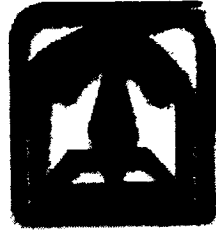
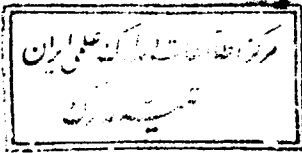


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۴۴۸۵۰



۳۲۸۵۰

دانشگاه تربیت مدرس  
بخش مهندسی معدن  
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ

عنوان:

# تحلیل پایداری و نگهداری تونل تالون

استاد راهنما:

دکتر مرتضی احمدی

011720

استاد مشاور:

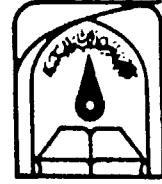
دکتر مرتضی قارونی نیک

نگارش:

مرتضی همزه ایبازنی

زمستان ۱۳۷۹

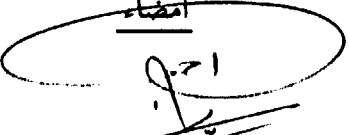

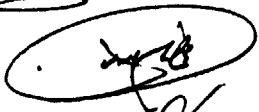


۳۴۸۵۰




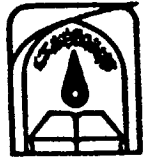
دانشگاه تربیت مدرس

## تاییدیه هیات داوران

آقای مرتضی همزه ابیازنی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان تحلیل پایداری و نگهداری تونل تالون در تاریخ ۷۹/۱۲/۱ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن باگرایش مکانیک سنگ پیشنهاد می کنند.

امضاء	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	آقای دکتر احمدی	۱- استاد راهنما:
	آقای دکتر قارونی	۲- استاد مشاور:
	آقای دکتر گشتاسبی	۳- استادان امتحن:
	آقای دکتر صدقیانی	۴- مدیر گروه:
	آقای دکتر قزوینیان	(یا نماینده گروه تخصصی)

این نسخه به عنوان نسخه نهائی پایان نامه / رساله مورد تایید است.  
امضای استاد راهنما: 



بسمه تعالی

## 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 فعالیتهای 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 فلسفه است  
که در سال ۱۳۷۹ در دانشکده فنی (فنی) دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب  
آقای دکتر مرتضی اویسی، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر مرتضی تارویی 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 دانشجوی 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 کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب، مرتضی هنرهایبازنی دانشجوی رشته فلسفه / فلسفه / مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:  
تاریخ امضا:  
۱۳۷۹/۰۴/۰۳

تقدیم به آنانکه قلم و زبانم از ستایش محبت‌هایشان عاجز است

تقدیم به:

پدر بزرگوارم که دستان پر توانش هدیه‌بخش زندگی است.

مادر مهربانم که حقیقت مهر در دریای وجودش، خلوص عشق در صفای کلامش و

عظمت اینار در صفای نگاهش موج می‌زند.

همسر عزیزم که با عشق و محبت در تمام مراحل زندگی همگام و همیار من

می‌باشد.

به این امید که همیشه شایسته فداکاریها و حق شناس محبت‌هایشان باشم.

## تشکر و سپاسگزاری

حمد و سپاس بیکران، خداوند را که به من توفیق داد با پایان بردن مرحله دیگری از تحصیلات، بیشتر به مطالعه قانونمندی پدیده‌های طبیعت پرداخته و گامی هرچند اندک به سوی آن حقیقت مطلق بردارم. بدون شک چنین تحقیقی حاصل سالها، تعلیم معلمان در عرصه نظری و کاربردی می‌باشد.

فرصت را مغتنم شمرده از کلیه اساتیدی که بضاعت علمی خویش را مرهون تلاش و راهنماییهای ایشان می‌دانم، قدردانی نمایم. در این خصوص بر خود لازم می‌دانم از اساتید محترم راهنما و مشاور آقایان دکتر مرتضی احمدی و دکتر مرتضی قارونی نیک که با حوصله و صمیمیت مرا در تمامی مراحل تدوین این رساله یاری فرمودند و از هیچ مساعدتی دریغ نوزیدند، تشکر نمایم.

همچنین جا دارد از راهنمایها و همکاری اساتید محترم آقای دکتر عبدالهادی قزوینیان، دکتر کامران گشتاسبی، دکتر احمد فخیمی، دکتر کاظم نجم، دکتر سالاری، دکتر یساقی و همکاران محترم آقایان مهندس غلامی و مهندس یعقوبی سپاسگزاری نمایم.

امیدوارم این مطالعه علی‌رغم وجود کاستیهای فراوان، مورد توجه علاقه‌مندان قرار گرفته و گامی هرچند اندک در جهت سازندگی، استقلال علمی و بهینه‌سازی طرحهای عمرانی کشور عزیزمان باشد.

## چکیده:

تونلهای تالون که از سه تونل موازی، یکی به قطر ۶ متر و دو تونل اصلی به قطر ۱۲ متر است بخشی از تونلهای آزادراه تهران - شمال را تشکیل می‌دهد. این آزاد راه با برخورداری از ۴۰ تونل راه ارتباطی بین شمال و جنوب رشته کوههای البرز را برقرار می‌کند. برای دستیابی به اطلاعات ژئومکانیکی سنگهای دربرگیرنده تونل، ابتدا تونل میانی حفاری شده است تا با به دست آوردن پارامترهای ژئومکانیکی سنگهای منطقه، طراحی بهینه سیستمهای حفاری و نگهداری دو تونل اصلی انجام شود. در این تحقیق با استفاده از پارامترهای بدست آمده ابتدا به کمک نرم‌افزار UNWEDGE به بررسی ناپایداری‌های ساختاری پرداخته شده و حداقل بهسازی مورد نیاز جهت پایدار سازی گوه‌های ناپایدار ارائه شده است. بمنظور تحلیل پایداری و ارائه سیستم نگهداری از روشهای تجربی و عددی استفاده گردید و با استفاده از روشهای مختلف، بهترین سیستم نگهدارنده ارائه شده است. در روشهای تجربی از روش ژئومکانیکی بینیاوسکی (RMR) و روش بارتون یا شاخص کیفی سنگ (Q) برای طبقه‌بندی توده سنگهای مسیر تونل استفاده شد و وضعیت پایداری فضا مورد تحلیل قرار گرفته است. در تحلیل بروش عددی از نرم‌افزار CA2 استفاده شده است. با توجه به نوع سنگ، مقدار روباره و نسبت تنشهای افقی به عمودی منطقه، ۳۰ مدل مختلف ساخته شد و تنشهای اصلی حداقل و حداکثر، مقدار جابجایی‌های اطراف تونل و پهنه پلاستیک پیرامون تونلها مورد بررسی قرار گرفت و بهترین سیستم نگهدارنده پیشنهاد شده است. سیستم نگهدارنده پیشنهادی شامل بتن پاشیده به‌مراه شبکه سیمی و میل‌مه‌ارهای تمام تزریقی است که با توجه به خصوصیات ژئومکانیکی تونل متفاوت می‌باشد. در ادامه نیز جهت بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر پایداری تونلها تاثیر پارامترهایی از قبیل فاصله تونلها از یکدیگر، عمق قرارگیری تونلها، مدول تغییر شکل پذیری، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی سنگها و تاثیر نسبت تنش افقی به عمودی با استفاده از نرم‌افزار PHASES مورد بررسی قرار گرفت.

## کلید واژه:

تونل، تونل تالون، نگهداری، پایداری، سیستم نگهدارنده، بتن پاشیده، میل مه‌ار، نرم افزار CA2

## فهرست مطالب

صفحه	موضوع
	چکیده
I	فهرست مطالب
V	فهرست اشکال
VII	فهرست جداول
	<b>۱- معرفی طرح</b>
۱	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۱-۱- ویژگیهای طرح آزادراه تهران شمال
۳	۱-۱-۲- مشخصات اصلی آزاد راه تهران - شمال
۴	۱-۲- موقعیت تونل تالون
۵	۱-۳- مشخصات تونل تالون
۵	۱-۴- مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی تونل پیشگام تالون
۷	۱-۴-۱- لیتولوژی و مشخصات سنگی لایه‌های تشکیل دهنده زمین در محدوده مورد مطالعه
۸	۱-۴-۲- وضعیت ساختاری توده سنگ مسیر تونل
۹	۱-۴-۳- وضعیت آبهای زیرزمینی
	<b>۲- آزمایشهای مکانیک سنگ</b>
۱۱	۲-۱- مقدمه
۱۱	۲-۲- وزن واحد حجم
۱۲	۲-۳- تخلخل



۱۲	۴-۲- شاخص دوام
۱۲	۵-۲- مقاومت کششی غیرمستقیم
۱۳	۶-۲- مقاومت فشاری تک محوری، مدول تغییر شکل پذیری و نسبت پواسون
۱۴	۷-۲- بارگذاری نقطه‌ای
۱۵	۸-۲- برش مستقیم
۱۵	۹-۲- جمع‌بندی نتایج
<b>۳- بررسی ناپایداریهای ساختاری</b>	
۱۷	۱-۳- مقدمه
۱۸	۲-۳- شناسائی امکان تشکیل گوه‌ها
۱۸	۳-۳- معرفی نرم‌افزار UNWEDGE
۲۰	۱-۳-۳- استفاده از نرم‌افزار UNWEDGE در تحلیل پایداری گوه‌های دارای پتانسیل ریزش
<b>۴- تحلیل پایداری بر اساس روشهای تجربی</b>	
۲۴	۱-۴- مقدمه
۲۵	۲-۴- طبقه‌بندی توده سنگ
۲۵	۱-۲-۴- مروری بر طبقه‌بندی‌های مهندسی توده سنگ
۲۶	۲-۳-۴- طبقه‌بندی ژئومکانیکی بینیاوسکی
۳۳	۳-۳-۴- شاخص کیفی تونل زنی در سنگ
۴۰	۴-۴- تخمین مدول تغییر شکل پذیری بر جای توده سنگ
<b>۵- روشهای عددی در تحلیل پایداری سازه‌های زیرزمینی</b>	
۴۳	۱-۵- مقدمه
۴۳	۲-۵- روشهای عددی
۴۴	۱-۲-۵- روش اجزای محدود
۴۵	۲-۲-۵- روش المان‌های مرزی

۴۷	۵-۲-۳- روش تفاضلهای محدود
۴۸	۵-۲-۴- روش اجزای جداگانه
۴۹	۵-۳- کاربرد صحیح و اصولی روشهای عددی
۵۰	۵-۴- تعیین نرم افزار مورد استفاده در تحقیق
۵۱	۵-۴-۱- معرفی نرم افزار CA2
۵۲	۵-۴-۱-۱- معرفی اجمالی نرم افزار CA2
۵۳	۵-۴-۱-۲- حوزه کاربرد برنامه
۵۴	۵-۴-۱-۳- روش محاسبات
۵۶	۵-۴-۲- معرفی نرم افزار PHASES

### ۶- تحلیل پایداری و نگهداری به روش عددی

۶۰	۶-۱- مقدمه
۶۰	۶-۲- چگونگی ایجاد مدل در CA2
۶۱	۶-۲-۱- ایجاد شبکه و محدوده اطراف سازه
۶۱	۶-۲-۲- مدل رفتاری مشخصه توده سنگ و مقادیر پارامترهای ورودی
۶۴	۶-۲-۲-۱- تخمین پارامترهای مقاومتی توده سنگ درزه دار
۶۷	۶-۲-۳- تعیین شرایط اولیه و مرزی
۶۹	۶-۲-۴- حل اولیه برای رسیدن به تعادل (نیروها) قبل از حفاری
۶۹	۶-۲-۵- ایجاد سازه و اقدام به حفاری
۷۰	۶-۲-۶- حل نهائی
۷۱	۶-۲-۷- تفسیر نتایج
۷۲	۶-۳- مدل کردن میل مهارهای مکانیکی - دوغابی CA2
۷۳	۶-۴- طراحی پوشش داخلی تونل
۷۴	۶-۴-۱- طراحی آرماتورهای طولی (اصلی)
۷۶	۶-۴-۲- درصد فولاد حداقل
۷۶	۶-۴-۳- آرماتورهای حرارتی و افت

- ۷۶ ۴-۴-۶- کنترل نیروی برش
- ۷۷ ۵-۶- مدلسازی و تحلیل حفریات بدون نصب نگهدارنده
- ۸۱ ۶-۶- تحلیل نگهداری تونلها

### ۷- آنالیز حساسیت پارامترهای موثر در پایداری

- ۱۰۰ ۱-۷- مقدمه
- ۱۰۰ ۲-۷- اثر فاصله تونل‌های اصلی از یکدیگر
- ۱۰۳ ۳-۷- اثر عمق
- ۱۰۵ ۴-۷- اثر مدول تغییر شکل سنگها
- ۱۰۶ ۵-۷- اثر چسبندگی سنگ
- ۱۰۸ ۶-۷- اثر زاویه اصطکاک داخلی سنگ
- ۱۰۹ ۷-۷- اثر نسبت تنش‌های افقی به عمودی

### ۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادات:

- ۱۱۳ ۱-۸- نتایج حاصل از مطالعات ژئومکانیکی
- ۱۱۳ ۲-۸- نتایج حاصل از بررسی ناپایداریهای ساختاری
- ۱۱۴ ۳-۸- نتایج حاصل از روشهای تجربی
- ۱۱۵ ۴-۸- نتایج حاصل از روشهای عددی
- ۱۱۷ ۵-۸- پیشنهادات

### فهرست منابع

- ۱۱۸ لغتنامه
- ۱۲۱ پیوست ۱
- ۱۳۱ پیوست ۲
- ۱۴۷

## فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۲	شکل ۱-۱: مسیر آزادراه تهران شمال
۶	شکل ۲-۱: مقطع طولی تونل تالون
۱۰	شکل ۳-۱: تصویر استریوگرافیک درزه‌های برداشت شده در مسیر تونل تالون
۲۰	شکل ۱-۳: اطلاعات ورودی ناپیوستگی‌های سنگهای دربرگیرنده تونل
۲۱	شکل ۲-۳: تصویر استریوگرافیکی ناپیوستگی‌ها و مسیر تونل
۲۳	شکل ۳-۳: مشخصات سیستم نگهداری اعمال شده جهت پایدارسازی بزرگترین گوه تشکیل شده در تونل اصلی
۲۳	شکل ۴-۳: مشخصات سیستم نگهداری اعمال شده جهت پایدارسازی بزرگترین گوه تشکیل شده در تونل میانی
۲۷	شکل ۱-۴: رابطه بین زمان خود ایستایی دهانه حفاریات زیرزمینی بدون نصب نگهدارنده و مقدار RMR [۱۰]
۳۸	شکل ۲-۴: تخمین سیستم نگهداری بر اساس شاخص Q (از گریمستاد و بارتن در سال ۱۹۹۳)
۴۱	شکل ۳-۴: تخمین مقدار مدول تغییر شکل بر جای سنگ با توجه به طبقه‌بندی‌های توده سنگ
۴۲	شکل ۴-۴: تخمین ضریب اطمینان برای فضاهای زیرزمینی بدون نگهداری شده بر اساس تابعی از عرض فضای زیرزمینی و امتیاز Q و RMR [۱۸]
۵۰	شکل ۱-۵: روشهای عددی در تحلیلهای مختلف
۵۵	شکل ۲-۵: ترتیب محاسبات در CA2
۶۲	شکل ۱-۶: نمایش شبکه المان بندی و ایجاد تراکم
۶۳	شکل ۲-۶: رفتار مواد الاستیک - پلاستیک کامل موهر - کولمب در یک تست سه محوری
۶۷	شکل ۳-۶: صفحه گستر استفاده شده برای بدست آوردن پارامترهای مورد نیاز [۲۸]

- شکل ۴-۶: ایجاد شرایط مرزی در مدل‌های ساخته شده ۶۸
- شکل ۵-۶: کانتورهای تنش قبل از حفاری ۶۹
- شکل ۶-۶: حفاری تونلها در مدل عددی ۷۰
- شکل ۷-۶: طراحی اعضاء تحت ممان و نیروی محوری فشاری ۷۴
- شکل ۸-۶: زونهای پلاستیک اطراف تونل با روباره ۲۸۰ متر برای سنگ  
با مشخصات مکانیکی  $K=0.15$ ,  $E=5\text{GPa}$ ,  $C=12\text{ MPa}$ ,  $\phi=39^\circ$  ۸۱
- شکل ۹-۶: زونهای پلاستیک اطراف تونل با روباره ۲۸۰ متر برای سنگ  
با مشخصات مکانیکی  $K=1/5$ ,  $E=5\text{GPa}$ ,  $C=12\text{ MPa}$ ,  $\phi=39^\circ$  ۸۲
- شکل ۱-۷: اثر تغییرات فواصل تونلها برش اصلی حداکثر القائی در پیرامون تونلها ۱۰۱
- شکل ۲-۷: اثر تغییرات فواصل تونلها بر روند جابجائی پیرامون تونلها ۱۰۲
- شکل ۳-۷: اثر تغییرات فواصل تونلها بر ضریب اطمینان پیرامون تونلها ۱۰۲
- شکل ۴-۷: اثر تغییرات عمق بر تنش اصلی حداکثر القائی پیرامون تونلها ۱۰۴
- شکل ۵-۷: اثر تغییرات عمق بر ضریب اطمینان پیرامون تونلها ۱۰۴
- شکل ۶-۷: اثر تغییرات عمق بر روند جابجائی پیرامون تونلها ۱۰۵
- شکل ۷-۷: اثر تغییرات مدول تغییر شکل سنگ بر مقادیر جابجائی پیرامون تونلها ۱۰۶
- شکل ۸-۷: اثر تغییرات چسبندگی سنگ بر ضریب اطمینان پیرامون تونلها ۱۰۷
- شکل ۹-۷: اثر تغییرات زاویه اصطکاک داخلی سنگ بر ضریب اطمینان پیرامون تونلها ۱۰۹
- شکل ۱۰-۷: اثر تغییرات نسبت تنش افقی به عمودی بر تنش‌های حداکثر القائی ۱۱۰
- شکل ۱۱-۷: اثر تغییرات تنش افقی به عمودی به حداکثر جابجائی در جهت قائم ۱۱۱
- شکل ۱۲-۷: اثر تغییرات تنش افقی به عمودی به حداکثر جابجائی در جهت افقی ۱۱۱
- شکل ۱۳-۷: اثر تغییرات تنش افقی به عمودی بر ضریب اطمینان ۱۱۲

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

۹	جدول ۱-۱: سیستم درزه‌های مسیرتونل تالون
۹	جدول ۲-۱: نتایج آزمایشات شیمیایی نمونه آبهای جمع‌آوری شده
۱۲	جدول ۱-۲: وزن واحد حجم ظاهری، حقیقی و تخلخل
۱۲	جدول ۲-۲: نتایج آزمایش دوام سنگ نمونه
۱۳	جدول ۳-۲: نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم سنگ نمونه
۱۳	جدول ۴-۲: وزن واحد حجم ظاهری، حقیقی و تخلخل سنگ نمونه
۱۴	جدول ۴-۲: نتایج آزمایش بارگذاری نقطه‌ای سنگ نمونه
۱۶	جدول ۵-۲: طبقه‌بندی سنگ بر اساس مقاومت فشاری تک محوری
۲۶	جدول ۱-۴: فهرست گسترده‌ترین سیستم‌های طبقه‌بندی مورد استفاده در مهندسی سنگ
۲۹	جدول ۲-۴: طبقه‌بندی ژئومکانیکی توده سنگ
۳۲	جدول ۳-۴: نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی ژئومکانیکی توده سنگ مسیر تونل تالون
۳۶	جدول ۴-۴: ضریب اهمیت نگهدارنده برای سازه‌های مختلف
۳۸	جدول ۵-۴: طبقه‌بندی توده سنگ در برگیرنده تونل تالون بر اساس شاخص Q
۳۹	جدول ۶-۴: برآورد نگهدارنده مورد نیاز بر اساس نسخه سال ۱۹۹۳ بارتن و گرمستاد
۳۹	جدول ۷-۴: برآورد نگهدارنده مورد نیاز بر اساس نسخه سال ۱۹۷۴ بارتن و گرمستاد

- جدول ۱-۶: نتایج تحلیل پایداری تونل‌های حفاری شده بدون نگهدارنده برای سنگ با مشخصات مکانیکی  $E=9/5$  GPa,  $C=2/4$  MPa,  $\varphi=41^\circ$  و روباره ۸۰ متر ۷۸
- جدول ۲-۶: نتایج تحلیل پایداری تونل‌های حفاری شده بدون نگهدارنده برای سنگ با مشخصات مکانیکی  $E=9/5$  GPa,  $C=2/4$  MPa,  $\varphi=41^\circ$  و روباره ۱۸۰ متر ۷۸
- جدول ۳-۶: نتایج تحلیل پایداری تونل‌های حفاری شده بدون نگهدارنده برای سنگ با مشخصات مکانیکی  $E=9/5$  GPa,  $C=2/4$  MPa,  $\varphi=41^\circ$  و روباره ۲۸۰ متر ۷۹
- جدول ۴-۶: نتایج تحلیل پایداری تونل‌های حفاری شده بدون نگهدارنده برای سنگ با مشخصات مکانیکی  $E=5$  GPa,  $C=1/2$  MPa,  $\varphi=39^\circ$  و روباره ۸۰ متر ۷۹
- جدول ۵-۶: نتایج تحلیل پایداری تونل‌های حفاری شده بدون نگهدارنده برای سنگ با مشخصات مکانیکی  $E=5$  GPa,  $C=1/2$  MPa,  $\varphi=39^\circ$  و روباره ۱۸۰ متر ۸۰
- جدول ۶-۶: نتایج تحلیل پایداری تونل‌های حفاری شده بدون نگهدارنده برای سنگ با مشخصات مکانیکی  $E=5$  GPa,  $C=1/2$  MPa,  $\varphi=39^\circ$  و روباره ۲۸۰ متر ۸۰
- جدول ۷-۶: نتایج تحلیل نگهداری تونل میانی قبل از حفاری دو تونل اصلی بر روی سنگ با مدول  $E=9/5$  GPa و با روش مشابه RMR ۸۳
- جدول ۸-۶: نتایج تحلیل نگهداری بعد از حفاری تونل‌های اصلی برای سنگ با مدول  $E=9/5$  GPa و با روش نگهداری مشابه روش طبقه‌بندی RMR ۸۴
- جدول ۹-۶: نتایج تحلیل نگهداری تونل میانی قبل از حفاری دو تونل اصلی برای سنگ با مدول  $E=5$  GPa و با روش نگهداری مشابه روش RMR ۸۵
- جدول ۱۰-۶: نتایج تحلیل نگهداری بعد از حفاری تونل‌های اصلی برای سنگ با مدول  $E=5$  GPa و با روش نگهداری مشابه روش طبقه‌بندی RMR ۸۶
- جدول ۱۱-۶: نتایج تحلیل نگهداری تونل میانی قبل از حفاری دو تونل اصلی برای سنگ با مدول  $E=9/5$  GPa مشابه سیستم نگهدارنده روش Q ۸۸
- جدول ۱۲-۶: نتایج تحلیل نگهداری بعد از حفاری تونل‌های اصلی برای سنگ با مدول  $E=9/5$  GPa مشابه سیستم نگهدارنده روش Q ۸۹
- جدول ۱۳-۶: نتایج تحلیل نگهداری تونل میانی قبل از حفاری دو تونل اصلی برای سنگ با مدول  $E=5$  GPa مشابه سیستم نگهدارنده روش Q ۹۰
- جدول ۱۴-۶: نتایج تحلیل نگهداری بعد از حفاری تونل‌های اصلی برای سنگ با مدول  $E=5$  GPa مشابه سیستم نگهدارنده روش Q ۹۱