



دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده علوم

گروه زمین شناسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد زمین شناسی

(گرایش زمین شناسی مهندسی)

عنوان:

ارزیابی خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ و ارزیابی مخاطرات محتمل زمین شناسی در

مسیر تونل انتقال آب چهل چای به نرماناب

استاد راهنما:

دکتر غلامرضا لشکری پور

دکتر محمد غنفوری

نخارش:

مرتضی رمضانانی

دی ماه ۱۳۸۹



University of Mashhad
Faculty of Science

A Thesis Presented for M.Sc Degree
In Engineering Geology

Title:

Assessment of geomechanical properties of rock mass and possible
geological hazards in the path of Chehlchay water tunnel to Narmab

Supervisor:

Professor Dr. Gholam Reza Lashkaripour

Professor Dr. Mohammad Ghafoori

By:

Morteza Ramezani

January 2011

چکیده

اهداف اصلی این پژوهش بررسی خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ، مخاطرات زمین‌شناسی - ژئوتکنیکی و تحلیل پایداری تونل انتقال آب چهل‌چای به نرماب می‌باشد. این تونل آب مازاد رودخانه چهل‌چای را پس از احداث سد انحرافی چهل‌چای به پشت سد مخزنی نرماب منتقل می‌کند. ساختگاه سد انحرافی چهل‌چای در ۵ کیلومتری شهر مینودشت می‌باشد. سیستم انتقال آب از چهل‌چای شامل سد انحرافی، کانال و تونل انتقال آب می‌باشد و وظیفه انتقال آب با دبی ۸ متر مکعب بر ثانیه را به صورت ثقلی به دریاچه سد مخزنی نرماب بر عهده دارند. طول تونل ۳۱۷۵ متر می‌باشد. ورودی آن در حدود ۶۵۰ متری شمال غربی روستای نالاج در ساحل چپ رودخانه چهل‌چای و خروجی آن در جنوب روستای آرام‌نرو و در ساحل راست رودخانه نرماب قرار دارد.

زمین‌شناسی مسیر تونل بسیار پیچیده و شامل سازندهای شمشک، خوش‌ییلاق، میلا و سلطان‌میدان می‌باشد. بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی انجام شده شامل برداشت‌های صحرایی، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، کاوش‌های زیر سطحی از طریق حفر گمانه و گالری‌های اکتشافی به همراه ثبت مشخصات مغزه‌های حفاری، انجام آزمایش‌های لوزن و آزمایش‌های مکانیک سنگ بر روی تعدادی از مغزه‌های برداشت شده می‌باشد. برای بررسی دقیق توده سنگ‌های مسیر تونل، طول آن به هشت ناحیه (I, A, A-B, B, C, D, E, O) تقسیم شده است. پارامترهای مقاومتی توده سنگ در هر محدوده از طول با استفاده از نرم افزار Roclab برآورد شد. سپس با توجه به پیچیدگی مسیر تونل از نظر جنس سنگ‌ها، مناطق خردشده و گسلی و همچنین بالا بودن تراز آب در تمام مسیر تونل بجز در دهانه‌های ورودی و خروجی مهمترین خطراتی که پتانسیل ایجاد مشکل در اجرای تونل را دارند، مورد بررسی قرار گرفت. این مخاطرات شامل لهیدگی، تورم، آب‌ورودی به تونل، انفجار گاز و ریزش و لغزش گوه‌ها از سقف و دیواره‌ها می‌باشد. در انتها تحلیل پایداری تونل با استفاده از روش‌های تجربی (برپایه طبقه‌بندی RMR، Q) و تئوری بلوک (بوسیله نرم افزار Unwedge) انجام شده است. بطور کلی مقطع گسلی (C) و کنتاکت شمشک-خوش‌ییلاق (A-B) از نظر لهیدگی، تورم، آب‌ورودی به تونل و ریزش سقف و دیواره بحرانی‌ترین مقاطع می‌باشند. در سازند شمشک (A)، لهیدگی، تورم، انفجار گاز و ریزش سقف محتمل است. در سازند خوش‌ییلاق (B) مهمترین مسئله آب‌ورودی به تونل می‌باشد. در سازند‌های میلا (D) و بازالت‌های سلطان‌میدان (E) مشکل خاصی بجز سقوط گوه‌ها انتظار نمی‌رود.

Abstract

The aim of this study is investigation of geomechanical properties of rock mass, Geological and geotechnical hazards and stability analysis of Chehlchay water tunnel to Narmab. The tunnel will pass surplus water Chehlchay River after construction of Chehlchay diversion dam in the behind of Narmab dam. The site is located in five kilometers from the Minoodasht city. Water delivery system consists of diversion dam channal and water transmission tunnel are responsible to the water transfer with a discharge rate of 8 cubic meters per second into the lake of Narmab Dam. The tunnel is 3175 meters in long. That inlet of tunnel is located about 650 meters north west Nalaj village in the left bank of Chehlchay river and outlet of tunnel is in the south Aramnary village and the right bank of Narmab river.

Geology of the tunnel is too complex and includes Shemshak, Khosh Yeylagh, Mila and Sultan Meydan formation. The engineering geology studies includes of field investigation, geological mapping, and underground exploration through boreholes drilled and exploration gallery and recorded properties of drilling core and also Lugeon and mechanical properties test for some sample were performed. For appropriate investigation the tunnel has been divided to eight part (I, A, A-B, B, C, D, E, O). Mechanical parameters using of Roclab software was investigated. then with attention of tunnel way from rock kind, crashed and faulted regions and high level of groundwater point of viwe was investigated. The hazards include squeezing, swelling, water seepage in tunnel, gas explosion and falling of wedge from the ceiling. At the end stability analysis using of experimental method (RMR, Q) and block theory (using of Unwedge software) were performed. Totally the fault section (C) and Shemshak-Khoshyelagh contact (A-B) from the squeezing, swelling, gas explosion point of viwe are more critical than other section. There is probability of squeezing, swelling and falling from ceiling in Shemshak information (A). The most important thing in Khoshyeelagh formation(B) is the water inflow. There is no problem with the Mila information (D) and Soltan Meydan (E) except probability falling from the ceiling.

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم کہ اسوہ صبر و محبت ہستند

بہ پاس مہربانی و احساسشان

و

تقدیم بہ برادران مہربانم بہ پاس دلگرمی ہائیشان

شکر و قدردانی

سپاس یکران ایزدمنان را که در تو الطافش توفیق آموختن در جوار بارگاه ملکوتی ثامن الحجج علی بن موسی الرضا، میسر کردید و در گذرگاه رستن بهواره سیه کسرت و هجوم بوده تا توانم در پناه الطافش توفیق آن یابم که در راه علم و دانش قدمی هر چند ناچیز بردارم.

ایجناب افتخار تحصیل در دوره کارشناسی ارشد و کسب علم و دانش در محضر استادی که اقدس ترین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد را داشته ام. از جمله آنها استاد برجسته و بزرگوار جناب آقای پروفیسور غلامرضا لشکری پور می باشد که در اینجا بر خود لازم می دانم تا از این استاد عزیز و کرامت پرور بخاطر راهنمایی های ارزنده ایشان در تهیه و تدوین این پایان نامه شکر و قدردانی نمایم. و برای ایشان از دگاه حق تعالی آرزوی تندرستی و بهروزی دارم.

از استاد و الا مقام، عزیز و ارجمندم، اسوه علم و اخلاق و نمونه کاملی از یک استاد جناب آقای پروفیسور محمد غفوری بخاطر راهنمایی های ارزنده، تلاش های بی دریغ و دلسوزانه ایشان در طی مدت تحصیل در دانشگاه فردوسی و همچنین در تهیه و تدوین این پایان نامه مرا مورد لطف و مساعدت خودشان قرار دادند و امکان استفاده از تجارب ارزنده و کرامت پرورانه شان را فراهم آوردند صمیمانه تقدیر و شکر می نمایم و از دگاه ایزدمنان برای ایشان توفیق و سلامت آرزو مندم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر ناصر حافظی مقدس که داور این پایان نامه را بر عهده داشته اند و از راهنمایی ها و پیشنهادات ارزنده ایشان بهره برده ام، سپاسگزاری می نمایم.

از اداره آب منطقه ای استان گلستان، جناب آقای دکتر کتکچی، مهندس ضیایی، مهندس ایزدی، مهندس دهبان، مهندس کابلی و همچنین شرکت مهندسین مشاور آب توسعه پایدار مخصوصاً جناب آقای مهندس غلامی بخاطر مساعدت و همکاری های بسیار صمیمانه و بی دریشان جهت بازدید از محل پروژه و در اختیار قرار دادن داده های مورد نیاز پاسخگویی می نمایم.

از دوست ارجمند و گرامی جناب آقای مهندس صادق طریقی آنلی که در طول مدت تدوین این پایان نامه بهواره از راهنمایی های ارزنده ایشان بهره برده ام کمال شکر را دارم و آرزو مندم که همچنان در پروتو عینت حق تعالی سلامت و پیروز باشند.

از کلیه استادی که اقدس ترین شناسی که در طی دوران تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد مر بون الطافشان بوده ام شکر کنم. همچنین بر خود لازم می دانم تا مراتب سپاسگزاری خود را به استادی دوره کارشناسی در دانشگاه کرگان نیز ابراز نمایم.

از دوستان و بهکلاسی های خوب و عزیزم آقایان مهندس میر مجرایی، مهندس حامد رضایی، مهندس یزدانفر، مهندس مرادی، مهندس بارانی، مهندس قائم پناه، مهندس اکبری، مهندس عزیزی، مهندس محتاری، مهندس علی رضایی، مهندس خداوادی، خانم مهندس ناصح، خانم مهندس بابایی، خانم مهندس صاحبی و سایر عزیزان که هر کدام به نحوی ایجناب را در طول تحصیل یاری نمودند صمیمانه شکر کنم.

در پایان بر خود لازم می دانم که از کالنان محترم گروه زمین شناسی پاسخگویی نمایم و امیدوارم یکی این عزیزان در تمامی مراحل زندگی موفیق و مؤید باشند و خداوند لطف خود را شامل تمامی این دوستان بنماید.

فصل اول: کلیات

۱	۱-۱: مقدمه
۱	۲-۱: موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی
۲	۳-۱: آب و هوای منطقه
۳	۴-۱: معرفی کلی طرح
۳	۵-۱: مشخصات فنی طرح
۳	۶-۱: مراحل انجام تحقیق
۴	۱-۶-۱: مطالعات دفتری
۴	۲-۶-۱: مطالعات صحرایی
۴	۱-۲-۶-۱: بازدید تجسسی
۴	۲-۲-۶-۱: مطالعات محلی
۵	۳-۶-۱: تجزیه و تحلیل داده ها
۵	۴-۶-۱: ارائه و تدوین نتایج مطالعات

فصل دوم: بررسی سابقه تحقیقات موضوع

۶	۱-۲: مقدمه
۶	۲-۲: خصوصیات مقاومتی و رفتاری توده سنگ
۷	۳-۲: روش های تجربی
۹	۴-۲: پیش بینی شرایط زمین جهت احداث تونل
۱۰	۵-۲: روش آنالیز ناپایداری ساختاری

فصل سوم: بررسی زمین شناسی مهندسی ساختگاه تونل

۱۲	۱-۳: مقدمه
۱۲	۲-۳: زمین شناسی
۱۲	۱-۲-۳: زمین ریخت شناسی
۱۴	۲-۲-۳: سنگ چینه شناسی

۱۶	۳-۳: زمین شناسی مهندسی مسیر تونل انتقال چهل‌چای به نرماب
۱۶	۳-۳-۱: اندازه‌گیری خصوصیات ناپیوستگی‌ها
۲۱	۳-۳-۲: ویژگی‌های مهندسی ناپیوستگی‌ها
۲۱	۳-۳-۱: تجزیه و تحلیل آماری ناپیوستگی‌ها
۲۳	۳-۳-۳: حفاری‌های اکتشافی
۲۴	۳-۳-۴: آزمون‌های صحرایی
۲۵	۳-۳-۴-۱: آزمایش نفوذپذیری سنگ (لوژن)
۲۶	۳-۳-۴-۲: مطالعات آزمایشگاهی
۲۷	۳-۳-۵: نتایج حاصل از بازدید و بررسی لاگ و مغزه‌ی گمانه‌های اکتشافی
فصل چهارم: طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ	
۲۹	۴-۱: مقدمه
۳۰	۴-۲: طبقه‌بندی ژئومکانیکی توده سنگ RMR
۳۱	۴-۳: طبقه‌بندی بر اساس شاخص کیفی تونل سازی (Q)
۳۳	۴-۴: مقایسه رده بندی RMR و Q توده سنگ‌های در برگیرنده تونل
۳۵	۴-۵: طبقه بندی توده سنگ بر اساس شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI)
فصل پنجم: برآورد خصوصیات ژئومکانیکی و تنش بر جای توده سنگ	
۳۸	۵-۱: مقدمه
۳۸	۵-۲: پارامترهای معیار جامع شکست هوک- براون
۳۹	۵-۲-۱: تعیین مقدار ثابت سنگ بکر (m_i)
۳۹	۵-۲-۱-۱: بر مبنای نتایج آزمایش سه محوره بر روی سنگ بکر
۴۰	۵-۲-۱-۲: بر اساس مقادیر مندرج در جدول پیشنهادی هوک
۴۱	۵-۲-۲: برآورد فاکتور بهم ریختگی توده سنگ (D)
۴۱	۵-۲-۳: مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ (σ_{cm})
۴۳	۵-۲-۴: مقاومت کششی توده سنگ (σ_t)

۴۳	۵-۲-۵: مقاومت کلی توده سنگ (σ'_{cm})
۴۴	۶-۲-۵: تخمین مدول تغییر شکل بر جای توده سنگ (E_m)
۴۵	۷-۲-۵: تعیین مقدار زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) و مقاومت چسبندگی (C):
۴۵	۸-۲-۵: ارزیابی پارامترهای رفتاری توده سنگ‌های در برگیرنده تونل
۴۵	۹-۲-۵: نرم افزار ROCLAB
۴۸	۳-۵: تنش‌های برجا
۴۸	۱-۳-۵: برآورد تنش‌های قائم
۴۹	۲-۳-۵: برآورد تنش‌های افقی

فصل ششم: بررسی مخاطرات زمین‌شناسی - ژئوتکنیکی در مسیر تونل

۵۲	۱-۶: مقدمه
۵۲	۲-۶: لهیدگی
۵۳	۱-۲-۶: تعریف لهیدگی
۵۴	۲-۲-۶: تشخیص رفتار لهیدگی
۵۴	۳-۲-۶: روش‌های برآورد میزان لهیدگی
۵۴	۱-۳-۲-۶: روش‌های تجربی
۵۷	۲-۳-۲-۶: روش‌های نیمه تجربی
۵۹	۳-۳-۲-۶: روش‌های تحلیلی
۶۰	۴-۲-۶: روش‌های حفاری در زمین‌های دارای لهیدگی
۶۰	۳-۶: خاصیت تورم توده‌های سنگی
۶۳	۱-۳-۶: قابلیت تورم سنگ‌ها
۶۳	۲-۳-۶: تعاریف
۶۳	۳-۳-۶: مروری بر مکانیسم‌های تورم
۶۴	۱-۳-۳-۶: مکانیسم‌های عمده فیزیکی - شیمیایی
۶۵	۲-۳-۳-۶: سایر مکانیسم‌های فیزیکی - شیمیایی

۶۵	۳-۳-۳-۶: نفوذ و انحلال گازها
۶۵	۴-۳-۳-۶: اثرات غیرمستقیم
۶۵	۴-۳-۶: فرایندهای تورم
۶۶	۵-۳-۶: پتانسیل تورم مواد رسی
۶۶	۶-۳-۶: سنگ‌های دارای قابلیت تورم
۶۷	۷-۳-۶: فشار تورم
۶۷	۸-۳-۶: تورم در تونل‌ها، دیدگاه‌های موجود
۶۸	۹-۳-۶: بررسی پدیده تورم در تونل انتقال چهل چای
۶۸	۱۰-۳-۶: تعیین مقاطع بحرانی از نظر تورم
۶۹	۴-۶: برآورد آب ورودی به تونل
۷۰	۱-۴-۶: روش‌های برآورد آب ورودی به تونل
۷۰	۲-۴-۶: روش‌های تحلیلی
۷۲	۳-۴-۶: تخمین میزان آب ورودی به تونل با استفاده از روش‌های تجربی
۷۲	۱-۳-۴-۶: تخمین مقدار نفوذ آب به درون تونل با استفاده از روش تجربی هور
۷۲	۱-۳-۴-۶: مؤلفه‌های جریان آب به داخل تونل
۷۳	۲-۳-۴-۶: جریان آب در حالت پایدار
۷۴	۳-۳-۴-۶: جریان آب اولیه از سینه کار تونل
۷۴	۲-۳-۴-۶: تخمین مقدار آب ورودی به تونل در حالت جریان پایدار
۷۶	۳-۳-۴-۶: تخمین مقدار جریان آب اولیه در سینه کار تونل
۷۶	۴-۳-۴-۶: محدودیت‌های این روش
۷۶	۵-۳-۴-۶: تعیین نفوذپذیری توده سنگ
۷۹	۶-۳-۴-۶: رابطه مقادیر لوژن و نفوذپذیری توده سنگ
۸۰	۷-۳-۴-۶: بررسی آب ورودی به تونل انتقال آب چهل چای
۸۵	۵-۶: بررسی حضور گاز در تونل

۸۶	۱-۵-۶: مخاطرات مربوط به مشکلات هوا در تونل‌ها
۸۶	۲-۵-۶: گاز متان
۸۷	۱-۲-۵-۶: منشا
۸۸	۳-۵-۶: گاز سولفید هیدروژن
۹۰	۱-۳-۵-۶: منشا
۹۰	۴-۵-۶: استانداردها و قوانین ایمنی کار در محیط H2S
۹۱	۵-۵-۶: گاز منواکسید کربن CO
۹۲	۶-۵-۶: گاز دی اکسید کربن CO2
۹۲	۷-۵-۶: دی اکسید گوگرد
۹۲	۸-۵-۶: طبقه بندی تونل‌ها از نظر گاز
۹۳	۹-۵-۶: راهکارهای اجرایی حین اجرا

فصل هفتم: تحلیل پایداری

۹۵	۱-۷: مقدمه
۹۵	۲-۷: روش‌های تجربی
۹۶	۱-۲-۷: روش تجربی طبقه بندی ژئومکانیکی (RMR)
۹۶	۱-۲-۷: زمان پابرجایی تونل بدون سیستم نگهدارنده
۹۷	۲-۲-۷: فشار بار موثر بر سیستم نگهدارنده در رده بندی ژئومکانیکی
۹۷	۳-۱-۲-۷: طراحی سیستم نگهدارنده بر اساس روش RMR
۹۸	۳-۷: روش تجربی شاخص کیفی تونلسازی (Q)
۹۸	۱-۳-۷: تعیین حداکثر دهانه خود پایداری بر اساس شاخص Q
۹۹	۲-۳-۷: تخمین فشار موثر بر سیستم نگهدارنده بر اساس شاخص Q
۹۹	۳-۳-۷: طراحی سیستم نگهدارنده بر اساس شاخص Q
۱۰۲	۴-۷: آنالیز ناپایداری ساختاری و تحلیل ترکیب ناپایداری ساختاری (در حالت سه بعدی)
۱۰۲	۱-۴-۷: فرضیات تئوری بلوک

۱۰۳ ۲-۴-۷: شناسایی گوه‌های بحرانی در توده سنگ‌های دربرگیرنده تونل

۱۰۶ ۳-۴-۷: بررسی ناپایداری ساختاری مقاطع E, D, B, A

۱۰۹ ۴-۴-۷: ارائه سیستم نگهداری با استفاده از نرم افزار UNWEDGE

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۱۵ ۱-۸: نتیجه‌گیری

۱۱۹ ۲-۸: پیشنهادات

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: اندازه‌گیری مشخصات ناپیوستگی‌ها با استفاده از روش (ISRM) (1981) ۱۹
- جدول ۲-۳: تقسیم بندی توده سنگ‌های ساختگاه تونل انتقال آب چهل چای ۱۹
- جدول ۳-۳: ویژگی های مهندسی ناپیوستگی های تونل چهل چای ۲۲
- جدول ۴-۳: موقعیت ناپیوستگی های اصلی در مسیر در تونل چهل چای ۲۳
- جدول ۵-۳: احجام عملیات حفاری های اکتشافی و ژئوتکنیکی در مطالعات مرحله دوم مسیر تونل انتقال چهل چای ۲۴
- جدول ۶-۳: مقادیر RQD بدست آمده از حفاری های انجام شده ۲۴
- جدول ۷-۳: نتایج حاصل از آزمایشات لوژن ۲۵
- جدول ۸-۳: نتایج آزمون های آزمایشگاهی بر روی نمونه های سنگی ۲۷
- جدول ۱-۴: نتایج طبقه بندی RMR برای مقاطع مختلف تونل ۳۲
- جدول ۳-۴: روابط بین RMR و Q از محققین مختلف ۳۳
- جدول ۲-۴: نتایج طبقه بندی Q برای مقاطع مختلف تونل ۳۴
- جدول ۴-۴: نتایج نتایج حاصل از طبقه بندی GSI در تونل ۳۷
- جدول ۱-۵: مقادیر ثابت m_i برای سنگ بکر، بر اساس نوع سنگ ۴۰
- جدول ۲-۵: نتایج آنالیز پارامترهای مقاومتی توده سنگ بر مبنای معیار هوک- براون بدون در نظر گرفتن انفجار ۴۷
- جدول ۳-۵: نتایج آنالیز پارامترهای مقاومتی توده سنگ بر مبنای معیار هوک- براون با در نظر گرفتن انفجار ۴۷
- جدول ۴-۵: وضعیت تنش‌های برجا در محدوده تونل ۵۱
- جدول ۱-۶: نتایج بدست آمده از معیار لهیدگی سینگ و همکاران در مقاطع مختلف تونل ۵۵
- جدول ۲-۶: نتایج بدست آمده از معیار لهیدگی گوئل و همکاران در مقاطع مختلف تونل ۵۶
- جدول ۳-۶: توصیف درجه لهیدگی توسط جتوا و همکاران ۵۷
- جدول ۴-۶: مقادیر لهیدگی برای مقاطع مختلف تونل ۵۸
- جدول ۵-۶: رده بندی شرایط لهیدگی براساس روش هوک و مارینوس ۵۹
- جدول ۶-۶: رده بندی شرایط لهیدگی تونل براساس روش هوک و مارینوس ۵۹
- جدول ۷-۶: پیش بینی شرایط لهیدگی به روش بارلا ۵۹

- جدول ۶-۸: رده بندی شرایط لهیدگی تونل براساس روش بارلا ۶۰
- جدول ۶-۹: پیش بینی پتانسیل لهیدگی در مقاطع مختلف تونل انتقال آب چهل چای ۶۰
- جدول ۶-۱۰: روش حفاری، نوع نگهدارنده ها و احتیاطات لازم برای انواع لهیدگی بر اساس شرایط توده سنگ ۶۱
- جدول ۶-۱۱: روابط تحلیلی مختلف برای پیش بینی آب ورودی به تونل ۷۱
- جدول ۶-۱۲: پارامترهای ورودی برای ترسیم هیستوگرام ها ۸۱
- جدول ۶-۱۳: مقادیر لوژن و نفوذپذیری معادل (Ke) برای مقاطع مختلف تونل با استفاده از نمودار هوور ۸۴
- جدول ۶-۱۴: پارامترهای ورودی برای تخمین آب ورودی با روش های تحلیلی ۸۴
- جدول ۶-۱۵: تخمین آب ورودی به تونل با استفاده از روش های تحلیلی ۸۵
- جدول ۶-۱۶: تخمین آب ورودی به تونل انتقال آب چهل چای با استفاده از روش های تجربی ۸۵
- جدول ۶-۱۷: عیار مجاز آلاینده های هوای تونل ۸۷
- جدول ۶-۱۸: اثرات فیزیولوژیکی گاز H2S در غلظت های مختلف ۸۹
- جدول ۶-۱۹: اثرات فیزیولوژیکی CO در غلظت های ppm مختلف ۹۱
- جدول ۷-۱: مقادیر تقریبی زمان پایداری برای مقاطع مختلف تونل بدون سیستم نگهدارنده ۹۶
- جدول ۷-۲: مقادیر فشار بار موثر بر سیستم نگهدارنده در مقاطع مختلف تونل در رده بندی ژئومکانیکی ۹۷
- جدول ۷-۳: تمهیدات اجرایی برای حفاری و نگهداری در مقاطع مختلف تونل ، منطبق با سیستم RMR ۹۸
- جدول ۷-۴: حداکثر دهانه خود پایدار تونل بر اساس شاخص Q ۹۹
- جدول ۷-۵: تخمین فشار بار بر سیستم نگهدارنده بر اساس شاخص Q ۹۹
- جدول ۷-۶: تمهیدات سیستم نگهدارنده بر اساس شاخص کیفی تونلسازی Q ۱۰۱
- جدول ۷-۷: مشخصات گوه های محتمل در مقطع A برای سطح آب صفر ۱۰۷
- جدول ۷-۸: مشخصات گوه های محتمل در مقطع A سطح آب ۱۸ متر ۱۰۷
- جدول ۷-۹: مشخصات گوه های محتمل در مقطع B سطح آب ۶۰ متر ۱۰۷
- جدول ۷-۱۰: مشخصات گوه های محتمل در مقطع B سطح آب ۹۰ متر ۱۰۸
- جدول ۷-۱۱: مشخصات گوه های محتمل در مقطع B سطح آب ۱۲۵ متر ۱۰۸
- جدول ۷-۱۲: مشخصات گوه های محتمل در مقطع D سطح آب ۱۴۰ متر ۱۰۸

- جدول ۷-۱۳: مشخصات گوه‌های محتمل در مقطع E سطح آب صفر ۱۰۸
- جدول ۷-۱۴: مشخصات گوه‌های محتمل در مقطع E سطح آب ۲۰ متر ۱۰۹
- جدول ۷-۱۵: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع A (سطح آب صفر) ۱۰۹
- جدول ۷-۱۶: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع A (سطح آب ۱۸ متر) ۱۱۰
- جدول ۷-۱۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع B (سطح آب ۷۰ متر) ۱۱۱
- جدول ۷-۱۸: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع B (سطح آب ۹۰ متر) ۱۱۱
- جدول ۷-۱۹: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع B (سطح آب ۱۲۵ متر) ۱۱۲
- جدول ۷-۲۰: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع D (سطح آب ۱۴۰ متر) ۱۱۳
- جدول ۷-۲۱: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع E (سطح آب صفر) ۱۱۳
- جدول ۷-۲۲: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع E (سطح آب ۲۰ متر) ۱۱۴

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی و موقعیت پروژه سد مخزنی نرماب و تونل انتقال آب چهل چای ۲
- شکل ۱-۲: ارتباط اصلی بین شناخت رفتار زمین با طراحی و مهندسی سنگ ضمن درک قضاوت‌های مهندسی مبتنی بر دانش زمین شناسی ۷
- شکل ۱-۳: ساختگاه سد نرماب ۱۳
- شکل ۲-۳: نقشه و مقطع زمین‌شناسی مسیر تونل انتقال آب چهل چای ۱۷
- شکل ۳-۳: نقشه و مقطع زمین‌شناسی مسیر تونل انتقال آب چهل چای ۱۸
- شکل ۳-۴: برونزدگی‌ها و گالری‌های اکتشافی در ساختگاه سد نرماب ۲۰
- شکل ۳-۵: پوشش گیاهی و برونزدگی‌ها در منطقه ورودی تونل انتقال چهل چای ۲۰
- شکل ۳-۶: نگاره قطبی و تصویر استریوگرافی صفحات ناپیوستگی‌های اصلی در ورودی تونل انتقال چهل چای ۲۲
- شکل ۳-۷: نگاره قطبی و تصویر استریوگرافی صفحات ناپیوستگی‌های اصلی در خروجی تونل انتقال چهل چای ۲۳
- شکل ۴-۱: کاربرد سیستم‌های طبقه بندی توده سنگ در پروژه‌های تونل‌سازی ۳۰
- شکل ۴-۲: رابطه بین نتایج رده بندی RMR و Q در تونل انتقال آب چهل چای ۳۵
- شکل ۴-۳: رابطه بین نتایج رده بندی RMR و Q در توده سنگ‌های مناسب تونل ۳۵

- شکل ۴-۴: مقادیر GSI برای مقاطع مختلف تونل انتقال آب چهل چای تصویر شده بر روی نمودار سیستم GSI ۳۷
- شکل ۵-۱: اشکال راهنما برای برآورد فاکتور آشفستگی توده سنگ ۴۲
- شکل ۵-۲: نمودار برازش شده مور- کولمب بر روی منحنی هوک- براون برای مقطع (A) $(D=0)$ ۴۶
- شکل ۵-۳: نمودار برازش شده مور- کولمب بر روی منحنی هوک- براون برای مقطع (A) $(D=0.5)$ ۴۶
- شکل ۵-۴: منحنی‌های تغییرات K نسبت به عمق به ازای مقادیر مختلف E ۵۱
- شکل ۶-۱: نمودار پیشنهادی معیار لهیدگی سینگ و همکاران (۱۹۹۲) به همراه مقاطع مطالعاتی تونل ۵۵
- شکل ۶-۲: نمودار پیشنهادی گوئل و همکاران (۱۹۹۵ a) به همراه مقاطع مطالعاتی تونل ۵۶
- شکل ۶-۳: نمودار پیشنهادی هوک و مارینوس جهت بررسی لهیدگی ۵۸
- شکل ۶-۴: انتخاب روش حفاری و نگهداری در تونل‌های بزرگ (با دهانه ۱۰ تا ۱۶ متر ۶۲
- شکل ۶-۵: تصویر شماتیک موقعیت تونل و تراز آب ۷۱
- شکل ۶-۶: نمایش شماتیک دو مولفه جریان آب به داخل تونل، q_h : جریان آب اولیه از سینه کار و q_s : جریان پایدار درازمدت ۷۲
- شکل ۶-۷: مدل‌های مختلف جریان آب به سمت تونل در حالت پایدار A: جریان قائم در تونل‌های کم عمق و B: جریان شعاعی در تونل‌های عمیق ۷۳
- شکل ۶-۸: رابطه تجربی میان متوسط جریان آب ورودی به تونل در حالت پایدار (q_s) و تراوایی معادل توده سنگ ۷۵
- شکل ۶-۹: نمایی شماتیک از آزمایش فشار آب با پکر ۷۷
- شکل ۶-۱۰: گمانه‌های قائم نمی توانند تمام درزه‌های قائم را قطع نمایند ۷۸
- شکل ۶-۱۱: نمونه‌ای از هیستوگرام آزمایش فشار آب در تونل Chattahoochee ۸۰
- شکل ۶-۱۲: ارتباط تقریبی مقادیر لوژن با ضریب نفوذپذیری توده سنگ ۸۰
- شکل ۶-۱۳: هیستوگرام نفوذپذیری سازند ماسه سنگ و شیل شمشک در مقاطع A ، I ، A-B ۸۱
- شکل ۶-۱۴: هیستوگرام نفوذپذیری سازند آهکی خوش ییلاق در مقطع B ۸۱
- شکل ۶-۱۵: هیستوگرام نفوذپذیری سازند آهکی میلا در مقطع D ۸۲
- شکل ۶-۱۶: هیستوگرام نفوذپذیری سازند بازالتی سلطان میدان در مقطع E ۸۲
- شکل ۶-۱۷: تأثیر دهانه درزه و فاصله داری بر روی هدایت هیدرولیکی در دسته درزه های موازی در توده سنگ ۸۳
- شکل ۶-۱۸: مقدار هدایت هیدرولیکی ظاهری برای توده سنگ‌های مختلف ۸۳
- شکل ۷-۱: ارتباط بین زمان پایداری با عرض فضای حفاری براساس مقدار RMR برگرفته از Bieniawski, 1989 ۹۶

- شکل ۲-۷: ارزیابی انواع تحکیمات مورد نیاز فضاهاى زیرزمینی بر اساس شاخص کیفی تونلسازی در سنگ Q ۱۰۱
- شکل ۳-۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌هاى غالب و روند و پلانژ تونل و دورنمای سه بعدی گوه‌هاى ساختاری مقاطع A, B, D که از ترکیب ۳ دسته درزه ۱ و ۲ و ۳ ایجاد شده است. ۱۰۴
- شکل ۴-۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌هاى غالب و روند و پلانژ تونل و دورنمای سه بعدی گوه‌هاى ساختاری مقاطع A, B, D که از ترکیب ۳ دسته درزه ۱ و ۲ و ۳ ایجاد شده است. ۱۰۴
- شکل ۵-۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌هاى غالب و روند و پلانژ تونل و دورنمای سه بعدی گوه‌هاى ساختاری مقاطع A, B, D که از ترکیب ۳ دسته درزه ۱ و ۲ و ۳ ایجاد شده است. ۱۰۴
- شکل ۶-۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌هاى غالب و روند و پلانژ تونل و دورنمای سه بعدی گوه‌هاى ساختاری مقاطع A, B, D که از ترکیب ۳ دسته درزه ۱ و ۲ و ۳ ایجاد شده است. ۱۰۵
- شکل ۷-۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌هاى غالب و روند و پلانژ تونل و دورنمای سه بعدی گوه‌هاى ساختاری مقاطع E که از ترکیب ۳ دسته درزه ۱ و ۲ و ۳ ایجاد شده است. ۱۰۵
- شکل ۸-۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌هاى غالب و روند و پلانژ تونل و دورنمای سه بعدی گوه‌هاى ساختاری مقاطع E که از ترکیب ۳ دسته درزه ۱ و ۲ و ۳ ایجاد شده است. ۱۰۵
- شکل ۹-۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌هاى غالب و روند و پلانژ تونل و دورنمای سه بعدی گوه‌هاى ساختاری مقاطع E که از ترکیب ۳ دسته درزه ۱ و ۲ و ۳ ایجاد شده است. ۱۰۶
- شکل ۱۰-۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌هاى غالب و روند و پلانژ تونل و دورنمای سه بعدی گوه‌هاى ساختاری مقاطع E که از ترکیب ۳ دسته درزه ۱ و ۲ و ۳ ایجاد شده است. ۱۰۶
- شکل ۱۱-۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع A (سطح آب صفر) ۱۱۰
- شکل ۱۲-۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع A (سطح آب ۱۸ متر) ۱۱۰
- شکل ۱۳-۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع B (سطح آب ۷۰ متر) ۱۱۱
- شکل ۱۴-۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع B (سطح آب ۹۰ متر) ۱۱۲
- شکل ۱۵-۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع B (سطح آب ۱۲۵ متر) ۱۱۲
- شکل ۱۶-۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع D (سطح آب ۱۴۰ متر) ۱۱۳
- شکل ۱۷-۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع E (سطح آب صفر) ۱۱۴
- شکل ۱۸-۷: ارائه سیستم نگهدارنده با استفاده از نرم افزار unwedge در مقطع E (سطح آب ۲۰ متر) ۱۱۴

۱- کلیات

۱-۱- مقدمه

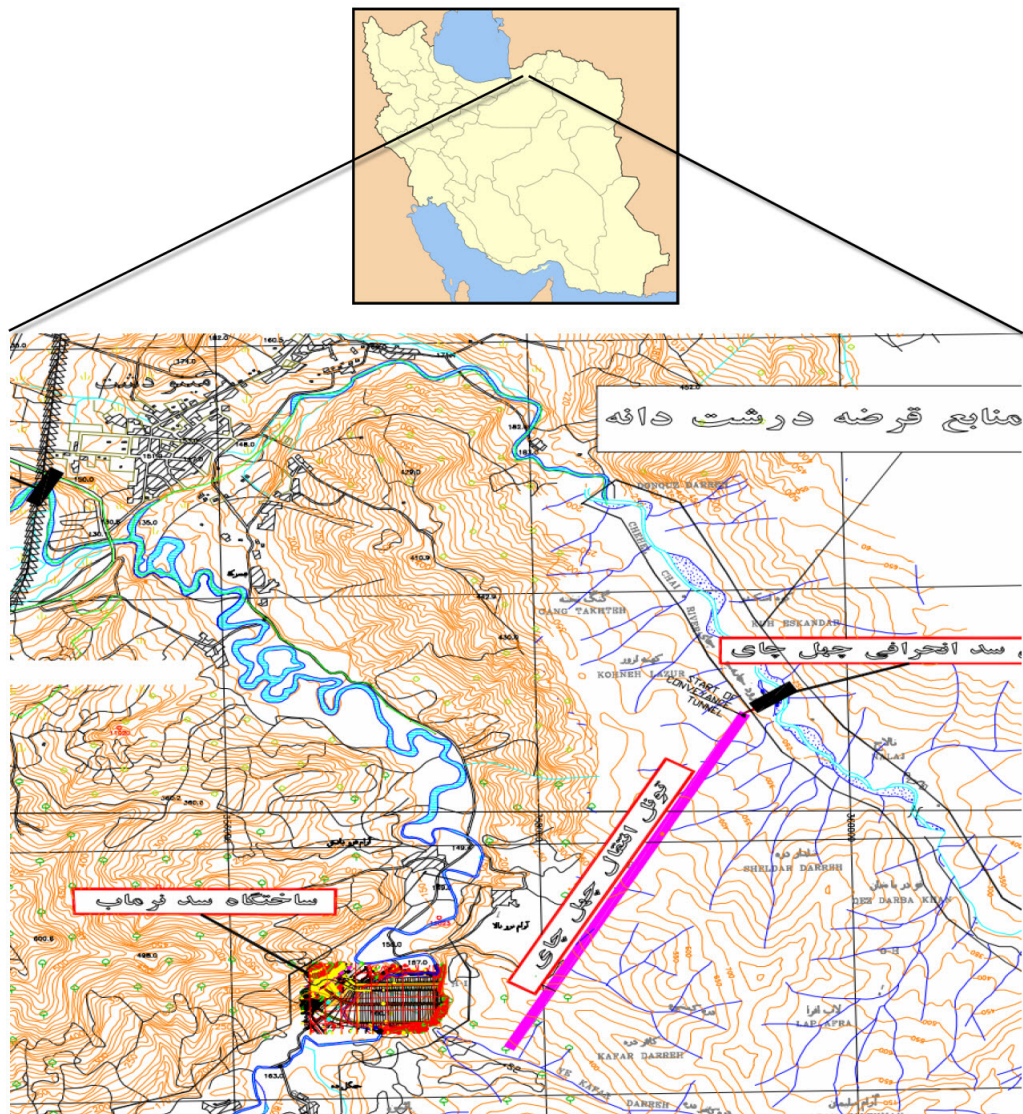
امروزه حفاری تونل‌ها برای اهداف مختلف، از جمله تونل‌های راه و ترابری، تونل‌های معادن، تونل‌های انحراف و انتقال آب در سدها و نیروگاه‌های زیرزمینی انجام می‌شود. تأمین ایمنی این سازه‌های زیرزمینی در هنگام ساخت و پایداری درازمدت آن از جمله مسائلی است که باید توسط طراحان سازه‌های زیرزمینی مدنظر قرار گیرد، زیرا اجرای پروژه‌های تونلسازی در سنگ از جمله مشکل‌ترین، و در عین حال پرهزینه‌ترین پروژه‌های مهندسی به حساب می‌آیند و در تحلیل پایداری و ایمنی این گونه سازه‌ها، همواره شناخت وسیع و ژرف مهندس طراح از مسائل زمین‌شناسی، آب‌های زیرزمینی و خواص ژئوتکنیکی سنگ‌ها، لازم و ضروری است. یکی از مشکل‌سازترین انواع تونل‌های حفر شده، تونل‌های انتقال آب هستند. علت این امر غالباً به دلیل طولانی بودن این نوع تونل‌ها می‌باشد. طول زیاد این تونل‌ها باعث می‌شود که در طول مسیر از شرایط متنوع لیتولوژیکی و اعماق مختلف عبور نمایند. تونل‌هایی که در مسیر خود از سنگ‌های خرد شده و گسله، همچنین از سنگ‌های ضعیف مانند شیل، مارن و از زیر سطح آب زیرزمینی عبور می‌کنند، با مشکلات زیادی از لحاظ ایمنی و پایداری مواجه می‌شوند.

از جمله خطراتی که در این تونل‌ها باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، هجوم آب زیرزمینی به درون تونل در مناطق کارستی، گسلی و خرد شده، در زیر تراز آب زیرزمینی، انفجار گاز متان در مناطق زغال‌دار، لهیدگی در تونل‌های حفر شده در اعماق سنگ‌های ضعیف حاوی رس مثل شیل و مارن‌ها، همچنین تورم و آماس در این سنگ‌ها و خطر ریزش و لغزش سنگ‌ها از دیواره و سقف تونل در زون‌های خرد شده می‌باشد. این موارد از جمله مهمترین مسائل و مشکلات ژئوتکنیکی هستند که در هنگام حفاری تونل‌ها در مناطق مختلف با آن مواجه می‌گردند. اگر این خطرات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در مسیر تونل شناخته نشوند، باعث بروز خسارت جبران‌ناپذیری از نظر مالی، جانی و زمان اتمام طرح می‌شود. در این مطالعه ابتدا به بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی توده سنگ پرداخته شده و سپس به طور مختصر مخاطرات زمین‌شناسی محتمل در مسیر تونل بررسی گردید و در انتها برای تحلیل پایداری تونل از روش‌های تجربی و عددی استفاده شده است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

محدوده طرح احداث سد مخزنی نرماب و توسعه منابع آب رودخانه‌های نرماب، چهل‌چای و خرمالو در شمال ایران و در استان گلستان و بخش میانی حوضه آبریز رودخانه گرگان قرار گرفته است، که از شرق به رودخانه قلی‌تپه، از غرب به رودخانه قره‌سو و از شمال به رودخانه گرگان محدود می‌گردد. این محدوده در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرقی شهر گرگان، بین عرض‌های شمالی ۵' - ۳۵° تا ۱۸' - ۳۷° و طول‌های شرقی ۷' - ۵۵° تا ۲۰' - ۵۵° واقع شده است. رودخانه نرماب، چهل‌چای و خرمالو پس از پیوستن به یکدیگر نهایتاً در ۵ کیلومتری پایین دست شهر گنبد به رودخانه گرگان می‌پیوندد. محل اجرای طرح سد نرماب در حدود ۵ کیلومتری شهر مینودشت در استان گلستان می‌باشد. ورودی تونل انتقال آب چهل‌چای در تراز ۲۳۲/۴ متر بالاتر از سطح دریا و حدوداً در ۶۵۰ متری شمال غربی روستای نالاج، در ساحل چپ رودخانه چهل‌چای و خروجی آن در جنوب

روستای آرام نرو و در ساحل راست رودخانه نرماب با رقوم ۲۲۶/۷۵ در نظر گرفته شده است. در شکل ۱-۱ نقشه راه‌های دسترسی و موقعیت پروژه سد مخزنی نرماب و تونل انتقال آب چهل چای مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی و موقعیت پروژه سد مخزنی نرماب و تونل انتقال آب چهل چای

۳-۱- آب و هوای منطقه

از آنجایی که منطقه طرح در منتهی الیه بخش شرق سواحل دریای خزر قرار دارد، در مجموع می‌توان جزء اقلیم گرم تا معتدل ارزیابی نمود. ولی بر اساس روش آمبرژه آب و هوای منطقه نیمه خشک معتدل تا نیمه مرطوب معتدل و بر اساس روش دومارتین نیز در دو محدوده نیمه خشک و مرطوب قرار می‌گیرند.