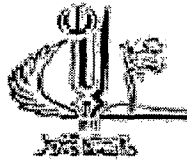


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

١٣٠١٧ - ٢٠١٧



دانشکده مهندسی عمران
گروه خاک و پی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مکانیک خاک و پی

عنوان

تحلیل و پیش بینی نشست سطحی زمین ناشی از تونلسازی

(مطالعه موردی: پروژه خط ۲ قطار شهری تبریز)

استاد راهنما

دکتر هوشنگ کاتبی

استاد مشاور

دکتر توحید اخلاقی

پژوهشگر

محمود سعدین

۱۳۸۸/۱۰/۲۷

مستند است
تبریز

آذر ۱۳۸۸

۱۳۰۱۷۰

تقدیم به پدر و مادر دلسوز و فداکارم

تقدیم به همسر مهربانم

تقدیم به خواهر عزیزم

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری خداوند متعال، پایان نامه تحصیلی خود را به پایان رسانیده ام، لازم می دانم تا از همه کسانی که به نحوی در انجام مراحل این تحقیق متحمل زحماتی شده و بنده را همراهی کرده اند کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

آقای دکتر هوشنگ کاتبی استاد راهنمای بنده زحمات زیادی را در طول انجام پایان نامه متحمل شدند که از ایشان کمال تشکر را دارم. راهنمایی و هدایت ایشان موجبات انجام هر چه بهتر پایان نامه را فراهم کرده است. اظهار لطف و محبت ایشان را ارج نهاده و آرزوی سلامتی و موفقیت برای ایشان را از خداوند متعال دارم.

آقای دکتر توحید اخلاقی استاد مشاور اینجانب علاوه بر همراهی و همفکری با ما، باعث مرتفع شدن برخی مشکلات جنبی از جمله مشکلات نرم افزاری شده اند، با سپاس فراوان آرزوی سلامتی و توفیقات روز افزون برای ایشان از خداوند متعال دارم.

همکاری آقای دکتر مسعود حاجی علیلو استاد گرانقدر بنده موجب دلگرمی و تسریع در انجام کار شده است، از زحمات ایشان نیز کمال تشکر را دارم.

از آقای دکتر محمد رضا امامی آزادی که در تدوین و نگارش این پایان نامه یار و یاور بنده بودند نیز کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیزم آقایان مهندس اسودی، مهندس سلیمانی، مهندس ثابت عمل، مهندس کلانتری، مهندس کیانی، مهندس گلپذیر، مهندس عباس نژاد و خانم مهندس دارسنج و خانم مهندس پیمبری نیز متشکرم، چرا که با وجود این عزیزان سختی کار کمتر احساس شد.

نام خانوادگی دانشجو : سعدین	نام : محمود
عنوان پایان نامه : تحلیل و پیش بینی نشست سطحی زمین ناشی از تونلسازی (مطالعه موردی: پروژه خط ۲ قطار شهری تبریز)	
استاد راهنما : دکتر هوشنگ کاتبی استاد مشاور : دکتر توحید اخلاقی	
مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد	گرایش : مکانیک خاک و پی
دانشکده : مهندسی عمران	تاریخ فارغ التحصیلی : آذر ۱۳۸۸
	تعداد صفحه : ۱۴۹
کلید واژه ها : نشست سطحی زمین ، Plaxis ، قطار شهری ، تونلسازی ، تبریز	
چکیده :	
<p>رشد فزاینده جمعیت و لزوم دسترسی به نقاط مختلف و افزایش تراکم در مناطق شهری، لزوم استفاده از فضاهای زیر زمینی را در این مناطق ناگزیر ساخته است. متعاقباً ساخت اینگونه فضاهای زیر زمینی مخاطراتی را برای سازه های سطحی، زیر سطحی و همجوار در بر خواهد داشت که نادیده گرفتن آن می تواند نتایج جبران ناپذیری را به بار آورد. از جمله این مخاطرات، مسأله نشست ناشی از تونلسازی است که محیط اطراف تونل را تحت تاثیر خود قرار خواهد داد. از اینرو آغاز به کار ساخت فضا های زیر زمینی در مناطق شهری با ارائه راهکارهایی برای پیش بینی پروفیل نشست سطحی توام شده است.</p> <p>ساخت هر تونل در زمینهای خاکی همراه با تغییر در حالت تنش زمین و متقابلاً کرنشها است، اگر این کمیات بیش از حد زیاد شوند، ممکن است شرایط نامساعدی برای زمینهای اطراف حفاری فراهم آورند. در حقیقت، خیلی از تونلهای شهری در مناطقی حفاری می شوند که ساختمانها و تأسیسات زیربنائی وجود دارند، بنابراین، در حالت کلی نبایستی ساخت تونلها ساختمانهای مجاور، خیابانها و اماکن را بیش از حد تحت تأثیر قرار دهد و طراح مجبور است تا پیش بینی های قابل اعتمادی از</p>	

نشستهای غیرقابل اجتناب توام با تونلسازی را انجام دهد. این مسأله بخش مهمی از وظیفه مهندس طراح جهت پیش بینی نشست سطح زمین ناشی از تونلسازی در اعماق و شرایط مختلف است.

در این تحقیق موضوع رفتار خاک در اثر حفر تونل ها مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا با بررسی سوابق پژوهشی و تجربیات گذشته اهمیت موضوع نشان داده شده و سپس کلیاتی در مورد پروژه خط ۲ متروی تبریز و ویژگیهای زمین شناسی خاک مسیر ارائه شده است، سپس مختصر توضیحی در رابطه با نرم افزار مورد استفاده داده شده و مسئله دگرشکلی های ایجاد شده در محیطهای خاکی در اثر ایجاد تونل های مترو به کمک نرم افزار Plaxis دو بعدی ۸.۲ مورد بررسی همه جانبه قرار گرفته و با توجه به تحلیل های صورت گرفته بر روی مقادیر ضریب پواسون، مدول الاستیسیته خاک، دانسیته خاک، قطر تونل، ضخامت لایه زیر تونل، گستردگی مرز افقی مدل و عمق تونل نشان داده شده است که این پارامتر ها تا چه اندازه می توانند در موارد ذکر شده موثر باشند و کدام اهمیت دارند یا حتی فاقد ارتباط یا نقش تعیین کننده هستند. در پایان پیش بینی میزان نشست سطح زمین برای خط ۲ متروی تبریز انجام شده و مقادیر حاصله نشان می دهند که میزان نشست سطح زمین تا حد فراوانی به میزان پارامتر انقباض بستگی دارد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : مقدمه (نشست زمین)

۱-۱- کلیات ۲

۲-۱- نشست سطح زمین ۵

فصل دوم : مروری بر تحقیقات انجام شده

۱-۲- مقدمه ۸

۲-۲- تاریخچه مطالعات نشست کوتاه مدت خاک در اثر حفر تونل ۹

۱-۲-۲- خلاصه ای از مطالعات و تحقیقات تجربی، تحلیلی و نیمه تحلیلی انجام گرفته ۹

۲-۲-۲- روش شبکه های عصبی ۲۳

۲-۲-۳- اشاره ای به تاریخچه مطالعات عددی ۲۴

۲-۳- تاریخچه مطالعات و تحقیقات تجربی، تحلیلی و عددی در زمینه نشست زمانمند خاک در اثر حفر تونل ۲۶

۲-۴- جمع بندی و مقایسه ی روش ها ۳۹

فصل سوم : گزارش تحقیقات و مطالعات ژئوتکنیکی پروژه قطار شهری تبریز (مترو)

۱-۳- مقدمه ۴۳

۲-۳- تاریخچه قطار شهری در تبریز ۴۴

۳-۳- عملیات پروژه خط ۲ متروی تبریز ۴۶

۳-۴- اهداف مطالعات مکانیک خاک در محل اجرای پروژه ۵۰

۳-۵- موقعیت زمین شناسی کلی منطقه ۵۰

- ۵۱ ۶-۳- موقعیت زمین شناسی شهر تبریز
- ۵۲ ۷-۳- وضعیت لایه‌های زیرسطحی محدوده مورد مطالعه
- ۶۲ ۸-۳- وضعیت آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه
- ۶۳ ۹-۳- نتایج آزمایش‌های شناسایی خاکها
- ۶۶ ۱۰-۳- نتایج آزمایش‌های تعیین چگالی ویژه ذرات جامد خاک (G_s)
- ۶۶ ۱۱-۳- تکنونیک
- ۶۷ ۱۲-۳- تاریخچه لرزه خیزی در استان آذربایجان شرقی
- ۷۰ ۱-۱۲-۳- نتیجه گیری از لرزه خیزی استان آذربایجان شرقی
- ۷۲ ۱۳-۳- عملیات صحرائی
- ۷۲ ۱-۱۳-۳- گمانه زنی
- ۷۳ ۲-۱۳-۳- آزمایشات صحرائی
- ۷۴ ۱۴-۳- آزمایش‌های آزمایشگاهی

فصل چهارم : آشنائی با نرم افزار Plaxis

- ۷۶ ۱-۴- مقدمه
- ۷۸ ۲-۴- کلیات مدل سازی
- ۷۸ ۱-۲-۴- نقاط
- ۷۹ ۲-۲-۴- خطوط
- ۷۹ ۳-۲-۴- گروه ها
- ۸۱ ۳-۴- کار با نرم افزار

۸۳	..... Plaxis Input	بخش ورود اطلاعات برای ایجاد مدل یا
۸۴	..... تیرها	۱-۱-۳-۴
۸۵	..... مفصل تیر	۲-۱-۳-۴
۸۵	..... ژئوتکستایل	۳-۱-۳-۴
۸۶	..... فصل مشترک بین سازه و خاک	۴-۱-۳-۴
۸۶	..... آنکرهای گره تا گره	۵-۱-۳-۴
۸۷	..... آنکرهای انتها ثابت شده	۶-۱-۳-۴
۸۷	..... تونل ها	۷-۱-۳-۴
۸۹	..... بارها و جابجایی های سطحی	۸-۱-۳-۴
۸۹	..... ایجاد مش	۹-۱-۳-۴
۹۱	..... شرایط اولیه	۱۰-۱-۳-۴
۹۱	..... Plaxis Calculations	بخش محاسبات
۹۲	..... انواع محاسبات	۱-۲-۳-۴
۹۴	..... Plaxis Output	بخش خروجی نرم افزار
۹۵	..... Plaxis Curves	نتایج منحنی ها
۹۵	..... Plaxis	مدل های پیش فرض در نرم افزار
۹۵	..... تحلیل کرنش صفحه ای	۱-۴-۴
۹۶	..... تحلیل تقارن محوری	۲-۴-۴
۹۷	..... Plaxis	مدل های مختلف مصالح در نرم افزار

- ۹۷ استفاده از سه مدل مختلف ۱-۵-۴
- ۹۷ مثل موهر - کولمب (MC) ۱-۱-۵-۴
- ۹۸ مدل سخت شونده گی خاک (HS) ۲-۱-۵-۴
- ۹۸ مدل خزش خاک نرم (SSC) ۳-۱-۵-۴
- ۹۹ پارامترهای اساسی مدل موهر - کولمب ۲-۵-۴
- ۱۰۰ مدول یانگ (E) ۱-۲-۵-۴
- ۱۰۱ نسبت پواسیون (V) ۲-۲-۵-۴
- ۱۰۱ چسبندگی (C) ۳-۲-۵-۴
- ۱۰۱ زاویه ی اصطکاک (ϕ) ۴-۲-۵-۴
- ۱۰۲ زاویه ی اتساع (ψ) ۵-۲-۵-۴

فصل پنجم : بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر نشست خاک در اثر حفر تونل

- ۱۰۴ مقدمه ۱-۵
- ۱۰۵ بررسی پارامترهای هندسی و مدل مبناء ۲-۵
- ۱۰۸ بررسی تاثیر ضریب پواسون (V) ۳-۵
- ۱۰۹ بررسی تاثیر مدول الاستیسیته خاک (E) ۴-۵
- ۱۱۱ بررسی اثر دانسیته خاک (γ) ۵-۵
- ۱۱۲ بررسی اثر قطر تونل (D) ۶-۵
- ۱۱۴ بررسی اثر ضخامت لایه زیر تونل ۷-۵
- ۱۱۶ تاثیر گستردگی مرز افقی بر روی نشست و انتخاب عرض مناسب برای مدل ۸-۵

۹-۵- بررسی اثر عمق تونل..... ۱۱۸

۱۰-۵- تاثیر پوشش داخلی..... ۱۲۰

فصل ششم : نشست سطح زمین ناشی از حفاری تونل خط ۲ متروی تبریز

۱-۶- مقدمه..... ۱۲۲

۲-۶- اطلاعات مربوط به مدلسازی خط ۲ متروی تبریز..... ۱۲۲

۱-۲-۶- اطلاعات مربوط به سپر و آسترهای بتنی..... ۱۲۲

۱-۱-۲-۶- محاسبه پارامتر انقباض برای تونل خط ۲ متروی تبریز..... ۱۲۳

۲-۲-۶- ویژگیهای زمین شناسی..... ۱۲۴

۳-۶- پیش بینی میزان نشست سطحی..... ۱۲۵

فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۷- نتیجه گیری..... ۱۴۲

۲-۷- پیشنهادات..... ۱۴۵

منابع..... ۱۴۶

چکیده انگلیسی

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- نمونه ای از مقادیر A برای تونل های مختلف.....	۲۹
جدول ۱-۳- مشخصات گمانه‌های حفاری شده در طول مسیر خط ۲ قطار شهری تبریز.....	۴۸
جدول ۱-۵- مشخصات مدل اصلی خاک در بررسی نشست خاک.....	۱۰۶
جدول ۲-۵- تغییر شکل تونل برای مشخصات ذکر شده در نقاط مورد نظر.....	۱۰۷
جدول ۳-۵- حداکثر نشست سطح زمین و تاج تونل برای مقادیر مختلف ضرایب پواسون.....	۱۰۸
جدول ۴-۵- حداکثر نشست سطح زمین و تاج تونل برای مقادیر مختلف ضرایب پواسون.....	۱۰۹
جدول ۵-۵- حداکثر نشست سطح زمین و تاج تونل برای مقادیر مختلف دانسیته خاک.....	۱۱۱
جدول ۶-۵- حداکثر نشست سطح زمین و تاج تونل برای مقادیر مختلف قطر تونل.....	۱۱۳
جدول ۷-۵- حداکثر نشست سطح زمین و تاج تونل و بالا آمدگی کف تونل و نسبت نشست.....	۱۱۵
جدول ۸-۵- حداکثر نشست سطح زمین و تاج تونل برای مقادیر مختلف ابعاد مدل.....	۱۱۷
جدول ۹-۵- حداکثر نشست سطح زمین و تاج تونل برای مقادیر مختلف عمق تونل.....	۱۱۹
جدول ۱-۶- ویژگیهای قطعات آسترکاری.....	۱۲۳
جدول ۲-۶- ویژگیهای مهندسی و زمین شناسی لایه های خاکی گمانه BH-10.....	۱۲۵
جدول ۳-۶- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۰.۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری.....	۱۳۰
جدول ۴-۶- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۰.۷۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری.....	۱۳۰
جدول ۵-۶- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری.....	۱۳۱

- جدول ۶-۶- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۲۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری ۱۳۱
- جدول ۶-۷- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری ۱۳۲
- جدول ۶-۸- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۷۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری ۱۳۲
- جدول ۶-۹- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۲٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری ۱۳۳
- جدول ۶-۱۰- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۰.۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۳
- جدول ۶-۱۱- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۰.۷۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۴
- جدول ۶-۱۲- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۴
- جدول ۶-۱۳- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۲۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۵
- جدول ۶-۱۴- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۵
- جدول ۶-۱۵- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۷۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۶
- جدول ۶-۱۶- مقادیر نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۲٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۶
- جدول ۶-۱۷- مقادیر ماکزیمم نشست سطح زمین و تاج تونل برای سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۹
- جدول ۶-۱۸- مقادیر ماکزیمم نشست سطح زمین و تاج تونل برای سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری ۱۳۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲-۱- فرم نیمرخ های نشست سطحی و زیر سطحی.....	۱۰
شکل ۲-۲-۲- منحنی نشست زمین، پیشنهادی پک.....	۱۱
شکل ۲-۲-۳- توزیع نشست داخل دهانه تونل.....	۱۷
شکل ۲-۲-۴- محدوده سهمی جابجاییها در اطراف و بالای تونل.....	۱۸
شکل ۲-۲-۵- نشست خاک در اثر حفر تونل هیت رو در اعماق مختلف با ترتیب مراحل حفاری متفاوت.....	۳۳
شکل ۲-۲-۶- مراحل مختلف حفاری تونل.....	۳۳
شکل ۲-۲-۷- حجم افت زمین در حالات مختلف نفوذپذیری پوشش.....	۳۷
شکل ۳-۱-۱- مسیر خطوط قطار شهری تبریز.....	۴۴
شکل ۳-۲-۲- مسیر خط ۲ قطار شهری و پروفیل طولی آن.....	۴۷
شکل ۳-۳-۱- مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.....	۵۵
شکل ۳-۳-۲- مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.....	۵۶
شکل ۳-۳-۳- مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.....	۵۷
شکل ۳-۳-۴- مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.....	۵۸
شکل ۳-۳-۵- مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.....	۵۹
شکل ۳-۳-۶- مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.....	۶۰
شکل ۳-۳-۷- مقطع زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.....	۶۱
شکل ۳-۴-۴- محدوده دانه بندی خاکهای محدوده مورد مطالعه.....	۶۵

- شکل ۳-۵- مغزه های بازیافتی از اعماق مختلف گمانه ها ۷۲
- شکل ۳-۶- مغزه های بازیافتی از اعماق مختلف گمانه ها ۷۳
- شکل ۴-۱- گره ها و نقاط تنش ۸۰
- شکل ۴-۲- اطلاعات ورودی مدل های کاربردی (انتخاب مدل، المان و شتاب) ۸۲
- شکل ۴-۳- اطلاعات ورودی مدل های کاربردی (ابعاد و واحدها) ۸۲
- شکل ۴-۴- پنجره اصلی ایجاد مدل هندسی در نرم افزار Plaxis ۸۳
- شکل ۴-۵- پنجره مربوط به ایجاد تونل و شکل تونل انتخابی ۸۸
- شکل ۴-۶- نمونه ای از مدل اولیه و انواع شبکه های مختلف ۹۰
- شکل ۴-۷- بخش محاسباتی نرم افزار Plaxis ۹۲
- شکل ۴-۸- روند انجام محاسبات در نرم افزار Plaxis ۹۴
- شکل ۴-۹- تونل (شرایط کرنش صفحه ای) ۹۶
- شکل ۴-۱۰- پنجره مربوط به پارامترهای موهر کلمب ۱۰۰
- شکل ۴-۱۱- تعیین E_0 و E_{0c} برای ازمون سه محوری زهکشی شده ی استاندارد ۱۰۰
- شکل ۴-۱۲- دواير تنش و پوش موهر کلمب ۱۰۲
- شکل ۵-۱- ابعاد هندسی و وضعیت نسبی تونل در محدوده مدل ۱۰۵
- شکل ۵-۲- شبکه اجزاء محدود مدل اصلی و محیط اطراف آن ۱۰۶
- شکل ۵-۳- نقاط در نظر گرفته شده در بررسی توزیع تغییر شکلهای محاسبه شده ۱۰۷
- شکل ۵-۴- تاثیر ضرایب پواسون خاک برنشست سطح زمین و تاج تونل ۱۰۸
- شکل ۵-۵- تاثیر ضرایب پواسون خاک برنسبت نشست ۱۰۹

- شکل ۵-۶- تاثیر مدول الاستیسیته خاک برنشست سطح زمین و تاج تونل..... ۱۱۰
- شکل ۵-۷- تاثیر مدول الاستیسیته خاک برنسبت نشست..... ۱۱۰
- شکل ۵-۸- تاثیر دانسیته خاک برنشست سطح زمین و تاج تونل..... ۱۱۱
- شکل ۵-۹- تاثیر دانسیته خاک برنسبت نشست..... ۱۱۲
- شکل ۵-۱۰- تاثیر قطر تونل برنشست سطح زمین و تاج تونل..... ۱۱۳
- شکل ۵-۱۱- تاثیر قطر تونل برنسبت نشست..... ۱۱۴
- شکل ۵-۱۲- تاثیر ضخامت لایه زیر تونل برنشست سطح زمین و تاج تونل و بالا آمدگی کف تونل..... ۱۱۵
- شکل ۵-۱۳- تاثیر ضخامت لایه زیر تونل برنسبت نشست..... ۱۱۶
- شکل ۵-۱۴- تاثیر گسترده‌گی مرز افقی برنشست سطح زمین و تاج تونل..... ۱۱۷
- شکل ۵-۱۵- تاثیر گسترده‌گی مرز افقی برنسبت نشست..... ۱۱۸
- شکل ۵-۱۶- تاثیر گسترده‌گی مرز افقی بر نشست سطحی..... ۱۱۸
- شکل ۵-۱۷- تاثیر عمق تونل برنشست سطح زمین و تاج تونل..... ۱۱۹
- شکل ۵-۱۸- تاثیر عمق تونل برنسبت نشست..... ۱۱۹
- شکل ۶-۱- فاصله خالی ۱۵ سانتیمتری بین خاک و آستر که با تزریق پر میشود..... ۱۲۳
- شکل ۶-۲- فضای خالی دنباله، عامل اصلی نشست سطح زمین..... ۱۲۴
- شکل ۶-۳- لایه های خاک و اعمال شرایط مرزی در ابعاد ۱۲۰×۳۵ ۱۲۴
- شکل ۶-۴- مدل المان محدود برای تونل خط ۲ متروی تبریز..... ۱۲۶
- شکل ۶-۵- مش المان محدود و ریز کردن المانها در مجاورت تونل..... ۱۲۶
- شکل ۶-۶- محاسبه فشار آب منفذی برای سطح ایستایی در عمق ۳۰ متری از سطح زمین..... ۱۲۷

- شکل ۶-۷- محاسبه تنش های موثر برای تونل خط ۲ متروی تبریز..... ۱۲۷
- شکل ۶-۸- ماکزیمم جابجایی قائم در تاج تونل..... ۱۲۸
- شکل ۶-۹- توزیع ممانهای خمشی..... ۱۲۸
- شکل ۶-۱۰- توزیع نیروهای برشی..... ۱۲۹
- شکل ۶-۱۱- توزیع نیروهای محوری..... ۱۲۹
- شکل ۶-۱۲- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۰.۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری..... ۱۳۰
- شکل ۶-۱۳- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۰.۷۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری.. ۱۳۰
- شکل ۶-۱۴- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری..... ۱۳۱
- شکل ۶-۱۵- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۲۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری.. ۱۳۱
- شکل ۶-۱۶- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری..... ۱۳۲
- شکل ۶-۱۷- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۷۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری.. ۱۳۲
- شکل ۶-۱۸- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۲٪ و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری..... ۱۳۳
- شکل ۶-۱۹- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۰.۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری..... ۱۳۳
- شکل ۶-۲۰- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۰.۷۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری.. ۱۳۴
- شکل ۶-۲۱- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری..... ۱۳۴
- شکل ۶-۲۲- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۲۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری.. ۱۳۵
- شکل ۶-۲۳- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری..... ۱۳۵
- شکل ۶-۲۴- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۱.۷۵٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری.. ۱۳۶
- شکل ۶-۲۵- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقدار پارامتر انقباض ۲٪ و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری..... ۱۳۶

شکل ۶-۲۶- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقادیر مختلف پارامتر انقباض و سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری ۱۳۷

شکل ۶-۲۷- پروفیل نشست سطحی زمین برای مقادیر مختلف پارامتر انقباض و سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۷

شکل ۶-۲۸- نمودار تغییرات نشست و پارامتر انقباض برای سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۳۹

شکل ۶-۲۹- نمودار تغییرات نشست و پارامتر انقباض برای سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری ۱۴۰

شکل ۶-۳۰- نمودار تغییرات نسبت نشست و پارامتر انقباض برای سطح آب زیر زمینی ۲۰ متری ۱۴۰

شکل ۶-۳۱- نمودار تغییرات نسبت نشست و پارامتر انقباض برای سطح آب زیر زمینی ۳۰ متری ۱۴۰

فصل اول

مقدمه

(نشست زمین)

۱-۱- کلیات

بررسی رفتار خاک (یا زمینهای غیرسنگی) در هنگام احداث تونل و حتی پس از آن، یکی از موضوعات مورد مطالعه در مبحث ژئوتکنیک است که در سالهای اخیر مقالات و مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است.

به طور کلی حفر تونل در هر عمقی از خاک، منجر به تغییر سیستم توزیع تنش ها در خاک شده و موجب همگرایی دهانه تونل و به وجود آمدن تغییر شکل هایی در سطح زمین می شود. این همگرایی و تغییر شکلها قبل از رسیدن جبهه کار به محل مورد نظر آغاز می شوند که شروع آن از فاصله ای در حدود شعاع تونل از جبهه کار می باشد و پس از گذشتن آن تا فاصله ای در حدود دو الی سه برابر قطر تونل این تأثیر از بین می رود. در حین عبور و پس از عبور جبهه کار از مقطع مورد نظر تغییر مکانها زیاد می شود که این افزایش تابع دو عامل، یکی فاصله جبهه کار از مقطع مورد نظر و دیگری اثر زمان است.

از آنجا که حفر تونل در خاک معمولاً در اعماق کم صورت می گیرد، تأثیر آن می تواند تا سطح زمین گسترش یابد و یک فرورفتگی به نام نشست^۱ را در سطح زمین ایجاد نماید. این نشست برای سازه های موجود خطراتی را به همراه دارد. چگونگی و کمیت این تأثیر به عوامل مختلفی از جمله شرایط خاک، آب زیرزمینی، موقعیت تونل و ... بستگی دارد.

جابجایی ذرات خاک در اثر حفر تونل را می توان به دو قسمت جابجایی های افقی و قائم دسته بندی نمود. خساراتی که از حرکات زمین بر ساختمانها وارد می شود قسمتی در اثر مؤلفه قائم و قسمتی به علت مؤلفه افقی جابجایی در سطح زمین است. مؤلفه قائم موجب پایین آمدن سطح زمین یعنی نشست و مؤلفه افقی باعث به وجود آمدن کشش یا فشار در سطح زمین می شود. در این تحقیق هدف بررسی نشست های زمین در اثر حفر تونل است. به چند عامل که در نشست سطحی

^۱. Settlement