

اللَّهُمَّ اللَّهُمَّ اللَّهُمَّ

بسمه تعالی

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیأت داوران نسخه نهایی پایان نامه آقای محمد دادخواه رشته زمین شناسی مهندسی تحت عنوان: «ارزیابی ویژگیهای زمین شناسی مهندسی موثر در انتخاب ماشین تونل بری در طول مسیر تونلی انتقال آب ارس» را از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آن را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد و برگزاری جلسه دفاعیه در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۲۰ مورد تأیید قرار دادند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	دانشیار	دکتر ماشاءاله خامه چیان	۱ - استاد راهنما
	مربی	مهندس جواد مومنی	۲ - استاد مشاور
	استادیار	دکتر غلامرضا شعاعی	۳ - استاد ناظر داخلی
	استادیار	دکتر جعفر حسن پور	۴ - استاد ناظر خارجی
	استادیار	دکتر غلامرضا شعاعی	۵ - نماینده تحصیلات تکمیلی

آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان‌ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عنوان پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آن‌ها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب محمد دادخواه تهرانی دانشجوی رشته زمین‌شناسی/زمین‌شناسی مهندسی ورودی سال تحصیلی ۱۳۹۰ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده علوم پایه متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه/ رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع به نام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله براساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدین وسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: محمد دادخواه تهرانی

تاریخ: ۱۳۹۲/۶/۳۰

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته

است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به

راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر

و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

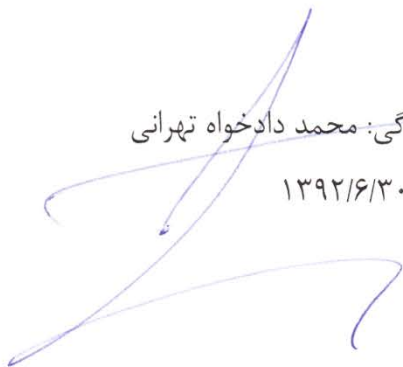
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمد دادخواه تهرانی دانشجوی رشته زمین شناسی / زمین شناسی مهندسی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد دادخواه تهرانی

تاریخ و امضا: ۱۳۹۲/۶/۳۰





دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی

ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی موثر در انتخاب ماشین
تونل‌بری در طول مسیر تونل انتقال آب ارس

محمد دادخواه

استاد راهنما:

دکتر ماشا... خامه‌چیان

استاد مشاور:

مهندس جواد مومنی

تابستان ۱۳۹۲

تشکر و قدردانی

خدای را سپاس می‌گویم به مهربانی بی‌حدش که در کنار تمامی نعمت‌ها توان خواندن و نوشتنم

داد...

بر دستان پر مهر مادرم بوسه می‌زنم و به روح پدرم درود می‌فرستم که بی‌دریغ محبت و ایثار نثارم کردند و زمینه تعلیم را برایم فراهم ساختند.

از جناب آقای دکتر خامه‌چیان، استاد راهنمای ارجمندم، به سبب کمک‌ها و راهنمایی‌هایشان صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

همچنین از مهندس مومنی، استاد مشاور گرامیم، از مهندسين مشاور توسعه (گروه تخصصی سپاسد) بابت زحماتشان سپاس‌گزاری می‌کنم.

از گروه تخصصی سپاسد بابت اطلاعات پروژه ارس که در اختیار اینجانب قرار دادند نیز کمال سپاس را دارم.

از دوست گرامی، مهندس نجمی‌نیا که مرا در انجام بخشی از این پایان‌نامه یاری رساند کمال تشکر را دارم.

در پایان از تمامی دوستان ارجمند، که به هر نحوی در انجام این تحقیق بنده را کمک نموده‌اند سپاس‌گزاری می‌نمایم.

محمد دادخواه

شهریور ۱۳۹۲

چکیده

شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی، مهم‌ترین نیاز برای برنامه‌ریزی و اجرای یک پروژه تونل‌سازی به‌ویژه در انتخاب ماشین تونل‌بری است چرا که انتخاب نوع ماشین برای حفر تونل، یک تصمیم برگشت‌ناپذیر است. تونل انتقال آب ارس به‌طول تقریبی ۱۷/۷ کیلومتر، در محدوده شمال غربی ایران، استان آذربایجان شرقی، در حاشیه جنوبی رودخانه ارس به‌منظور انتقال آب از بند احدائی بر روی رودخانه تا محل نیروگاه قره‌چیلر طراحی شده است. با توجه به طول زیاد تونل، مقطع دایره‌ای و لزوم حفر ایمن و سریع آن استفاده از ماشین تونل‌بری در اولویت قرار گرفته است. در این تحقیق، از میان معیارهای متعدد، در مجموع ۱۱ معیار، متشکل از ویژگی‌های ژئومکانیکی و مخاطرات زمین‌شناسی، در انتخاب ماشین تونل‌بری موثر شناخته و بررسی شد. در این راستا توده‌های سنگی مسیر تونل با استفاده از برداشت‌های سطحی، گمانه‌های اکتشافی، آزمون‌های آزمایشگاهی و صحرایی مورد مطالعه قرار گرفته است. در تحلیل پایداری دیواره‌های تونل که از معیارهای موثر در انتخاب ماشین تونل‌بری است، از روش عددی - با استفاده از نرم‌افزار UDEC - بهره گرفته شده است. در نهایت جهت جمع‌بندی نتایج، با توجه به چند معیاره بودن انتخاب ماشین تونل‌بری، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید و بر این اساس ماشین تونل‌بری دو سپره در اولویت قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی، ماشین تونل‌بری، تونل ارس، روش AHP

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- فصل اول: کلیات.....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۴	۲-۱- مطالعات پیشین.....
۶	۳-۱- معرفی پروژه.....
۷	۴-۱- اهداف تحقیق.....
۷	۵-۱- روش تحقیق.....
۷	۶-۱- ضرورت طرح.....
۸	۷-۱- نوآوری.....
۸	۸-۱- ساختار تحقیق.....
۹	۲- فصل دوم: تونل سازی با ماشین های تونل بری.....
۱۰	۱-۲- مقدمه.....
۱۱	۲-۲- انواع ماشین تونل بری در سنگ سخت.....
۱۳	۱-۲-۲- ماشین باز یا کفشکی.....
۱۵	۲-۲-۲- ماشین تک سپره.....
۱۷	۳-۲-۲- ماشین سپر تلسکوپی یا سپر دوگانه.....
۱۷	۳-۲- ویژگی های زمین شناسی مهندسی موثر در انتخاب ماشین تونل بری.....
۱۸	۱-۳-۲- ویژگی های ژئومکانیکی.....
۲۴	۲-۳-۲- مخاطرات زمین شناسی.....
۳۱	۳- فصل سوم: زمین شناسی عمومی.....
۳۲	۱-۳- مقدمه.....
۳۲	۲-۳- جایگاه زمین ساخت.....
۳۳	۳-۳- زمین ریخت شناسی.....
۳۴	۴-۳- چینه شناسی.....

۳۸	۳-۴-۱- سنگ چینه‌شناسی
۴۱	۳-۵- هیدرولوژی
۴۱	۳-۶- هیدروژئولوژی
۴۲	۳-۶-۱- تراز آب زیرزمینی
۴۲	۳-۶-۲- جریان آب زیرزمینی و تحلیل میزان تراوش در تونل
۴۳	۳-۷- زمین‌شناسی ساختمانی
۴۳	۳-۷-۱- گسل‌ها
۴۵	۴- فصل چهارم: زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل
۴۷	۴-۱- مقدمه
۴۷	۴-۲- عملیات ژئوتکنیکی طرح
۴۸	۴-۲-۱- موقعیت و محل گمانه‌های اکتشافی
۴۹	۴-۲-۲- درزه‌نگاری سطحی
۵۰	۴-۲-۳- درزه‌های اصلی
۵۲	۴-۲-۴- ناپیوستگی‌های زیرسطحی
۵۸	۴-۳- نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی
۵۹	۴-۳-۱- آزمایش‌های تعیین مشخصات فیزیکی
۶۰	۴-۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری
۶۱	۴-۳-۳- آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری
۶۲	۴-۳-۴- آزمایش کشش غیرمستقیم (برزیلی)
۶۲	۴-۳-۵- آزمایش برش مستقیم
۶۴	۴-۳-۶- آزمایش دوام وارفتگی
۶۵	۴-۴- طبقه‌بندی مهندسی توده‌سنگ‌ها
۶۵	۴-۴-۱- طبقه‌بندی ژئومکانیکی توده سنگ (RMR)
۶۶	۵- فصل پنجم: ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی موثر در انتخاب ماشین
۶۸	۵-۱- مقدمه
۶۸	۵-۲- بررسی ویژگی‌های ژئومکانیکی
۶۸	۵-۲-۱- توانایی کفشک زدن
۱۰۰	۵-۲-۲- شاخص کیفی توده سنگ (RQD)
۱۰۱	۵-۲-۳- تنش برجا

- ۱۰۶ فاصله‌داری درزه‌ها ۴-۲-۵
- ۱۰۷ هوازدگی ۵-۲-۵
- ۱۰۸ آماس‌پذیری ۶-۲-۵
- ۱۰۹ شناسایی و ارزیابی مخاطرات زمین‌شناسی ۳-۵
- ۱۰۹ ناپایداری (دیواره و سینه‌کار) ۱-۳-۵
- ۱۱۱ آب زیرزمینی ۲-۳-۵
- ۱۱۲ وجود گسل در مسیر حفر تونل ۳-۳-۵
- ۱۱۳ برخورد با شرایط فشارندگی ۴-۳-۵
- ۱۱۵ حفرات انحلالی ۵-۳-۵
- ۱۱۵ ساینده‌گی سنگ ۶-۳-۵
- ۱۱۶ خطر گازهای موجود در سنگ ۷-۳-۵
- ۱۱۸ خطر وجود مواد پرتوزا ۸-۳-۵
- ۱۱۸ استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی ماشین تونل‌بری ۹-۳-۵
- ۱۰-۳-۵ تقسیم‌بندی مسیر تونل براساس ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی موثر در انتخاب ماشین تونل‌بری ۱۲۷
- ۱۲۹ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶
- ۱۳۳ فهرست مراجع ۷

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ محدوده طرح برقایی ارس در مرز مشترک ایران و ارمنستان ۶
- شکل ۱-۲ نمای شماتیک انواع باز و سپردار ماشین‌های تونل‌بری ۱۲
- شکل ۲-۲ نمایی از ماشین باز و ماشین سپری ۱۳
- شکل ۳-۲ محدوده کاربرد ماشین‌های مختلف براساس مقاومت سنگ ۱۴
- شکل ۱-۳ موقعیت خروجی تونل در آهک‌های ستیغ‌ساز مشرف به نیروگاه ۳۴
- شکل ۲-۳ وضعیت هوازدگی و سهولت تراشه برداری در واحد دگرگونه بیوتیت‌شیست ۳۵
- شکل ۳-۳ نقشه زمین‌شناسی مسیر تونل انتقال ارس ۳۷
- شکل ۴-۳ راهنمای نقشه شکل ۳-۳ ۳۸
- شکل ۵-۳ نیمرخ زمین‌شناسی مسیر تونل ۳۹
- شکل ۶-۳ گسل‌های اصلی واقع در شمال غرب فلات ایران ۴۴
- شکل ۱-۴ وضعیت شکستگی‌ها در توده گرانیتوئید ۵۰
- شکل ۱-۵ هیستوگرام نتایج مقاومت فشاری تک محوری اشباع سنگ‌های مسیر تونل ۷۰
- شکل ۲-۵ هیستوگرام مقاومت کششی برزیلی سنگ‌های مسیر تونل انتقال ۷۰
- شکل ۳-۵ تنش وارده به سنگ از سوی کفشک‌ها و مقایسه آن با مقاومت توده سنگ ۷۳
- شکل ۴-۵ دو نوع ماشین تونل‌بری باز ۷۵
- شکل ۵-۵ نحوه اعمال نیرو از طرف کفشک‌ها ۷۵
- شکل ۶-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور X برای ماشین با کفشک جانبی ۷۷
- شکل ۷-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور X برای ماشین باز نوع X ۷۷
- شکل ۸-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های جانبی ۷۸

- شکل ۹-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های نوع X ۷۸
- شکل ۱۰-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های جانبی ۷۹
- شکل ۱۱-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های نوع X ۷۹
- شکل ۱۲-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور x برای ماشین با کفشک جانبی ۸۱
- شکل ۱۳-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور x برای ماشین باز نوع X ۸۱
- شکل ۱۴-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های جانبی ۸۲
- شکل ۱۵-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های نوع X ۸۲
- شکل ۱۶-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های جانبی ۸۳
- شکل ۱۷-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های نوع X ۸۳
- شکل ۱۸-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور برای ماشین با کفشک جانبی X ۸۵
- شکل ۱۹-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور x برای ماشین با کفشک نوع X ۸۵
- شکل ۲۰-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های جانبی ۸۶
- شکل ۲۱-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های نوع X ۸۶
- شکل ۲۲-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های جانبی ۸۷
- شکل ۲۳-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های نوع X ۸۷
- شکل ۲۴-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور x برای ماشین با کفشک جانبی ۸۹
- شکل ۲۵-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور x برای ماشین با کفشک نوع X ۸۹
- شکل ۲۶-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های جانبی ۹۰
- شکل ۲۷-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های نوع X ۹۰
- شکل ۲۸-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های جانبی ۹۱

- شکل ۲۹-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های نوع X..... ۹۱
- شکل ۳۰-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور X برای ماشین با کفشک جانبی..... ۹۳
- شکل ۳۱-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور X برای ماشین با کفشک نوع X..... ۹۳
- شکل ۳۲-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های جانبی..... ۹۴
- شکل ۳۳-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های نوع X..... ۹۴
- شکل ۳۴-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های جانبی..... ۹۵
- شکل ۳۵-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های نوع X..... ۹۵
- شکل ۳۶-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور X برای ماشین با کفشک جانبی..... ۹۷
- شکل ۳۷-۵ منحنی‌های جابجایی در جهت محور X برای ماشین با کفشک نوع X..... ۹۷
- شکل ۳۸-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های جانبی..... ۹۸
- شکل ۳۹-۵ بردارهای جابجایی حاصل از فشار کفشک‌های نوع X..... ۹۸
- شکل ۴۰-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های جانبی..... ۹۹
- شکل ۴۱-۵ وضعیت تنش در اطراف تونل در نتیجه فشار کفشک‌های نوع X..... ۹۹
- شکل ۴۲-۵ هیستوگرام شاخص کیفی توده سنگ مسیر تونل..... ۱۰۱
- شکل ۴۳-۵ جمع‌بندی تنش‌های اصلی در مسیر سامانه انتقال..... ۱۰۳
- شکل ۴۴-۵ نمایش راستای تنش افقی بزرگ‌تر بر روی پلان زمین‌شناسی مسیر تونل..... ۱۰۵
- شکل ۴۵-۵ هیستوگرام فاصله‌داری ناپیوستگی‌های مسیر تونل ارس..... ۱۰۷
- شکل ۴۶-۵ هیستوگرام میزان هوازگی در واحدهای مختلف سنگی در مسیر تونل ارس..... ۱۰۸
- شکل ۴۷-۵ زمان پابرجایی دیواره بر حسب دهانه فعال تونل براساس RMR..... ۱۱۰
- شکل ۴۸-۵ میزان مشکل فشارندگی در تونل با توجه به مقدار کرنش دیواره..... ۱۱۴

- شکل ۴۹-۵ مقادیر متوسط شاخص سایش سرشار CAI برای سنگ‌های مختلف..... ۱۱۶
- شکل ۵۰-۵ شکل درخت تصمیم‌گیری در روش AHP..... ۱۲۰
- شکل ۵۱-۵ نمودار آنالیز حساسیت روش AHP..... ۱۲۳
- شکل ۵۲-۵ نمودار آنالیز حساسیت روش AHP با استفاده از ۴ معیار..... ۱۲۴
- شکل ۵۳-۵ نمودار امتیازات به‌دست آمده از روش AHP با استفاده از ۱۱ معیار..... ۱۲۶
- شکل ۵۴-۵ نمودار امتیازات به‌دست آمده از روش AHP با استفاده از ۴ معیار..... ۱۲۶
- شکل ۵۵-۵ محدوده کاربرد ماشین‌های تونل‌بری در طول مسیر تونل..... ۱۲۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ خلاصه‌ای از تونل‌های حفر شده اخیر با انتخاب روش نامناسب حفاری ۵
- جدول ۱-۲ ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی موثر در انتخاب ماشین تونل‌بری ۱۸
- جدول ۲-۲ ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی موثر در انتخاب ماشین تونل‌بری ۳۰
- جدول ۱-۳ واحدهای سنگ چینه‌ای مسیر تونل انتقال ارس ۴۰
- جدول ۲-۳ گسل‌های شناسایی شده در طول مسیر تونل ۴۵
- جدول ۱-۴ موقعیت گمانه‌های اکتشافی ۴۸
- جدول ۲-۴ مقادیر شیب و جهت شیب سطوح ناپیوستگی اصلی در ایستگاه‌های درزه‌نگاری ۴۹
- جدول ۳-۴ جدول نتایج آزمایش‌های فیزیکی سنگ‌های مسیر تونل ۵۹
- جدول ۴-۴ نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ‌های مسیر تونل ۶۰
- جدول ۵-۴ میانگین مقاومت فشاری تک‌محوری، مدول یانگ و نسبت پواسون سنگ‌ها ۶۱
- جدول ۶-۴ جمع‌بندی نتایج آزمایش سه محوری واحدهای سنگی مختلف ۶۱
- جدول ۷-۴ نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم، برزیلین ۶۲
- جدول ۸-۴ معیارهای مقاومت برشی سطوح اره‌بر شده واحدهای سنگی مختلف ۶۳
- جدول ۹-۴ معیارهای مقاومت برشی درزه‌های طبیعی واحدهای سنگی مختلف ۶۴
- جدول ۱۰-۴ نتایج آزمایش دوام وارفنگی ۶۵
- جدول ۱۱-۴ طبقه‌بندی ژئومکانیکی توده سنگ‌های مسیر تونل ۶۶
- جدول ۱-۵ جدول مقاومت فشاری تک‌محوری و کششی در واحدهای سنگی مختلف ۶۹
- جدول ۲-۵ مقاومت فشاری توده سنگ مسیر تونل ۷۲
- جدول ۳-۵ اطلاعات ورودی مدل در مقطع IT1 ۷۶

- جدول ۴-۵ اطلاعات ورودی مدل در مقطع IT4..... ۸۰
- جدول ۵-۵ اطلاعات ورودی مدل در مقطع IT5..... ۸۴
- جدول ۶-۵ اطلاعات ورودی مدل در مقطع IT7..... ۸۸
- جدول ۷-۵ اطلاعات ورودی مدل در مقطع IT8..... ۹۲
- جدول ۸-۵ اطلاعات ورودی مدل در مقطع IT9..... ۹۶
- جدول ۹-۵ میانگین شاخص کیفی توده سنگ (RQD) در مسیر تونل..... ۱۰۱
- جدول ۱۰-۵ نسبت تنش‌های افقی به قائم..... ۱۰۳
- جدول ۱۱-۵ میانگین فاصله‌داری درزه‌های سطحی در هر واحد سنگی..... ۱۰۶
- جدول ۱۲-۵ توصیف وضعیت هوازدگی درزه‌های زیرسطحی در واحدهای سنگی..... ۱۰۸
- جدول ۱۳-۵ پیشنهاد ماشین تونل‌بری براساس امتیاز توده سنگ (RMR)..... ۱۱۰
- جدول ۱۴-۵ وضعیت نفوذپذیری توده سنگ‌های مسیر تونل براساس آزمایشات لوژن..... ۱۱۲
- جدول ۱۵-۵ حداکثر کرنش مماسی دیواره تونل..... ۱۱۴
- جدول ۱۶-۵ نتایج آزمایش‌های تعیین گازهای سمی در آب‌های آرتزین مسیر تونل..... ۱۱۷
- جدول ۱۷-۵ مقایسه زوجی ماشین‌های تونل‌بری با توجه به معیارهای موثر..... ۱۲۰
- جدول ۱۸-۵ مقایسه زوجی ویژگی‌های ژئومکانیکی..... ۱۲۱
- جدول ۱۹-۵ مقایسه زوجی معیارهای موثر در انتخاب ماشین تونل‌بری..... ۱۲۱
- جدول ۲۰-۵ مجموع امتیازهای به‌دست آمده از مقایسات زوجی..... ۱۲۲
- جدول ۲۱-۵ اولویت‌بندی ماشین‌های تونل‌بری براساس ۴ معیار با استفاده از روش AHP..... ۱۲۴

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در ایران، از چند هزار سال پیش، به منظور استفاده از آب‌های زیرزمینی تونل‌هایی موسوم به قنات حفر شده است که طول برخی از آن‌ها به ۷۰ کیلومتر می‌رسد. به جرأت می‌توان گفت که ایرانیان قدیم، پیشرو حفر تونل‌های انتقال آب بوده‌اند و در این زمینه تجربیات گران‌قدری داشته‌اند که حاصل آن، حفر قنات‌های متعدد طویل و عمیق است. نکته جالب آن است که این تونل‌ها با وسایل ابتدایی حفر شده‌اند. با اختراع باروت و سایر مواد منفجره، حفر تونل در سنگ‌های نسبتاً سخت هم ممکن شد و سرعت حفاری نیز افزایش یافت. پیشرفت و تکامل صنعت تونل‌سازی عمدتاً وابسته به پیشرفت‌هایی است که در زمینه حفاری انجام گرفته است. البته اختراعاتی که در زمینه نگهداری و تحکیم مواد سنگی صورت گرفته نیز در این زمینه نقش مهمی داشته‌اند (مدنی، ۱۳۹۰).

شاید بتوان گفت که استفاده از سپر محافظ برای حفر تونل‌ها، یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های اخیر صنعت تونل‌سازی بوده است. وجود سپر محافظ به‌عنوان یک حریم ایمنی در حفر تونل در زمین‌های نرم، به‌ویژه تونل‌های زیر سطح ایستایی، بسیار مؤثر است. استفاده از سپر، دو امتیاز عمده در پی دارد: نخست تأمین شرایط ایمنی در زمین‌های سست و ریزشی و دیگر کاهش و یا حذف سیستم‌های نگهداری موقت در سینه‌کار تونل. امروزه ماشین‌های تونل‌سازی متعددی ابداع شده که قادر است تمام مقطع تونل را به‌طور یکجا حفر کند و در عین حال مواد حفر شده را به بیرون منتقل و سیستم نگهداری را نیز نصب

نماید. با استفاده از این ماشین‌ها سرعت حفر تونل‌ها در حد قابل توجهی افزایش یافته است (مدنی، ۱۳۹۰).

در حال حاضر مسأله طراحی و ساخت دستگاه‌های حفاری مهم‌ترین بخش پروژه‌ها را به خود اختصاص داده است. شرایط زمین‌شناسی مسیر و ابعاد تونل در تعیین اندازه دستگاه و روش حفر آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. بنابراین ابتدا باید شرایط زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل با دقت مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به اطلاعات گردآوری شده، نوع دستگاه و روش حفر تعیین شود (مدنی، ۱۳۹۰).

مطالعات ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی با توجه به ماهیتی که دارند، پیش‌آگاهی مناسبی نسبت به مناطق مسئله‌ساز برای طرح‌های عمرانی و یا وجود شرایط مساعد در بعضی مناطق برای پروژه‌های خاص فراهم می‌آورند و نتایج حاصل از آن‌ها می‌تواند توسط کارشناسان و مهندسين طراح در سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف در بخش‌های ژئوتکنیک و مهندسی زمین‌شناسی پروژه‌های عمرانی مورد استفاده قرار بگیرند. مشکلات ناشی شده از شرایط نامناسب از لحاظ زمین‌شناسی مهندسی تأیید کننده این امر است که بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی پیش‌نیاز اصلی برای برنامه‌ریزی‌های مرتبط با زمین می‌باشد (Schalkwyk and Price, 1990).

بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل و کمی کردن معیارهای کیفی زمین‌شناسی، جهت طراحی یا انتخاب ماشین تونل‌بری^۱ (TBM) امری اجتناب ناپذیر است؛ زیرا پس از انتخاب و قرارگیری ماشین در زمین و آغاز به کار آن تقریباً هیچ راهی برای خارج کردن دستگاه و یا تغییر اساسی در آن وجود ندارد یا بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. انتخاب نامناسب ماشین تونل‌بری باعث تأخیر در انجام پروژه، ایجاد خطر برای کارکنان و یا شکست پروژه می‌شود (Shahriar et al., 2008). طبیعتاً بررسی‌های زیرسطحی و ویژگی‌های زمین برای انتخاب ماشین تونل‌بری مناسب، مهم و خاص هستند (Khademi et al., 2010). همچنین (Acaroglu (2011) طراحی و پیکربندی ماشین تونل‌بری را وابسته

1- Tunnel Boring Machine

به شرایط پروژه و زمین‌شناسی دانسته است. با توجه به روبره زیاد به همراه تنش ساختاری، رفتار توده‌های سنگ، تحت تنش برجای قابل توجه و پیچیده، یک معیار کلیدی موثر در طراحی ساختمان ماشین تونل‌بری است (Gong et al., 2012).

۲-۱ - مطالعات پیشین

از جمله پروژه‌هایی که در کشور ما از این دستگاه برای حفاری استفاده شد، تونل انتقال آب گاوشان بوده است. در این پروژه از یک ماشین تونل‌بری باز استفاده شد. مشکلات زیادی در استفاده از این دستگاه به وجود آمد و آن هم به دلیل عدم آگاهی کافی نسبت به شرایط زمین‌شناسی مسیر بوده است. در این پروژه به دلیل عدم بررسی کافی زمین‌شناسی مهندسی و نداشتن آگاهی کافی نسبت به شرایط ناپیوستگی‌ها، ریزش‌های بلوکی اتفاق افتاد که موجب تاخیر چند ماهه در اجرا شد (قزل سفلی، ۱۳۸۲).

Khademi et al (2010) جهت حفاری تونل انتقال آب نوسود، با استفاده از روش فازی - AHP و با توجه به هفت معیار زمین‌شناسی مهندسی شامل جریان آب، پایداری دیواره، پایداری سینه‌کار، زون گسلی، حفره‌های کارستی، مچاله‌شوندگی و زمین‌گازدار ماشین تونل‌بری دو سپره را پیشنهاد دادند. در جدول ۱-۱ پیشینه تحقیق در داخل و خارج از ایران به‌طور خلاصه آورده شده است.

عملکرد یک ماشین تونل‌بری به سه دسته معیار اصلی یعنی معیارهای طراحی و ظرفیت ماشین، معیارهای راهبری یا اپراتوری دستگاه و معیارهای زمین‌شناسی و ژئومکانیکی مسیر تونل بستگی دارد (حسن‌پور، ۱۳۸۸). بنابراین لازم است برای انتخاب یک ماشین تونل‌بری مناسب، معیارهای فوق به‌دقت مورد ارزیابی واقع شوند تا ماشین انتخاب شده بهترین عملکرد را داشته باشد. در این تحقیق معیارهای زمین‌شناسی مهندسی (زمین‌شناسی و ژئومکانیکی) موثر در انتخاب ماشین تونل‌بری، در طول مسیر تونل انتقال آب ارس، مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.