

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۱۵۲۳۱



دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی معدن

پایان نامه تخصصی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن - گرایش مکانیک سنگ

عنوان پایان نامه:

تعیین راستای بهینه و تحلیل پایداری مغار نیروگاه های برق - آبی
"مطالعه موردی: مغار نیروگاه برق - آبی سد بختیاری"

اساتید راهنما:

دکتر سعید کریمی نسب

دکتر حسین جلالی فر

استاد مشاور:

مهندس فرزانه رفیعا

استاد مشاور صنعتی:

مهندس علی محمد رادمان

مؤلف:

سعید حسینی زاده

بهمن ماه ۱۳۸۷

ب

کتابخانه مرکزی
شهر شهید باهنر کرمان

۱۳۸۸ / ۴ / ۱۶

۱۱۵۲۳۱



دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه: مهندسی معدن

دانشکده: فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

امضاء:

نام و نام خانوادگی:

دانشجو: سعید حسینی زاده

استادان راهنما:

دکتر سعید کریمی نسب

دکتر حسین جلالی فر

داور ۱: دکتر رضا رحمان نژاد

داور ۲: دکتر حسین باقری پور

Handwritten signatures of the supervisors and examiners.



حق چاپ محفوظ و مخصوص دانشگاه است

(ج)

تقدیم به:

پشویان، پروان و ره پویان حقیقت

آیه های مهربانی و محبت

پدر، مادر و ماسرم

تشکر و قدردانی

در این لحظه که با عنایت بزرگ دانای هستی، وظیفه اینجانب در مورد تکمیل این مهم به پایان رسیده است بر من واجب است که از تمام بزرگواری که در این راه مرا یاری نمودند قدردانی نمایم.

ابتدا از آقایان دکتر کریمی نسب، دکتر جلالی فر، مهندس رفیعا و مهندس رادمان کمال تشکر و قدردانی را دارم که راهنمایی های ایشان راهگشای حل مشکلاتی بود که بر سر راه وجود داشت. همچنین از کلیه اساتید بخش مهندسی معدن دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان بسیار سپاسگزارم که کمک هایشان مرا در رسیدن به هدف یاری نمودند.

از همکاری آقایان بینزاده، همزه پور و هفتانی که در شرکت مشارکت طرح بختیاری امکان تهیه اطلاعات این پایان نامه را فراهم نمودند بسیار سپاسگزارم و آرزوی موفقیت از خداوند متعال برایشان خواستارم.

در نهایت باید از خانواده عزیزم تشکر و قدردانی نمایم که با صبر و حوصله و پشتیبانی معنوی خود، موفقیت مرا تضمین نمودند.

چکیده

تعیین راستای بهینه محور طولی فضاهاى بزرگ زیرزمینی (مغارها) و همچنین تحلیل پایداری اینگونه فضاها، یکی از مهمترین مسائلى است که مهندسین طراح سازه هاى زیرزمینی در مراحل اولیه طراحی باید به آن توجه نمایند تا با انتخاب بهترین جهت، با کمترین ناپایداری در یال هاى مغار مواجه شوند و با تحلیل پایداری آن، محل و حجم زون ناپایدار را شناسایی کرده و برای پایدار کردن آن از سیستم نگهداری مناسب استفاده کنند. در این تحقیق برای انتخاب راستای درست محور بزرگ مغار نیروگاه بختیاری مراحل زیر انجام شد: ابتدا با عملیات درزه نگاری منطقه، مشخصات ناپیوستگی ها بدست آمد. سپس براساس تاریخچه زمین شناسی و تکامل تکتونیک منطقه و آزمایشات صحرایی شکاف گمانه (اسلاتر)، بزرگی و جهت تنش برجا در توده سنگ اطراف مغار تعیین شد. به کمک مسیر طراحی نیروژی، تحلیل هاى بلوکی و تنش انجام شده با نرم افزارهاى Unwedge و 3dec، راستای N360 برای محور بزرگ مغار نیروگاه بختیاری انتخاب گردید. برای تحلیل پایداری مغار نیروگاه بختیاری در راستای انتخاب شده از روش هاى تجربی، تحلیل هاى بلوکی و تنش (نرم افزارهاى Unwedge و 3dec) استفاده شد و حجم و شعاع زون ناپایدار در اطراف این مغار شناسایی گردید و مشخص شد که این مغار بدون نصب سیستم نگهداری، شدیداً ناپایدار می باشد.

فصل اول: کلیات

۲	..... ۱-۱- مقدمه
۴	..... ۲-۱- روش تحقیق
	فصل دوم: تعیین راستای بهینه و تحلیل پایداری مغار نیروگاه های برق-آبی
۶	..... ۱-۲- تعیین راستای بهینه مغار نیروگاه های برق-آبی
۶	..... ۱-۱-۲- مقدمه
۶	..... ۲-۱-۲- روش های تجربی
۶	..... ۱-۲-۱-۲- مسیر طراحی نروژی
۱۱	..... ۲-۲-۱-۲- تجربیات هوک و براون
۱۵	..... ۳-۲-۱-۲- تجربیات هوک و موی
۱۶	..... ۴-۲-۱-۲- تجربیات برادی و براون
۱۶	..... ۵-۲-۱-۲- تجربیات ایوند
۱۶	..... ۶-۲-۱-۲- تجربیات هادسون
۱۷	..... ۷-۲-۱-۲- چند مثال از مغارهای احداث شده در جهان
۲۷	..... ۳-۱-۲- تحلیل بلوکی
۲۹	..... ۴-۱-۲- تحلیل تنش
۳۱	..... ۲-۲- تحلیل پایداری سازه های زیرزمینی
۳۱	..... ۱-۲-۲- مقدمه
۳۱	..... ۲-۲-۲- روش های تجربی
۳۱	..... ۱-۲-۲-۲- رده بندی بارتن (Q)
۳۳	..... ۲-۲-۲-۲- طبقه بندی ژئومکانیکی (RMR)
۳۴	..... ۳-۲-۲- بررسی پایداری بلوکهای سنگی
۳۶	..... ۴-۲-۲- تحلیل تنش

فصل سوم: مجموعه سد و نیروگاه بختیاری

۳۹	..... ۱-۳- مقدمه
۳۹	..... ۲-۳- جزئیات زمین شناسی محل
۴۰	..... ۳-۳- ساختارهای زمین شناسی منطقه
۴۱	..... ۴-۳- ناپیوستگی ها
۴۲	..... ۵-۳- جانمایی نیروگاه بختیاری

۴۳	..... پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ محل نیروگاه
۴۴	..... عملیات درزه نگاری محدوده مغار نیروگاه
فصل چهارم: تنش های برجا	
۴۸	..... ۱-۴- گسل زاگرس
۴۸	..... ۲-۴- وضعیت تنش های اصلی در ایران
۵۰	..... ۳-۴- جهت تنش های برجا و ساختارهای زمین شناسی محل
۵۲	..... ۴-۴- آزمایشات صحرائی تعیین تنش برجا
۵۲	..... ۵-۴- آزمایش شکاف گمانه
۵۳	..... ۱-۵-۴- اصول آزمایش
۵۵	..... ۲-۵-۴- تشریح سیستم آزمایش شکاف گمانه ای
۵۵	..... ۱-۲-۵-۴- پراب اسلاتر
۵۶	..... ۲-۲-۵-۴- واحد قرائت و کنترل الکتریکی
۵۷	..... ۳-۲-۵-۴- واحد کنترل هیدرولیک و پنوماتیک
۵۷	..... ۴-۲-۵-۴- سیستم خنک کننده
۵۷	..... ۵-۲-۵-۴- کابل ها و شیلنگ ها
۵۸	..... ۳-۵-۴- محاسبات
۵۹	..... ۶-۴- تفسیر نتایج آزمایشات تنش برجا
۶۳	..... ۷-۴- مقایسه تنش بر جای بدست آمده از آزمایشات شکاف گمانه و ساختارهای زمین شناسی محل
فصل پنجم: تعیین راستای بهینه مغار نیروگاه	
۶۵	..... ۱-۵- مقدمه
۶۵	..... ۲-۵- روش تجربی
۶۵	..... ۱-۲-۵- کمرباین گسل
۶۶	..... ۲-۲-۵- زون گسلی ایجاد شده توسط شاخه های گسل F_3
۶۸	..... ۳-۲-۵- توده سنگ واقع شده بین دو زون گسلی
۶۸	..... ۳-۵- تحلیل بلوکی
۶۹	..... ۱-۳-۵- کمرباین گسل
۷۰	..... ۲-۳-۵- زون گسلی ایجاد شده توسط شاخه های گسل F_3
۷۴	..... ۳-۳-۵- توده سنگ واقع شده بین دو زون گسلی
۷۹	..... ۴-۳-۵- نتیجه گیری

۸۰	..... ۴-۵- تعیین راستای مناسب مغار نیروگاه بختیاری به روش عددی
۸۰	..... ۱-۴-۵- انتخاب مناسب ترین روش عددی
۸۱	..... ۲-۴-۵- مدل سازی دوبعدی یا سه بعدی
۸۱	..... ۳-۴-۵- انتخاب روش عددی و نرم افزار مناسب برای تحلیل راستای مغار نیروگاه بختیاری
۸۲	..... ۴-۴-۵- نرم افزار 3DEC
۸۳	..... ۵-۴-۵- مدل سازی مغار نیروگاه بختیاری با استفاده از نرم افزار 3DEC
۸۳	..... ۱-۵-۴-۵- هندسه مدل
۸۴	..... ۲-۵-۴-۵- اعمال شرایط مرزی و تنش های پر جا
۸۶	..... ۳-۵-۴-۵- انتخاب مدل رفتاری مناسب
۸۶	..... ۴-۵-۴-۵- مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ
۹۰	..... ۵-۵-۴-۵- تعیین خصوصیات توده سنگ و ناپیوستگی ها
۹۱	..... ۶-۵-۴-۵- حل مدل
۹۲	..... ۶-۴-۵- تعیین راستای مناسب مغار نیروگاه بختیاری
	فصل ششم: تحلیل پایداری
۹۸	..... ۱-۶- مقدمه
۹۹	..... ۲-۶- تحلیل پایداری مغار نیروگاه برق آبی سد بختیاری
۹۹	..... ۳-۶- رده بندی توده های سنگی موجود و بررسی ناپایداری آن ها
۹۹	..... ۱-۳-۶- کمرباطین گسل F_3
۱۰۰	..... ۲-۳-۶- زون گسلی ایجاد شده توسط شاخه های گسل F_3
۱۰۰	..... ۳-۳-۶- توده سنگ واقع شده بین دو زون گسلی
۱۰۱	..... ۴-۳-۶- متوسط زمان خودایستایی توده سنگ
۱۰۱	..... ۵-۳-۶- حداکثر دهانه بدون نگهداری مغار
۱۰۱	..... ۶-۳-۶- فشار وارد بر سیستم نگهداری
۱۰۲	..... ۷-۳-۶- پیش بینی شرایط زمین
۱۰۳	..... ۸-۳-۶- شرایط آب زمین
۱۰۴	..... ۴-۶- بررسی ناپایداری قطعات سنگی بزرگ
۱۰۵	..... ۱-۴-۶- کمرباطین گسل
۱۰۶	..... ۲-۴-۶- زون گسلی ایجاد شده توسط شاخه های گسل F_3
۱۰۷	..... ۳-۴-۶- توده سنگ واقع شده بین دو زون گسلی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۰۸	۵-۶- تحلیل تنش با نرم افزار 3DEC.....
۱۱۷	۶-۶- ارزیابی نقش نیروهای خارجی (نیروهای لرزه ای).....
	فصل هفتم: نتایج و پیشنهادات
۱۲۱	۱-۷- نتیجه گیری.....
۱۲۳	۲-۷- پیشنهادات.....
	منابع و مآخذ
۱۲۵	منابع و مآخذ.....
	پیوست ها
۱۲۸	پیوست ۱: طبقه بندی توده سنگ.....
۱۳۳	پیوست ۲: شعاع زون پلاستیک و شکست سنگ بکر در راستاهای مختلف محور مغار.....
۱۴۱	پیوست ۳: شعاع ضریب اطمینان در اطراف مغار نیروگاه بختیاری.....

۳	شکل ۱-۱) عرض و عمق معمول مغارهای زیرزمینی در جهان
۱۱	شکل ۱-۲) نقش امتداد تونل نسبت به امتداد شکستگی ها در ناپایداری آن
۱۲	شکل ۲-۲) نقش توجیه گوه های سنگی نسبت به محور تونل در پایداری آن
۱۳	شکل ۳-۲) انتخاب سنگ های مناسب برای سقف تونل بمنظور تامین پایداری بهتر
۱۳	شکل ۴-۲) ارزیابی شکل های مختلف مقطع تونل از نظر پایداری
۱۴	شکل ۵-۲) توجیه مناسب مقطع تونل نسبت به امتداد تنش های اصلی
۱۴	شکل ۶-۲) تاثیر ابعاد حفاریات روی اندازه بلوک های با پتانسیل ناپایداری
۱۵	شکل ۷-۲) تاثیر دو دسته درزه با شیب ۴۵ درجه بر روی جابجایی های توده سنگ دربرگیرنده مغار
۱۸	شکل ۸-۲) وضعیت محور مغار نسبت به دسته درزه ها
۲۰	شکل ۹-۲) جهت ناپیوستگی ها و تنش افقی ماکزیمم با توجه به محور مغار نیروگاه
۲۰	شکل ۱۰-۲) مقطع زمین شناسی و مغارهای نیروگاه ایرتان
	شکل ۱۱-۲) راستای حفاریات زیرزمینی در رابطه با گسل های موجود در ماسه سنگ لایه ای دربرگیرنده مغار
۲۳	نیروگاه و ترانسفورمر در پروژه مینگتان، صفحه خاکستری مشخص کننده شیب و امتداد گسل ها است
۲۴	شکل ۱۲-۲) جانمایی محور بزرگ مغار با توجه به لایه بندی و ناپیوستگی ها
۲۵	شکل ۱۳-۲) طرح شماتیکی از مغارهای نیروگاه زیرزمینی مسجد سلیمان به همراه زمین شناسی توده سنگ
۲۶	شکل ۱۴-۲) مقطعی از توپوگرافی منطقه به همراه محل مغارها و تست های برجا تنش
۲۷	شکل ۱۵-۲) عملکرد تنش های اصلی روی مغار
۲۸	شکل ۱۶-۲) نمودار تعیین راستای مناسب محور تونل در یک زاویه میل ثابت
۲۸	شکل ۱۷-۲) نمودار تعیین راستای مناسب محور تونل در زوایای میل مختلف
۲۹	شکل ۱۸-۲) خطوط تراز تعیین راستای مناسب محور تونل در زوایای میل مختلف
۳۲	شکل ۱۹-۲) رابطه بین حداکثر عرض تونل که بدون نصب سیستم نگهداری پایداری می ماند و رده سنگ در طبقه بندی Q
	شکل ۲۰-۲) مقایسه زمان پابرجایی و حداکثر دهانه تونل که بدون نصب سیستم نگهداری پایداری می ماند براساس
۳۳	استاندارد کشورهای مختلف
۳۴	شکل ۲۱-۲) رابطه بین زمان پابرجایی، رده سنگ RMR و دهانه تونل
	شکل ۲۲-۲) نمای سه بعدی از مغار نیروگاه ریوگراند (گوه های با پتانسیل ناپایداری در سقف، دیواره ها، پله و کف
۳۶	تشکیل شده اند.)
۴۱	شکل ۱-۳) عکس تهیه شده از تاقدیس سیاه کوه و گسل F ₁ -F ₃
۴۱	شکل ۲-۳) نقشه زمین شناسی محل سد و نیروگاه برق آبی بختیاری
۴۳	شکل ۳-۳) مقاطع طولی و عرضی از مغار نیروگاه برق آبی سد بختیاری
۴۳	شکل ۴-۳) پلان رسم شده در افق ۵۵۰ متری از محدوده مغار نیروگاه بختیاری

- شکل ۳-۵) مقطع طولی رسم شده از محدوده مغار نیروگاه بختیاری ۴۳
- شکل ۳-۶) خطوط هم تراز ناپیوستگی های موجود در محل کمر پایین گسل F_3 ، رسم شده توسط نرم افزار DIPS ۴۴
- شکل ۳-۷) خطوط هم تراز ناپیوستگی های موجود در زون گسلی ایجاد شده توسط شاخه های گسل F_3 ، رسم شده توسط نرم افزار DIPS ۴۵
- شکل ۳-۸) خطوط هم تراز ناپیوستگی های موجود در توده سنگ واقع شده بین دو زون گسلی F_3 ، رسم شده توسط نرم افزار DIPS ۴۶
- شکل ۴-۱) نقشه تعمیم یافته تنش های برجای جهانی که در آن جهات متوسط تنش های اصلی نشان داده شده است (محدوده مشخص شده مربوط به ایران مرکزی و صفحه عربستان می باشد). ۴۹
- شکل ۴-۲) جهت تنش افقی ماکزیمم با توجه به چین خوردگی سیاه کوه ۵۱
- شکل ۴-۳) جهت تنش افقی ماکزیمم با توجه به گسل امتداد لغز راستگرد F_2 ۵۱
- شکل ۴-۴) جهت تنش افقی ماکزیمم با توجه به دسته درزه ها در گالری GL_5 ۵۱
- شکل ۴-۵) جهت تنش افقی ماکزیمم با توجه به دسته درزه ها در گالری GL_6 ۵۱
- شکل ۴-۶) تصویر جانمایی اره و سنسور کرنش سنج ۵۳
- شکل ۴-۷) وضعیت قرارگیری سنسور کرنش سنج نسبت به شکاف ایجاد شده ۵۴
- شکل ۴-۸) نمونه ای از نتایج شش شکاف ایجاد شده در دیواره گمانه ۵۴
- شکل ۴-۹) تجهیزات آزمایش شکاف گمانه ای ۵۵
- شکل ۴-۱۰) نمای کلی پراب اسلاتر ۵۶
- شکل ۴-۱۱) واحد قرائت کننده ۵۶
- شکل ۴-۱۲) واحد کنترل پنوماتیک و هیدرولیک ۵۷
- شکل ۴-۱۳) راستای تنش های برجا (راستای σ_{Hmax}) بدست آمده توسط آزمایش شکاف گمانه ۶۲
- شکل ۵-۱) راستاهای پیشنهادی مغار نیروگاه بختیاری با توجه به ناپیوستگی های موجود در کمر پایین گسل F_3 ۶۶
- شکل ۵-۲) راستاهای پیشنهادی مغار نیروگاه بختیاری با توجه به ناپیوستگی های موجود در زون گسلی ایجاد شده توسط شاخه های گسل F_3 ۶۷
- شکل ۵-۳) راستاهای پیشنهادی مغار نیروگاه بختیاری با توجه به ناپیوستگی های موجود در توده سنگ واقع شده بین دو زون گسلی ۶۸
- شکل ۵-۴) منحنی بدست آمده از ضریب اطمینان گوه تشکیل شده در سقف مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه ۷۱
- شکل ۵-۵) منحنی بدست آمده از حجم گوه در حال افتادن از سقف مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه ۷۱
- شکل ۵-۶) منحنی بدست آمده از ضریب اطمینان گوه تشکیل شده در دیواره مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه ۷۲
- شکل ۵-۷) منحنی بدست آمده از حجم گوه در حال لغزش از دیواره مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه ۷۲
- شکل ۵-۸) منحنی بدست آمده از ضریب اطمینان گوه تشکیل شده در سقف مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه ۷۴

۷۵	شکل ۵-۹) منحنی بدست آمده از حجم گوه در حال افتادن از سقف مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه
۷۵	شکل ۵-۱۰) منحنی بدست آمده از ضریب اطمینان گوه تشکیل شده در دیواره مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه
۷۶	شکل ۵-۱۱) منحنی بدست آمده از حجم گوه در حال لغزش از دیواره مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه
۷۷	شکل ۵-۱۲) منحنی بدست آمده از ضریب اطمینان گوه تشکیل شده در سقف مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه
۷۸	شکل ۵-۱۳) منحنی بدست آمده از حجم گوه در حال افتادن از سقف مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه
۷۸	شکل ۵-۱۴) منحنی بدست آمده از ضریب اطمینان گوه تشکیل شده در دیواره مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه
۷۹	شکل ۵-۱۵) منحنی بدست آمده از حجم گوه در حال لغزش از دیواره مغار در راستاهای مختلف برحسب درجه
۸۴	شکل ۵-۱۶) مشخصات هندسی مدل ساخته شده از نیروگاه بختیاری در نرم افزار 3DEC
۸۴	شکل ۵-۱۷) مشخصات هندسی یک چهارم مغار نیروگاه بختیاری (مدل شده در نرم افزار 3DEC)
۸۵	شکل ۵-۱۸) استفاده از صفحات تقارن برای مدل ساخته شده در نرم افزار 3DEC
۹۲	شکل ۵-۱۹) سه وضعیت از پایداری زمین بعد از حفاری
۹۴	شکل ۵-۲۰) انتخاب راستای مناسب مغار با توجه شعاع زون پلاستیک در ابتدا و انتهای آن
۹۴	شکل ۵-۲۱) انتخاب راستای مناسب مغار با توجه شعاع زون پلاستیک در سقف آن
۹۴	شکل ۵-۲۲) انتخاب راستای مناسب مغار با توجه شعاع زون پلاستیک در دیواره آن
۱۰۵	شکل ۶-۱) مدل ساخته شده از مغار نیروگاه بختیاری در نرم افزار UNWEDGE
۱۰۶	شکل ۶-۲) بزرگترین گوه های ایجاد شده در یال های مغار در کمر پایین گسل
۱۰۷	شکل ۶-۳) بزرگترین گوه های ایجاد شده در یال های مغار در زون گسلی گسل F ₃
۱۰۸	شکل ۶-۴) بزرگترین گوه های ایجاد شده در یال های مغار در توده سنگ بین دو زون گسلی
۱۰۹	شکل ۶-۵) هندسه مدل ساخته شده
۱۱۰	شکل ۶-۶) تغییرات نیروهای نامتعادل کننده در طول فرایند حل مساله در مدل ساخته شده
۱۱۱	شکل ۶-۷) تغییرات جابجایی در یک نقطه از مدل، در طول فرایند حل مساله
۱۱۱	شکل ۶-۸) نمایی از مدل نهایی ساخته شده نیروگاه بختیاری
۱۱۲	شکل ۶-۹) نمایی از یک چهارم مدل شده مغار نیروگاه بختیاری
۱۱۲	شکل ۶-۱۰) بردارهای جابجایی در سقف، ابتدا و انتهای مغار نیروگاه بختیاری (مقطع طولی)
۱۱۳	شکل ۶-۱۱) بردارهای جابجایی در دیوار، ابتدا و انتهای مغار نیروگاه بختیاری (مقطع طولی)
۱۱۳	جدول ۶-۱۲) کنتورهای تنش اصلی ماکزیمم در اطراف مغار (مقطع عرضی در ۵۰ متری طول مغار)
۱۱۴	جدول ۶-۱۳) کنتورهای تنش اصلی مینیمم در اطراف مغار (مقطع عرضی در ۵۰ متری طول مغار)

۱۷	جدول ۱-۲) مقادیر شیب و جهت شیب چهار دسته درزه، در یکی از موقعیت های مغار نیروگاه ریوگران
۱۹	جدول ۲-۲) جهت گیری ناپیوستگی ها
۲۱	جدول ۳-۲) جهت گیری ناپیوستگی ها
۲۲	جدول ۴-۲) تنش های برجای اندازه گیری شده
۲۵	جدول ۵-۲) جهت گیری ناپیوستگی ها
۲۶	جدول ۶-۲) مقادیر و جهت تنش های اصلی
۳۹	جدول ۱-۳) توصیف لیتولوژی واحدهای سروک
۴۳	جدول ۲-۳) خصوصیات سنگ بکر در محدوده نیروگاه بختیاری
۴۳	جدول ۳-۳) مشخصات ناپیوستگی ها در محدوده نیروگاه بختیاری
۴۴	جدول ۴-۳) مدول تغییر شکل پذیری بدست آمده از آزمایشات دیلاتومتری در محدوده نیروگاه بختیاری
۴۵	جدول ۵-۳) شیب و جهت شیب ناپیوستگی ها در محل کمر پایین گسل F ₃
۴۵	جدول ۶-۳) شیب و جهت شیب ناپیوستگی ها در زون گسلی ایجاد شده توسط شاخه های گسل F ₃
۴۶	جدول ۷-۳) شیب و جهت شیب ناپیوستگی ها در توده سنگ واقع شده بین دو زون گسلی F ₃
۴۶	جدول ۸-۳) ویژگی های ناپیوستگی ها در محل نیروگاه
۵۹	جدول ۱-۴) خلاصه نتایج آزمایشات شکاف گمانه در گالری GL ₅
۵۹	جدول ۲-۴) تانسورهای تنش بدست آمده از آزمایشات شکاف گمانه در گالری GL ₅
۶۰	جدول ۳-۴) تنش های اصلی برجای بدست آمده توسط آزمایش شکاف گمانه در گمانه های SLT _{123L5}
۶۰	جدول ۴-۴) بزرگی و جهت تنش های افقی و قائم در محل گمانه های SLT _{123L5}
۶۰	جدول ۵-۴) خلاصه نتایج آزمایشات شکاف گمانه در گالری GL ₆
۶۱	جدول ۶-۴) تانسورهای تنش بدست آمده از آزمایشات شکاف گمانه در گالری GL ₆
۶۲	جدول ۷-۴) تنش های اصلی برجای بدست آمده توسط آزمایش شکاف گمانه در گمانه های SLT _{123L6}
۶۲	جدول ۸-۴) بزرگی و جهت تنش های افقی و قائم در محل گمانه های SLT _{123L6}
۶۹	جدول ۱-۵) مشخصات ناپیوستگی ها در کمر پایین گسل و بکار رفته در نرم افزار UNWEDGE
۷۳	جدول ۲-۵) مشخصات ناپیوستگی ها در زون گسلی و بکار رفته در نرم افزار UNWEDGE
۷۴	جدول ۳-۵) مشخصات ناپیوستگی ها در توده سنگ بین دو زون گسلی و بکار رفته در نرم افزار UNWEDGE
۸۸	جدول ۴-۵) مقایسه مدول تغییر شکل پذیری بدست آمده از طبقه بندی RMR با آزمایشات دیلاتومتری
۸۸	جدول ۵-۵) مقایسه مدول تغییر شکل پذیری بدست آمده از طبقه بندی Q با آزمایشات دیلاتومتری
۸۸	جدول ۶-۵) مقایسه مدول تغییر شکل پذیری بدست آمده از طبقه بندی GSI با آزمایشات دیلاتومتری
۹۰	جدول ۷-۵) خصوصیات توده سنگ در محدوده نیروگاه بختیاری

۹۱	جدول ۵-۸) خصوصیات ناپیوستگی ها در محدوده نیروگاه بختیاری
۹۳	جدول ۵-۹) مقایسه متوسط شعاع زون پلاستیک اطراف مغار نیروگاه در راستاهای مختلف
۱۰۲	جدول ۶-۱) فشار وارد بر سیستم نگهداری در محل های مختلف محدوده نیروگاه
۱۰۵	جدول ۶-۲) مشخصات ناپیوستگی ها در کمربند گسل و بکار رفته در نرم افزار UNWEDGE
۱۰۶	جدول ۶-۳) مشخصات ناپیوستگی ها در زون گسلی و بکار رفته در نرم افزار UNWEDGE
۱۰۷	جدول ۶-۴) مشخصات ناپیوستگی ها در توده سنگ بین دوزون گسلی و بکار رفته در نرم افزار UNWEDGE
۱۰۹	جدول ۶-۵) تانسور تنش برجا در ۰ تا ۱۶۵ متری مدل
۱۰۹	جدول ۶-۶) تانسور تنش برجا در ۱۶۵ تا ۲۴۰ متری مدل
۱۱۴	جدول ۶-۷) پارامترهای ورودی و محاسبه شده در معیار هوک براون در کمربند گسل و در لایه SV ₅
۱۱۵	جدول ۶-۸) پارامترهای ورودی و محاسبه شده در معیار هوک براون در کمربند گسل و در لایه SV ₆
۱۱۵	جدول ۶-۹) پارامترهای ورودی و محاسبه شده در معیار هوک براون در زون گسلی F ₃
۱۱۵	جدول ۶-۱۰) پارامترهای ورودی و محاسبه شده در معیار هوک براون در توده سنگ بین دو زون گسلی
۱۱۶	جدول ۶-۱۱) متوسط فاصله رسیدن به ضریب اطمینان یک بر اساس معیار هوک براون در راستای N360
۱۱۶	جدول ۶-۱۲) متوسط فاصله رسیدن به ضریب اطمینان یک بر اساس معیار موهر کولمب در راستای N360
۱۱۷	جدول ۶-۱۳) متوسط شعاع زون پلاستیک اطراف مغار در راستای N360

- a: شعاع تونل
B: دهانه یا قطر تونل
C: مقاومت چسبندگی
DSCT: تکنیک کنترل مستقیم کرنش
E: مدول الاستیک سنگ
E_m: مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ
ESR: نسبت نگهداری حفره زیرزمینی
G: مدول برشی سنگ بکر
G_m: مدول برشی توده سنگ
GSI: شاخص مقاومت زمین شناسی
H: عمق تونل یا روباره
I_a: شاخص هوازدگی درزه ها
I_n: ضریب دسته درزه
I_r: فاکتور زبری درزه
I_w: فاکتور کاهش درزه
K: نسبت تنش افقی به تنش قائم
k: مدول حجمی
K_H: نسبت تنش افقی ماکزیمم به تنش قائم
K_n: سختی نرمال
K_s: سختی برشی
l: طول مابین نقاط اندازه گیری مابین دو کشیدگی سنج
M: ضریبی که اثرات کرنش سه محوره را در محاسبات وارد می نماید
m: فاکتور کاهش مقاومت فشاری تک محوره
M_i: ثابت سنگ
N: عدد توده سنگ
n: فاکتور کاهش مدول یانگ
P_v: فشار نگهداری سقف
P_h: فشار نگهداری دیواره
Q (Rock Mass Quality System): شاخص کیفیت تونلسازی
Q_w: فاکتور دیواره
RMI (Rock Mass Index): شاخص توده سنگ

RMR (Rock Mass Rating): شاخص رده بندی ژئومکانیکی سنگ

RQD (Rock Quality Designation): ضریب کیفیت سنگ

R_f : ضریب کرنش

S: فاصله داری

Span: حداکثر دهانه تونل خودنگهدار

SRF: ضریب کاهش تنش

S.F: ضریب اطمینان

U_c : نشست سقف

U_1 : میزان جابجایی در نقطه ۱

U_2 : میزان جابجایی در نقطه ۲

φ : زاویه اصطکاک داخلی

γ : چگالی سنگ

ν : ضریب پواسون

σ_c : مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر

σ_{cm} : مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ

ϵ_c : کرنش بحرانی

ϵ_f : کرنش شکست تک محوری

ϵ_θ : کرنش مماسی

ϵ_r : کرنش شعاعی

σ_x : تنش در جهت X

σ_y : تنش در جهت Y

σ_z : تنش در جهت Z

τ_{xy} : تنش برشی در صفحه XY

τ_{xz} : تنش برشی در صفحه XZ

τ_{yz} : تنش برشی در صفحه YZ

σ_1 : تنش اصلی ماکزیمم

σ_2 : تنش اصلی متوسط

σ_3 : تنش اصلی مینیمم

σ_H : ماکزیمم تنش افقی

σ_h : مینیمم تنش افقی

σ_v : تنش قائم

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

مکانیک سنگ با بسیاری از فعالیت های مهندسی فضاهای زیرزمینی از جمله تعیین مکان، ابعاد، شکل و جهت یافتگی سازه، انتخاب تکیه گاه ها، هندسه و جانمایی راههای دسترسی و مهندسی آتشیاری ارتباط مستقیم دارد. مکانیک سنگ اطلاعاتی را فراهم می کند که بیشترین ارتباط را با موارد یاد شده دارند؛ این اطلاعات عبارتند از: اندازه گیری تنش اولیه، نظارت بر تنش های ایجاد شده در پیرامون حفاریات، اندازه گیری ویژگیهای مواد، تحلیل تنش ها و کرنش ها، دما و جریان آب در تکیه گاه، تفسیر قرائت های ابزاری [۱].

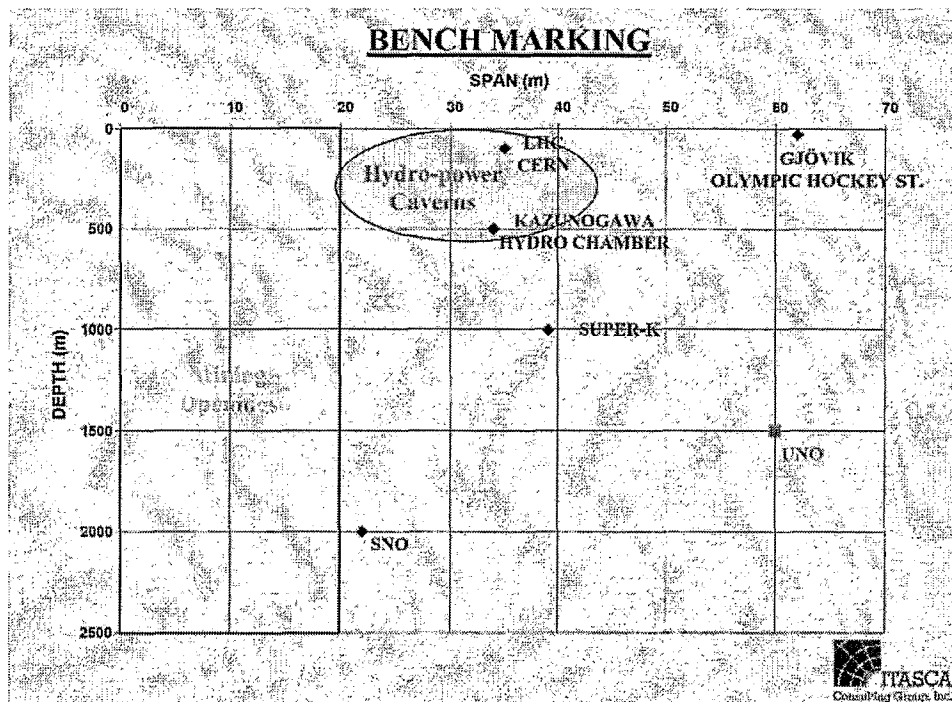
از جمله سازه های زیرزمینی مغارها (فضاهای بزرگ زیرزمینی) می باشند که در اکثر کشورهای جهان با کاربری های بسیار متنوعی در حال بهره برداری می باشند. بطور کلی می توان مغارها را در پنج رده مختلف شامل: نیروگاه های برق آبی، ذخیره سیالات، دفن زباله های هسته ای، سیستم های فاضلاب و کاربری های متفرقه طبقه بندی کرد. استفاده از این فضاها با توجه به نیازهای جدید جامعه بشری (نظیر دفن زباله های هسته ای) رو به گسترش است [۲].

اولین گام در طراحی یک مغار بزرگ زیرزمینی انجام مطالعات اکتشافی است. سپس براساس اطلاعات جمع آوری شده در این مرحله، خصوصیات پروژه از جمله محل، راستای محور طولی، شکل مقطع، نوع و تعداد وسایل نگهداری و سیستم رفتارنگاری مغار تعیین می گردد. مشخصات این فضاهای بزرگ زیرزمینی را باید بگونه ای انتخاب کرد که حتی المقدور ابعاد و تعداد گوه های ناپایدار، کاهش یابد [۲].

در مورد ابعاد حفاریات بزرگ زیرزمینی در جهان گروه ITASCA تحقیقی انجام داده است. طبق گزارش منتشر شده توسط این گروه (شکل ۱-۱)، عرض مغار نیروگاه های برق آبی احداث شده در جهان بین ۲۰ تا ۴۵ متر و عمق آن ها تا ۶۰۰ متر زیر سطح زمین می باشد [۳].

تعیین راستای مناسب محور طولی فضاهای بزرگ زیرزمینی (مغارها)، یکی از مهمترین مسائلی است که مهندسین طراح سازه های زیرزمینی در مراحل اولیه طراحی باید به آن توجه نمایند. زیرا انتخاب درست جهت محور یک سازه زیرزمینی می تواند ابعاد و تعداد گوه های ناپایدار و همچنین میزان همگرایی توده سنگ اطراف سازه را در حد قابل توجهی کاهش دهد. در نتیجه هزینه نصب سیستم نگهداری فضای زیرزمینی را به کمترین مقدار خود تعدیل کند. اهمیت این موضوع بگونه ای است که می تواند سیستم نگهداری یک فضای زیرزمینی را از یک سیستم

نگهداری سنگین مثل قاب های فولادی و بتن درجا به یک سیستم نگهداری سبک مثل شاکریت و پیچ سنگ موضعی و یا حتی خودنگهدار تغییر دهد [۴].



شکل ۱-۱ عرض و عمق معمول مغارهای زیرزمینی در جهان [۳]

طراحی سیستم نگهداری فضاهای بزرگ زیرزمینی، یکی از مهمترین مسائلی است که مهندسين طراح سازه های زیرزمینی باید به آن توجه نمایند. زیرا این سازه ها باید برای مدت های خیلی طولانی، پایدار بمانند. برای این منظور سازه زیرزمینی مورد تحلیل پایداری قرار می گیرد تا مشخص شود. که این سازه نیازی به نصب سیستم نگهداری ندارد و یا بالعکس، هرچه سریعتر باید سیستم نگهداری موقت را نصب کرد. بدین ترتیب، بررسی پتانسیل پایداری و یا ناپایداری سازه های زیرزمینی (تحلیل پایداری)، در واقع مقدمه ای بر طراحی سیستم نگهداری آنها محسوب می شود [۵].