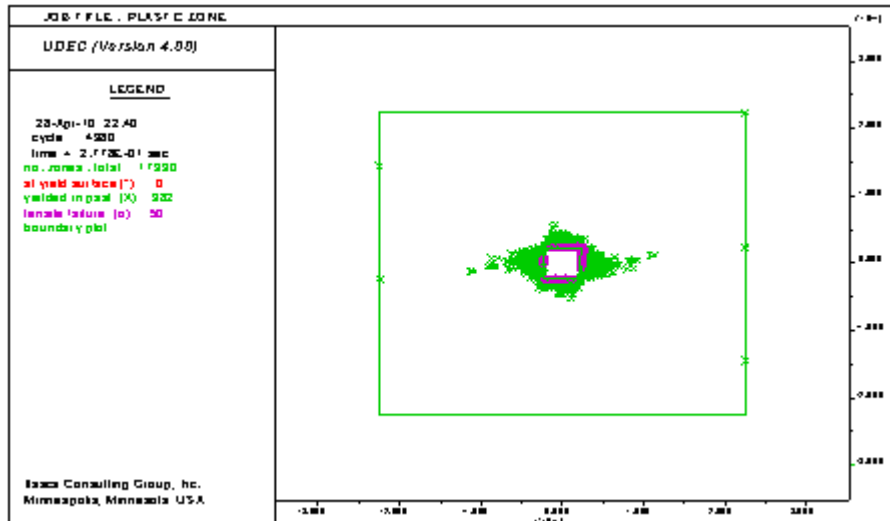


شکل ۵-۲- نمودار جابجایی در اطراف محدوده دولومیتی تونل شماره ۱

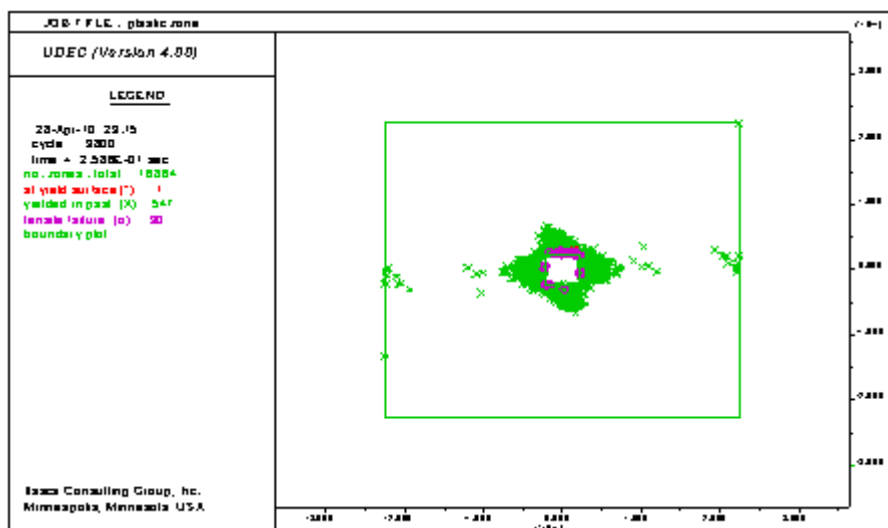


شکل ۵-۳- نمودار جابجایی در اطراف محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱

نمودار منطقه پلاستیک اطراف تونل در محدوده‌های دولومیت و دولومیت مینرالیزه که نشان دهنده نقاطی است که وارد حالت پلاستیک شده‌اند، در شکل ۵-۴ و ۵-۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نقاط زیادی در اطراف تونل وارد شرایط پلاستیک شده‌اند.



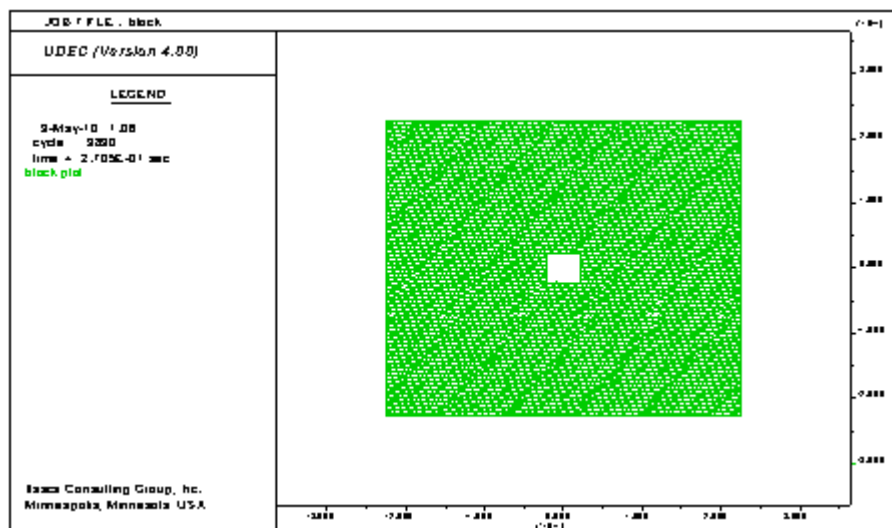
شکل ۵-۴- منطقه پلاستیک ایجاد شده در محدوده دولومیتی تونل شماره ۱



شکل ۵-۵- منطقه پلاستیک ایجاد شده در محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱

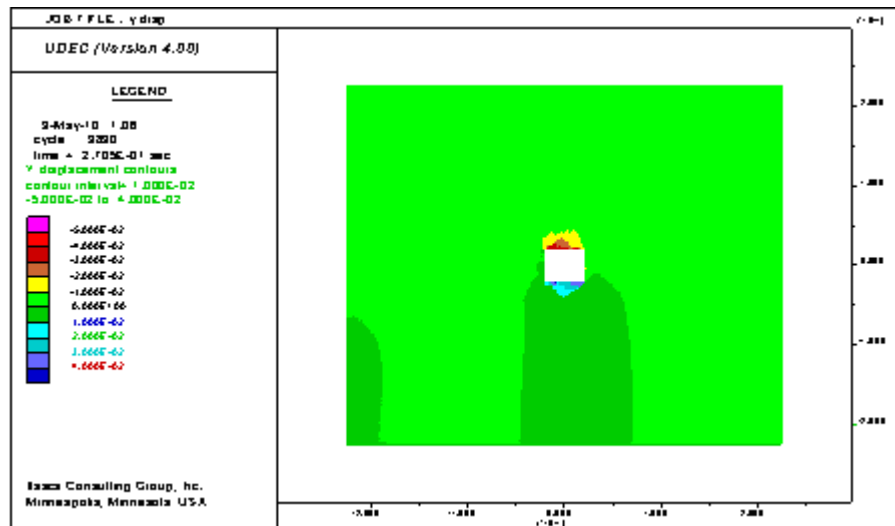
۵-۳-۶- مدلسازی مقطع تونل شماره ۲ در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه

مدل ساخته شده برای تحلیل محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه در تونل شماره ۲ از نظر ابعاد همانند تونل شماره ۱ می باشد و تفاوت آن ناشی از شیب ظاهری ناپیوستگی ها در رابطه با جهت گیری آنها نسبت به جهت گیری تونل می باشد.

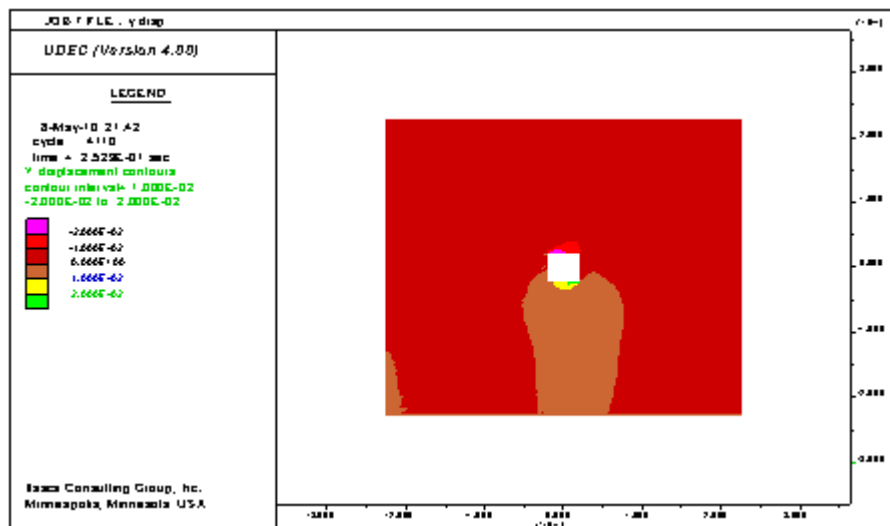


شکل ۵-۶- مدل ساخته شده از محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه در تونل شماره ۲

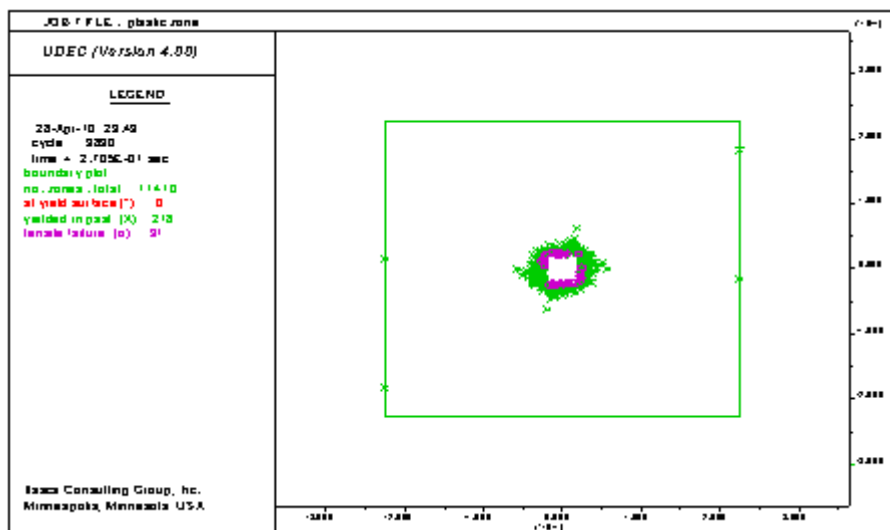
نتایج حاصل از مدل بدون نصب سیستم نگهداری که در شکل ۵-۷ تا ۵-۱۰ آمده است نشان داد که در صورت عدم نصب سیستم نگهداری جابجایی‌هایی در حدود ۴/۵۸ سانتیمتر و ۳/۴ سانتیمتر به ترتیب در محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه در تونل شماره ۲ اتفاق خواهد افتاد.



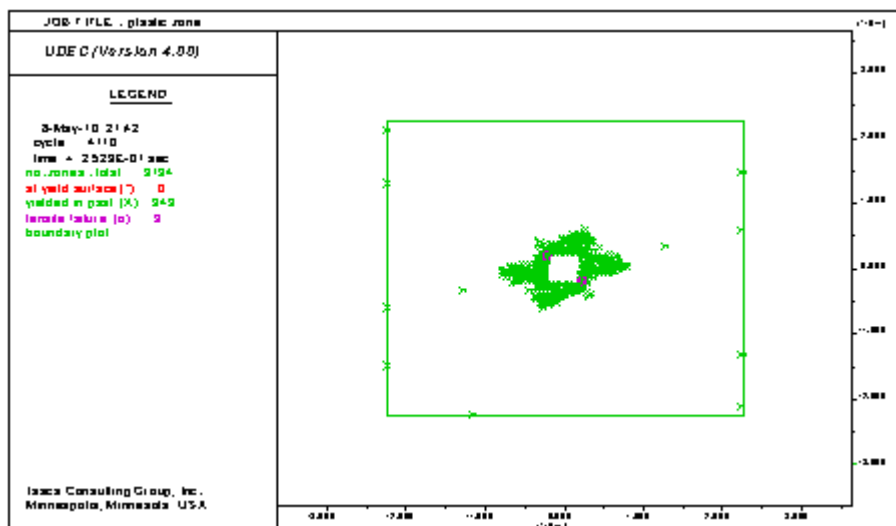
شکل ۵-۷- نمودار جابجایی‌ها در محدوده دولومیت تونل شماره ۲



شکل ۵-۸ - نمودار جابجایی‌ها در محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲



شکل ۵-۹- منطقه پلاستیک ایجاد شده در محدوده دولومیت تونل شماره ۲



شکل ۵-۱۰- منطقه پلاستیک ایجاد شده در محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲

پس از تعیین مقدار جابجایی‌ها در توده سنگ اطراف تونل، لازم است که با توجه به نتایج بدست آمده، وضعیت پایداری تونل و اعمال سیستم‌های نگهداری مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

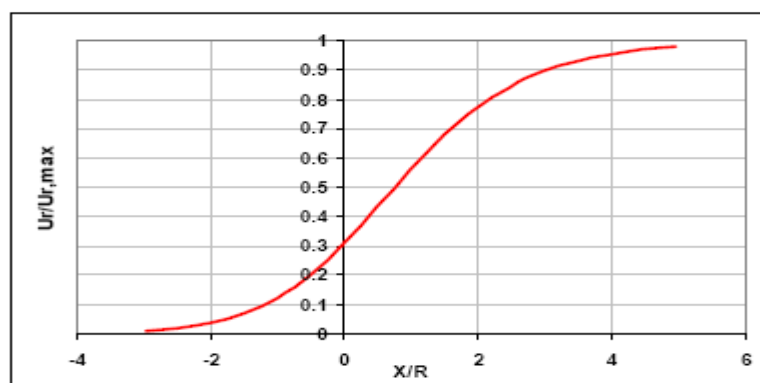
۵-۴- بررسی سیستم‌های نگهداری مختلف

اولین مرحله در رابطه با اعمال سیستم‌های نگهداری مختلف، تعیین میزان همگرایی و انتخاب فاصله مناسب سیستم نگهداری از جبهه کار تونل می‌باشد.

برای تعیین میزان جابجایی‌ها و همگرایی در جبهه‌کار تونل، از پروفیل تغییر شکل طولی زمین (LDP)^۱ با توجه به رابطه کارانزا تورس^۲ (رابطه ۵-۳) استفاده شده است که در شکل ۵-۱۱ ملاحظه می‌شود (Carranza Torres, 2000):

$$\frac{u_r}{u_{\max}} = \left[1 + \exp\left(-\frac{x/R}{1.10}\right) \right]^{-1.7} \quad (5-3)$$

که در این معادله u_r مقدار جابجایی در فاصله x از جبهه‌کار، $u_{\max}$ مقدار جابجایی حداکثر، x فاصله از جبهه‌کار تونل و R شعاع تونل را نشان می‌دهد.

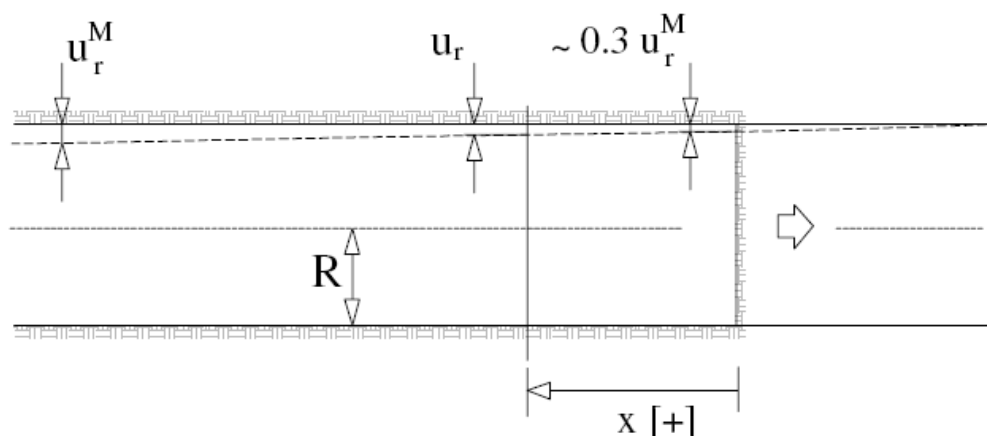


شکل ۵-۱۱- نمودار پروفیل تغییر شکل طولی زمین با توجه به رابطه کارانزا تورس (Carranza Torres & Fairhurst, 2000)

در این معادله همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار جابجایی‌های نرمال شده در فاصله‌ای حدود ۳ برابر شعاع تونل در جلوی جبهه‌کار، به مقدار صفر می‌رسند و در فاصله‌ای حدود ۵ برابر شعاع تونل در پشت جبهه‌کار به مقدار حداکثر خود می‌رسند. همچنین مقدار جابجایی که در جبهه‌کار اتفاق می‌افتد، حدود ۳۰٪ مقدار حداکثر جابجایی‌ها می‌باشد (شکل ۵-۱۲).

^۱Longitudinal Deformation Profile

^۲ Carranza Torres



شکل ۵-۱۲- پروفیل جابجایی‌های شعاعی برای تونل بدون سیستم نگهداری در مجاورت جبهه کار تونل
(Carranza Torres & Fairhurst, 2000)

نکته مهم و قابل توجه فاصله زمانی بین پیشروی سینه کار و نصب سیستم نگهداری می‌باشد. ایجاد یک فاصله زمانی میان پیشروی یا حفر تونل و نصب سیستم نگهداری، باعث کاهش حجم تحکیمات و در نتیجه هزینه نگهداری می‌شود.

دلیل این مسئله هم این است که قسمت قابل توجهی از جابجایی‌ها در همین فاصله زمانی کوتاه رخ می‌دهد و در اثر این جابجایی قسمت اعظمی از تنش القایی رها شده و فشار وارد بر سیستم نگهداری کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج بدست آمده از سیستم طبقه‌بندی Q برای تخمین ماکزیمم دهانه بدون نگهداری برای محدوده‌های دولومیت و دولومیت مینرالیزه موجود در جدول شماره ۴-۱۵، اعداد ۴ و ۳/۶ متر به عنوان فاصله اولین سیستم نگهداری از جبهه کار تونل در نظر گرفته شد. در نتیجه میزان همگرایی در این نقاط از تونل برای محدوده‌های دولومیت و دولومیت مینرالیزه به ترتیب ۷۳/۴۸٪ و ۷۰٪ به‌دست آمد.

در ادامه با در نظر گرفتن همگرایی به‌دست آمده، سیستم‌های نگهداری مختلفی مورد بررسی و مدلسازی قرار گرفتند که این سیستم‌ها و نتایج به‌دست آمده از اعمال آن‌ها در محدوده‌های دولومیت و دولومیت مینرالیزه در فصل ۷ مورد مطالعه قرار خواهند گرفت.

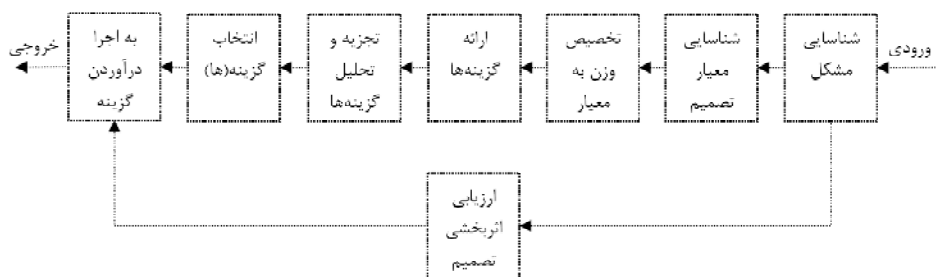
فصل ششم

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

۶-۱- مقدمه

تصمیم‌گیری از شروع حیات انسان همواره به عنوان یک موضوع اساسی مطرح بوده است. اگرچه در آغاز، بیشتر تصمیم‌های ساده محدود و فردی بوده اما در گذر زمان زندگی انسان ابعاد تازه‌تری به خود گرفته است. از این‌رو تصمیم‌های پیچیده‌تر و کلان‌تری را سبب شده است. امروزه بخش عمده‌ای از این‌گونه تصمیم‌ها مربوط به کارکرد سازمان‌ها، پروژه‌ها و غیره می‌شود. پیچیدگی و تحولات روز افزون محیط عملیاتی پروژه‌ها میزان حساسیت تصمیم‌ها را بیشتر نموده است. به طوری‌که اندک سهل‌انگاری و ساده‌اندیشی در خصوص مسائل به آسانی می‌تواند سبب نابودی و ناکارآمدی پروژه‌ها شود. در مقابل، تصمیم‌های آگاهانه، سنجیده و به موقع نیز زمینه‌های رشد و پیشرفت پروژه‌ها را فراهم می‌آورد. بنابراین هرچند که از دیرباز مقوله تصمیم‌گیری به عنوان یکی از عوامل حیاتی موفقیت یا شکست پروژه‌ها مطرح بوده اما باتوجه به شرایط متلاطم و پویای امروزی، به جرأت می‌توان گفت اهمیت و پی‌آمد تصمیم‌ها به مراتب بیش از پیش مطرح است.

صاحب‌نظران مدیریت به شیوه‌های گوناگون به تحلیل فرآیند تصمیم‌گیری پرداخته و مراحل مختلفی را برای آن بر شمرده‌اند. یکی از مطرح‌ترین فرآیند تصمیم‌گیری، فرآیند تصمیم‌گیری عقلانی^۱ است. تصویر شماتیک از مراحل فرآیند در شکل ۶-۱ آورده شده است.



شکل ۶-۱- فرآیند تصمیم‌گیری عقلانی (Siler et al, 2005)

با توجه به شکل ۶-۱ فرآیند تصمیم‌گیری با بروز مشکل و یا اختلاف بین وضعیت جاری و وضعیت مطلوب امور شروع می‌شود. در قدم بعدی معیارهای تصمیم شناسایی می‌شوند. از آنجائی که معیارها دارای اهمیت متفاوت در تصمیم‌گیری می‌باشند، این معیارها وزن‌دهی می‌شوند. در قدم بعد، گزینه‌ها انتخاب و بر اساس معیارهای تصمیم تجزیه و تحلیل می‌شوند. در نهایت نیز با انتخاب گزینه یا گزینه‌های مطلوب و به اجرا درآوردن آن فرآیند تصمیم‌گیری پایان می‌پذیرد.

فنون ریاضی تصمیم‌گیری یکی از با ارزش‌ترین دست‌آوردهای فعالیت پژوهشگران است که غالباً تحت عنوان روش‌های کمی تصمیم‌گیری در محافل علمی مطرح می‌شوند. در نگرش فرآیند تصمیم‌گیری، محور تاکید و کاربرد این فنون به ایجاد مدل از مسأله تصمیم، ارزیابی راه‌حل‌های ممکن و گزینش بهترین یا رضایت‌بخش‌ترین راه‌حل مربوط می‌شود.

۶-۲- انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده در این تحقیق عبارتند از:

روش وزن دهی ساده (SAW)، روش شباهت به گزینه ایده ال (TOPSIS)، روش تسلط تقریبی

(ELECTRE) و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

۶-۲-۱- روش وزن دهی ساده^۱ (SAW)

روش وزن دهی ساده که ساده ترین روش تصمیم گیری چندمعیاره می باشد، در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ^۲ و یون^۳ ارائه شده است. در این روش که به نام روش ترکیب خطی وزن دار نیز شناخته می شود، پس از بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم، با استفاده از ضرائب وزنی معیارها، ماتریس تصمیم گیری بدون مقیاس شده وزن دار به دست آمده و با توجه به این ماتریس، امتیاز هر گزینه به دست می آید (عطایی، ۱۳۸۸).

مراحل روش وزن دهی ساده به شرح زیر است:

۱- تشکیل ماتریس تصمیم گیری

با توجه به تعداد معیارها و تعداد گزینه ها و ارزیابی همه گزینه ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل می شود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

که در آن x_{ij} عملکرد گزینه i ام ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ام ($j=1,2,\dots,n$) می باشد.

۲- بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم گیری

در این مرحله سعی می شود معیارهای با ابعاد مختلف، به معیارهایی بدون بعد تبدیل شوند. ماتریس

R به صورت زیر تعریف می شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

¹ Simple Additive Weighting

² Hwang

³ Yoon

روش‌های مختلفی برای بدون مقیاس کردن وجود دارد، اما در روش وزن‌دهی ساده از رابطه بدون مقیاس کردن خطی استفاده می‌شود. در این روش برای بی مقیاس کردن معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij}\}} \quad (1-6)$$

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\max\left\{\frac{1}{x_{ij}}\right\}} = \frac{\min\{x_{ij}\}}{x_{ij}} \quad (2-6)$$

۳- تعیین بردار وزن معیارها

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، بردار وزن معیارها به صورت $[w_1, w_2, \dots, w_n]$ تعریف می‌شود.

۴- انتخاب گزینه برتر

در این صورت بهترین گزینه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \right\} \quad (3-6)$$

که در این رابطه w_i وزن هر معیار و r_{ij} درایه‌های ماتریس بی‌مقیاس شده تصمیم‌گیری است.

۶-۲-۲- روش تسلط تقریبی^۱ (الکتر)

روش الکتر توسط بنایون^۲ ارائه شد و سپس توسط وان دلفت^۳، نیجکامپ^۴، روی^۵ و سایر همکارانش توسعه داده شد. در این روش گزینه‌ها به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و گزینه‌های مسلط

¹ Electre

² Benayoun

³ Wan dlepht

⁴ Nickjump

⁵ Roy

و ضعیف (یا غالب و مغلوب) شناسایی شده و سپس گزینه‌های ضعیف و مغلوب حذف می‌شوند (عطایی، ۱۳۸۸).

مراحل روش الکترون به شرح زیر است:

۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

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

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

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

۲- بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری

در این مرحله سعی می‌شود معیارهای با ابعاد مختلف، به معیارهایی بدون بعد تبدیل شوند. ماتریس R به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

روش‌های مختلفی برای بی‌مقیاس کردن وجود دارد، اما در روش الکترون معمولاً از رابطه زیر استفاده می‌شود (Tille, 2003):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (4-6)$$

که در این رابطه، عملکرد گزینه i ام ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ام ($j=1,2,\dots,n$) در ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد.

۳- تعیین ماتریس وزن معیارها،

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، ماتریسی به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

عناصر بردار W ضریب اهمیت معیارهای مربوطه می‌باشد.

۴- تعیین ماتریس تصمیم وزن دار

ماتریس تصمیم وزن دار از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در ماتریس وزن معیارها به دست می‌آید:

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (5-6)$$

۵- تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف

برای هر زوج گزینه $(k, e) \in \{1, 2, \dots, m\} \times \{1, 2, \dots, m\}$ ، مجموعه معیارها $J = \{1, 2, \dots, m\}$ به دو زیرمجموعه موافق و مخالف تقسیم می‌شوند. مجموعه موافق (S_{ke}) مجموعه‌ای از معیارها است که در آن گزینه k نسبت به گزینه e ترجیح دارد و مجموعه مکمل آن مجموعه مخالف (I_{ke}) می‌باشد. مجموعه معیارهای موافق برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شود (عطایی، ۱۳۸۸):

$$S_{ke} = \{j | v_{kj} \geq v_{ej}\} \quad (6-6)$$

$$S_{ke} = \{j | v_{kj} \leq v_{ej}\} \quad (7-6)$$

مجموعه معیارهای مخالف برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_{ke} = \{j | v_{kj} < v_{ej}\} \quad (8-6)$$

$$I_{ke} = \{j | v_{kj} > v_{ej}\} \quad (9-6)$$

۶- تشکیل ماتریس توافق

برای تشکیل ماتریس توافق، باید عناصر آن که شاخص توافق نامیده می‌شوند، محاسبه کرد. شاخص توافق از جمع وزن معیارهایی که در مجموعه موافق آمده‌اند، به دست می‌آید. بنابراین شاخص توافق C_{ke} که بین گزینه k و e می‌باشد برابر است با:

$$C_{ke} = \frac{\sum_{j=S_{ke}} W_j}{\sum_{j=1} W_j} \quad (۱۰-۶)$$

۷- تشکیل ماتریس مخالف

شاخص عدم توافق (مخالف) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$d_{ke} = \frac{\max_{j \in I_{ke}} |v_{kj} - v_{ej}|}{\max_{j \in J} |v_{kj} - v_{ej}|} \quad (۱۱-۶)$$

با محاسبه شاخص عدم توافق برای همه زوج گزینه‌ها، می‌توان ماتریس توافق را که یک ماتریس است؛ به صورت زیر تعریف کرد. در حالت کلی این ماتریس متقارن نیست.

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & - & \dots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{m1} & \dots & d_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}$$

۸- تشکیل ماتریس تسلط موافق

در قدم ششم نحوه محاسبه شاخص توافق C_{ke} بیان شد. هم‌اکنون در این قدم یک مقدار معین برای شاخص توافق مشخص می‌شود که آن را آستانه موافقت می‌نامند و با $\bar{c}$ نشان داده می‌شود. اگر C_{ke} بزرگتر از $\bar{c}$ باشد، برتری گزینه k بر گزینه e قابل قبول است و گرنه گزینه k برتری ندارد. مقدار آستانه موافقت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{c} = \sum_{k=1}^m \sum_{e=1}^m \frac{C_{ke}}{m(m-1)} \quad (۱۲-۶)$$

ماتریس تسلط موافق (F) با توجه به مقدار آستانه موافقت تشکیل می‌شود که اعضای آن بر اساس رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$f_{ke} = \begin{cases} 1 & c_{ke} \geq \bar{c} \\ 0 & c_{ke} < \bar{c} \end{cases} \quad (۱۳-۶)$$

۹- تشکیل ماتریس تسلط مخالف

ماتریس تسلط مخالف (G)، مانند ماتریس تسلط موافق تشکیل می‌شود. بدین منظور ابتدا باید آستانه مخالفت $\bar{d}$ توسط تصمیم گیرنده بیان شود، که می‌تواند به عنوان مثال میانگین شاخص‌های مخالفت باشد. یعنی:

$$\bar{d} = \sum_{k=1}^m \sum_{e=1}^m \frac{d_{ke}}{m(m-1)} \quad (۱۴-۶)$$

ماتریس تسلط مخالفت (G) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$f_{ke} = \begin{cases} 0 & d_{ke} \geq \bar{d} \\ 1 & d_{ke} < \bar{d} \end{cases} \quad (۱۵-۶)$$

هر عضو ماتریس G نیز نشانگر رابطه تسلط مابین گزینه‌ها می‌باشد.

۱۰- تشکیل ماتریس تسلط نهایی

ماتریس تسلط نهایی H از ضرب تک تک درایه‌های ماتریس تسلط موافق F در ماتریس تسلط مخالف G حاصل می‌شود:

$$h_{ke} = f_{ke} \cdot g_{ke} \quad (۱۶-۶)$$

۶-۲-۳- روش شباهت به گزینه ایده‌ال

روش شباهت به گزینه ایده‌ال توسط یون و هوانگ^۱ در سال ۱۹۸۱ ارائه شد که مورد استقبال محققین و کاربران مختلف واقع شد. در این روش گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌ال رتبه بندی

^۱ Yoon and Hwang

می‌شوند، به طوری که هر چقدر یک گزینه شبیه‌تر به حل ایده‌ال باشد، رتبه بیشتری دارد (عطایی، ۱۳۸۸).

مراحل روش شباهت به گزینه ایده‌ال به شرح زیر است:

۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

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

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

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

۲- بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری

در این مرحله سعی می‌شود معیارهای با ابعاد مختلف، به معیارهایی بدون بعد تبدیل شوند. ماتریس R به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

روش‌های مختلفی برای بی‌مقیاس کردن وجود دارد، اما در روش شباهت به گزینه ایده‌ال معمولاً از رابطه زیر استفاده می‌شود (Chu, 2003):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (۱۷-۶)$$

که در این رابطه، عملکرد گزینه i ام ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ام ($j=1,2,\dots,n$) در ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد.

۳- تعیین ماتریس وزن معیارها،

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، ماتریسی به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & \cdots \\ 0 & \cdots & w_n \end{bmatrix}$$

عناصر بردار W یک ماتریس قطری است که فقط عناصر روی قطر اصلی آن غیر صفر و مقدار این عناصر مساوی ضریب اهمیت بردار مربوطه است.

۴- تعیین ماتریس تصمیم وزن‌دار

ماتریس تصمیم وزن‌دار از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در ماتریس وزن معیارها به‌دست می‌آید:

$$V = R \times W = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

۵- یافتن حل ایده‌ال و حل ضد ایده‌ال

اگر حل ایده‌ال با A^+ و ضد ایده‌ال با A^- نشان داده شود، در این صورت:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} \quad (18-6)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \quad (19-6)$$

که v^+ بهترین مقدار زامین معیار از بین تمام گزینه‌ها و v^- بدترین مقدار زامین معیار از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد. گزینه‌هایی که در A^+ و A^- قرار می‌گیرند، به‌ترتیب نشان دهنده گزینه‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند (عطایی، ۱۳۸۸).

۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌ال و ضد ایده‌ال

در این مرحله برای هر گزینه، فاصله از حل ایده‌ال و حل ضد ایده‌ال به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (۲۰-۶)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (۲۱-۶)$$

که در این روابط اندیس j معرف معیار مورد نظر و اندیس i معرف گزینه مورد نظر می‌باشد.

۷- محاسبه شاخص شباهت

در آخرین مرحله شاخص شباهت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (۲۲-۶)$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به ایده‌ال نزدیک مشابه‌تر باشد، مقدار شاخص شباهت آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. بدین ترتیب گزینه‌ای که دارای بیشترین شاخص شباهت است، دارای رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کمترین شاخص شباهت است، حائز رتبه آخر خواهد بود.

۶-۲-۴- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرآیند 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 (قدسی‌پور، ۱۳۸۱).

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی به شرح زیر است:

۱- تشکیل سلسله مراتب

^۱ Analytical Hierarchy Process-AHP

اولین قدم 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 (قدسی-پور، ۱۳۸۱). 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 عددی و یا پارامترهای کیفی مانند زیاد، متوسط و کم باشد.

۲- محاسبه وزن عناصر در AHP

محاسبه وزن در AHP به دو صورت می‌باشد:

وزن نسبی^۱

وزن نهایی^۲

الف - محاسبه وزن‌های نسبی

در فرآیند 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

۶-۱ صورت می‌گیرد.

¹ Local Priority

²Overall Priority

جدول ۶-۱- طبقه‌بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها (Saaty & Alexander, 1981)

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

یک ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر نشان داده می‌شود:

جدول ۶-۲- ماتریس مقایسه زوجی (Sepahiolu, 2005)

	Criterion 1	Criterion 2		Criterion n
Criterion 1	a_1/a_1	a_1/a_2		a_1/a_n
Criterion 2	a_2/a_1	a_2/a_2		a_2/a_n
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Criterion n	a_n/a_1	a_n/a_2		a_n/a_n

که در آن a_2/a_1 ترجیح عنصر معیار دوم نسبت به معیار اول است. در مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر رابطه زیر برقرار است:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (۶-۲۳)$$

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 آن‌ها عبارتند از:

-روش حداقل مربعات معمولی

-روش حداقل مربعات لگاریتمی

-روش بردار ویژه

-روش های تقریبی

از بین این روش ها روش بردار ویژه دقیق تر می باشد. در این روش w_i به گونه ای تعیین می شود که رابطه زیر برقرار باشد (Saaty 1980):

$$A.W = \lambda.W \quad (24-6)$$

که در آن λ و W به ترتیب مقدار ویژه و بردار ویژه ماتریس مقایسه زوجی می باشد. در حالتی که ابعاد ماتریس بزرگ تر باشد محاسبه این مقادیر بسیار وقت گیر است. لذا برای محاسبه λ مقدار دترمینان ماتریس $A - \lambda.I$ مساوی با صفر قرار داده می شود و با قرار دادن بزرگ ترین مقدار λ حاصله در رابطه ۶-۲۵ مقدار w_i محاسبه می شود (Saaty, 1980)

$$A - \lambda_{\max}.I = 0 \quad (25-6)$$

۳- محاسبه وزن نهایی

وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه ها به دست می آید (Saaty, 1980).

۴- سازگاری سیستم

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است که به عبارت دیگر همواره در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می توان 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 نرمالایز کردن تک تک ستون ها به دست می آید. در حالی که در ماتریس های ناسازگار علاوه بر محاسبه وزن، محاسبه مقدار ناسازگاری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. در حالت کلی می توان 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 تجدیدنظر گردد (Saaty, 1980).

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

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (26-6)$$

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 (۳-۶) است.

جدول ۳-۶- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (Saaty, 1980)

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^۳ (I.R.) می‌نامیم. چنانچه این عدد کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر نمود (Saaty, 1980).

۳-۶- استراتژی‌های اولویت‌بندی

در یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره تصمیم‌گیرندگان برای تصمیم‌گیری ممکن است از چند روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کنند و نتایج این روش‌ها ممکن است مشابه نباشد. در این‌گونه مواقع سؤالی که مطرح می‌شود آن است که کدام گزینه باید انتخاب شود؟ در چنین وضعی باید از روش‌های

^۱ Inconsistency Index

^۲ Random Inconsistency Index

^۳ Inconsistency Ratio

مختلف ادغام^۱، از جمله روش میانگین رتبه‌ها^۲، روش بردا^۳ و روش کپ لند^۴ استفاده کرد (عطایی، ۱۳۸۸).

۶-۳-۱- روش میانگین رتبه‌ها

در این روش میانگین رتبه‌های به‌دست آمده برای هر گزینه با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره تعیین و بر این اساس گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند.

۶-۳-۲- روش بردا

در این روش برای تصمیم‌گیری، ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها ایجاد می‌شود. در صورتی که بر اساس روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره 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 با هم 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 بر اساس تعداد مسلط شدن اولویت‌بندی می‌شوند (عطایی، ۱۳۸۸).

۶-۳-۳- روش کپ لند

این روش مشابه روش بردا است؛ منتها در اولویت‌بندی 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 اولویت‌بندی می‌شود (عطایی، ۱۳۸۸).

^۱ Average methods
^۲ Average weight method
^۳ Borda method
^۴ Copeland method

فصل هفتم

۷-۱- مقدمه

در طراحی سیستم نگهداری مناسب برای بازکننده‌های زیرزمینی، مهمترین معیارها، تخمین مقادیر توزیع تنش، جابه‌جایی‌ها و شناسایی محدوده‌های ضعیف اطراف بازکننده است. در مطالعات مدلسازی، مدل‌های مختلف از سیستم‌های نگهداری مختلف ساخته می‌شود که پس از انجام تحلیل عددی سیستم‌های نگهداری مختلف، با در نظر گرفتن نتایج حاصل از آن، فرآیند تصمیم‌گیری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام می‌شود (Yavuz et al, 2007).

هدف این فصل استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین سیستم نگهداری برای تونل‌های دسترسی معدن گوسفیل است. برای تصمیم‌گیری چندمعیاره به تعدادی گزینه و به تعدادی معیار نیاز است که در این فصل مراحل انتخاب گزینه‌ها و معیارهای مختلف شرح داده شده است.

۷-۲- مراحل دستیابی به معیارهای مختلف در رابطه با تصمیم‌گیری

معیارهای مختلف برای تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی معدن گوسفیل، شامل میزان جابجایی در نقاط مختلف دیواره، کف و تاج تونل پس از اعمال سیستم نگهداری به مدل، ضریب ایمنی، هزینه نگهداری سیستم، سهولت کاربرد سیستم و نیاز به نیروی انسانی می‌باشد. در ادامه مراحل دستیابی به معیارها و گزینه‌های مختلف شرح داده شده است.

۷-۲-۱- مطالعات مدلسازی

ابتدا ساختار ژئومکانیکی محل بررسی می‌شود و خواص ژئومکانیکی سنگ منطقه‌ای که تونل در آن حفر می‌شود، با انجام مطالعات میدانی اندازه‌گیری می‌شود.

۷-۲-۱-۱- مدلسازی عددی

در این مرحله ابتدا مدل پایه، طراحی می‌شود. سپس خواص ژئومکانیکی توده سنگ دربرگیرنده مانند مدول یانگ، نسبت پواسون، مدول بالک، مدول برشی، مقاومت کششی و دانسیته به عنوان ورودی به

نرم افزار معرفی می شوند. اولین مدل از بازکننده پس از حفاری (بدون نگهداری) ساخته می شود. مدل ساخته شده، رفتار سنگ اطراف بازکننده، جابجایی های بزرگ و محدوده های شکست اطراف بازکننده را در بر دارد. در این قسمت از نتایج تحلیل عددی تونل ۱۵۶۵ گوشفیل در فصل، ۵ استفاده شده است.

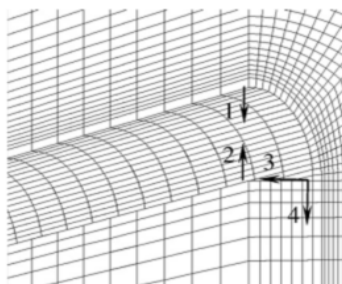
گزینه های مختلف سیستم های نگهداری معرفی شده برای تونل که شامل شاتکریت با ضخامت های مختلف، توری سیمی و پیچ سنگ می باشد، در جدول ۷-۱ قابل مشاهده می باشد.

جدول ۷-۱- سیستم های نگهداری معرفی شده برای نگهداری تونل تراز ۱۵۶۵

مدل	توضیحات
A	پیچ سنگ به طول ۴ متر و فاصله داری ۱/۵ متر در سقف و دیواره ها
B	پیچ سنگ به طول ۴ متر و فاصله داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۳۰ میلیمتر در دیواره ها
C	پیچ سنگ به طول ۴ متر و فاصله داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر در دیواره ها
D	شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره ها
E	شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره ها
F	توری فلزی و شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در سقف و دیواره ها
G	پیچ سنگ به طول ۴ متر و فاصله داری ۱/۵ متر به همراه ۵۰ میلیمتر شاتکریت در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره ها
H	پیچ سنگ به طول ۴ متر و فاصله داری ۱/۵ متر به همراه ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره ها

۷-۲-۲- معیار جابجایی در سقف، کف و دیواره تونل

در همه سیستم های نگهداری معرفی شده، جابجایی های قائم در سقف گالری و کف گالری و جابجایی قائم و افقی در گوشه دیواره جانبی گالری مورد بررسی قرار می گیرد (شکل ۷-۱). نتایج حاصل از این مطالعات در جدول های شماره ۷-۲ تا ۷-۵ خلاصه شده اند.



شکل ۷-۱- موقعیت نقاط مورد بررسی در سیستم های نگهداری

۷-۲-۳- معیار ضریب ایمنی سیستم‌های نگهداری مورد مطالعه

یکی دیگر از معیارهای مورد بررسی، ضریب ایمنی سیستم‌های پیشنهادی می‌باشد. روابط مورد

استفاده برای محاسبه ضریب ایمنی سیستم‌های نگهداری مختلف در پیوست ۴ موجود است.

ضریب ایمنی محاسبه شده برای سیستم‌های نگهداری معرفی شده برای تصمیم‌گیری در محدوده‌های

دولومیت و دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱ و شماره ۲ در جدول ۷-۲ تا ۷-۵ موجود است:

جدول ۷-۲- نتایج حاصل از مدلسازی عددی (جابجایی‌ها و ضریب ایمنی) در سیستم‌های نگهداری مختلف برای

محدوده دولومیت تونل شماره ۱

سیستم نگهداری	جابجایی‌های نقاط مطالعه شده (میلیمتر)				ضریب ایمنی
-	۱	۲	۳	۴	-
A	۳۱	۲۲	۴/۳	۱۷	۱/۲۷
B	۳۱/۵	۲۱/۸	۴	۱۶/۸	۰/۵۴
C	۳۱/۵	۲۱/۸	۴	۱۶/۸	۱/۰۸
D	۲۷/۵	۲۲	۴/۱	۱۶/۸	۰/۲۸۷
E	۲۷/۹	۲۱/۶	۴	۱۶/۷	۱/۰۹
F	۲۹/۵	۲۲	۴	۱۶/۸	۱/۶۲
G	۲۷	۲۱/۲	۶/۵	۱۶/۷	۱/۷۵
H	۲۶	۲۱/۲	۳/۵	۱۶/۷	۱/۹۲

جدول ۷-۳- نتایج حاصل از مدلسازی عددی (جابجایی‌ها و ضریب ایمنی) در سیستم‌های نگهداری مختلف برای

محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱

سیستم نگهداری	جابجایی‌های نقاط مطالعه شده (میلیمتر)				ضریب ایمنی
-	۱	۲	۳	۴	-
A	۳۸	۳۷	۴/۵	۱۶/۲	۱/۲۱
B	۳۷	۳۵/۵	۴/۳	۱۶/۱۵	۰/۵۳
C	۳۷	۳۵/۵	۳/۵	۱۶	۰/۵۸
D	۳۴/۵	۳۴/۵	۳/۵	۱۶/۰۵	۰/۳۱
E	۳۳/۹	۳۴/۵	۳/۵	۱۶/۰۵	۰/۷۷
F	۳۳/۹	۳۴/۵	۳/۵	۱۶/۰۵	۱/۴۳
G	۳۴	۳۴/۵	۳/۵	۱۶	۱/۳۷
H	۲۸/۵	۲۱	۴/۱۵	۱۶/۹	۱/۶۱

جدول ۷-۴- نتایج حاصل از مدلسازی عددی (جابجایی‌ها و ضریب ایمنی) در سیستم‌های نگهداری مختلف برای

محدوده دولومیت تونل شماره ۲

سیستم نگهداری	جابجایی‌های نقاط مطالعه شده (میلیمتر)				ضریب ایمنی
-	۱	۲	۳	۴	-
A	۵۰	۲۷/۱	۴/۱	۱۷/۲۵	۱/۸۹
B	۵۰/۱	۲۷/۵	۴	۱۶/۸۹	۰/۸۲۹
C	۵۰	۲۷/۵	۴/۱	۱۶/۸	۰/۹۴۳
D	۴۴/۵	۲۷/۲	۴	۱۶/۸۵	۰/۷۵۶
E	۴۴/۵	۲۷/۲	۴	۱۶/۸۵	۰/۸۵۶
F	۴۷	۲۷/۲	۴	۱۷	۱/۹۳
G	۴۴/۵	۲۷/۲	۴	۱۶/۷۵	۲/۰۷
H	۴۳/۵	۲۷/۵	۴/۲	۱۶/۷۵	۲/۲۱

جدول ۷-۵- نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی (جابجایی‌ها و ضریب ایمنی) در سیستم‌های نگهداری مختلف برای

محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲

سیستم نگهداری	جابجایی‌های نقاط مطالعه شده (میلیمتر)				ضریب ایمنی
-	۱	۲	۳	۴	-
A	۲۴/۳	۱۷/۸	۴/۲	۱۲/۵	۱/۵۴
B	۱۶/۹	۱۵/۸	۳/۵	۱۱/۵	۰/۶۹۳
C	۱۶/۶	۱۵/۵	۳/۵	۱۱/۲	۱/۰۸
D	۱۶/۲	۱۵/۸	۳/۷	۱۱/۳	۰/۸۶۱
E	۱۵/۹	۱۵/۸	۳/۷۵	۱۵/۸	۰/۹۴
F	۲۱	۱۷/۸	۱۴/۱۵	۱۲/۲	۱/۶۶
G	۱۵/۹۵	۱۵/۵	۳/۵۵	۱۱/۱۵	۱/۶۳
H	۱۵/۷	۱۵/۵	۳/۵	۱۱/۱	۱/۹۹

در مرحله اول تصمیم‌گیری، کمترین مقدار ضریب ایمنی سیستم نگهداری، به وسیله تیم متخصصان پیشنهاد می‌شود؛ سپس بر اساس این نتیجه به‌دست آمده چندین گزینه که دارای مقادیر کمتر از عدد پیشنهاد شده هستند، از لیست تصمیم‌گیری حذف می‌شوند. (کوچکترین عدد ضریب ایمنی برای تونل‌های موقت معدنی ۱/۲ پیشنهاد شده است. بنابراین گزینه‌های B، C، D و E برای محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه معدن گوسفیل حذف می‌شوند).

۷-۲-۴- معیار هزینه سیستم‌های نگهداری مورد مطالعه

یکی دیگر از معیارهای تصمیم‌گیری سیستم نگهداری مناسب، هزینه سیستم نگهداری تونل می‌باشد. برای محاسبه هزینه نگهداری سیستم‌های نگهداری معرفی شده در جدول ۷-۱ از فهرست بهای راهسازی و سدسازی سال ۱۳۸۷ استفاده شده است. بدین ترتیب برای یک متر از طول تونل مورد

نظر، هزینه‌های سیستم‌های نگهداری مختلف محاسبه شده است که نتایج در جدول‌های ۶-۷ تا ۹-۷ درج شده است.

۷-۲-۵- معیارهای سهولت اجرای سیستم نگهداری و نیاز به کارگر

بعضی از معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری برای انتخاب سیستم نگهداری مناسب، دارای مقادیر غیر عددی هستند که این معیارها توسط تیم متخصصان، دارای مقادیر وزن‌دار شده می‌شوند. بدین ترتیب که برای به‌دست آوردن میزان ارجحیت گزینه‌های مختلف سیستم نگهداری از نظر دو معیار "سهولت اجرای سیستم نگهداری" و "نیاز به کارگر" از نظرات متخصصان استفاده شده است. روش کار به این صورت است که یک فرم پرسش‌نامه برای چندین متخصص فرستاده می‌شود و نظرات آن‌ها در مورد میزان ارجحیت گزینه‌های مختلف سیستم نگهداری از نظر دو معیار "سهولت اجرای سیستم نگهداری" و "نیاز به کارگر" پرسیده می‌شود. همچنین در این پرسش‌نامه، میزان ارجحیت معیارها نسبت به یکدیگر نیز پرسیده می‌شود.

نمونه ای از یک پرسش‌نامه که برای متخصصان فرستاده شده است، در پیوست ۶ مشاهده می‌شود. نتایج نظرسنجی از متخصصان برای تعیین ارجحیت معیارهای "قابلیت اجرای سیستم نگهداری" و "نیاز به کارگر" برای سیستم‌های نگهداری مختلف، در جداول ۶-۷ تا ۹-۷ درج شده است.

جدول ۶-۷- مقایسه سیستم‌های نگهداری مختلف تونل شماره یک تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل در محدوده دولومیت از

نظر معیارهای مختلف

پارامتر	واحد	A	F	G	H
جابجایی قائم در نقطه اول	میلیمتر	۳۱	۲۹/۵	۲۷	۲۶
جابجایی قائم در نقطه دوم	میلیمتر	۲۲	۲۲	۲۱/۲	۲۳
جابجایی قائم در نقطه سوم	میلیمتر	۴/۳	۴	۶/۵	۳/۵
جابجایی افقی در نقطه سوم	میلیمتر	۱۷	۱۶/۸	۱۶/۷	۱۶/۷
ضریب ایمنی	بدون مقیاس	۱/۲۷	۱/۶۲	۱/۷۵	۱/۹۲
هزینه نگهداری	ریال	۹۰۷۲۰۰	۱۷۳۵۲۹۰	۱۴۶۳۸۵۰	۱۶۱۴۱۵۰
نیاز به کارگر	بدون مقیاس	۲	۸	۹	۸
سهولت اجرای روش	بدون مقیاس	۹	۲	۱	۵

جدول ۷-۷- مقایسه سیستم‌های نگهداری مختلف تونل شماره یک تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل در محدوده دولومیت

مینرالیزه از نظر معیارهای مختلف

پارامتر	واحد	A	F	G	H
جابجایی قائم در نقطه اول	میلیمتر	۳۸	۳۳/۹	۳۴	۲۸/۵
جابجایی قائم در نقطه دوم	میلیمتر	۳۷	۳۴/۵	۳۴/۵	۲۱
جابجایی قائم در نقطه سوم	میلیمتر	۴/۵	۳/۵	۳/۵	۴/۱۵
جابجایی افقی در نقطه سوم	میلیمتر	۱۶/۲	۱۶/۰۵	۱۶	۱۶/۹
ضریب ایمنی	بدون مقیاس	۱/۲۱	۱/۴۳	۱/۳۷	۱/۶۱
هزینه نگهداری	ریال	۹۰۷۲۰۰	۷۷۳۳۲۵	۷۰۴۷۰۰	۱۴۴۰۴۵۰
نیاز به کارگر	بدون مقیاس	۲	۸	۹	۸
سهولت اجرای روش	بدون مقیاس	۹	۲	۱	۵

جدول ۷-۸- مقایسه سیستم‌های نگهداری مختلف تونل شماره ۲ تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل در محدوده دولومیت از نظر

معیارهای مختلف

پارامتر	واحد	A	F	G	H
جابجایی قائم در نقطه اول	میلیمتر	۵۰	۴۷	۴۴/۵	۴۳/۵
جابجایی قائم در نقطه دوم	میلیمتر	۲۷/۱	۲۷/۳	۲۷/۲	۲۷/۵
جابجایی قائم در نقطه سوم	میلیمتر	۴/۱	۴	۴	۴/۲
جابجایی افقی در نقطه سوم	میلیمتر	۱۷/۲۵	۱۷	۱۶/۷۵	۱۶/۷۵
ضریب ایمنی	بدون مقیاس	۱/۸۹	۱/۹۳	۲/۰۷	۲/۲۱
هزینه نگهداری	ریال	۹۰۷۲۰۰	۷۷۳۳۲۵	۷۰۴۷۰۰	۱۴۴۰۴۵۰
نیاز به کارگر	بدون مقیاس	۲	۸	۹	۸
سهولت اجرای روش	بدون مقیاس	۹	۲	۱	۵

جدول ۷-۹- مقایسه سیستم‌های نگهداری مختلف تونل شماره ۲ تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل در محدوده دولومیت

مینرالیزه از نظر معیارهای مختلف

پارامتر	واحد	A	F	G	H
جابجایی قائم در نقطه اول	میلیمتر	۲۴/۳	۲۱	۱۵/۹۵	۱۵/۷
جابجایی قائم در نقطه دوم	میلیمتر	۱۷/۸	۱۷/۸	۱۵/۵	۱۵/۵
جابجایی قائم در نقطه سوم	میلیمتر	۴/۲	۴/۱۵	۳/۵۵	۳/۵
جابجایی افقی در نقطه سوم	میلیمتر	۱۲/۵	۱۲/۲	۱۱/۱۵	۱۱/۱
ضریب ایمنی	بدون مقیاس	۱/۵۴	۱/۶۶	۱/۶۳	۱/۹۹
هزینه نگهداری	ریال	۹۰۷۲۰۰	۷۷۳۳۲۵	۷۰۴۷۰۰	۱۴۴۰۴۵۰
نیاز به کارگر	بدون مقیاس	۲	۸	۹	۸
سهولت اجرای روش	بدون مقیاس	۹	۲	۱	۵

۷-۳- انتخاب گزینه مناسب

در مرحله نهایی برای انتخاب بهترین سیستم نگهداری، همه گزینه‌های مود قبول، از نظر جابجایی‌ها در سه نقطه سقف، کف و دیواره جانبی، ضریب ایمنی، هزینه نگهداری، نیاز به کارگر و سهولت اجرا، با همدیگر مقایسه می‌شوند (جدول شماره ۷-۱۰).

جدول ۷-۱۰- معیارهای انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی معدن گوشفیل

معیار	توضیحات
C1	جابجایی قائم در نقطه اول
C2	جابجایی قائم در نقطه دوم
C3	جابجایی افقی در نقطه سوم
C4	جابجایی قائم در نقطه سوم
C5	ضریب ایمنی
C6	هزینه نگهداری
C7	نیاز به نیروی انسانی
C8	سهولت اجرای روش

بنابراین ۴ نوع مختلف از سیستم‌های نگهداری تونل (سیستم‌های A, F, G و H)، بر اساس ۸ معیار ذکر

شده، بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مقایسه می‌شوند (جدول ۷-۶ تا ۷-۹).

ماتریس تصمیم‌گیری اغلب حاوی شاخص‌های مثبت و منفی در کنار همدیگر می‌باشد (معیارهای میزان جابجایی در نقاط مختلف دیواره، کف و تاج تونل، هزینه نگهداری سیستم و نیاز به نیروی انسانی، معیارهای منفی و معیارهای ضریب ایمنی و سهولت کاربرد سیستم، معیارهای مثبت می‌باشند). علاوه بر این هر یک از شاخص‌های کمی دارای مقیاس خاصی هستند (مقیاس معیارهای میزان جابجایی در نقاط مختلف دیواره، کف و تاج تونل میلی‌متر، مقیاس هزینه سیستم نگهداری، ریال و معیارهای ضریب ایمنی، نیاز به نیروی انسانی و سهولت کاربرد روش بدون مقیاس هستند).

برای این که بتوان شاخص‌های با مقیاس متفاوت را با هم مقایسه کرد، باید عمل بدون مقیاس کردن^۱ یا بدون بعد کردن^۲ روی این شاخص‌ها انجام شود. بدین ترتیب کلیه ستون‌های ماتریس تصمیم‌گیری دارای واحد مشابهی می‌شوند و می‌توان به راحتی آن‌ها را با همدیگر مقایسه کرد (عطایی، ۱۳۸۸).

۷-۳-۱- تعیین ضریب اهمیت معیارها

ماتریس تصمیم‌گیری حاوی معیارهای مختلفی است که دانستن ضریب اهمیت یا وزن هر یک از این معیارها ضروری است. وزن هر معیار اهمیت نسبی آن را نسبت به بقیه معیارها بیان می‌کند. پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، وزن نسبی معیارها قابل محاسبه هستند. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی بر اساس ماتریس مقایسه زوجی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش‌های تقریبی است. در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری (استفاده از نظرات متخصصان)، ماتریس ضریب اهمیت معیارها بر اساس روش میانگین هندسی به دست می‌آید جدول ۷-۱۱):

جدول ۷-۱۱- ماتریس مقایسه زوجی و محاسبه درجه اهمیت معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	میانگین هندسی
C1	۱	۱/۳۳	۴	۲	۰/۵۷	۰/۴۴	۰/۸	۰/۸	۱/۰۷
C2	۰/۷۵	۱	۳	۱/۵	۰/۴۳	۰/۳۳	۰/۶	۰/۶	۰/۸۰۳
C3	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۱۴۳	۰/۱۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲۷
C4	۰/۵	۰/۶۷	۲	۱	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۴	۰/۴	۰/۵۴
C5	۱/۷۵	۲/۳۳	۷	۳/۵	۱	۰/۷۸	۱/۴	۱/۴	۱/۸۷
C6	۲/۲۵	۳	۹	۴/۵	۱/۲۹	۱	۱/۸	۱/۸	۲/۴
C7	۱/۲۵	۱/۶۷	۵	۲/۵	۰/۷۱	۰/۵۶	۱	۱	۱/۳۴
C8	۱/۲۵	۱/۶۷	۵	۲/۵	۰/۷۱	۰/۵۶	۱	۱	۱/۳۴

جدول ۷-۱۲- ماتریس وزن معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری

معیار	جابجایی قائم در نقطه اول	جابجایی قائم در نقطه دوم	جابجایی قائم در نقطه سوم	جابجایی افقی در نقطه سوم	ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
امتیاز	۰/۱۱	۰/۰۸۳	۰/۰۵۶	۰/۰۲۸	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۱۴

^۱ Normalization

^۲ Dimensionless

۷-۴- کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تعیین سیستم نگهداری

مناسب برای تونل‌های دسترسی گوسفیل

پس از مشخص شدن معیارها و گزینه‌ها در تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی گوسفیل، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین گزینه استفاده می‌شود.

۷-۴-۱- کاربرد روش وزن‌دهی ساده در انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل

دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوسفیل

در این قسمت از روش وزن‌دهی ساده برای تعیین سیستم نگهداری مناسب برای محدوده‌های دولومیت و دولومیت مینرالیزه در تونل شماره ۱ و ۲ تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوسفیل استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری به‌دست آمده از مرحله قبل، با استفاده از روش خطی، بدون مقیاس می‌شود (شکل ۷-۲-ب). سپس از ضرب ماتریس بدون مقیاس تصمیم‌گیری در ماتریس وزن معیارها (جدول ۷-۱۲)، ماتریس تصمیم بدون مقیاس وزن‌دار ساخته می‌شود (شکل ۷-۲-ج). و در نهایت، امتیاز نهایی از جمع سطری ماتریس بدون مقیاس وزن‌دار به‌دست می‌آید. گزینه‌ای که دارای بیشترین امتیاز باشد، به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود. مراحل به‌کارگیری این روش برای انتخاب سیستم نگهداری محدوده‌های مختلف، به‌طور خلاصه در شکل ۷-۲ تا شکل ۷-۵ درج شده است.

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	31	22	4.3	17	1.27	907200	2	9
F	29.5	22	4	16.8	1.62	1735290	9	2
G	27	21.2	6.5	16.7	1.75	1463850	7	5
H	26	23	3.5	16.7	1.92	1614150	9	4

ب- ماتریس بدون مقیاس شده تصمیم گیری

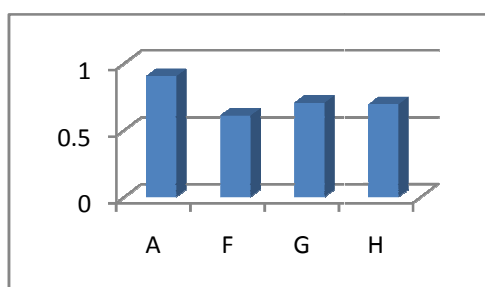
گزینه	جابجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.83871	0.9636	0.813953	0.982	0.66146	1	1	1
F	0.881356	0.9636	0.875	0.994	0.84375	0.522794461	0.222222	0.222222
G	0.962963	1	0.538462	1	0.91146	0.619735629	0.285714	0.555556
H	1	0.9217	1	1	1	0.562029551	0.222222	0.444444

ج- بردار ضریب اهمیت معیارها

جابجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0.11	0.083	0.028	0.056	0.19	0.25	0.14	0.14

د- ماتریس بی مقیاس شده وزن دار

گزینه	جابجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.092258	0.08	0.022791	0.055	0.12568	0.25	0.14	0.14
F	0.096949	0.08	0.0245	0.056	0.16031	0.1307	0.031111	0.031111
G	0.105926	0.083	0.015077	0.056	0.17318	0.15493	0.04	0.077778
H	0.11	0.0765	0.028	0.056	0.19	0.14051	0.031111	0.062222



و- امتیازبندی برای تعیین سیستم نگهداری مناسب

امتیاز	گزینه
0.905719	A
0.610331	F
0.705892	G
0.694345	H

شکل ۷-۲- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۱ بر اساس روش وزن دهی

ساده

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جایابی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	38	37	4.5	16.2	1.21	907200	2	9
F	33.9	34.5	3.5	16.1	1.43	1735290	9	2
G	34	34.5	3.5	16	1.37	1463850	7	5
H	28.5	21	4.15	16.9	1.61	1614150	9	4

ب- ماتریس بدون مقیاس شده تصمیم‌گیری

گزینه	جایابی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.75	0.568	0.78	0.99	0.7516	1	1	1
F	0.841	0.609	1	1	0.8882	0.522794461	0.222222	0.222222
G	0.838	0.609	1	1	0.8509	0.619735629	0.285714	0.555556
H	1	1	0.84	0.95	1	0.562029551	0.222222	0.444444

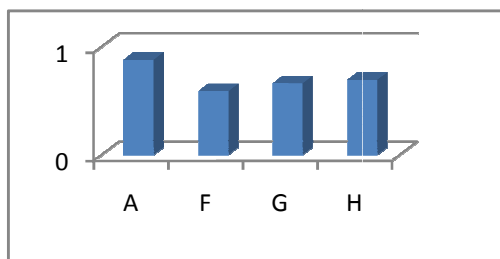
ج- بردار ضریب اهمیت معیارها

جایابی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0.11	0.083	0.028	0.056	0.19	0.25	0.14	0.14

د- ماتریس بی‌مقیاس شده وزن‌دار

گزینه	جایابی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.083	0.047	0.02	0.06	0.1428	0.25	0.14	0.14
F	0.092	0.051	0.03	0.06	0.1688	0.1307	0.031111	0.031111
G	0.092	0.051	0.03	0.06	0.1617	0.15493	0.04	0.077778
H	0.11	0.083	0.02	0.05	0.19	0.14051	0.031111	0.062222

و- امتیازبندی برای تعیین سیستم نگهداری مناسب



گزینه	امتیاز
A	0.87949
F	0.588504
G	0.661116
H	0.693473

شکل ۷-۳- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱ بر اساس روش وزن‌دهی ساده

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جایجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	50	27.1	4.1	17.25	1.89	907200	2	9
F	47	27.2	4	17	1.93	1735290	9	2
G	44.5	27.2	4	16.75	2.07	1463850	7	5
H	43.5	27.5	4.2	16.75	2.21	1614150	9	4

ب- ماتریس بی‌مقیاس شده تصمیم‌گیری

گزینه	جایجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.87	1	0.976	0.971	0.855	1	1	1
F	0.926	1	1	0.985	0.873	0.522794461	0.222222	0.222222
G	0.978	1	1	1	0.937	0.619735629	0.285714	0.555556
H	1	0.99	0.952	1	1	0.562029551	0.222222	0.444444

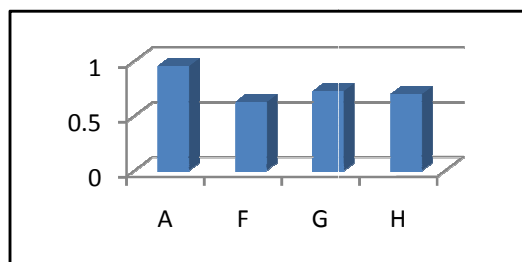
ج- بردار ضریب اهمیت معیارها

جایجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0.11	0.083	0.028	0.056	0.19	0.25	0.14	0.14

د- ماتریس بی‌مقیاس شده وزن‌دار

گزینه	جایجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.096	0.08	0.027	0.054	0.162	0.25	0.14	0.14
F	0.102	0.08	0.028	0.055	0.166	0.1307	0.031111	0.031111
G	0.108	0.08	0.028	0.056	0.178	0.15493	0.04	0.077778
H	0.11	0.08	0.027	0.056	0.19	0.14051	0.031111	0.062222

و- امتیازبندی برای تعیین سیستم نگهداری مناسب



گزینه	امتیاز
A	0.952883
F	0.626528
G	0.724898
H	0.6983

شکل ۴-۷- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۲ بر اساس روش وزن‌دهی ساده

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	24.3	17.8	4.2	12.5	1.54	907200	2	9
F	21	17.8	4.15	12.2	1.66	1735290	9	2
G	15.95	11.5	3.55	11.15	1.63	1463850	7	5
H	15.7	15.5	3.5	11.1	1.99	1614150	9	4

ب- ماتریس بدون مقیاس شده تصمیم گیری

گزینه	جابجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.6461	0.65	0.8333	0.888	0.7739	1	1	1
F	0.7476	0.65	0.8434	0.91	0.8342	0.522794461	0.222222	0.222222
G	0.9843	1	0.9859	0.996	0.8191	0.619735629	0.285714	0.555556
H	1	0.74	1	1	1	0.562029551	0.222222	0.444444

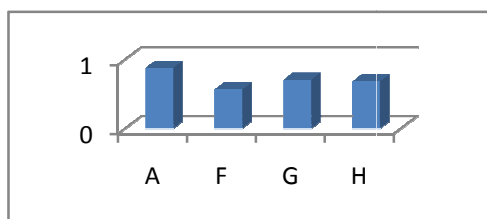
ج- بردار ضریب اهمیت معیارها

جابجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0.11	0.083	0.028	0.056	0.19	0.25	0.14	0.14

د- ماتریس بی مقیاس شده وزن دار

گزینه	جابجایی				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت کاربرد
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.0711	0.05	0.0233	0.05	0.147	0.25	0.14	0.14
F	0.0822	0.05	0.0236	0.051	0.1585	0.1307	0.031111	0.031111
G	0.1083	0.08	0.0276	0.056	0.1556	0.15493	0.04	0.077778
H	0.11	0.06	0.028	0.056	0.19	0.14051	0.031111	0.062222

و- امتیازبندی برای تعیین سیستم نگهداری مناسب



گزینه	امتیاز
A	0.87479
F	0.56184
G	0.70297
H	0.679421

شکل ۵-۷- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ بر اساس روش وزن دهی ساده

آنچه از شکل های ۲-۷ تا ۵-۷ نتیجه گیری می شود این است که در همه محدوده های بررسی شده، گزینه A یعنی " استفاده از پیچ سنگ به طول ۴ متر با فاصله داری ۱/۵ متر در سقف و دیوارها " دارای بیشترین امتیاز می باشد. بنابراین این سیستم، به عنوان بهترین گزینه سیستم نگهداری برای تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوشفیل بر اساس روش تصمیم گیری وزن دهی ساده پیشنهاد می شود.

۷-۴-۲- کاربرد روش تسلط تقریبی در تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل

دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوسفیل

در این قسمت با توجه به معیارها و گزینه‌های معرفی شده برای انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای معدن زیرزمینی گوسفیل، انتخاب سیستم مناسب برای محدوده‌های مختلف با استفاده از روش تسلط تقریبی انجام شده است. به این ترتیب که ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری ساخته شده است. سپس با استفاده از روش نورم (رابطه ۴-۶)، ماتریس تصمیم‌بی‌مقیاس ساخته شده است. در مرحله بعد با استفاده از ماتریس ضریب اهمیت معیارها و ضرب این بردار در ماتریس تصمیم‌بی‌مقیاس شده، ماتریس تصمیم‌بی‌مقیاس شده وزن‌دار به‌دست آمده است. پس از تعیین ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار، گزینه‌های مختلف نسبت به همدیگر مقایسه شده و مجموعه معیارهای موافق و مخالف به‌دست آمده است. در مرحله بعد با توجه به معیارهای موافق و مخالف برای هر زوج گزینه ماتریس موافق و مخالف تشکیل شده است. با توجه به روابط ۱۲-۶ و ۱۴-۶ و ماتریس‌های موافق و مخالف، آستانه موافقت و مخالفت برای هر یک از محدوده‌ها به‌دست آمده است (جدول ۷-۱۳). سپس ماتریس‌های تسلط موافق و مخالف تعیین و در نهایت ماتریس تسلط نهایی محاسبه شده است. در مرحله آخر نیز برای هر گزینه تعداد دفعاتی که تسلط داشته و تعداد دفعاتی که بر آن غلبه شده است، محاسبه شده است. در نهایت امتیاز نهایی گزینه‌ها از اختلاف تعداد دفعات مسلط شدن و تعداد دفعات مغلوب شدن به-دست آمده است. مراحل شرح داده شده برای محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل در اشکال ۷-۶ تا ۷-۹ مشاهده می‌شود.

جدول ۷-۱۳- آستانه موافقت و مخالفت برای محدوده‌های مختلف

محدوده	آستانه موافقت	آستانه مخالفت
تول شماره ۱	۰/۵۱۷	۰/۶۳۹
دولومیت	۰/۵۳۴	۰/۶۳۲
دولومیت مینرالیزه	۰/۵۳۵	۰/۶۵
تول شماره ۲	۰/۵۳	۰/۶۸۷
دولومیت		
دولومیت مینرالیزه		

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	31	22	4.3	17	1.27	907200	2	9
F	29.5	22	4	16.8	1.62	1735290	9	2
G	27	21.2	6.5	16.7	1.75	1463850	7	5
H	26	23	3.5	16.7	1.92	1614150	9	4

ب- بردار ضریب اهمیت معیارها

جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0.11	0.083	0.028	0.056	0.19	0.25	0.14	0.14

ج- ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده و ن‌دار

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.059	0.041	0.012	0.028	0.0728	0.08	0.019	0.11224
F	0.057	0.041	0.011	0.028	0.0929	0.15	0.0859	0.02494
G	0.052	0.039	0.019	0.027	0.1003	0.12	0.0668	0.062
H	0.0502	0.043	0.010	0.027	0.1101	0.14	0.085	0.0498

و- ماتریس مخالفت

	A	F	G	H
A	0	0.2	0.5514	0.5574
F	1	0	0.619	1
G	1	0.2	0	0.5103
H	0.9	0	1	0

د- ماتریس موافق

	A	F	G	H
A	0	0.61	0.58	0.613
F	0.467	0	0.28	0.223
G	0.439	0.92	0	0.669
H	0.384	0.92	0.384	0

ط- ماتریس تسلط نهایی

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	1	0	1
H	0	1	0	0

ح- ماتریس تسلط مخالفت

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	1	0
G	0	1	0	1
H	0	1	0	0

ز- ماتریس تسلط موافق

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	1	0	1
H	0	1	0	0

ک- نتیجه نهایی

گزینه	تعداد تسلط‌ها	تعداد مغلوب شدن‌ها	اختلاف
A	۳	۰	۳
F	۰	۳	-۳
G	۲	۱	۱
H	۱	۲	-۱

شکل ۷-۶- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره یک گوسفیل به روش تسلط تقریبی

الف - ماتریس تصمیم

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	38	37	4.5	16.2	1.21	907200	2	9
F	33.9	34.5	3.5	16.05	1.43	1735290	9	2
G	34	34.5	3.5	16	1.37	1463850	7	5
H	28.5	21	4.15	16.9	1.61	1614150	9	4

ب - بردار ضریب اهمیت معیارها

جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0.11	0.083	0.028	0.056	0.19	0.25	0.14	0.14

ج - ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده و ن‌دار

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.06189	0.0474	0.01600	0.0278	0.081393	0.08	0.0190958	0.11224972
F	0.05521	0.0442	0.01244	0.0275	0.096192	0.15	0.0859313	0.02494438
G	0.05537	0.0442	0.01244	0.0274	0.092156	0.12	0.0668354	0.06236096
H	0.04641	0.0269	0.0147	0.0290	0.10830	0.14	0.0859313	0.04988877

و - ماتریس مخالفت

	A	F	G	H
A	0	0.1695	0.216	0.4025869
F	1	0	1	0.6939148
G	1	0.1078	0	0.9064422
H	1	0.0926	1	0

ه - ماتریس موافق

	A	F	G	H
A	0	0.56	0.588	0.616
F	0.467	0	0.411	0.614
G	0.467	0.697	0	0.614
H	0.411	0.97	0.383	0

ط - ماتریس تسلط نهایی

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	1	0	0
H	0	1	0	0

ح - ماتریس تسلط مخالفت

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	1	0	0
H	0	1	0	0

ز - ماتریس تسلط موافق

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	1
G	0	1	0	1
H	0	1	0	0

ک - نتیجه نهایی

گزینه	تعداد تسلطها	تعداد مغلوب شدن‌ها	اختلاف
A	۳	۰	۳
F	۰	۳	-۳
G	۱	۱	۰
H	۱	۱	۰

شکل ۷-۷- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره یک گوشفیل به روش تسلط تقریبی

الف - ماتریس تصمیم

گزینه	جایجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	50	27.1	4.1	17.25	1.89	907200	2	9
F	47	27.2	4	17	1.93	1735290	9	2
G	44.5	27.2	4	16.75	2.07	1463850	7	5
H	43.5	27.5	4.2	16.75	2.21	1614150	9	4

ب - بردار ضریب اهمیت معیارها

جایجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0.11	0.083	0.028	0.056	0.19	0.25	0.14	0.14

ج - ماتریس تصمیم بی مقیاس شده و ندار

گزینه	جایجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.06828	0.04657	0.0152182 8	0.03	0.085381 3	0.08	0.0190958	0.11224972
F	0.05901	0.04657	0.0150371 1	0.029	0.092034 4	0.15	0.0859313	0.02494438
G	0.04482	0.03009	0.0128630 7	0.027	0.090371 1	0.12	0.0668354	0.06236096
H	0.04412	0.04055	0.0126819 0	0.026	0.110330 3	0.14	0.0859313	0.04988877

و - ماتریس مخالفت

	A	F	G	H
A	0	0.1	0.47031	0.373291
F	1	0	1	0.733471
G	1	0.6	0	1
H	1	0	0.95674	0

ه - ماتریس موافق

	A	F	G	H
A	0	0.613	0.53	0.53
F	0.467	0	0.19	0.807
G	0.467	0.697	0	0.613
H	0.467	1	0.274	0

ط - ماتریس تسلط نهایی

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	0	0	1
H	0	1	0	0

ح - ماتریس تسلط مخالفت

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	0	0	1
H	0	1	0	0

ز - ماتریس تسلط موافق

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	1	0	1
H	0	1	0	0

ک - نتیجه نهایی

گزینه	تعداد تسلطها	تعداد مغلوب شدن	اختلاف
A	۳	۰	۳
F	۰	۲	-۲
G	۱	۱	۰
H	۱	۲	-۱

شکل ۷-۸- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۲ گوسفیل به روش تسلط

تقریبی

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جایجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	50	27.1	4.1	17.25	1.89	907200	2	9
F	47	27.2	4	17	1.93	1735290	9	2
G	44.5	27.2	4	16.75	2.07	1463850	7	5
H	43.5	27.5	4.2	16.75	2.21	1614150	9	4

ب- بردار ضریب اهمیت معیارها

جایجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0.11	0.083	0.028	0.056	0.19	0.25	0.14	0.14

ج- ماتریس تصمیم بی مقیاس شده و ندار

گزینه	جایجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.06	0.041271	0.014	0.02851	0.0885	0.08	0.0190958	0.11224972
F	0.06	0.041423	0.014	0.0281	0.0904	0.15	0.0859313	0.02494438
G	0.05	0.041423	0.014	0.02769	0.0969	0.12	0.0668354	0.06236096
H	0.05	0.04188	0.014	0.02769	0.1035	0.14	0.0859313	0.04988877

و- ماتریس مخالفت

	A	F	G	H
A	0	0.0408	0.169	0.224
F	1	0	1	1
G	1	1	0	0.343
H	1	0.027	1	0

ه- ماتریس موافق

	A	F	G	H
A	0	0.61	0.613	0.744
F	0.38	0	0.111	0.251
G	0.38	1	0	0.697
H	0.38	0.88	0.356	0

ط- ماتریس تسلط نهایی

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	۱	0	۰
H	0	1	0	0

ح- ماتریس تسلط مخالفت

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	0
G	0	1	0	0
H	0	1	0	0

ز- ماتریس تسلط موافق

	A	F	G	H
A	0	1	1	1
F	0	0	0	1
G	0	1	0	1
H	0	1	0	0

ک- نتیجه نهایی

گزینه	تعداد تسلطها	تعداد مغلوب شدن	اختلاف
A	۳	۰	۳
F	۰	۳	-۳
G	۱	۱	۰
H	۱	۱	۰

شکل ۷-۹- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ گوسفیل

با توجه به شکل‌های ۶-۷ تا ۹-۷ و نتایج حاصل از کاربرد روش تسلط تقریبی برای محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل می‌توان نتیجه گرفت که در تمامی این محدوده‌ها گزینه A یعنی "استفاده از پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر" بهترین گزینه برای نگهداری این تونل می‌باشد.

۷-۴-۳- کاربرد روش شباهت به گزینه ایده‌ال در انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای

تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوسفیل

در این قسمت از روش شباهت به گزینه ایده‌ال برای تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی گوسفیل استفاده شده است. مراحل این روش به این صورت است که ابتدا ماتریس بدون وزن تصمیم‌گیری با استفاده از روش نورم به دست می‌آید. سپس ماتریس بدون مقیاس وزن دار، از ضرب ماتریس تصمیم بدون مقیاس در ماتریس وزن معیارها به دست می‌آید (شکل ۷-۱۰-ب). در مرحله بعد حل ایده‌ال و ضد ایده‌ال با استفاده از روابط ۶-۱۸ و ۶-۱۹ محاسبه می‌شود (شکل ۷-۱۰-ج). سپس فاصله از حل ایده‌ال و حل ضد ایده‌ال و شاخص شباهت با استفاده از روابط ۶-۲۰، ۶-۲۱ و ۶-۲۲ محاسبه می‌شود (شکل ۷-۱۰-د). در نهایت گزینه‌ای که دارای شاخص شباهت بیشتری باشد، به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود. مراحل به کارگیری این روش برای محدوده‌های مختلف تراز ۱۵۶۵ گوسفیل به صورت خلاصه در شکل‌های ۷-۱۰ تا ۷-۱۳ درج شده است:

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جایابی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	31	22	4.3	17	1.27	907200	2	9
F	29.5	22	4	16.8	1.62	1735290	9	2
G	27	21.2	6.5	16.7	1.75	1463850	7	5
H	26	23	3.5	16.7	1.92	1614150	9	4

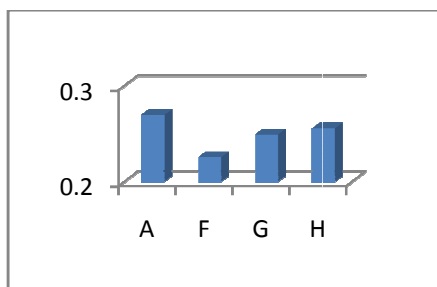
ب- تشکیل ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار برای محدوده‌های دولومیتی تونل شماره ۱

گزینه	جایابی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.062	0.041	0.0128	0.028	0.072800	0.0774	0.019	0.11225
F	0.0572	0.041	0.0119	0.028	0.092863	0.1481	0.08	0.024944
G	0.0528	0.039	0.0193	0.0273	0.100315	0.1249	0.066	0.062361
H	0.050	0.043	0.0104	0.027	0.110060	0.1377	0.085	0.049889

ج- حل ایده‌ال و حل ضد ایده‌ال

حل ایده‌ال	A*	0.0552	0.044	0.012	0.027	0.1083	0.0774	0.0190	0.112
حل ضد ایده‌ال	A-	0.0618	0.047	0.01	0.029	0.0813	0.14808	0.0859	0.0249

د- نتیجه نهایی



	S_j^+	S_j^-	C_j
A	0.028136	0.130707	0.82287
F	0.131261	0.01699	0.114603
G	0.085353	0.049848	0.368695
H	0.111266	0.045988	0.292444

شکل ۷-۱۰- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیتی تونل شماره یک گوشفیل به روش شباهت به گزینه ایده‌ال

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	38	37	4.5	16.2	1.21	907200	2	9
F	33.9	34.5	3.5	16.05	1.43	1735290	9	2
G	34	34.5	3.5	16	1.37	1463850	7	5
H	28.5	21	4.15	16.9	1.61	1614150	9	4

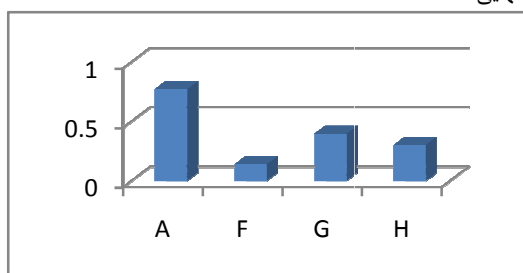
ب- ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار برای محدوده‌های دولومیت تونل شماره ۱

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.06189	0.0474	0.016	0.028	0.081394	0.0774	0.019	0.11225
F	0.05521	0.0442	0.0124	0.028	0.096193	0.1481	0.08	0.024944
G	0.05538	0.0442	0.0124	0.027	0.092157	0.1249	0.066	0.062361
H	0.04642	0.0269	0.0148	0.029	0.108301	0.1377	0.085	0.049889

ج- حل ایده‌ال و حل ضد ایده‌ال

ایده‌ال	A*	0.055	0.044	0.01	0.027	0.108	0.0774166	0.0190958	0.1122497
ضد ایده‌ال	A-	0.061	0.047	0.01	0.029	0.081	0.1480822	0.0859313	0.0249444

د- نتیجه نهایی



	S_j^+	S_j^-	C_j
A	0.028136	0.130707	0.82287
F	0.131261	0.01699	0.114603
G	0.085353	0.049848	0.368695
H	0.111266	0.045988	0.292444

شکل ۷-۱۱- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره یک گوسفیل به روش شباهت به گزینه ایده‌ال

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	50	27.1	4.1	17.25	1.89	907200	2	9
F	47	27.2	4	17	1.93	1735290	9	2
G	44.5	27.2	4	16.75	2.07	1463850	7	5
H	43.5	27.5	4.2	16.75	2.21	1614150	9	4

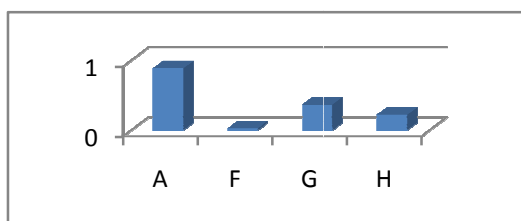
ب- ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار برای محدوده‌های دولومیت تونل شماره ۱

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	0.0594	0.04	0.01	0.0285	0.0885	0.0774	0.019	0.11225
F	0.0558	0.04	0.01	0.0281	0.0904	0.1481	0.08	0.024944
G	0.0528	0.04	0.01	0.0277	0.0969	0.1249	0.066	0.062361
H	0.0517	0.04	0.01	0.0277	0.1035	0.1377	0.085	0.049889

ج- حل ایده‌ال و حل ضد ایده‌ال

ایده‌ال	A*	0.0528	0.04	0.01	0.0277	0.1035	0.07742	0.0190958	0.11225
ضد ایده‌ال	A-	0.0594	0.04	0.01	0.0285	0.0885	0.14808	0.0859313	0.02494

د- نتیجه نهایی



	S_j^+	S_j^-	C_j
A	0.016369	0.130703	0.888699
F	0.131392	0.004129	0.030468
G	0.084068	0.049155	0.36897
H	0.109534	0.031841	0.225224

شکل ۷-۱۲- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیتی تونل شماره ۲ گوشفیل به روش شباهت به گزینه ایده‌ال

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	24.3	17.8	4.2	12.5	1.54	907200	2	9
F	21	17.8	4.15	12.2	1.66	1735290	9	2
G	16	11.5	3.55	11.15	1.63	1463850	7	5
H	15.7	15.5	3.5	11.1	1.99	1614150	9	4

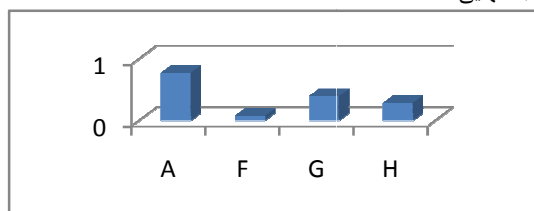
ب- ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار برای محدوده‌های دولومیت تونل شماره ۱

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	0.07	0.05	0.0152	0.03	0.085	0.0774	0.019	0.11225
	0.06	0.05	0.015	0.029	0.092	0.1481	0.08	0.024944
	0.04	0.03	0.0129	0.027	0.09	0.1249	0.066	0.062361
	0.04	0.04	0.0127	0.026	0.11	0.1377	0.085	0.049889

ج- حل ایده‌ال و حل ضد ایده‌ال

ایده‌ال	A*	0.04	0.03	0.0127	0.026	0.11	0.0774166	0.0190958	0.1122497
ضد ایده‌ال	A-	0.07	0.05	0.0152	0.03	0.085	0.1480822	0.0859313	0.0249444

د- نتیجه نهایی



	S_j^+	S_j^-	C_j
A	0.03824	0.130701	0.773649
F	0.133803	0.011437	0.078744
G	0.086156	0.056252	0.395006
H	0.110024	0.044602	0.288449

شکل ۷-۱۳- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ گوشفیل به

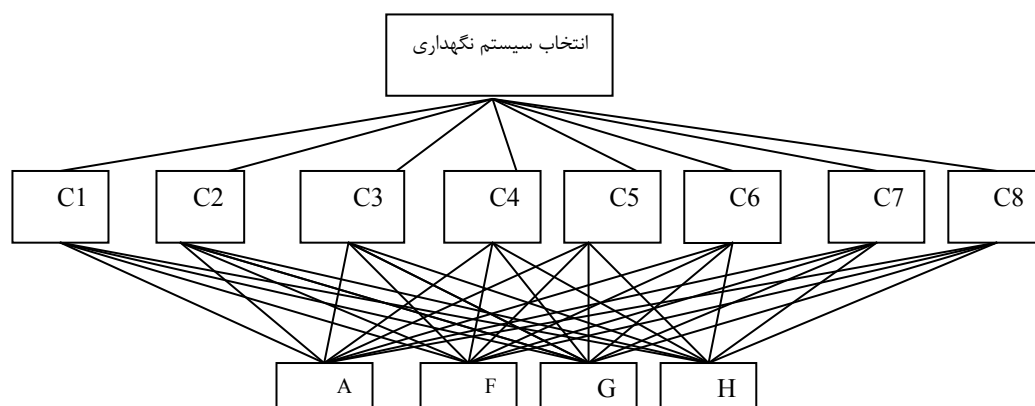
روش شباهت به گزینه ایده‌ال

نتیجه حاصل از کاربرد روش شباهت به گزینه ایده‌ال برای تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوشفیل این است که گزینه A یعنی "استفاده از پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌های تونل" به عنوان بهترین گزینه برای نگهداری این تونل می‌باشد.

۴-۴-۷- کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در تعیین سیستم نگهداری مناسب برای

تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوسفیل

پس از مشخص شدن معیارها و گزینه‌های مؤثر در تصمیم‌گیری، اولین مرحله در رابطه با انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی معدن گوسفیل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، ساختن سلسله مراتبی است. شکل ۷-۱۴ سلسله مراتبی ساخته شده برای انتخاب سیستم نگهداری در تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در سطح اول، هدف یعنی انتخاب سیستم نگهداری، سطح دوم معیارها و در سطح سوم گزینه‌ها قرار گرفته‌اند.



شکل ۷-۱۴- ساختمان سلسله مراتبی انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل

قدم دوم در روش تحلیل سلسله مراتبی، محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. به این ترتیب که ابتدا همه معیارهای مؤثر بر انتخاب سیستم نگهداری، با استفاده از ماتریس‌های مقایسه‌ای زوجی، مقایسه شده‌اند. سپس بردار وزن معیارها با استفاده از روش میانگین هندسی محاسبه شده است. به دلیل این که مقایسه‌ها بر اساس نظرات شخصی متخصصین انجام شده است، بنابراین این ماتریس بایستی از نظر سازگاری بررسی شود. در مرحله بعد، مقایسه سیستم‌های نگهداری بر اساس هر کدام از معیارها، به وسیله ماتریس‌های مقایسه‌ای زوجی انجام می‌شود. در فرآیند مقایسه لازم نیست که ماتریس مقایسه زوجی برای معیارهای C_1 تا C_6 انجام شود، زیرا مقادیر عددی در جدول لحاظ

شده‌اند و برای به‌دست آوردن آن‌ها از نظرات متخصصان استفاده نشده است. مقایسه گزینه‌ها بر اساس معیارهای C_1 تا C_4 و C_6 به وسیله حداقل کردن و معیار C_5 به وسیله حداکثر کردن انجام شده است. سپس ماتریس‌های مقایسه‌ای زوجی معیارهای C_7 و C_8 بر اساس نظرات متخصصان ساخته شده است. وزن‌های هر کدام از گزینه‌ها بر اساس معیارهای ذکر شده، با استفاده از نرمال کردن میانگین هندسی سطرهای ماتریس مقایسه‌ای زوجی، محاسبه شده است. سپس ماتریس‌های مقایسه زوجی از نظر سازگاری بررسی شده‌اند. جدول ۷-۱۴، مقادیر $\lambda_{\max}$ ، شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ سازگاری هر کدام از ماتریس‌های مقایسه زوجی، برای محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل را نشان می‌دهد.

وزن نهایی هر کدام از گزینه‌ها نیز از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به‌دست آمده است. در نهایت گزینه‌ای که دارای بیشترین امتیاز باشد به عنوان گزینه ایده‌آل انتخاب شده است. تمام مراحل شرح داده شده، برای محدوده‌های دولومیت و دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱ و شماره ۲ تراز ۱۵۶۵ گوسفیل انجام شده است. نتایج کاربرد این روش در تعیین سیستم نگهداری محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ در شکل ۷-۱۵ تا ۷-۱۸ درج شده است.

جدول ۷-۱۴- مقادیر $\lambda_{\max}$ ، R.I.I، I.I و I.R. برای ماتریس‌های مختلف

I.R	R.I.I	I.I		ماتریس	محدوده	
۰	۱/۴۴	۰	۸	وزن معیارها	دولومیت	تونل شماره ۱
۰	۰/۹	۰	۴	نیاز به کارگر		
۰	۰/۹	۰	۴	سهولت کاربرد		
۰	۱/۴۴	۰	۸	وزن معیارها	دولومیت مینرالیزه	
۰	۰/۹	۰	۴	نیاز به کارگر		
۰	۰/۹	۰	۴	سهولت کاربرد		
۰	۱/۴۴	۰	۸	وزن معیارها	دولومیت	تونل شماره ۲
۰	۰/۹	۰	۴	نیاز به کارگر		
۰	۰/۹	۰	۴	سهولت کاربرد		
۰	۱/۴۴	۰	۸	وزن معیارها	دولومیت مینرالیزه	
۰	۰/۹	۰	۴	نیاز به کارگر		
۰	۰/۹	۰	۴	سهولت کاربرد		

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جایابی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	31	22	4.3	17	1.27	907200	2	9
F	29.5	22	4	16.8	1.62	1735290	9	2
G	27	21.2	6.5	16.7	1.75	1463850	7	5
H	26	23	3.5	16.7	1.92	1614150	9	4

ب- ماتریس بدون مقیاس شده تصمیم‌گیری برای معیارهای کمی

گزینه	جایابی				ضریب ایمنی	هزینه
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	0.227723	0.250359	0.2522	0.247046	0.193598	0.36974596
F	0.239302	0.250359	0.271115	0.249987	0.246951	0.19330114
G	0.26146	0.259807	0.16684	0.251484	0.266768	0.229144745
H	0.271516	0.239474	0.309845	0.251484	0.292683	0.207808156

ج- ماتریس ضریب اهمیت معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	میانگین هندسی	وزن معیارها
C1	1	1.3333	4	2	0.5714	0.4444	0.8	0.8	1.07120	0.1111
C2	0.75	1	3	1.5	0.4285	0.3333	0.6	0.6	0.80340	0.0833
C3	0.25	0.3333	1	0.5	0.1428	0.1111	0.2	0.2	0.26780	0.0277
C4	0.5	0.6666	2	1	0.2857	0.2222	0.4	0.4	0.53560	0.0555
C5	1.75	2.3333	7	3.5	1	0.7777	1.4	1.4	1.87461	0.1944
C6	2.25	3	9	4.5	1.2857	1	1.8	1.8	2.41021	0.25
C7	1.25	1.6666	5	2.5	0.7142	0.5555	1	1	1.33900	0.1388
C8	1.25	1.6666	5	2.5	0.7142	0.5555	1	1	1.33900	0.1388

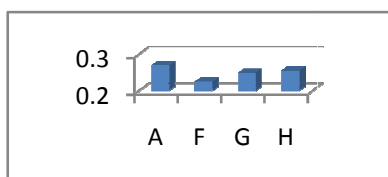
و- ماتریس مقایسه زوجی معیار سهولت کاربرد

	A	F	G	H	میانگین هندسی	وزن نسبی
A	1	4.5	1.8	2.25	2.07	0.45
F	0.22	1	0.4	0.5	0.46	0.1
H	0.56	2.5	1	1.25	1.15	0.25
I	0.44	2	0.8	1	0.92	0.2

د- ماتریس مقایسه زوجی معیار نیاز به کارگر

	A	F	G	H	میانگین هندسی	وزن نسبی
A	1	0.22	0.3	0.22	0.3449	0.074
F	4.5	1	1.3	1	1.550	0.333
H	3.5	0.77	1	0.77	1.2061	0.26
I	4.5	1	1.3	1	1.550	0.33
					4.652	

وزن نهایی گزینه‌ها



0.269765	A
0.2254	F
0.249196	G
0.255639	H

شکل ۷-۱۵- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۱ بر اساس روش AHP

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جایجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	38	37	4.5	16.2	1.21	907200	2	9
F	33.9	34.5	3.5	16.05	1.43	1735290	9	2
G	34	34.5	3.5	16	1.37	1463850	7	5
H	28.5	21	4.15	16.9	1.61	1614150	9	4

ب- ماتریس بدون مقیاس شده تصمیم‌گیری برای معیارهای کمی

گزینه	جایجایی				ضریب ایمنی	هزینه
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	0.21873	0.203797	0.214787	0.2512294	0.215302	0.369746
F	0.24518	0.218565	0.276155	0.2535773	0.254448	0.193301
G	0.24446	0.218565	0.276155	0.2543698	0.243772	0.229145
H	0.29164	0.359072	0.232902	0.2408235	0.286477	0.207808

ج- ماتریس ضریب اهمیت معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	میانگین هندسی	وزن معیارها
C1	1	1.3333	4	2	0.5714	0.4444	0.8	0.8	1.07120	0.1111
C2	0.75	1	3	1.5	0.4285	0.3333	0.6	0.6	0.80340	0.0833
C3	0.25	0.3333	1	0.5	0.1428	0.1111	0.2	0.2	0.26780	0.0277
C4	0.5	0.6666	2	1	0.2857	0.2222	0.4	0.4	0.53560	0.0555
C5	1.75	2.3333	7	3.5	1	0.7777	1.4	1.4	1.87461	0.1944
C6	2.25	3	9	4.5	1.2857	1	1.8	1.8	2.41021	0.25
C7	1.25	1.6666	5	2.5	0.7142	0.5555	1	1	1.33900	0.1388
C8	1.25	1.6666	5	2.5	0.7142	0.5555	1	1	1.33900	0.1388

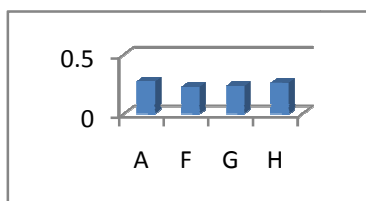
و- ماتریس مقایسه زوجی معیار سهولت کاربرد

د- ماتریس مقایسه زوجی معیار نیاز به کارگر

	A	F	G	H	میانگین هندسی	وزن نسبی
A	1	4.5	1.8	2.25	2.07	0.45
F	0.22	1	0.4	0.5	0.46	0.1
H	0.56	2.5	1	1.25	1.15	0.25
I	0.44	2	0.8	1	0.92	0.2

	A	F	G	H	میانگین هندسی	وزن نسبی
A	1	0.22	0.3	0.22	0.3449	0.074
F	4.5	1	1.3	1	1.550	0.333
H	3.5	0.77	1	0.77	1.2061	0.26
I	4.5	1	1.3	1	1.550	0.33

ه- وزن نهایی گزینه‌ها



0.274	A
0.228	F
0.235	G
0.262	H

شکل ۷-۱۶- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۱ بر اساس روش AHP

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جایابی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	50	27.1	4.1	17.25	1.89	907200	2	9
F	47	27.2	4	17	1.93	1735290	9	2
G	44.5	27.2	4	16.75	2.07	1463850	7	5
H	43.5	27.5	4.2	16.75	2.21	1614150	9	4

ب- ماتریس بدون مقیاس شده تصمیم گیری برای معیارهای کمی

گزینه	جایابی				ضریب ایمنی	هزینه
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	0.230582	0.251376	0.248374	0.245434	0.233333	0.36974596
F	0.2453	0.250452	0.254583	0.249044	0.238272	0.19330114
G	0.259081	0.250452	0.254583	0.252761	0.255556	0.229144745
H	0.265037	0.24772	0.24246	0.252761	0.27284	0.207808156

ج- ماتریس ضریب اهمیت معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	میانگین هندسی	وزن معیارها
C1	1	1.3333	4	2	0.5714	0.4444	0.8	0.8	1.07120	0.1111
C2	0.75	1	3	1.5	0.4285	0.3333	0.6	0.6	0.80340	0.0833
C3	0.25	0.3333	1	0.5	0.1428	0.1111	0.2	0.2	0.26780	0.0277
C4	0.5	0.6666	2	1	0.2857	0.2222	0.4	0.4	0.53560	0.0555
C5	1.75	2.3333	7	3.5	1	0.7777	1.4	1.4	1.87461	0.1944
C6	2.25	3	9	4.5	1.2857	1	1.8	1.8	2.41021	0.25
C7	1.25	1.6666	5	2.5	0.7142	0.5555	1	1	1.33900	0.1388
C8	1.25	1.6666	5	2.5	0.7142	0.5555	1	1	1.33900	0.1388

و- ماتریس مقایسه زوجی معیار سهولت کاربرد

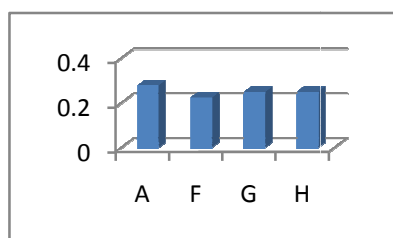
	A	F	G	H	میانگین هندسی	وزن نسبی
A	1	4.5	1.8	2.25	2.07	0.45
F	0.22	1	0.4	0.5	0.46	0.1
H	0.56	2.5	1	1.25	1.15	0.25
I	0.44	2	0.8	1	0.92	0.2

د- ماتریس مقایسه زوجی معیار نیاز به کارگر

	A	F	G	H	میانگین هندسی	وزن نسبی
A	1	0.22	0.3	0.22	0.3449	0.074
F	4.5	1	1.3	1	1.550	0.333
H	3.5	0.77	1	0.77	1.2061	0.26
I	4.5	1	1.3	1	1.550	0.33

ه- وزن نهایی گزینه‌ها

0.277698	A
0.223875	F
0.24848	G
0.249947	H



شکل ۷-۱۷- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت تونل شماره ۲ بر اساس روش AHP

الف- ماتریس تصمیم

گزینه	جابجایی (mm)				ضریب ایمنی	هزینه	نیاز به کارگر	سهولت اجرای روش
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	24.3	17.8	4.2	12.5	1.54	907200	2	9
F	21	17.8	4.15	12.2	1.66	1735290	9	2
G	15.95	11.5	3.55	11.15	1.63	1463850	7	5
H	15.7	15.5	3.5	11.1	1.99	1614150	9	4

ب- ماتریس بدون مقیاس شده تصمیم‌گیری برای معیارهای کمی

گزینه	جابجایی				ضریب ایمنی	هزینه
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	0.19126	0.212938	0.227524	0.2340938	0.225806	0.36974596
	0.22132	0.212938	0.230265	0.2398502	0.243402	0.19330114
	0.29139	0.32959	0.269183	0.262437	0.239003	0.229144745
	0.29603	0.244535	0.273028	0.2636191	0.291789	0.207808156

ج- ماتریس ضریب اهمیت معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	میانگین هندسی	وزن معیارها
C1	1	1.3333	4	2	0.5714	0.4444	0.8	0.8	1.07120	0.1111
C2	0.75	1	3	1.5	0.4285	0.3333	0.6	0.6	0.80340	0.0833
C3	0.25	0.3333	1	0.5	0.1428	0.1111	0.2	0.2	0.26780	0.0277
C4	0.5	0.6666	2	1	0.2857	0.2222	0.4	0.4	0.53560	0.0555
C5	1.75	2.3333	7	3.5	1	0.7777	1.4	1.4	1.87461	0.1944
C6	2.25	3	9	4.5	1.2857	1	1.8	1.8	2.41021	0.25
C7	1.25	1.6666	5	2.5	0.7142	0.5555	1	1	1.33900	0.1388
C8	1.25	1.6666	5	2.5	0.7142	0.5555	1	1	1.33900	0.1388

و- ماتریس مقایسه زوجی معیار سهولت کاربرد

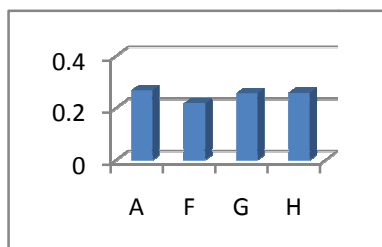
د- ماتریس مقایسه زوجی معیار نیاز به کارگر

	A	F	G	H	میانگین هندسی	وزن نسبی
A	1	4.5	1.8	2.25	2.07	0.45
F	0.22	1	0.4	0.5	0.46	0.1
H	0.56	2.5	1	1.25	1.15	0.25
I	0.44	2	0.8	1	0.92	0.2

	A	F	G	H	میانگین هندسی	وزن نسبی
A	1	0.22	0.3	0.22	0.3449	0.074
F	4.5	1	1.3	1	1.550	0.333
H	3.5	0.77	1	0.77	1.2061	0.26
I	4.5	1	1.3	1	1.550	0.33

ه- وزن نهایی گزینه‌ها

0.267453	A
0.217895	F
0.256389	G
0.258263	H



شکل ۷-۱۸- مراحل انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای محدوده دولومیت مینرالیزه تونل شماره ۲ بر اساس روش AHP

با بررسی شکل‌های ۷-۱۵ تا ۷-۱۸ دیده می‌شود که در همه محدوده‌های مورد بررسی، گزینه A یعنی "استفاده از پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها" به عنوان بهترین گزینه سیستم نگهداری برای تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوسفیل بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی انتخاب شده است.

۷-۵- نتیجه گیری

با مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب سیستم نگهداری مناسب برای تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوسفیل، مشاهده می‌شود که در همه این روش‌ها سیستم نگهداری "استفاده از پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها" به-عنوان بهترین گزینه انتخاب شده است. جدول ۷-۱۵ مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری، اولویت‌بندی آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷-۱۵- مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره

اولویت اول	اولویت دوم	اولویت سوم	اولویت چهارم	محدوده	
A	G	H	F	روش SAW	تونل شماره ۱
A	G	H	F	روش ELECTRE	
A	G	H	F	روش TOPSIS	
A	H	G	F	روش AHP	
A	H	G	F	روش SAW	
A	G	H	F	روش ELECTRE	
A	G	H	F	روش TOPSIS	
A	H	G	F	روش AHP	
A	G	H	F	روش SAW	تونل شماره ۲
A	H	G	F	روش ELECTRE	
A	G	H	F	روش TOPSIS	
A	H	G	F	روش AHP	
A	G	H	F	روش SAW	
A	G	H	F	روش ELECTRE	
A	G	H	F	روش TOPSIS	
A	H	G	F	روش AHP	

در نهایت، با استفاده از روش میانگین رتبه‌ها، یکی از روش‌های ادغام که در فصل ۶ توضیح داده شد، اولویت‌بندی سیستم‌های نگهداری مختلف برای محدوده‌های مختلف تونل تراز ۱۵۶۵ گوسفیل انجام

شده است (جدول ۷-۱۶). همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در همه محدوده‌های این تونل، سیستم نگهداری "استفاده از پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها" به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شده است

جدول ۷-۱۶- مقایسه نتایج حاصل از روش میانگین رتبه‌ها

اولویت اول	اولویت دوم	اولویت سوم	اولویت چهارم	محدوده	
A	G	H	F	دولومیت	تونل شماره ۱
A	H	G	F	دولومیت مینرالیزه	
A	H و G	-	F	دولومیت	تونل شماره ۲
A	G	H	F	دولومیت مینرالیزه	

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۸-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور تعیین سیستم نگهداری مناسب برای تونل‌های دسترسی معدن گوشفیل، نتایج زیر حاصل شده است:

۱- در این تحقیق، ابتدا تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری موقت تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل با استفاده از دو روش تجربی و عددی ارائه شده است. به این ترتیب که ابتدا مطالعات درزه‌نگاری و تقسیم‌بندی مسیر تونل انجام شده است. سپس محدوده‌های تشخیص داده شده در مسیر تونل به روش‌های تجربی RMR و Q مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج تحلیل پایداری با استفاده از روش‌های تجربی نشان داد که کیفیت توده‌سنگ محدوده‌های دولومیت و دولومیت مینرالیزه در حد متوسط می‌باشند.

سیستم نگهداری پیشنهادی با استفاده از سیستم طبقه‌بندی Q در تمامی محدوده‌های مورد بررسی شبکه منظم پیچ‌سنگ به طول ۲/۴ متر و با فاصله‌داری ۱/۵ متر و شاتکریت مسلح به ضخامت ۵۰ تا ۷۰ میلیمتر می‌باشد.

۲- در قسمت تحلیل عددی، ۸ نوع مختلف سیستم نگهداری اولیه برای این تونل در نظر گرفته شد که عبارتند از :

۱. پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیوارها
۲. پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۳۰ میلیمتر در دیوارها
۳. پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر در دیوارها
۴. شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیوارها
۵. شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیوارها
۶. توری سیمی و شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در سقف و دیوارها

۷. پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر به همراه ۵۰ میلیمتر شاتکریت در سقف و ۳۰

میلیمتر در دیوارها

۸. پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر به همراه ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت در سقف و

۳۰ میلیمتر در دیوارها

سپس پایداری سیستم‌های نگهداری مذکور با استفاده از روش‌های تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحله بعد با در نظر گرفتن ضریب ایمنی حداقل ۱/۲ برای تونل‌های دسترسی، سیستم‌های نگهداری ۲ تا ۵ به دلیل ضریب ایمنی کمتر از ۱/۲ از تصمیم‌گیری حذف شدند.

۳- در ادامه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند SAW، ELECTRE، TOPSIS و AHP و با توجه به معیارهای جابجایی، ضریب ایمنی، هزینه، نیاز به کارگر و سهولت اجرای روش، سیستم‌های نگهداری ۱، ۶، ۷ و ۸ مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت گزینه شماره ۱ یعنی "اعمال پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیوارها" به عنوان بهترین سیستم برای نگهداری محدوده‌های مختلف تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوسفیل انتخاب شد.

۸-۲- پیشنهادات

۱- به طور کلی سه روش برای طراحی سیستم‌های نگهداری وجود دارد که عبارتند از روش تجربی،

تحلیلی و روش‌های عددی

از آن‌جا که تحلیل پایداری به روش تجربی و تحلیلی دارای محدودیت‌هایی هستند؛ به عنوان نمونه در روش تجربی میزان تنش‌های موجود در توده‌سنگ، ضریب k (نسبت تنش افقی به قائم) و شکل هندسی تونل دارای کمیتی نبوده و علاوه بر آن بر مبنای تجارب دیگران استوار می‌باشند؛ بالطبع نتایج آن‌ها برای کارهای اجرایی ممکن است زیاد اطمینان بخش نباشد؛ پیشنهاد می‌شود از هر سه روش تجربی، تحلیلی و عددی در کنار هم برای طراحی استفاده شود تا بتوان طراحی ایمن و بهتری را ارائه داد.

۲- پارامترهای ژئومکانیکی که به عنوان ورودی نرم افزارهای عددی مورد استفاده قرار می گیرند، دارای دقت و صحت بالایی نیستند. لذا انجام آزمایش ها و برداشت های مختلف زمین شناسی به منظور افزایش دقت پارامترهای ورودی پیشنهاد می شود.

۳- از آنجایی که مطالعات این تحقیق برای یکی از تونل های دسترسی معدن گوشفیل انجام شده است، می توان از نتایج این مطالعه برای تونل های دسترسی سطوح دیگر معدن گوشفیل که از دو محدوده دولومیت و دولومیت مینرالیزه عبور می کنند و با آزمون ۱۰۵ و ۱۰ درجه حفر می شوند، استفاده کرد.

منابع

منابع

- اجل لوئیان ر، داوودی س، (۱۳۸۲) "رده‌بندی توده‌سنگ"، انتشارات دانشگاه اصفهان
- اورعی ک، (۱۳۸۴)، "نگهداری در معادن"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- بهشتی زواره س، (۱۳۸۰)، "تعیین رفتار توده‌سنگ معدن گوشفیل جهت طراحی فضاهای زیرزمینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ترابی س. ر، (۱۳۸۱)، "مقدمه‌ای بر مکانیک سنگ"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود
- رئیزی د، بصیر ح، (۱۳۷۲)، "مطالعه پایداری شیب‌های دولومیتی ضلع جنوبی معدن گوشفیل"، شرکت باما
- سازمان برنامه و بودجه، (۱۳۸۷)، "فهرست بها واحد پایه راهسازی"
- سازمان برنامه و بودجه، (۱۳۸۷)، "فهرست بها واحد پایه سدسازی"
- سایت اینترنتی www.bamacoir.com
- شرکت تته البرز، (۱۳۸۷)، "طرح استخراجی معدن زیرزمینی گوشفیل"، گزارش طرح پایه
- عامری م، محمدعلی ا، (۱۳۸۳)، "مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی بهره‌برداری از معدن گوشفیل به روش زیرزمینی"، شرکت باما
- عطایی م، (۱۳۸۸)، "تصمیم‌گیری چندمعیاره"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود
- فین ژاک، (۱۳۸۲)، "اصول و طراحی نگهداری در تونل‌ها"، ترجمه مجید معظمی، انتشارات دانشگاه صنایع و معادن
- قدسی‌پور ح، (۱۳۸۱)، "فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- مدنی ح، (۱۳۷۹)، "تونلسازی جلد سوم، تحلیل پایداری"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

هراتی م ز ، (۱۳۷۴)، "طبقه‌بندی مهندسی سنگ‌ها در ارتباط با طراحی فضا‌های زیرزمینی"، شرکت انتشارات فنی ایران

هوک، کیسر، باودن، (۱۳۸۰)، "نگهداری حفاریات زیرزمینی در سنگ‌های سخت" ترجمه دکتر قارونی نیک و مهندس مرتضی ابیانی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Bieniawsky, T.Z., (1984), "Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling", A.A Balkema Publishing co.

Brady, B.H.G. and Brown, E.T., (1985), "Rock mechanics for underground mining", Chapman & Hall,

Canada center for mineral and energy technology, (1981), "pit slope manual", chapter 2, structural geology

Carranza-Torres, C. and Fairhurst, C., (2000), "Application of the convergence-confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion", Tunneling and Underground Space Technology.

Chu T.C., (2002), "Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decision" International journal Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, PP:678-701

Hoek, E. and Brown, E.T., (1982), "Underground excavation in hard rock", IMM, London.

Itasca Consulting group, (2004), UDEC version 4.00, User's manual, Minneapolis

Jing, L., (2003), "A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering" International Journal of Rock mechanics and Mining Science

Jing, L.R. and Hudson J.A., (2002), "Special issue: Numerical methods in rock mechanics, Preface" INT J ROCK MECH MIN, Vol:39, Pages:407-408

Orace, K., Hosseini N. and Gholamnejad, N., (2009), "A New Approach for Determination of Tunnel Supporting System Using Analytical Hierarchy Process (AHP)", Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 78-89

Rockscience Int., Roclab version 5.1, User's manual

Saaty, T.L., (1980), "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill Publications.

Saaty and Alexander, (1981), "Thinking with Models: Mathematical models in Physical, Biological and Social Sciences" Chapter 8, Pergamum Press, London

Siler, W. and Buckly, J., (2005), " Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning". John Wiley & Sons, Ltd.

Tille M. and Dumant A.G., (2003), "Methods of multicriteria decision analysis within the road projects like an element of the sustainability", 3rd Swiss Transport Research Conference, March 19-21

Wayne, S.B. , Sydney, J.G. and William, A.H., (1977), "Monograph on rock mechanics application in mining", pp355-388

Yavuz M., Iphar M. and Once G., (2007), "The optimum support design selection by using AHP method for the main haulage road in WLC Tuncbilek colliery", Tunneling and Underground Space Technology.

پیوست‌ها

پیوست ۱: سیستم‌های طبقه‌بندی مهندسی سنگ

۱-۱- طبقه‌بندی ژئومکانیکی (روش RMR)

در سال ۱۹۷۶ میلادی، بیناوسکی از مرکز مطالعات علمی و صنعتی آفریقای جنوبی (CSIR) طبقه‌بندی جدیدی از سنگ‌ها را بر مبنای ویژگی‌های ژئومکانیکی آن‌ها ارائه داد که به روش RMR یا CSIR معروف است و به عنوان یکی از موفق‌ترین سیستم‌های رده‌بندی سنگ‌ها در مسائل تونل‌سازی به کار می‌رود. این روش در سال ۱۹۸۹ اصلاح شد. کیفیت توده‌های سنگی با بررسی تعدادی از عوامل فیزیکی مؤثر در مشخصات مکانیکی و مقاومتی آن تعیین می‌گردد. بنیادوسکی در طبقه‌بندی ژئومکانیکی، پارامترهای ذیل را با یکدیگر مرتبط ساخته و اثرات آن‌ها را در نظر می‌گیرد. / این نظریه بر مبنای شش پارامتر به شرح زیر پایه‌ریزی شده است:

۷. مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ سالم،

۸. اندیس کیفی سنگ RQD،

۹. فاصله‌داری درزه‌ها،

۱۰. وضعیت درزه‌ها شامل جدایش، امتداد یافتگی، زبری سطوح و طبیعت پرکننده درزه‌ها،

۱۱. شرایط آب‌های زیرزمینی بر اساس میزان نفوذ آب به حفاری‌ها و نسبت فشار آب موجود

درزه‌ها به تنش اصلی،

۱۲. جهت‌یابی ناپیوستگی‌ها.

برای ایجاد طبقه ژئومکانیکی، توده سنگ موجود در طول مسیر تونل به تعدادی واحدهای ساختمانی تقسیم می‌گردند. به عبارت دیگر، بخش‌هایی که شرایط زمین‌شناسی آن‌ها کم و بیش یکسان می‌باشند، در یک واحد قرار می‌گیرند. شش پارامتر طبقه‌بندی فوق، برای هر واحد ساختاری با اندازه-گیری در محل تعیین گردیده و در فرم‌های استاندارد درج می‌گردند. برای این که ارزش عددی هر سنگ در رده‌بندی RMR مشخص شود به ازای هر وضعیت از ۶ پارامتر اصلی یاد شده نمره ای تعلق می‌گیرد که جزئیات آن در جدول پ ۱-۱ درج شده است.

جدول پ ۱-۱- سیستم طبقه‌بندی RMR بیناوسکی ۱۹۸۹

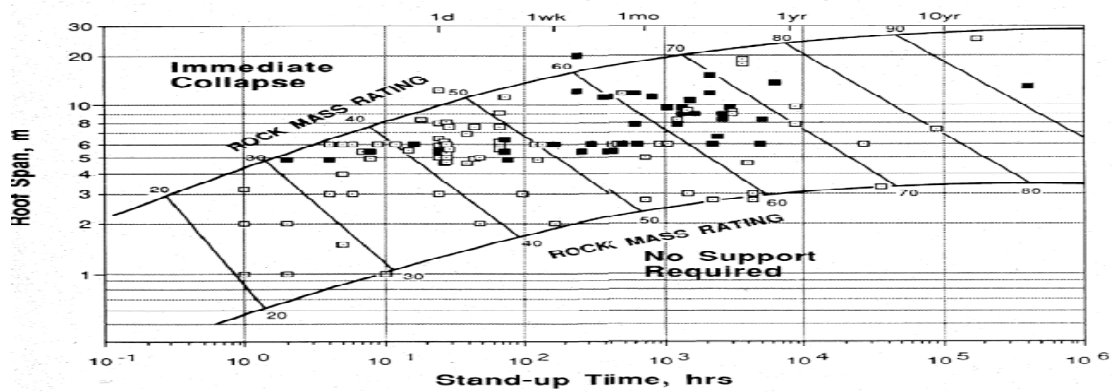
محدوده مقادیر							پارامتر			
برای مقادیر پایین مقاومت، آزمایش تک محوری ترجیح داده می‌شود			1-2 MPa	2-4 MPa	4-10 MPa	>10 MPa	اندیس بار نقطه‌ای	مقاومت سنگ بکر	۱	
			5-25 MPa	50-100 MPa	100-250 MPa	> 250 MPa	مقاومت فشاری			
<1 MPa	1-5 MPa	۲	۴	۷	۱۲	۱۵	امتیاز			
<25%			25%-50%	50%-75%	75%-90%	90%-100%	(RQD)			۲
۳			۸	۱۳	۱۷	۲۰	امتیاز			
<60 mm			60-200 mm	۶۰-۲۰۰ mm	0.6-2 m	>2 m	فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها (SD)			۳
۵			۸	۱۰	۱۵	۲۰	امتیاز			
ضخامت مواد پرکننده نرم بیش از ۵ میلیمتر یا بازشدگی بیش از ۵ میلیمتر درزه‌ها به صورت ممتد			سطوح صیقلی با پرشدگی با ضخامت کمتر از ۵میلیمتر بازشدگی ۱ تا ۵ میلیمتر به صورت ممتد	سطوح کمی زبر بازشدگی کمتر از ۱ میلیمتر دیواره درزه‌ها شدیداً هوازده	سطوح کمی زبر، بازشدگی کمتر از یک میلیمتر، دیواره درزه‌ها کمی هوازده	سطوح خیلی زبر، غیر ممتد، جدا نشده، دیواره درزه‌ها غیر هوازده	شرایط ناپیوستگی‌ها (SeD)			۴
۰			۱۰	۲۰	۲۵	۳۰	امتیاز			
>125			25-125	10-25	<10	هیچ	جریان در طول ۱۰ متر از تونل	آب زیرزمینی	۵	
>0.5			0.2-0.5	0.1-0.2	<0.1	۰	فشار آب درزه			
جریان آب			قطره قطره	مرطوب	نمناک	کاملاً خشک	شرایط عمومی			
۰			۴	۷	۱۰	۱۵	امتیاز			
راهنمایی‌هایی برای طبقه‌بندی شرایط درزه‌ها										
صیقلی			صاف	کمی زبر	زبر	خیلی زبر	زبری دیواره درزه			
۰			۱	۳	۵	۶	امتیاز			
>۱۰				۱۰-۵	۵-۱	بسته	بازشدگی ناپیوستگی‌ها (mm)			
۰				۷	۵	۹	امتیاز			
<۲۰متر			۱۰-۲۰ متر	۱۰-۳متر	۳-۱متر	>۱متر	طول ناپیوستگی‌ها			
۰			۱	۲	۴	۶	امتیاز			
متلاشی شده			هوازدهی زیاد	هوازدهی	کمی هوازده	هوانزده	هوازدهی سطوح درزه			

		متوسط			
امتیاز	۶	۵	۳	۱	۰
۶-تعدیل امتیاز برای جهت یابی درزه ها					
راستا و جهت میل درزه ها	خیلی مساعد	مساعد	مناسب	نامساعد	خیلی نامساعد
امتیاز	تونل ها و معادن	۰	-۲	-۵	-۱۰
	پی ها	۰	-۲	-۷	-۱۵
	شیروانی ها	۰	-۵	-۲۵	-۵۰

رده و کلاس توده سنگ بر اساس امتیاز کل					
امتیاز	۸۱-۱۰۰	۶۱-۸۰	۴۱-۶۰	۲۱-۴۰	۲۱>
شماره طبقه (کلاس)	۱	۲	۳	۴	۵
توصیف	سنگ خیلی خوب	سنگ خوب	سنگ متوسط	سنگ ضعیف	سنگ خیلی ضعیف
معنای رده و کلاس سنگ					
شماره کلاس	۱	۲	۳	۴	۵
متوسط زمان خودپایداری	بیست سال دهانه ۱۵ متری	یک سال برای دهانه ۱۰ متری	یک هفته برای دهانه ۵ متری	ده ساعت برای دهانه ۲.۵ متری	سی دقیقه برای دهانه ۱ متری
چسبندگی توده سنگ	۴۰۰<	۴۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۱۰۰	۱۰۰>
زاویه اصطکاک (درجه)	۴۵<	۴۵-۳۵	۳۵-۲۵	۲۵-۱۵	۱۵>

اثر راستا و جهت شیب در تونل سازی			
امتیاز عمود بر محور تونل		امتیاز موازی محور تونل	
جهت پیشروی هم جهت شیب، شیب ۹۰-۴۵ درجه، خیلی مساعد	جهت پیشروی هم جهت شیب، شیب ۴۵-۲۵ درجه مساعد	زاویه شیب ۹۰-۴۵ خیلی نامساعد	زاویه شیب ۴۵-۲۰ مناسب
جهت پیشروی خلاف جهت شیب، شیب ۹۰-۴۵ درجه، مناسب	جهت پیشروی خلاف جهت شیب، شیب ۴۵-۲۵ درجه، نامساعد	زاویه شیب ۲۰-۰ درجه بدون توجه به راستا مناسب	

به کمک منحنی شکل پ ۱-۱ می توان زمان پابرجایی برای دهانه مورد نظر را تعیین کرد. در این نمودار، موارد تاریخی ریزش سقف در معدنکاری با مربع سیاه و ریزش های سقف در تونل سازی با مربع سفید نشان داده شده است.



شکل پ ۱-۱- ارتباط بین زمان پایداری با عرض فضای حفاری بر اساس مقدار RMR (اقتباس از: Bieniawski, 1989)

در سال ۱۹۸۹ بیناوسکی یک مجموعه راهنما برای انتخاب سیستم نگهدارنده در تونل‌های سنگی با توجه به RMR معلوم آن‌ها ارائه کرد. این راهنما در جدول پ ۱-۲ آمده است. باید توجه داشت که این راهنما برای تونلی با دهانه ۱۰ متر و مقطع نعل اسبی که تحت تنش عمودی کمتر از ۲۵ مگاپاسکال (معادل عمقی کمتر از ۹۰۰ متر) قرار گرفته و به روش چالزنی-آتشکاری حفاری می‌شود، ارائه شده است.

جدول پ ۱-۲- راهنمای حفاری و نگهداری تونل‌های سنگی با دهانه ۱۰ متر با توجه به سیستم RMR

رده و کلاس سنگ	حفاری	پیچ‌سنگ (قطر ۲۰ میلیمتر تمام تزریقی)	بتن پاشیده	قاب های فولادی
۱-سنگ خیلی خوب	حفاری تمام سطح به ۳ متر پیشروی	معمولاً به استثنای پیچ‌سنگ‌های موضعی به نگهدارنده احتیاج ندارد		
۲-سنگ خوب	حفاری تمام سطح ۱ تا ۱/۵ متر پیشروی، فاصله نگهدارنده کامل از جبهه کار ۲۰ متر	موضعی پیچ‌سنگ‌های سقف به طول ۳ متر با فاصله ۲/۵ متر و گاهی همراه با توری سیمی کامل	۵۰ میلیمتر در سقف اگر نیاز باشد	نیازی نیست
۳-سنگ متوسط	حفاری به صورت پله‌ای پیشروی تاج ۱ تا ۳ متر جلوتر از کف، نصب نگهدارنده بعد از هر آتشکاری، فاصله نگهدارنده کامل از جبهه کار ۱۰ متر	شبکه منظم -سنگ به طول ۴ متر با فاصله ۱/۵ متر تا ۲ متر در سقف و دیواره همراه با توری سیمی	۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌های جانبی	نیازی نیست
۴-سنگ ضعیف	حفاری به صورت پله‌ای پیشروی تاج ۱ تا ۱.۵ متر	شبکه منظم پیچ‌سنگ به طول ۴ تا ۵ متر با	۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر در سقف و ۱۰۰ میلیمتر در	کم تا متوسط با فاصله ۱/۵ متر در صورت نیاز

	دیواره‌های جانبی	فاصله ۱/۵ متر تا ۲ متر در سقف و دیواره همراه با توری سیمی	متر جلوتر از کف نصب نگهدارنده بعد از هرآتشکاری فاصله نگهدارنده کامل از جبهه کار ۱۰ متر	
۵-سنگ خیلی ضعیف	حفاری با چند گالری پیشروی در قسمت بالایی ۱/۵ تا ۵ متر جلوتر از کف، نصب نگهدارنده مداوم همواره با حفاری و پاشیدن بتن پاشیده سریعاً بعد از آتشکاری	شبکه منظم پیچ‌سنگ به طول ۵ تا ۶ متر با فاصله ۱ متر تا ۱/۵ متر در سقف و دیواره همراه با توری سیمی در کف هم پیچ‌سنگ نصب شود.	۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر در سقف و ۱۵۰ میلیمتر در دیواره‌های جانبی و ۵۰ میلیمتر روی سطح جبهه کار	متوسط تا زیاد با فاصله ۰/۷۵ متر همراه با پوش فولادی بین قاب‌ها و در صورت نیاز پیش تزریق روی جبهه کار

۱-۲- رده‌بندی بر اساس شاخص کیفیت تونل‌سازی Q

بارتون و همکارانش از انستیتو ژئوتکنیک نروژ (NGI) بر مبنای ارزیابی و تحلیل ۲۰۰ مورد تاریخی تونل در اسکاندیناوی، شاخصی موسوم به شاخص کیفیت تونل-سازی را ارائه دادند که به نام شاخص Q معروف است. شاخص Q با رابطه زیر تعریف می‌شود. اندازه عددی آن به صورت مقیاس لگاریتمی تغییر می‌کند، بین ۰/۰۱ تا ۱۰۰۰ در تغییر است:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (\text{پ ۱-۱})$$

که در آن:

RQD=درجه کیفی سنگ

J_n =ضریب مربوط به تعداد درزه‌ها

J_r =ضریب مربوط به زبری درزه‌ها

J_a =ضریب مربوط به دگرسانی درزه‌ها

J_w =ضریب مربوط به کاهش آب درزه‌ها

SRF=ضریب مربوط به کاهش تنش

بارتون و همکاران پارامترهای J_n ، J_r و J_a را به عنوان مبنا مهم‌تر از جهات درزه در نظر گرفتند و معتقدند اگر جهات درزه نیز در نظر گرفته می‌شد، عمومیت طبقه‌بندی کمتر می‌گردید. اما تعیین جهات در پارامترهای J_r و J_a به طور ضمنی در نظر گرفته شده، زیرا این پارامترها برای تعیین نامطلوب‌ترین درزه تعیین می‌شود.

عبارت $\frac{RQD}{J_n}$ در رابطه بیانگر ساختار توده‌سنگ و تخمین اولیه از ابعاد قطعه‌ها یا ذرات سنگ است و در محدوده $\frac{100}{0.5}$ تا $\frac{10}{20}$ تغییر می‌کند. عبارت $\frac{J_r}{J_a}$ نشانگر ویژگی‌های زبری و اصطکاکی دیواره درزه‌ها و مواد پرکننده آن‌ها است. در شرایطی که سطح درزه زبر و عاری از هرگونه آثار و شواهد هوازدگی و تماس مستقیم سنگ با سنگ نیز برقرار باشد، این عبارت وزن‌دار می‌گردد. در این مورد انتظار می‌رود که این سطح به مقاومت اوج خود نزدیک شده و هنگامی که تحت تأثیر نیروی برشی قرار می‌گیرند، به شدت حالت اتساع را از خود نشان می‌دهند. به طور کلی درزه‌هایی با این مشخصات، برای پایداری تونل مناسب و مساعد خواهند بود.

عبارت $\frac{J_w}{SRF}$ ضریب تجربی پیچیده‌ای است که بیانگر تنش فعال است. مشخصه SRF به عوامل زیر بستگی دارد:

الف: بار سست‌کننده در مواردی که تونل در زون‌های برشی و سنگ‌های حاوی رس حفر می‌شود.

ب: تنش مؤثر بر سنگ در مورد سنگ‌های محکم و مقاوم

ج: بار ناشی از لهیدگی در مورد سنگ‌های خمیری و نامقاوم

برای تعیین شاخص Q در مورد هر سنگ، باید مقادیر عددی هر یک از ضرائب را از جدول مربوطه استخراج کرد که جزئیات در جدول پ ۱-۳ آمده است.

جدول پ ۱-۳- امتیازات سیستم طبقه‌بندی Q (بارتون، ۱۹۷۶)

تذکرات	مقدار	شرح و توصیف	
۱-وقتی مقدار RQD بین ۰-۱۰ باشد، برای تعیین Q باید مقدار RQD برابر با ۱۰ فرض شود. ۲-مقدار RQD با تغییرات ۵تایی به اندازه کافی دقیق هستند.	RQD%	۱-شاخص کیفیت سنگ	
	۲۵-۰	خیلی ضعیف	الف
	۵۰-۲۵	ضعیف	ب
	۷۵-۵۰	متوسط	پ
	۹۰-۷۵	خوب	ت
	۱۰۰-۹۰	عالی	ث
	J_n	۲-عدد مربوط به دسته درزه‌ها	
۱-برای تقاطع دو تونل J_n را رد ۳ ضرب کنید ۲-برای ورودی تونل‌ها J_n در ۲ ضرب کنید.	۱-۰.۵	تراکم، بدون درزه یا با درزه کم	الف
	۲	یک دسته درزه	ب
	۳	یک دسته درزه و درزه‌های اتفاقی	پ
	۴	دو دسته	ت
	۶	دو دسته درزه و درزه‌های اتفاقی	ث
	۹	سه دسته درزه	ج
	۱۲	سه دسته درزه و درزه‌های اتفاقی	چ
	۱۵	چهار دسته درزه یا بیشتر، درزه‌های اتفاقی، شدیداً درزه‌دار، دانه‌های حبه قندی و غیره	ح
	۲۰	سنگ خرد شده شبیه خاک	خ
۱- چنانچه فاصله‌بندی متوسط مجموعه درزه‌ها بزرگتر از ۳ متر است، مقدار ۱ را به J_r اضافه کنید.	J_r	۳- عدد مربوط به زبری سطح درزه‌ها	
		دیواره‌های درزه در تماس با یکدیگر	
		دیواره‌های درزه در تماس با یکدیگر قبل از ۱ سانتیمتر برش	
	۴	درزه‌های ناپیوسته	الف
	۳	زبر و نامنظم، موجدار	ب
	۲	صاف و موجدار	پ
	۱/۵	آینه‌ای و موجدار	ت
	۱/۵	زبر و نامنظم و مسطح	ث
	۱	صاف و مسطح	ج
	۰/۵	آینه‌ای و مسطح	چ
		دیواره‌های درزه پس از برش در تماس نیستند	
	۱	منطقه حاوی مواد رسی با ضخامت کافی که از تماس دیواره‌ها ممانعت می‌کند	ح

خ	منطقه ماسه‌ای و گراولی یا سنگ خرد شده با ضخامت کافی که از تماس دیواره‌ها جلوگیری می‌کند.	۱	
۴- عدد مربوط به هوازگی و دگرسانی درزه‌ها			
J_a			
دیواره‌های درزه‌ها در تماس هستند			
الف	شدیداً جوش خورده، سخت، غیر نرم، مواد پرکننده غیر قابل نفوذ	۰/۷۵	
ب	دیواره‌های درزه غیر هوازده، سطوح درزه‌ها فقط کمی هوازده	۱	
پ	درزه‌ها کمی هوازده شده است. مواد پوششی درزه‌ها کانی‌های غیر نرم هستند. ذرات ماسه‌ای سنگ شکسته عاری از مواد رسی و غیره	۲	
ت	درزه‌ها با مواد سیلتی رسی ماسه‌ای و بخش‌های کوچک رسی غیر نرم پوشیده شده است	۳	
ث	درزه‌ها با مواد رسی نرم با اصطکاک کم مثل کائولینیت، میکا همچنین کلریت، تالک، گچ، گرافیت و غیره و مقادیر کم رس‌های تورمی پوشیده شده است (با ضخامت ۱-۲ میلیمتر و یا کمتر است ناپیوسته)	۴	
دیواره درزه‌ها تا قبل از ده سانتیمتر حرکت برشی در تماس با هم هستند			
ج	ذرات ماسه سنگ شکسته عاری از مواد رسی و غیره	۴	
چ	شدیداً پیش تحکیم شده، مواد پرکننده رسی غیر نرم ممتد (با ضخامت کمتر از ۵ میلیمتر)	۶	
ح	پیش تحکیم شده متوسط یا کم، مواد پرکننده رسی نرم (ممتد و با ضخامت کمتر از ۵ میلیمتر)	۸	
خ	مواد پرکننده تورمی رسی مثل مونت‌موریلونیت ضخامت کمتر از ۵ میلیمتر) درصد اندازه ذرات رس تورمی و مقدار آب موجود بستگی دارد.	۱۲-۸	
دیواره درزه‌ها پس از برش در تماس نیستند			
د	مناطق یا نوارهای جدا شده و شکسته	۶	
ذ	سنگ و رس (به قسمت های چ، ح و خ مربوط به شرایط رسی مراجعه شود)	۸	
ر		۱۲-۸	
ز	منطقه با نوارهای سیلتی یا رس ماسه‌ای و قطعات کوچک رسی	۵	
س	(به قسمت چ، ح و خ مربوط به شرایط رسی مراجعه شود)	۱۳-۱۰	
ش		۲۴-۶	
۵- عدد مربوط به آب درزه‌ها			
J_w			
الف	حفاری خشک یا جریان آب فرعی یعنی کمتر از ۵ لیتر بر دقیقه به صورت موضعی	۱	
ب	جریان آب با فشار متوسط، آب‌شستگی مواد پرکننده گاهی اتفاق می‌افتد	۰/۶۶	
پ	جریان آب زیاد با فشار بالا در سنگ متراکم با درزه‌های پر نشده	۰/۵	

	۰/۳۳	جریات آب زیاد با فشار بالا	ت
	۰/۲-۰/۱	جریان فوق العاده زیاد آب یا فشار در لحظه آتشکاری که با گذشت زمان کاهش می یابد	ث
	۰/۱-۰/۰۵	جریان فوق العاده آب با فشار زیاد	ج
	SRF	۶- ضریب کاهش تنش	
		مناطق ضعیفی تونل را قطع می کند که ممکن است موجب سستی توده- سنگ هنگام حفاری تونل شود.	
	۱۰	وقوع متعدد مناطق ضعیف که محتوی رس یا سنگ خرد شده و تجزیه شیمیایی شده است. سنگ خیلی سست در اطراف تونل (در هر عمق)	الف
	۵	مناطق ضعیف منفرد محتوی رس، یا سنگ تجزیه شیمیایی شده و هوازده (عمق کمتر از ۵۰ متر)	ب
	۲/۵	مناطق ضعیف منفرد محتوی رس، یا سنگ تجزیه شیمیایی شده و هوازده (عمق بیشتر از ۵۰ متر)	پ
	۷/۵	مناطق برشی متعدد در سنگ متراکم (بدون رس) سنگ سست در اطراف تونل (هر عمق)	ت
	۵	مناطق برشی منفرد در سنگ متراکم (عاری از رس) (عمق حفاری از ۵۰ متر کمتر)	ث
	۲/۵	مناطق برشی منفرد در سنگ متراکم (عاری از رس) (عمق حفاری از ۵۰ متر بیشتر)	ج
	۵	درزه های باز سست شدیداً درزه دار یا بلوک های حبه قندی (هر عمقی)	چ
		سنگ متراکم مثل تنش در سنگ	
	۲/۵	تنش کم	ح
	۱	تنش متوسط	خ
	۲-۰/۵	تنش زیاد (معمولاً از نظر پایداری مساعد است. ممکن است برای پایداری دیواره-ها نامساعد است)	د
	۱۰-۵	انفجار ملایم سنگ	ذ
	۲۰-۱۰	انفجار شدید سنگ	ر
		سنگ لهیده جریان پلاستیک سنگ غیر متراکم تحت تأثیر فشار زیاد سنگ	
	۱۰-۵	فشار سنگ ماشی از لهیدگی ملایم	ز
	۲۰-۱۰	فشار سنگ ماشی از لهیدگی شدید	ژ
		سنگ تورمی تداوم تورم به علت فعل و انفعال شیمیایی بسته به حضور آب	
	۱۰-۵	فشار سنگ ناشی از تورم ملایم	س
	۲۰-۱۰	فشار سنگ ناشی از تورم شدید	ش

با ارزیابی شش پارامتر فوق، شاخص کیفی سنگ یعنی Q محاسبه می‌شود. Q به دست آمده با کمیت دیگری موسوم به اندازه معادل حفاری به نوع نگهداری ارتباط پیدا می‌کند. این کمیت تابعی است از ابعاد فضا و نوع کاربرد و از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

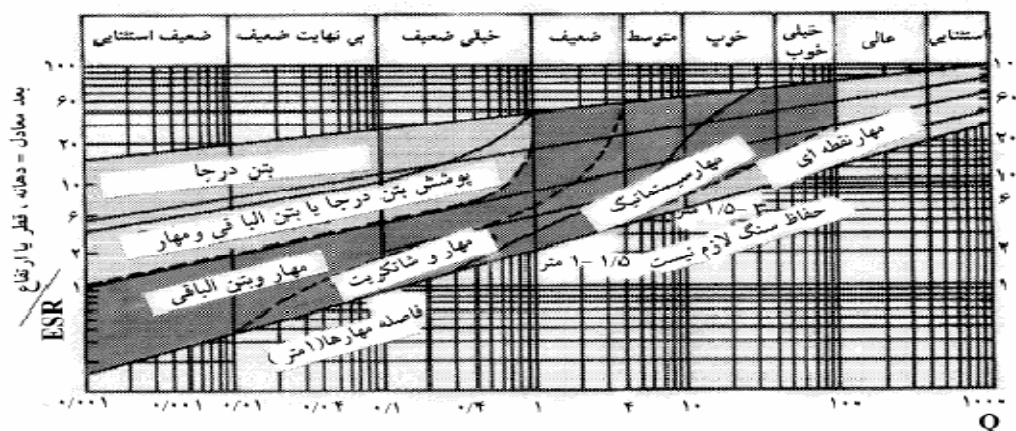
$$\text{پ ۱-۲)} \quad \text{بعد معادل حفاری} = \frac{B}{ESR}$$

در رابطه فوق ESR یا ضریب پایداری فضا، عددی است که مطابق جدول پ ۱-۴ بستگی به کاربرد فضای حفاری شده و ایمنی مورد نیاز دارد.

با معین بودن مقدار Q و اندازه دهانه معادل به کمک نمودارها و جداول مربوطه، ابتدا کلاس نگهداری مشخص و سپس سیستم نگهداری مناسب پیشنهاد می‌شود. برای تعیین کلاس نگهداری از شکل پ ۱-۲ استفاده می‌شود.

جدول پ ۱-۴- ضریب پایداری فضا (ESR)

ESR	نوع حفاری
۳-۵	حفاری‌های موقت معدنی
۲-۳/۵	چاه‌ها
۱/۶	کارهای دائمی معدنی، تونل‌های آب برای تولید نیرو
۱/۳	انبار، تأسیسات، تصفیه آب، شاهراه‌های کوچک، تونل‌های راه‌آهن
۱	نیروگاه‌ها، شاهراه‌های بزرگ، ورودی‌ها و تقاطع
۰/۸	نیروگاه‌های هسته‌ای، ایستگاه‌های راه‌آهن، کارخانجات زیرزمینی



شکل پ ۱-۲- تخمین رده نگهدارنده بر اساس شاخص کیفی تونل‌زنی Q

پیوست ۳: تعیین مدول تغییر شکل پذیری با استفاده از سیستم‌های طبقه‌بندی توده‌سنگ
تعیین صحیح مدول تغییر شکل با استفاده از روش‌های تجربی توده‌سنگ، جایی که انجام آزمایش‌های
برجا پرهزینه است، از اهمیت خاصی برخوردار است. برای مقاطع مختلف مقادیر مدول تغییر شکل با
استفاده از روابط تجربی به‌دست آمد. این روابط که حاصل کارهای صحرایی و آزمایش‌های برجا توسط
افراد مختلف است، در زیر آورده شده‌اند:

۱- رابطه به‌دست آمده توسط بیناوسکی در سال ۱۹۷۸

$$E_M (GPa) = 2RMR - 100 \quad RMR > 50$$

۲- رابطه سرافیم و پیرا در سال ۱۹۸۳

$$E_m (GPa) = 10^{(RMR-10/40)} \quad RMR < 50$$

۳- رابطه نیکلسون و بیناوسکی در سال ۱۹۹۰

$$E_M (GPa) = \frac{E_i}{100} (0.0028RMR^2 - 0.9 \exp(RMR/22.821))$$

که در آن E_i مدول الاستیسیته سنگ بکر و برابر ۵۰ GPa است.

۴- میتری و دیگران در سال ۱۹۹۴ با فرض برابر ۵۰ گیگاپاسکال رابطه زیر را پیشنهاد دادند:

$$E_m (GPa) = E_i (0.5(1 - \cos(\pi.RMR/100)))$$

۵- ورمن با تاکید بر ارتفاع روباره یا عمق تونل در سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۷ رابطه زیر را پیشنهاد کرد:

$$E_m (GPa) = 0.3H^\alpha \cdot 10^{(RMR-20)/38} \quad H > 50m$$

که در این رابطه مقدار α بین ۱۶/ تا ۱۳/ است.

۶- رابطه سینگ (۱۹۹۷) بر اساس تحلیل داده‌های به‌دست آمده از ۳۵ تونل ابرازنگاری شده:

$$E_d (GPa) = H^{0.2} \cdot Q^{0.36} \quad Q < 10$$

۷- بارتون و همکاران (۱۹۹۲ و ۱۹۸۰) و بارتون (۱۹۹۳) با استفاده از سیستم طبقه‌بندی Q

$$E_m (GPa) = 25 \log Q \quad Q > 10$$

۸- رد و همکاران در سال ۱۹۹۹

$$E_m (GPa) = 0.1(RMR/10)^3$$

۹- دیدریکس و کیسر (۱۹۹۶) نیز رابطه زیر را عنوان کردند:

$$E_m(GPa) = 7 \pm \sqrt{Q'}, Q' = 10((RMR - 44)/21)$$

۱۰- هوک و همکاران (۲۰۰۲)

$$E_m(GPa) = (1 - D/2)(\sigma_{ci}/100)^{1/2} \cdot 10^{(GSI-10)/40} \quad \sigma_{ci} \leq 100$$

$$E_m(GPa) = (1 - D/2) \cdot 10^{(GSI-10)/40} \quad \sigma_{ci} \geq 100$$

σ_{ci} برابر ۱۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود. D فاکتور به هم‌ریختگی است و برای توده‌سنگ‌های سالم تا کاملاً به هم‌ریخته از صفر تا ۱ متغیر است که بستگی به روش حفاری و درجه خرابی و رهایی تنش در فضای زیرزمینی دارد. به طوزی که با افزایش مقدار D، E_m کمتر می‌شود. به این ترتیب در صورت حفاری تونل با ماشین تونل‌زنی (TBM)، مقدار D به کمترین مقدار خود می‌رسد.

۱۱- بارتن (۲۰۰۲) کوشش کرد تا مقاومت تک‌محوری سنگ بکر را نیز برای برآورد مقدار تأثیر دهد:

$$E_m(GPa) = 10Q_c^{1/3} \quad Q < 10$$

که در آن $Q = Q(\sigma_c/100)$ و Q_c برابر با ۱۰۰ مگاپاسکال است.

۱۲- کاروالو در سال ۲۰۰۴

$$E_m(GPa) = E_i S^{1/4}, E_i = 50GPa, S = \exp((GSI - 10/9))$$

۱۳- سانمز و همکاران در سال ۲۰۰۴

$$E_m(GPa) = E_i (S^a)^{0.4}, E_i = 50GPa, S = \exp((GSI - 100/9))$$

$$a = 1/2 + 1/6(\exp(-GSI - 0.15) - \exp(-20/3)), GSI = RMR$$

۱۴- معادله ساده شده هوک و دیدریکس (۲۰۰۶)

$$E_m(GPa) = 1000000((1 - D/2)/(1 + e^{((75+25D-GSI)/11)})) \quad \sigma_{ci} \leq 100$$

پیوست ۴: محاسبه ضریب ایمنی سیستم‌های نگهداری

۴-۱- ضریب اطمینان کششی پیچ‌سنگ

$$SF_{bolt} = \frac{F_1}{F_2}$$

F_1 : مقاومت کششی پیچ‌سنگ بر حسب نیوتن

F_2 : حداکثر نیروی محوری وارده بر پیچ‌سنگ (حاصله از نتایج نرم‌افزار)

۴-۲- ضریب اطمینان شاتکریت در برابر نیرو برشی

ضریب اطمینان برشی شاتکریت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SF_r = \frac{\tau_b}{\tau_r}$$

τ_b : تنش برشی مجاز شاتکریت مصرفی بر حسب پاسکال

τ_b : حداکثر تنش برشی بر حسب پاسکال که مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau_r = \frac{3}{2} \times \frac{Q_x}{t \times z}$$

Q_x : حداکثر نیروی برشی وارد بر لایه شاتکریت بر حسب نیوتن (حاصله از نتایج نرم‌افزار)

t: ضخامت لایه شاتکریت

Z: عرض لایه شاتکریت در هر سیکل کاری بر حسب متر (که برابر با یک گام پیشروی است)

۴-۳- ضریب اطمینان شاتکریت در برابر نیرو محوری

ضریب اطمینان محوری شاتکریت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SF_c = \frac{\sigma_{c_2}}{\sigma_{c_1}}$$

σ_{c_2} : مقاومت فشاری شاتکریت مصرفی بر حسب پاسکال

σ_{c_1} : تنش محوری فشاری بر حسب پاسکال که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\sigma_{c_1} = \frac{N_x}{t \times z} + \frac{M \times c}{I}$$

N_x : حداکثر نیروی محوری بر حسب نیوتن

M: لنگر خمشی بر حسب نیوتن متر در المانی که حداکثر نیروی محوری بر آن وارد است.

I: ممان اینرسی که برای مقاطع مستطیل شکل برابر با $\frac{1}{12}bh^3$ (b عرض لایه شاتکریت بر حسب متر و h

ضخامت لایه بر حسب متر می باشد).

c: فاصله دورترین تار کششی از محور خنثی (که آن را نصف ضخامت شاتکریت در نظر می گیرند).

z: عرض لایه شاتکریت در هر سیکل کاری بر حسب متر

۴-۴- محاسبه تنش کششی وارد بر شاتکریت:

تنش کششی وارد بر لایه شاتکریت ناشی از لنگر خمشی از رابطه زیر به دست می آید:

$$\delta_i = \frac{M_{\max} \times C}{I}$$

که در آن

$M_{\max}$: حداکثر لنگر خمشی وارد بر لایه شاتکریت بر حسب نیوتن متر

δ_i : تنش کششی وارد بر لایه شاتکریت بر حسب پاسکال

پیوست ۵: محاسبه هزینه سیستم‌های نگهداری مختلف

تحلیل هزینه نگهداری اولیه تونل با شرایط زیر انجام می‌گیرد (فهرست بهای راهسازی، ۸۷):

۱- تحلیل هزینه نگهداری اولیه به صورت متر مکعب یا متر مربع شاتکریت، مترمربع مش‌بندی و متر طول بولت زنی برآورد می‌شود.

۲- تحلیل هزینه چال پیچ‌سنگ بر اساس واحد طول برآورد می‌شود.

جدول پ ۳-۵ تا پ ۴-۵ مراحل محاسبه هزینه‌های نگهداری سیستم‌های مورد نظر را نشان می‌دهد:

جدول پ ۱-۵- مواد و مصالح مورد نیاز مش‌بندی گالری

ردیف	شرح	واحد	مقدار مورد نیاز برای یک مترمربع مش	قیمت واحد (ریال)	سطح مقطع پوشیده شده گالری (متر مربع)	جمع (ریال)
۱	مش فولادی	کیلوگرم	۳	۹۵۹۰	۱۳/۵	۳۸۸۳۹۵
	جمع					۳۸۸۳۹۵

جدول پ ۲-۵- هزینه پیچ‌سنگ مورد نیاز

ردیف	شرح	واحد	طول مورد نظر	قیمت واحد (ریال)	تعداد در هر ضلع گالری	جمع (ریال)
۱	پیچ‌سنگ تزریقی با قطر ۲۵ میلیمتر	متر	۴	۹۶۰۰۰	۳	۳۰۲۴۰۰

جدول پ ۳-۵- هزینه شاتکریت

ردیف	شرح	واحد	مقدار مورد نیاز برای یک مترمربع	قیمت واحد (ریال)	سطح مقطع پوشیده شده گالری (متر مربع)	جمع (ریال)
۱	شاتکریت به ضخامت ۳ سانتیمتر	متر مربع	یک متر مربع	۲۶۵۰۰	۴/۵	۱۱۹۲۵۰
۲	شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	متر مربع	یک متر مربع	۳۹۵۰۰	۴/۵	۱۷۷۷۵۰
۳	شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر	متر مربع	یک متر مربع	۷۲۹۰۰	۴/۵	۳۲۸۰۵۰
۴	اضافه بها بتن ریزی در سقف	متر مکعب	یک متر مکعب	۲۶۴۰۰	۴/۵	۱۱۸۸۰۰
۵	تمیزکاری و آماده کردن سطوح جهت انجام عملیات بتن پاشی	متر مربع	یک متر مربع	۱۶۰۰	۴/۵	۷۲۰۰

جدول پ ۵-۴- هزینه شاتکریت مسلح

ردیف	شرح	واحد	مقدار مورد نیاز برای یک مترمربع	قیمت واحد (ریال)	سطح مقطع پوشیده شده گالری (متر مربع)	جمع (ریال)
۱	تمیزکاری و آماده سازی سطوح جهت انجام عملیات بتن پاشی	متر مربع	یک متر مربع	۱۶۰۰	۴/۵	۷۲۰۰
۲	اجرای شبکه فولادی از هر نوع میلگرد ساده با هر نوع اتصالات و مهاری مربوط برای حفاظت سطوح	کیلوگرم	۳	۹۵۹۰	۱۳/۵	۳۸۸۳۹۵
۳	اجرای لایه اول بتن پاشی به ضخانت یک تا ۵ سانتیمتر در فضای باز با ازای هر سانتیمتر ضخامت	متر مربع	یک متر مربع	۷۳۴۰	۴/۵	۱۱۹۲۵۰
۴	اجرای لایه های بعدی بتن پاشی در فضای باز به ازای هر سانتیمتر ضخامت	متر مربع	یک متر مربع	۶۵۴۰	۴/۵	۱۷۷۷۵۰

پیوست ۶: پرسش‌نامه

برای تعیین سیستم نگهداری تونل‌های دسترسی معدن سرب و روی گوسفیل، چندین سیستم نگهداری معرفی شده است. هر یک از این سیستم‌ها دارای مزایا و معایب مربوط به خود می‌باشد. با توجه به مشخصات تونل‌ها و توانایی هر کدام از این سیستم‌ها ۸ گزینه مختلف در نظر گرفته شده است. برای انتخاب سیستم نگهداری مناسب، باید معیارهای مختلف در نظر گرفته شود و در نهایت با استفاده از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره گزینه مناسب انتخاب شود. معیارهای در نظر گرفته شده به شرح جدول ۱ می‌باشند:

جدول پ-۶-۱- معیارهای تصمیم‌گیری در انتخاب سیستم نگهداری مناسب

معیار	توضیحات
C1	جابجایی قائم در نقطه وسط سقف
C2	جابجایی قائم در کف
C3	جابجایی افقی در
C4	جابجایی قائم در نقطه سوم
C5	ضریب ایمنی
C6	هزینه نگهداری
C7	نیاز به نیروی انسانی
C8	سهولت اجرا

از بین معیارهای مورد نظر، معیارهای "نیاز به نیروی انسانی" و "سهولت اجرای روش" به دلیل کیفی بودن به صورت پرسش‌نامه در اختیار کارشناسان، متخصصان و مدیرانی که تجربه کافی در بخش‌های مختلف صنعت تونل و معدنکاری دارند قرار گرفته است. از طرف دیگر میزان اهمیت هر یک از معیارها در انتخاب سیستم نگهداری نیز به صورت یک سوال در همین پرسش‌نامه گنجانده شده است. قابل ذکر است برای اندازه‌گیری یک شاخص کیفی با مقیاس فاصله ای، از مقیاس فاصله ای به شرح زیر استفاده شده است:

جدول پ ۶-۲- مقیاس فاصله‌ای برای شاخص‌های کیفی

میزان اهمیت	مقادیر کمی معادل
خیلی زیاد	۹
زیاد	۷
متوسط	۵
کم	۳
خیلی کم	۱
امتیازات واسطه	۸ و ۶ و ۴ و ۲

قابل ذکر است که این تونل دارای مقطع مربع شکل به ابعاد $4/5 \times 4/5$ متر می‌باشد و به منظور نصب پیچ‌سنگ از یک عدد دستگاه بولتک استفاده می‌شود. در صورت استفاده از پیچ‌سنگ در هر ضلع از گالری، سه عدد پیچ‌سنگ نصب خواهد شد.

پرسش‌نامه طراحی شده به صورت زیر می‌باشد:

از نظر نیاز به نیروی انسانی در نصب سیستم نگهداری، امتیاز مربوط به هر سیستم نگهداری چقدر است؟

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	نوع سیستم نگهداری / امتیاز	
									پیچ‌سنگ با طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها	A
									پیچ‌سنگ با طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	B
									پیچ‌سنگ با طول ۴ متر و فاصل داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر در دیواره‌ها	C
									شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	D
									شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در سقف ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	E
									توری سیمی و شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در سقف و دیواره‌ها	F
									پیچ-سنگ با طول ۴ متر و فاصله-داری ۱/۵ متر به همراه ۵۰ میلیمتر شاتکریت در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	G
									پیچ‌سنگ با طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر به همراه ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	H

۲- با توجه به حفر این تونل در یک منطقه دولومیتی امتیاز مربوط به سهولت اجرای روش هر یک از این سیستم‌ها در سنگ مورد نظر چقدر است؟

قابل ذکر است که مقطع تونل مربع شکل با ابعاد $4/5 \times 4/5$ متر، RQD برابر با ۴۶٪ و شرایط زمین خشک می‌باشد. دستگاه‌های موجود نیز شامل یک دستگاه بولتک، یک عدد دستگاه ماشین شاتکریت-پاش و یک عدد لودر معدنی برای برای نصب توری سیمی می‌باشد.

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	نوع سیستم نگهداری / امتیاز	
									پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها	A
									پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	B
									پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر در دیواره‌ها	C
									شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	D
									شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	E
									توری سیمی و شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در سقف و دیواره‌ها	F
									پیچ-سنگ به طول ۴ متر و فاصله-داری ۱/۵ متر به همراه ۵۰ میلیمتر شاتکریت در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	G
									پیچ‌سنگ به طول ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر به همراه ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت در سقف و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	H

۳- به نظر شما اولویت هر یک از معیارهای بیان شده (جدول شماره ۱) در انتخاب سیستم نگهداری مورد نظر کدام است؟

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	معیار	
									جابجایی قائم در نقطه اول	C1
									جابجایی قائم در نقطه دوم	C2
									جابجایی افقی در نقطه سوم	C3
									جابجایی قائم در نقطه سوم	C4
									ضریب ایمنی	C5

									هزینه نگهداری	C6
									نیاز به نیروی انسانی	C7
									سهولت اجرای روش	C8