دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه استخراج معدن

تحلیل پایداری و بررسی تاثیر حفاری تونل خط۲ بر تونل خط ۱ قطار شهری مشهد

دانشجو: حسین رضایی مقدم

اساتید راهنما:

دکتر سید محمد اسماعیل جلالی

دکتر سید رحمان ترابی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد به منظور اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۰۶/۹۲/۱۲۶۳

تاریخ: ۹۲/۱۲/۱۱

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای **حسین رضایی مقدم** رشته مهندسی معدن گرایش مکانیک سنگ تحت عنوان تحلیل پایداری و بررسی تاثیر حفاری تونل خط ۲ بر تونل خط ۱ قطار شهری مشهد که در تاریخ ۹۲/۱۱/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه : قابل قبول امتیاز ۱۵/۷۵) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹)

۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)

۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ۱۶)

۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکترسیدمحمداسماعیل جلالی	دانشیار	
۲ـ استاد راهنما	دکترسیدرحمان ترابی	استاد	
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مجید نیکخواه	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	دکتر احمد رمضان زاده	استادیار	
۵ ـ استاد ممتحن	دکتر حسین میرزایی	استادیار	

رئیس دانشکده : امضاء

تقدیم به همسر فداکار و پدر و مادر عزیزم

آنان که خمیدند تا راست قامت بمانم

آنان که موی سپید کردند تا روی سپید بمانم

تقدیر و تشکر

خداوند متعال را شاکر هستم که توفیق انجام این تحقیق را بر من ارزانی داشت. بی شک در این مسیر طولانی دست یاری عزیزان فراوانی همراه من بود که شایسته است تا مراتب سپاس گذاری خود را از آنان اعلام دارم. بر خود لازم می دانم که از تمامی عزیزانی که در طول انجام پایان نامه از راهنمایی هایشان استفاده کرده ام تشکر کنم. از اساتید راهنمای عزیز جناب آقای دکتر سید محمد اسماعیل جلالی و آقای دکتر سید رحمان ترابی و نیز همکاران عزیزم جناب آقای مهندس ایمان عطار، مهندس فرمین خاکپور یگانه و همچنین مهندس حجت محمدی از مدرسین دانشگاه فردوسی مشهد که در بسیاری از مواقع از راهنمایی های ارزنده ایشان استفاده نمودم کمال تشکر و امتنان را دارم.

و همچنین از کلیه دوستانم خصوصاً آقایان مهندس مسعود اسحاقی، شریف براتی و صمد منصوری که در طی دوران تحصیل فضایی آرام و دوستانه و فرهنگی را با ایشان تجربه کردم سپاس گزاری می کنم.

تعهد نامه

اینجانب **حسین رضایی مقدم** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مکانیک سنگ** دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوتکنیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تحلیل پایداری و بررسی تاثیر حفاری تونل خط ۲ بر تونل خط ۱ قطارشهری مشهد** تحت راهنمائی **آقای دکتر جلالی و ترابی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- ***کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.***

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد

چکیده:

در این پژوهش اندرکنش حفر تونل خط۲ متروی مشهد با ایستگاه موجود خط۱ متروی مشهد (ایستگاه شریعتی) در ناحیه تقاطع مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی شرایط تنش و تغییر مکان ایجاد شده در اثر حفر ایستگاه، فرآیند حفر ایستگاه به روش کند و پوش، مدل‌سازی شده است. این روش ساخت ایستگاه، روش متداولی در احداث ایستگاه‌های مترو در عمق کم است و در چندین مورد در خط۱ متروی مشهد استفاده شده است.

در قسمت پی ناحیه مرکزی این ایستگاه به منظور کاهش نشست و اثرات اندرکنش بین ایستگاه و تونل جدید از سیستم رادیه- شمع استفاده شده است. تونل جدید در زیر ایستگاه توسط شمع‌های جانبی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر تا دیواره این تونل احاطه شده است. در طراحی تونل خط۲ که با استفاده از TBM- EPBحفر خواهد شد، کنترل ایمنی عملیات در مجاورت تونل خط ۱ اهمیت بالایی دارد. از این رو بررسی اندرکنش حفر تونل جدید و ایستگاه و همچنین بررسی نشست سطح زمین در این ناحیه از اهمیت بالایی برخوردار است. برای بررسی این ساز و کار تحلیل سه بعدی اجزای محدود با استفاده از نرم افزار Abaqus انجام شده و در آن از مدل رفتاری موهر- کلمب برای خاک استفاده شده است. برای بررسی اثر عوامل موثر بر اندرکنش ایستگاه و تونل جدید، تحلیل حساسیت بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک، فاصله ایستگاه و تونل جدید، فشار وارد بر جبهه کار و شمع‌ها انجام شده است.

نتایج نشان می‌دهد سیستم رادیه- شمع به خوبی نشست‌ها و اختلاف نشست‌های حاصل از حفاری خط ۲ را کاهش داده است. همچنین نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش اثرات اندرکنشی با افزایش فاصله بین ایستگاه و تونل است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت خصوصیات خاک نشان می‌دهد که با بهبود خصوصیات خاک در فاصله بین ایستگاه و تونل می‌توان نشست‌ها و اختلاف نشست‌های ناشی از حفر تونل

خط۲ را کاهش داد. همچنین نتایج حاصل از اثر فشار وارد بر جبهه تونل تحتانی حاکی از این است که با تغییر این فشار، نشست سطحی در ناحیه تقاطع به میزان ناچیزی تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه مترو، TBM-EPB، نشست زمین، اجزای محدود، مدل‌سازی سه بعدی

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول: پیشگفتار

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- اهداف پژوهش ۳
۱-۳- مروری بر مطالب پایان نامه ۳

فصل دوم: تونلسازی مکانیزه در محیط‌های شهری

۲-۱-مقدمه ٦
۲-۲-روش‌های حفر مکانیزه تونل در محیط‌های شهری ۷
۲-۳-دستگاه‌های متعادل کننده فشار زمین(EPB) ۸
۲-۴-عوامل موثر بر افت حجم در تونل‌سازی مکانیزه ۹
۲-۴-۱-کاهش فشار در سینه کار تونل ۱۰
۲-۴-۲- اضافه حفاری ۱۰
۲-۴-۳-فضای خالی بین پوشش بتن و دیواره تونل ۱۱
۲-۵- نشست‌های ایجاد شده در اثر تونل‌سازی مکانیزه با سپر ۱۲
۲-۵-۱- نشست در جلو کله حفار و بالای سینه کار ۱۳
۲-۵-۲- نشست در امتداد سپر ۱۳
۲-۵-۳- نشست در نقطه تلاقی ته سپر با قطعه‌های پیش ساخته بتنی ۱۳
۲-۵-۴- نشست به علت تغییر شکل‌های خطی ۱٤
۲-۶- برآورد فشار سینه کار ۱٤
۲-۶-۱-روش‌های تحلیلی ۱٥
۲-۶-۲-تحلیل‌های عددی دو بعدی ۱٥
۲-۶-۳-تحلیل‌های عددی سه بعدی ۱۷
۲-۷- شرایط تعادل و روش بهینه پیشروی ۱۸
۲-۸- انتخاب فشار سینه کار ۲۰
۲-۹- ماشین‌های حفر تونل در خاک ۲٦
۲-۹-۱- سپرهای دوغابی ۲۷

۲-۹-۲-پارامترهای کلیدی ۲۸
۲-۹-۳- ماشین سپر فشار تعادلی زمین ۲۹
۲-۹-۳-۱- جنبه‌های زمین شناسی و ژئوتکنیک ۳۰
۲-۹-۳-۲- عملیات خروج خاک حفاری ۳۱
۲-۹-۴- معیارهای انتخاب بین سپر دوغابی و فشار تعادلی زمین ۳۲
۲-۹-۵- حوزه کاربردی ۳۲
۲-۹-۶- کله حفار و ابزارهای حفاری ۳٤
۲-۹-۷- تزریق در فضای خالی پشت قطعه پیش ساخته بتنی ۳٤
۲-۹-۸- سیستم کنترلی ۳٥
۲-۹-۹- عملیات مواد خروجی ۳٦
۲-۱۰- مقایسه بین سپر دوغابی و سپر فشار تعادلی زمین ۳۷

فصل سوم: مروری بر پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با تونل‌های متقاطع غیر همسطح

۳-۱- مقدمه ۳۹
۳-۲- مقدمه ۳۹
۳-۳-آثار تونل‌سازی برروی سامانه‌های نگهداری موجود تونل‌های متقاطع(۹۰درجه) ٤۲
۳-۳-۱- آثار تونل‌سازی بر روی تغییر شکل سامانه نگهداری تونل‌های مجاور ٥٥
۳-۴- مدل‌سازی سه بعدی تونل‌های متقاطع بزرگ مقطع (مطالعه موردی تقاطع خط ۷ و ۳ متروی تهران) ٥٦
۳-۴-۱- معرفی پروژه خط ۷ و ۳ متروی تهران ٥۷
۳-۴-۲- موقعیت و خصوصیات طرح مورد بررسی ٥۸
۳-۴-۳- شبیه سازی سه بعدی از تقاطع خط ۷ و ۳ متروی تهران ٦۱
۳-۴-۴- بررسی نتایج مدل‌سازی عددی تقاطع خط ۷ و خط۳ متروی تهران ٦۳
۳-۵- بررسی عوامل موثر در اندرکنش حفر تونل جدید با فضای زیرزمینی (ایستگاه مترو) موجود در محل تقاطع. ٦۹
۳-۶- جمع‌بندی ٦۹

فصل چهارم: روش اجرا و مدل‌سازی تونل‌های غیرهمسطح خطوط ۱ و ۲ قطارشهری مشهد

۴-۱- مقدمه ۷۱
۴-۲- زمین شناسی شهر مشهد ۷۱
۴-۳- خطوط متروی مشهد ۷۲
۴-۴- خط۲ متروی مشهد ۷۳
۴-۵- مشخصات ایستگاه مورد بررسی ۷٤

۴-۵-۱- روش کند و پوش ۷٤
۴-۵-۲- روش تاق بتنی ۷٥
۴-۵-۳- روش مجتمع ایستگاهی ۷٦
۴-۶- مشخصات اجرای تونل خط ۲ ..... ۷۷
۴-۷- مدل‌های رفتاری خاک ۷۸
۴-۷-۱- مدل الاستیک خطی ۷۸
۴-۷-۲- مدل موهر- کولمب ۷۸
۴-۸- خصوصیات ژئوتکنیکی زمین در محل تقاطع ۷۹
۴-۹- نحوه مدل‌سازی ۸۰
۴-۹-۱- مدل‌سازی ایستگاه ۸۳
۴-۹-۲- مدل‌سازی تونل ۸٥
۴-۹-۳- نحوه‌ی شبکه بندی مدل ۸٦
۴-۹-۴- تعریف گام ایجاد شرایط تنش درجای زمین ۸۸
۴-۹-۵- تعیین شرایط مرزی ۸۸
۴-۹-۶- خروجی‌های مدل ۸۹
۴-۹-۶-۱- تغییر شکل ۸۹
۴-۹-۶-۲- تنش ۸۹
۴-۹-۷- مسیرهای پایش ۸۹
۴- ۱۰ – المان‌های مدل‌سازی عددی ۹۱
۴-۱۱- پارامترهای مورد بررسی ۹۱

فصل پنجم: بحث در نتایج مدل‌سازی

۵-۱- مقدمه ۹٤
۵-۲- مدل پایه ۹٤
۵-۳- بررسی عوامل موثر در اندرکنش ۱۰٤
۵-۳-۱- بررسی اثر نوع خاک ۱۰٥
۵-۳-۲- اثر فاصله ایستگاه وتونل ۱۱۳
۵-۳-۳- اثر فشار وارد بر جبهه کار تونل تحتانی ۱۱۹
۵-۳-۴- شمع‌ها ۱۲٤

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱- مقدمه ۱۳۲
۶-۲- نتیجه‌گیری ۱۳۲
۶-۳- پیشنهادها ۱۳٤
منابع ۱۳٥

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل۲-۱- دسته بندی انواع TBM برای حفاری در زمین‌های نرم از دیدگاه ITA ۷
شکل۲-۲-دستگاه TBM-EPB ۸
شکل۲-۳-افت سینه کار ۱۰
شکل۲-۴- افت شعاعی ۱۰
شکل۲-۵- افت کلی ۱۱
شکل۲-۶- نشست‌های ایجاد شده در اثر تونل‌سازی با سپر ۱٤
شکل۲-۷- شبیه‌سازی عددی دو بعدی برای تعیین منحنی نشست ۱٦
شکل۲-۸- شبیه‌سازی دو بعدی با مقطع طولی ۱۷
شکل۲-۹-کله‌های حفار استفاده شده در تست‌های آزمایشگاهی ۱۹
شکل۲-۱۰-مدل EPB بکار برده شده در تست‌های آزمایشگاهی ۱۹
شکل۲-۱۱- رابطه بین فشار زمین و جابجایی ۲۱
شکل۲-۱۲- تاثیر پارامترهای فشار نگهدارنده سینه‌کار، فشار تزریق و پارامترهای طراحی TBM بر روی میزان نشست ۲۳
شکل۲-۱۳- تاثیر فشار سینه‌کار بر روی میزان نشست ۲٤
شکل۲-۱۴- شبیه‌سازی مراحل حفاری ۲٥
شکل۲-۱٥- مقایسه بین نشست سطحی عرضی محاسبه و اندازه‌گیری شده ۲٦
شکل۲-۱۶- پروفیل نشست طولی و داده‌های میدانی ضبط شده در روزهای مختلف ۲٦
شکل۲-۱۷- هیدروشیلد/ سپر ترکیبی با دو اتاقک ۲۸
شکل۲-۱۸- سپر فشار تعادلی زمین ۳۳
شکل۲-۱۹- پرشدن فضای خالی پشت قطعه پیش ساخته بتنی ۳٦
شکل۳-۱- مدل هندسی برای تونل‌های متقاطع عمود بر هم ٤۳
شکل۳-۲- مدل اجزای محدود برای تونل‌های متقاطع عمود برهم و سیستم‌های نگهداری آن‌ها(یعنی پوشش شاتکریت و پیچ‌سنگ‌ها) ٤۲
شکل۳-۳- تغییرات گشتاور خمشی پوشش شاتکریت موجود در طول تونل‌سازی ٤٥
شکل۳-۴- تغییرات نیروی محوری پیچ‌سنگ‌های موجود در طول تونل‌سازی ٤۹
شکل۳-٥- تغییرات گشتاورهای خمشی و نیروهای محوری در مرکز پوشش شاتکریت موجود در طول تونل‌سازی ٥۰
شکل۳-۶- مقایسه‌های ارتباط بین گشتاورهای خمشی و نیروهای محوری و ظرفیت معمولی مدل شده ٥۱

شکل۳-۷- تغییرات نیروهای محوری در مرکز پیچ‌سنگ موجود در طول تونل‌سازی ٥٤
شکل۳-۸- مقایسه تغییرات جابجایی‌های اغراق آمیز در مرکز سیستم نگهداری موجود در طول تونل‌سازی ٥٥
شکل۳-۹- محل تقاطع D3 L7 ..... ٦٠
شکل۳-۱۰- مدل المان محدود سه بعدی و ابعاد ٦٢
شکل۳-۱۱- محل کنترل پیش بینی رفتار زمین ٦٢
شکل۳-۱۲- نشست سطحی در اثر حفر تونل خط ۳ در طول مقطع AB برای مراحل مختلف پیشروی تونل ٦٤
شکل۳-۱۳- نشست سطحی در اثر حفر تونل خط ۷ در طول مقطع AB برای مراحل مختلف پیشروی تونل ٦٥
شکل۳-۱۴- روند جابجایی عمودی خاک در سطح زمین در نقطه M ٦٦
شکل۳-۱۵- نشست سطحی در اثر حفر تونل خط ۳ و۷ در طول مقطع CD ٦٦
شکل ۳-۱۶- تغییر شکل سطح زمین (۲۰۰ برابر) ٦٧
شکل۳-۱۷- فشار محاسبه شده اطراف تونل خط ۳ در محل تقاطع ٦٨
شکل۴-۱- نقشه بافت خاکی سطحی در پهنه شهر مشهد ٧٢
شکل۴-۲- مسیر خطوط متروی مشهد ٧٣
شکل۴-۳- موقعیت ایستگاه نسبت به خط ۲ ..... ٧٤
شکل۴-۴- جزئیات ناحیه مرکزی ایستگاه و موقعیت قرارگیری شمع‌ها ٧٧
شکل۴-۵-رویه جاری شدن معیار موهر- کولمب در فضای تنش های اصلی ٧٩
شکل۴-۶- درصد خطا بر اساس حداکثر نشست سطح ٨٢
شکل۴-۷- نحوه مدل‌سازی ایستگاه ٨٤
شکل۴-۸- سیستم رادیه- شمع و موقعیت تونل تحتانی نسبت به آن ٨٥
شکل۴-۹- نمایی از هندسه مدل ایستگاه و تونل ٨٦
شکل۴-۱۰- شبکه‌بندی اجزاء مختلف مدل الف: شبکه‌بندی زمین ب: شبکه‌بندی اجزاء بتنی ٨٧
شکل۴-۱۱- مسیرهای پایش شده بر روی سطح زمین ٩٠
شکل۴-۱۲- مسیرهای پایش شده در رادیه ٩٠
شکل۵-۱- نمایش کانتور تغییر مکان قائم پس از حفر تونل تحتانی ٩٤
شکل۵-۲- نشست سطح زمین در مسیر A-A پس از احداث ایستگاه ٩٦
شکل۵-۳- نشست سطح زمین در مسیر A-A قبل و بعد از حفر تونل تحتانی ٩٧
شکل۵-۴- نشست سطح زمین در مسیر B-B پس از احداث ایستگاه ٩٨
شکل۵-۵- نمایش نشست سطح زمین در مسیر B-B قبل وبعد از حفر تونل تحتانی ٩٩
شکل۵-۶- نمایش کانتور تغییر مکان عمودی بر روی رادیه بعد از حفر تونل تحتانی ١٠٠
شکل۵-۷- تغییر مکان قائم رادیه در مسیر C-C پس از احداث ایستگاه ١٠٠

شکل۵-۸- تغییر مکان قائم رادیه در مسیر C-C قبل و بعد از حفر تونل تحتانی..... ۱۰۱
شکل۵-۹- تغییر مکان قائم رادیه در مسیر D-D پس از احداث ایستگاه ۱۰۲
شکل۵-۱۰- تغییر مکان قائم رادیه در مسیر D-D قبل و بعد از حفر تونل تحتانی ۱۰۳
شکل۵-۱۱- تغییرات تنش در مراحل ساخت ایستگاه و تونل تحتانی در رادیه..... ۱۰٤
شکل۵-۱۲- بررسی اثر نوع خاک بر نشست سطح زمین در مسیر A – A پس از احداث ایستگاه ۱۰۷
شکل۵-۱۳- بررسی اثر نوع خاک بر نشست سطح زمین در مسیر A – A پس از حفر تونل تحتانی ۱۰۷
شکل۵-۱۴- بررسی اثر نوع خاک بر نشست سطح زمین در مسیر B– B پس از احداث ایستگاه ۱۰۸
شکل۵-۱۵- بررسی اثر نوع خاک بر نشست سطح زمین در مسیر B– B بعد از حفر تونل تحتانی ۱۰۹
شکل۵-۱۶- بررسی اثر نوع خاک بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر C – C پس از احداث ایستگاه..... ۱۱۰
شکل۵-۱۷- بررسی اثر نوع خاک بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر C – C بعد از حفر تونل تحتانی ۱۱۰
شکل۵-۱۸- بررسی اثر نوع خاک بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر D– D پس از احداث ایستگاه ۱۱۱
شکل۵-۱۹- بررسی اثر نوع خاک بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر D– D بعد از حفر تونل تحتانی..... ۱۱۱
شکل۵-۲۰- بررسی اثر نوع خاک بر تغییرات تنش در مراحل ساخت ایستگاه و تونل تحتانی در دال سقف ۱۱۳
شکل۵-۲۱- بررسی اثر نوع خاک بر تغییرات تنش در مراحل ساخت ایستگاه و تونل تحتانی در رادیه..... ۱۱۳
شکل۵-۲۲- بررسی اثر فاصله بین ایستگاه و تونل تحتانی بر نشست سطح زمین درمسیر A – A بعد از حفر تونل تحتانی ۱۱۵
شکل۵-۲۳- بررسی اثر فاصله بین ایستگاه و تونل تحتانی بر نشست سطح زمین در مسیر B – B بعد از حفر تونل تحتانی... ۱۱٦
شکل۵-۲۴- بررسی اثر فاصله بین ایستگاه و تونل تحتانی بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر C – C بعد از حفر تونل تحتانی. ۱۱٦
شکل۵-۲۵- بررسی اثر فاصله بین ایستگاه و تونل تحتانی بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر D– D بعد از حفر تونل تحتانی . ۱۱۷
شکل۵-۲۶ – بررسی اثر فاصله بین ایستگاه و تونل تحتانی بر تغییرات تنش در مراحل ساخت ایستگاه و تونل تحتانی در دال سقف ایستگاه ۱۱۸
شکل۵-۲۷- بررسی فاصله بین ایستگاه و تونل تحتانی بر تغییرات تنش در مراحل ساخت ایستگاه و تونل تحتانی در رادیه.... ۱۱۸
شکل۵-۲۸- بررسی اثر فشار جبهه کار تونل تحتانی بر نشست سطح زمین در مسیر A– A..... ۱۲۰
شکل۵-۲۹- بررسی اثر فشار جبهه کار تونل تحتانی بر نشست سطح زمین در مسیر B – B ۱۲۱
شکل۵-۳۰- بررسی اثر فشار جبهه کار تونل تحتانی بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر C – C ۱۲۱
شکل۵-۳۱- بررسی اثر فشار جبهه کار تونل تحتانی بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر D – D..... ۱۲۲
شکل۵-۳۲- بررسی اثر نوع فشار جبهه کار تونل تحتانی بر تغییرات تنش در مراحل حفاری تونل تحتانی در دال سقف ایستگاه ۱۲۲
شکل۵-۳۳- بررسی اثر نوع فشار جبهه کار تونل تحتانی بر تغییرات تنش در مراحل حفاری تونل تحتانی در رادیه ۱۲۳
شکل۵-۳۴- بررسی اثر شمع‌ها بر نشست سطح زمین در مسیر A – A پس از احداث ایستگاه..... ۱۲٦
شکل۵-۳۵- بررسی اثر شمع‌ها بر نشست سطح زمین در مسیر A – A بعد از حفر تونل تحتانی..... ۱۲٦

شکل۵-۳۶- بررسی اثر شمع‌ها بر نشست سطح زمین در مسیر B – B پس از احداث ایستگاه ۱۲۷
شکل۵-۳۷- بررسی اثر شمع ها بر نشست سطح زمین در مسیر B – B بعد از حفر تونل تحتانی ۱۲۷
شکل۵-۳۸- بررسی اثر شمع‌ها بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر C – C پس از احداث ایستگاه ۱۲۸
شکل۵-۳۹- بررسی اثر شمع‌ها بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر C – C بعد از حفر تونل تحتانی ۱۲۹
شکل۵-۴۰- بررسی اثر شمع‌ها بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر D – D پس از احداث ایستگاه ۱۲۹
شکل۵-۴۱- بررسی اثر شمع‌ها بر تغییر مکان قائم رادیه در مسیر D – D بعد از حفر تونل تحتانی..... ۱۳۰

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول۲-۱-روش‌های تحلیلی برای تخمین فشار نگهدارنده سینه کار ۱٤

جدول۲-۲-مقایسه بین روش‌های مختلف تحلیل ۱۷

جدول۳-۱- خصوصیات ژئومکانیکی خاک اطراف تونل ٦۰

جدول ۳-۲- مشخصات قطعه‌های پیش ساخته بتنی تونل..... ٦۰

جدول ۳-۳- مشخصات دوغاب تزریقی ٦۰

جدول۴-۱ خصوصیات ژئوتکنیکی مورد استفاده در مدل پایه ۸۰

جدول ۴-۲- ویژگی‌های مصالح بتنی مورد استفاده ۸۰

جدول۴-۳- عوامل موثر مورد بررسی..... ۹۲

جدول ۵-۱- مشخصات خاک‌های مورد استفاده برای بررسی اثر نوع خاک ۱۰۵

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

با توجه به روند رو به افزایش تعداد تونل‌های درحال مطالعه و یا درحال اجرا با کاربردهایی همانند انتقال و جمع‌آوری آب، متروی شهری و راه و همچنین اهمیت مدت زمان اجرا و ضریب ایمنی در این پروژه‌ها، استفاده از روش‌های مکانیزه حفاری اهمیت ویژه‌ای یافته است. بکارگیری صحیح این ماشین‌آلات، تنها در سایه انتخاب درست نوع ماشین و مدیریت صحیح آن با توجه به شرایط پروژه میسر می‌باشد. انتخاب روش حفاری مطلوب، مهم است اما به تنهایی کافی نیست. لازمه استفاده خیلی دقیق از روش‌های حفاری، کنترل دقیق پارامترهای مربوط به آن می‌باشد. که این مساله کلید موفقیت در پروژه تونل، به خصوص در محیط‌های حساس، می‌باشد. تونل‌زنی مکانیزه باعث به حداقل رساندن اثرات ناشی از حفاری در سطح زمین می‌شود، اما کنترل دقیق پایداری جبهه کار و نظارت مستمر بر اثرات آن بر روی سطح زمین باید صورت بگیرد.