



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن (استخراج معدن)

عنوان

بر آورد عددی و تحلیلی نشست سطح زمین ناشی از تونل سازی

با سپر EPB (مطالعه موردی، خط ۲ متروی مشهد)

نگارش:

عباس نوری نژاد

استاد راهنما:

دکتر مهدی حسینی

دی ماه ۱۳۹۰



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی

دانشکده فنی و مهندسی

گروه معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن (استخراج معدن)

عنوان

برآورد عددی و تحلیلی نشست سطح زمین ناشی از تونل سازی

با سپر EPB (مطالعه موردی، خط ۲ متروی مشهد)

نگارش:

عباس نوری نژاد

استاد راهنما:

دکتر مهدی حسینی

مهندسین مشاور:

مهندس امیر پیروز آزاد، مهندس امیر بیات

دی ماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسمه تعالی
دانشگاه بین المللی امام خمینی



دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
معاونت آموزشی دانشگاه - مدیریت تحصیلات تکمیلی
(فرم شماره ۲۶)

تعهد نامه اصالت پایان نامه

اینجانب علی محمد نوری نیرا دانشجوی رشته استخراج معدنی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد بدین وسیله اصالت کلیه مطالب موجود در مباحث مطروحه در پایان نامه / رساله تحصیلی خود، با عنوان بررسی و ارزیابی روش استخراج معدنی از سنگ آهک با استفاده از اسید کلروسیتریک را تأیید کرده، اعلام می نمایم که تمامی محتوی آن حاصل مطالعه، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان نامه و یا هیچ اثر یا منبع دیگری، اعم از داخلی، خارجی و یا بین المللی، نبوده و تعهد می نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد و یا لوازم این تعهد نامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافاً اینکه کلیه مسئولیت ها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو علی محمد نوری نیرا
امضاء و تاریخ

۹.۱۱.۱۳

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

معاونت آموزشی - مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم تأییدیه هیأت داوران جلسه دفاع از پایان‌نامه

بدین وسیله گواهی میشود جلسه دفاعیه از پایان‌نامه کارشناسی ارشد / دکتر محمد علی محمدی / دانشجو در تاریخ ۱۳۴۰/۸/۱۲ در دانشگاه برگزار گردید و این پایان‌نامه با نمره ۱۰۰٪ و درجه ممتاز مورد تأیید هیأت داوران قرار گرفت.

دانشجوی رشته گرایش تحت عنوان در تاریخ ۱۳۴۰/۸/۱۲ در دانشگاه بر گزار گردید و این پایان نامه با نمره ۱۰۰٪ و درجه ممتاز مورد تأیید هیأت داوران قرار گرفت.

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبۀ دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر مهدی حسینی	استاد یار	دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)	
۲	استاد مشاور	مهندس امیر پیروز آزاد	کارشناس ارشد	قرب قائم - موسسه رهاب	
۳	استاد مشاور	مهندس امیر بیات	کارشناس ارشد	موسسه مهندسين مشاور ایمن سازان	
۴	داور خارج	دکتر عبدالهادی قزوینیان	دانشیار	دانشگاه تربیت مدرس	
۵	داور داخل	دکتر محمد علی عقیقی	استاد یار	دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)	
				مهر و امضا	
				نماینده تحصیلات تکمیلی	

* در صورت وجود استاد راهنمای دوم برای پایان‌نامه / رساله، یک ردیف با عنوان استاد راهنمای دوم، ذیل ردیف استاد راهنما اضافه شود.

تقدیم به:

شهیدان، که قله های رفیع سر بلندی و

مشعل داران افتخار و اقدار و امنیت هستند.

تقدیم به شهدای عرصه علم و فن آوری، شهیدان

دکتر محمد شهبازی

دکتر مسعود علمجمدی

و دانشمندان برجسته

حسن تهرانی مقدم

با تقدیر و تشکر از:

حمد و ستایش مخصوص خداوند است که از الطاف خود بر وجود انسان دمید و او را اشرف مخلوقات قرار داد. حال که به لطف باری تعالی، توفیق کسب علم و دانش را پیدا نمودم، از ذات اقدس حق می خواهم قدم هایم را در راه خدمت به اسلام عزیز و کشورم استوار گرداند.

از پدر و مادر عزیزم که بخاطر تحمل این همه رنج و سختی همیشه باعث دلگرمی من بودند، کمال تشکر را دارم و از خدای بزرگ برایشان طلب خیر و سعادت مندی می کنم.

از جناب آقای دکتر مهدی حسینی، استاد بزرگوار که با راهنمایی های ارزشمند خود بنده را یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای امیر پیروز آزاد مدیر گروه تونل و مسیر پروژه خط ۲ متروی مشهد که در انجام این پروژه بنده را یاری نمودند، قدردانی می نمایم.

در پایان از زحمات بی دریغ جناب آقای مهندس امیر بیات که در انجام این پروژه با مشاوره های ارزشمند خود بنده را یاری نمودند، قدردانی می نمایم.

- چکیده

از جمله پدیده های مهم ناشی از حفر تونل، وقوع نشست در سطح زمین است که این امر به ویژه در مناطق شهری و به خصوص به هنگام عبور از زیر مناطق مسکونی شهرها از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین به منظور جلوگیری از خسارتهای وارده ناشی از حفر تونل بر روی سازه های سطحی و زیرزمینی، بایستی میزان نشست پیش بینی و کنترل گردد. مطالعات نشان می دهد که عوامل مختلفی مانند نوع و جنس زمین، عمق نسبی تونل، شکل مقطع تونل، شرایط و حالت تنش های موجود، روش حفاری تونل، نوع سیستم نگهداری و غیره بر میزان نشست سطح زمین در اثر حفر تونل تأثیر می گذارند. در این تحقیق پیش بینی مقدار نشست در اثر حفر تونل در ۳ مقطع (در محل گمانه های DH-8، DH-32 و DH-39) از مسیر خط ۲ متروی مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. برای پیش بینی نشست در سطح زمین از روش های تحلیلی (لگاناتان- پولوس و بابت) و عددی (روش تفاضل محدود به کمک نرم افزار $Flac^{3D}$) استفاده شده و در نهایت نتایج دو روش با هم مقایسه شده اند. نتایج روشهای تحلیلی نشان می دهد که میزان ماکزیمم نشست زمین در این سه مقطع برای روش لگاناتان- پولوس به ترتیب ۲/۹، ۲/۵ و ۲/۸ سانتی متر و برای روش بابت به ترتیب ۱/۴، ۱ و ۱/۲ سانتی متر و با استفاده از روش عددی به ترتیب ۲/۱، ۳/۷ و ۱/۶ سانتی متر می باشند. نتایج هر دو روش نشان می دهد که میزان نشست در این مقاطع، اکثراً بیش از حد مجاز (۲ سانتی متر در زیر خیابان و ۱ سانتی متر در زیر ساختمان ها) می باشد. بنابراین باید در حین احداث تونل، اقدامات مناسبی از قبیل بهسازی زمین و غیره، جهت کنترل میزان نشست در این مقاطع صورت گیرد.

کلمات کلیدی:

نشست، متروی مشهد، تونل سازی، روش عددی، نرم افزار $Flac^{3D}$

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- هدف از انجام تحقیق.....۲
- ۲-۱- تاریخچه تحقیق.....۲
- ۳-۱- ضرورت انجام تحقیق در مورد نشست سطح زمین بر اثر حفر تونل.....۳
- ۴-۱- روش کار و تحقیق.....۴

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته در مورد نشست در اثر حفر تونل

- ۱-۲- مقدمه.....۷
- ۲-۲- نشست و جابجایی.....۸
- ۳-۲- نشست در اثر حفر تونل در مناطق کم عمق.....۱۰
- ۴-۲- علل نشست زمین در اثر حفر تونل.....۱۱
- ۵-۲- شکل منحنی توزیع نشست.....۱۲
- ۶-۲- فاکتورهای موثر در میزان نشست زمین در اثر حفر تونل.....۱۳
- ۷-۲- بررسی نشست زمین در اثر حفر تونل با سپرها.....۱۳
- ۸-۲- روش های پیش بینی نشست زمین در اثر حفر تونل.....۱۴
- ۱-۸-۲- روش های تجربی پیش بینی نشست در اثر حفر تونل.....۱۵
- ۱-۱-۸-۲- مطالعات انجام شده برای تعیین نشست ماکزیمم.....۲۰
- ۲-۸-۲- روش های تحلیلی پیش بینی نشست زمین در اثر حفر تونل.....۲۴
- ۱-۲-۸-۲- روش اوتئو.....۲۴
- ۲-۲-۸-۲- روش لگاناتان- پولوس.....۲۵
- ۳-۲-۸-۲- روش ساگاستا.....۲۸
- ۴-۲-۸-۲- روش ورویت- بوکر.....۳۰

فهرست مطالب

۳۱	۲-۸-۲-۵- روش بابت
۳۴	۲-۸-۲-۶- روش پارک
۳۶	۲-۸-۳- استفاده از روش های عددی برای پیش بینی نشست در اثر حفر تونل
۳۸	۲-۸-۴- مطالعات مختلف برآورد نشست سطح زمین در پروژه های اجراء شده

فصل سوم: مشخصات پروژه خط ۲ متروی مشهد

۵۱	۳-۱- مقدمه
۵۲	۳-۲- معرفی پروژه
۵۲	۳-۳- زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی
۵۲	۳-۳-۱- زمین شناسی عمومی منطقه و وضعیت عمومی لایه های خاک محدوده طرح
۵۲	۳-۳-۱-۱- زمین ریخت شناسی گستره مشهد
۵۵	۳-۳-۱-۲- وضعیت عمومی رسوبات آبرفتی گستره شهر مشهد و محدوده طرح
۵۵	۳-۳-۱-۳- وضعیت لایه های تحت الارضی خاک در محدوده طرح
۵۷	۳-۳-۲- وضعیت آب زیرزمینی در محدوده طرح
۵۷	۳-۳-۳- روانگرایی خاک به هنگام زمینلرزه
۵۷	۳-۳-۴- برخورد با لایه های سست و زونهای برشی گسلها
۵۸	۳-۳-۵- قنوات
۶۳	۳-۳-۶- برآورد تنش های ثقلی و نسبت تنش ها
۶۳	۳-۳-۱-۶- زمین های با تحکیم عادی
۶۴	۳-۳-۲-۶- زمین های بیش تحکیم شده
۶۶	۳-۴- مطالعات ژئوتکنیکی در گستره طرح
۶۶	۳-۴-۱- عملیات صحرائی
۶۸	۳-۴-۲- مدل ژئوتکنیکی گستره طرح
۶۹	۳-۵- نحوه اجرای تونل خط ۲ متروی مشهد
۷۰	۳-۵-۱- مراحل اجرای تونل با ماشین حفار
۷۱	۳-۵-۲- مسیرهای روباز (U-Wall)
۷۱	۳-۶- روش حفاری

فصل چهارم: پیش بینی نشست سطح زمین ناشی از حفر تونل خط ۲ متروی مشهد

۷۴	۱-۴- مقدمه
۷۴	۲-۴- روش پیش بینی نشست سطح زمین در اثر حفر تونل خط ۲ متروی مشهد
۷۵	۱-۲-۴- روش تحلیلی
۷۷	۱-۱-۲-۴- برآورد پارامتر گپ
۷۸	۲-۲-۴- روش های عددی
۸۲	۱-۲-۲-۴- انتخاب محدوده مناسبی از توده سنگ اطراف تونل
۸۲	۲-۲-۲-۴- انتخاب مدل رفتاری و تعیین پارامترهای آن
۸۳	۳-۲-۲-۴- میزان فشار وارد بر تونل، ناشی از بار ترافیکی خیابان
۸۴	۴-۲-۲-۴- نسبت تنش افقی به قائم (K)
۸۴	۵-۲-۲-۴- پارامترهای مربوط به سپر و سگمنت بتنی
۸۵	۶-۲-۲-۴- حداقل و حداکثر فشار نگهداری
۸۷	۳-۴- پیش بینی نشست ناشی از حفر تونل خط ۲ متروی مشهد
۸۸	۱-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین در مقطع ۱ در محل گمانه DH-۸
۸۹	۱-۱-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین با استفاده از روش تحلیلی
۹۲	۲-۱-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین با استفاده از مدلسازی عددی
۹۷	۳-۱-۳-۴- تفسیر نتایج در مقطع ۱، واقع در محل گمانه DH-۸
۱۰۰	۲-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین در مقطع ۲ در محل گمانه DH-۳۲
۱۰۲	۱-۲-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین با استفاده از روش تحلیلی
۱۰۳	۲-۲-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین با استفاده از مدلسازی عددی
۱۰۴	۳-۲-۳-۴- تفسیر نتایج در مقطع ۲ در محل گمانه DH-۳۲
۱۰۶	۳-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین در مقطع ۳ در محل گمانه DH-۳۹
۱۰۸	۱-۳-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین با استفاده از روش تحلیلی

فهرست مطالب

۱۰۹-.....۲-۳-۳-۴- پیش بینی نشست سطح زمین با استفاده از مدل‌سازی عددی

۱۱۰-.....DH-۳۹-۳-۳-۳-۴- تفسیر نتایج در مقطع ۳ در محل گمانه

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۱۴-.....۱-۵- نتیجه گیری

۱۱۵-.....۲-۵- پیشنهادات

۱۱۷-.....منابع و ماخذ

۱۲۲-.....پیوست الف

۱۲۷-.....پیوست ب

۱۳۲-.....چکیده انگلیسی

فهرست جداول

عنوان	صفحه
۲-۱- پیش بینی ماکزیمم میزان نشست سطحی ارائه شده توسط فوجیتا.....	۲۰
۲-۲- تخمین میزان نشست سطح زمین با توجه به روشهای مختلف برآورد نشست.....	۳۹
۲-۳- مقدار نشست زمین در روش های تحلیلی اجرایی.....	۴۱
۲-۴- پارامترهای ژئوتکنیکی خاک در محدوده طرح.....	۴۸
۲-۵- تخمین میزان نشست سطح زمین با توجه به روشهای مختلف برآورد نشست.....	۴۸
۳-۱- مشخصات کلی ابنیه های خط ۲ متروی مشهد.....	۵۲
۳-۲- مشخصات تعدادی از قنات های شهر مشهد (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی).....	۶۱
۳-۳- رده بندی خاک برای طراحی های ژئوتکنیکی.....	۶۸
۳-۴- رده بندی خاک برای طراحی های ژئوتکنیکی.....	۶۸
۳-۵- مشخصات فنی سپرهای مورد استفاده در حفاری خط ۲ متروی مشهد.....	۷۲
۴-۱- پارامترهای سپر EPB مورد استفاده در حفاری تونل خط ۲ متروی مشهد.....	۸۴
۴-۲- خصوصیات قطعات بتنی پیش ساخته.....	۸۵
۴-۳- حداقل و حداکثر فشارهای نگهداری در تاج، محور و کف تونل.....	۸۶
۴-۴- مشخصات گمانه ها برای مقاطع مورد نظر.....	۸۷
۴-۵- مشخصات ژئومکانیکی خاک در محل گمانه DH-۸.....	۸۹
۴-۶- برآورد مقدار I_p با استفاده از روابط تجربی در مقطع شماره ۱.....	۹۱
۴-۷- مقادیر نشست پیشینه محاسبه شده برای مقطع ۱.....	۹۸
۴-۸- مشخصات ژئومکانیکی خاک در محل گمانه DH-۳۲.....	۱۰۱
۴-۹- برآورد مقدار I_p با استفاده از روابط تجربی در مقطع شماره ۲.....	۱۰۳

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۰۴.....	۴-۱۰- مقادیر نشست بیشینه محاسبه شده برای مقطع ۲.....
۱۰۷.....	۴-۱۱- مشخصات ژئومکانیکی خاک در محل گمانه DH-۳۹.....
۱۰۹.....	۴-۱۲- برآورد مقدار λ با استفاده از روابط تجربی در مقطع شماره ۳.....
۱۱۰.....	۴-۱۳- مقادیر نشست بیشینه محاسبه شده برای مقطع ۳.....

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
۲-۱- حالت تیپیکک جابجایی ذرات در بالا و دیواره های تونل.....	۸
۲-۲- مناطق تحت کشش و فشردگی در نیمرخ شکست.....	۹
۲-۳- منحنی جابجایی، نشست و تغییر شکل نسبی.....	۹
۲-۴- منحنی توزیع عرضی نشست بر اساس قانون منحنی توزیع آماری نرمال.....	۱۲
۲-۵- عوامل اصلی تغییر شکل زمین در اثر حفر تونل با سپرهای بسته.....	۱۴
۲-۶- گودی ایده آل نشست روی تونل.....	۱۶
۲-۷- رابطه بی بعد عرض گودی نشست t/R و عمق تونل $Z_0/2R$ برای تونل در مصالح مختلف.....	۱۷
۲-۸- تغییرات K در عمق، برای نقاط مختلف بالای تونل در رس.....	۱۹
۲-۹- توزیع نشست در داخل تونل.....	۲۳
۲-۱۰- محدوده سهمی جابجایی در اطراف و بالای تونل.....	۲۳
۲-۱۱- الگوی دگرشکلی ها و شرایط مرزی اعمال شده در روش لگاناتان و پولوس.....	۲۶
۲-۱۲- الگوی تعبیر شکل زمین در اطراف مقطع تونل.....	۲۷
۲-۱۳- حفاری تونل (مختصات مسئله).....	۲۸
۲-۱۴- جابجایی های نهائی سطحی ناشی از حفاری تونل.....	۲۹
۲-۱۵- شرایط مفروض در روش بابت.....	۳۱
۲-۱۶- شرایط مرزی تعیین کننده جابجایی ها در اطراف تونل.....	۳۴
۲-۱۷- پارامترهای مفروض در روش پارک.....	۳۵
۲-۱۸- پلان و نیمرخ طولی زون ابزار نگاری شده test-field.....	۴۱
۲-۱۹- ماکزیمم مقدار جابجایی قائم w_{max} ، تخمین حجم افت زمین v_s در عمق های مختلف محور تونل.....	۴۲
۲-۲۰- ماکزیمم مقدار جابجایی برای مقطع S۵-۲۸.....	۴۲
۲-۲۱- ماکزیمم مقدار جابجایی برای مقطع S۱-۲۸.....	۴۲

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
۲۲-۲- ماکزیمم مقدار جابجایی برای مقطع S۵-۲۹.....	۴۳
۲۳-۲- مقایسه پروفیل طولی جابجایی قائم با توجه به ابزار دقیق و روش های ساگاستا و تجربی برای مقطع S۱-۲۸.....	۴۳
۲۴-۲- مقایسه پروفیل طولی جابجایی قائم با توجه به ابزار دقیق و روش های ساگاستا و تجربی برای مقطع S۵-۲۸.....	۴۳
۲۵-۲- مقایسه پروفیل طولی جابجایی قائم با توجه به ابزار دقیق و روشهای ساگاستا و تجربی برای مقطع S۵-۲۹.....	۴۴
۲۶-۲- مقایسه میان اندازه گیری آزمایشی (ابزارنگاری) و نتایج مدلسازی عددی نشست برای تونل به عمق ۱۳/۵ متر.....	۴۴
۲۷-۲- مقایسه میان اندازه گیری آزمایشی (ابزارنگاری) و نتایج جابجایی قائم مدل سازی عددی متناظر با مقطع تونل با عمق ۱۱/۵ متر از محور مرکزی تونل در پشت جبهه کار تونل.....	۴۴
۲۸-۲- ماکزیمم نشست سطحی در محدوده تراز متروی خط ۱ بانکوک.....	۴۶
۲۹-۲- نسبت میان عرض گودی نشست i/R و عمق تونل مربوط به منحنی پیک (۱۹۶۹).....	۴۶
۳۰-۲- نسبت میان عرض گودی نشست و عمق تونل مربوط به منحنی اریلی- نیو (۱۹۸۲).....	۴۷
۳۱-۲- مقایسه میان جابجایی های افقی با توجه به ابزار نگاری و روشهای تحلیلی.....	۴۷
۱-۳- نقشه خطوط متروی مشهد.....	۵۱
۲-۳- نقشه زمین شناسی محدوده شهر مشهد و مناطق اطراف آن (بر گرفته از نقشه زمین شناسی - سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰).....	۵۴
۳-۳- نقشه بافت خاک سطحی شهر مشهد.....	۵۶
۴-۳- اجزاء قنات شامل میله، مادر چاه، کوره و مظهر قنات.....	۵۹
۵-۳- نقشه رشته قنات های موجود در شهر مشهد.....	۶۰
۶-۳- موقعیت قنات های شهر مشهد نسبت به مسیر خط ۲ متروی مشهد (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی).....	۶۲
۷-۳- رابطه بین K_0 و OCR برای زمین های بیش تحکیم شده.....	۶۵
۸-۳- مقایسه بین روابط (۱-۳)، (۲-۳) و (۳-۳).....	۶۶
۹-۳- مسیر خط ۲ متروی مشهد به همراه محل حفر گمانه ها و چاهک ها.....	۶۷
۱۰-۳- پلان تونل خط ۲ متروی مشهد.....	۶۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
۳-۱۱- مسیر حرکت دستگاه های حفاری مکانیزه.....	۶۹
۳-۱۲- مقطع عمومی تونل تکمیل شده خط ۲ متروی مشهد.....	۷۰
۳-۱۳- مقطع عمومی U-Wall طراحی شده.....	۷۱
۴-۱- گپ فیزیکی معرف فاصله هندسی بین قطر حفاری و قطر خارجی پوشش.....	۷۸
۴-۲- روند کلی شبیه سازی در نرم افزار FLAC ^{3D}	۸۱
۴-۳- مرزهای بالایی و پایینی فشار نگهداری در محدوده مدل تعادل جانسنز - استینر (۱۹۹۴).....	۸۶
۴-۴- حداقل و حداکثر فشار نگهداری در محور تونل.....	۸۷
۴-۵- موقعیت گمانه ۸-DH در پروفیل زمین شناسی پروژه.....	۸۸
۴-۶- پلان محدوده گمانه در نقشه مشهد.....	۸۸
۴-۷- پروفیل عرضی نشست سطح زمین، حاصل از روش تحلیلی لگاناتان و پولوس در مقطع ۱.....	۹۰
۴-۸- پروفیل عرضی نشست سطح زمین با استفاده از روش بابت و رابطه پک در مقطع ۱.....	۹۲
۴-۹- نمودار مربوط به نیروهای نامتعادل کننده بلوک قبل از شروع حفاری.....	۹۳
۴-۱۰- موقعیت تونل نسبت به واحدهای زمین شناسی تشکیل دهنده مقطع ۱.....	۹۳
۴-۱۱- کنتورهای مربوط به تنش های ثقلی و سربار ناشی از بار ترافیکی وارد شده به بلوک.....	۹۴
۴-۱۲- کنتورهای مربوط به تنش های جانبی وارده به بلوک.....	۹۴
۴-۱۳- نحوه استقرار سپر در زمین.....	۹۵
۴-۱۴- جابجایی های بوجود آمده در اثر اضافه حفاری به میزان ۱/۷ سانتیمتر.....	۹۶
۴-۱۵- نمایی از عناصر سپر، دوغاب و سگمنت های بتنی مدل شده.....	۹۷
۴-۱۶- پروفیل های عرضی نشست محاسبه شده برای مقطع ۱.....	۹۹
۴-۱۷- پروفیل نشست طولی حاصل از روش عددی، برای مقطع ۱.....	۹۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
۱۸-۴- میزان نشست سطحی بوجود آمده در نواحی مختلف مقطع ۱ بر اساس مقدار نشست بیشینه.....	۱۰۰
۱۹-۴- موقعیت گمانه DH-۳۲ در پروفیل زمین شناسی پروژه.....	۱۰۱
۲۰-۴- پلان محدوده گمانه در نقشه مشهد.....	۱۰۱
۲۱-۴- پروفیل عرضی نشست سطح زمین، حاصل از روش تحلیلی لگاناتان و پولوس در مقطع ۲.....	۱۰۲
۲۲-۴- پروفیل عرضی نشست سطح زمین با استفاده از روش بابت و رابطه پک در مقطع ۲.....	۱۰۳
۲۳-۴- پروفیل های عرضی نشست محاسبه شده با روش های مختلف، برای مقطع ۲.....	۱۰۵
۲۴-۴- پروفیل نشست طولی حاصل از روش عددی، برای مقطع ۲.....	۱۰۵
۲۵-۴- میزان نشست سطحی بوجود آمده در نواحی مختلف مقطع ۲ بر اساس مقدار نشست بیشینه.....	۱۰۶
۲۶-۴- موقعیت گمانه DH-۳۹ در پروفیل زمین شناسی پروژه.....	۱۰۷
۲۷-۴- پلان محدوده گمانه در نقشه مشهد.....	۱۰۷
۲۸-۴- پروفیل نشست سطح زمین، حاصل از روش تحلیلی لگاناتان و پولوس در مقطع ۳.....	۱۰۸
۲۹-۴- پروفیل عرضی نشست سطح زمین با استفاده از روش بابت و رابطه پک در مقطع ۳.....	۱۰۹
۳۰-۴- پروفیل های عرضی نشست محاسبه شده با روش های مختلف، برای مقطع ۳.....	۱۱۱
۳۱-۴- پروفیل های نشست طولی حاصل از روش عددی، برای مقطع ۳.....	۱۱۱
۳۲-۴- میزان نشست سطحی بوجود آمده در نواحی مختلف مقطع ۳ بر اساس مقدار نشست بیشینه.....	۱۱۲
۳۳-۴- نمودار مربوط به نیروهای نامتعادل کننده بلوک، قبل از شروع حفاری در مقطع ۲.....	۱۲۳
۳۴-۴- موقعیت تونل نسبت به واحدهای زمین شناسی تشکیل دهنده مقطع ۲.....	۱۲۳
۳۵-۴- کنتور های مربوط به تنش های ثقلی و سربار ناشی از بار ترافیکی وارد شده به بلوک در مقطع ۲.....	۱۲۴
۳۶-۴- کنتورهای مربوط به تنش های جانبی وارده به بلوک در مقطع ۲.....	۱۲۴

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
۴-۳۷- نحوه استقرار سپر در زمین مربوط به مقطع ۲.....	۱۲۵
۴-۳۸- جابجایی های بوجود آمده در اثر اضافه حفاری به میزان ۲/۹ سانتیمتر در مقطع ۲.....	۱۲۵
۴-۳۹- نمایی از عناصر سپر، دوغاب و سگمنت های بتنی مدل شده مربوط به مقطع ۲.....	۱۲۶
۴-۴۰- نمودار مربوط به نیروهای نامتعادل کننده بلوک، قبل از شروع حفاری در مقطع ۳.....	۱۲۸
۴-۴۱- موقعیت تونل نسبت به واحدهای زمین شناسی تشکیل دهنده مقطع ۳.....	۱۲۸
۴-۴۲- کنتور های مربوط به تنش های ثقلی و سربار ناشی از بار ترافیکی وارد شده به بلوک در مقطع ۳.....	۱۲۹
۴-۴۳- کنتورهای مربوط به تنش های جانبی وارده به بلوک در مقطع ۳.....	۱۲۹
۴-۴۴- نحوه استقرار سپر در زمین مربوط به مقطع ۳.....	۱۳۰
۴-۴۵- جابجایی های بوجود آمده در اثر اضافه حفاری به میزان ۱/۵ سانتیمتر در مقطع ۳.....	۱۳۰
۴-۴۶- نمایی از عناصر سپر، دوغاب و سگمنت های بتنی مدل شده مربوط به مقطع ۳.....	۱۳۱