





دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی ، گروه مهندسی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.sc)

گرایش : مکانیک خاک و پی

عنوان :

تاثیر نوع زمین در تغییر شکلهای پیرامون تونل در حفاری زمینهای سست  
با روش پیش نگهداری

استاد راهنما :

دکتر مهدی سیاوش نیا

استاد مشاور :

دکتر سعید قربان بیگی

پژوهشگر :

فرشاد کاوه

زمستان ۱۳۹۰



**ISLAMIC AZAD UNIVERSITY**

**Central Tehran Branch**

**Faculty of Engineering - Department of Civil Engineering**

**“M.Sc” Thesis**

**On Geotechnic**

**Subject:**

**The effect of ground type on displacements around the tunnel excavated in soft grounds by using umbrella method**

**Advisor:**

**Dr. Mahdi Siavoshnia**

**Reader:**

**Dr.Saeed Ghorbanbeigi**

**By:**

**Farshad kaveh**

**winter 2012**

## تقدیر و تشکر:

در اینجا بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات تمام اساتیدی که در پیشبرد این تحقیق  
اینجانب رایاری نموده اند تشکر نمایم، بخصوص از زحمات استاد بسیار عزیز و کراتقدر،  
جناب آقای دکتر مهدی سیاوش نیا که بی‌شک بدون راهنمایی‌های ایشان اتمام این  
تحقیق غیر ممکن بود، همواره خود را مدیون زحمات ایشان می‌دانم. همچنین از زحمات  
جناب آقای دکتر سعید قربان بیگی که به عنوان استاد مشاور در طی انجام پروژه  
اینجانب رایاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تقدیم بہ:

پدر و مادر م

قطرہ امی بیش نیست...

بہ پاس یک عمر فداکاری

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱.....	فصل اول: روش های تونلسازی در زمینهای سست
۱-۱-۱.....	۱-۱-۱- مقدمه
۲.....	۲-۱- روش های متداول تونلسازی در زمینهای سست شهری
۲-۱-۲-۱.....	۲-۱-۲-۱- روش کندن و پوشاندن
۴.....	۲-۲-۱- روش تونل های کناری
۵.....	۳-۲-۱- روش دیافراگم میانی
۵-۲-۱-۴.....	۴-۲-۱- روش پیشانی و پله برداری
۶.....	۵-۲-۱- روش حفاری تمام مقطع
۷.....	۶-۲-۱- روش آلمانی
۸.....	۷-۲-۱- روش سیستم پیش نگهدارنده طاق بتنی
۹.....	۸-۲-۱- روش های ترکیبی
۱۰.....	۳-۱- روش های نوین
۱۰.....	۱-۳-۱- روش تونلسازی سپری
۱۰.....	۱-۳-۱-۱- شرایط استفاده از سیستم سپر
۱۱.....	۲-۳-۱- روش پیش تونلسازی مکانیکی
۱۱.....	۳-۳-۱- روش پیش نگهداری

فصل دوم : مقدمه ای بر روش پیش نگهداری	۱۳
۱-۲- مقدمه	۱۳
۲-۲- سیستم پیش نگهداری در تونلسازی	۱۳
۳-۲- شرایط استفاده از سیستم پیش نگهداری	۱۶
۴-۲- تئوری قوسی ترزاقی (TERZAGHI)	۱۶
۵-۲- کاربرد تئوری ترزاقی در روش پیش نگهداری	۲۷
فصل سوم : اصول روش پیش نگهداری	۳۴
۱-۳- مقدمه	۳۴
۲-۳- مکانیزم های تکیه گاهی روش چتری	۳۴
۱-۲-۳- بررسی افزایش پایداری جبهه کار تونل	۳۶
۲-۲-۳- بررسی المان خاک در راستای جبهه کار تونل	۳۸
۳-۳- طبقه بندی روش پیش نگهداری	۳۸
۴-۳- روش های تزریق	۴۳
۱-۴-۳- مرور کلی	۴۳
۲-۴-۳- تزریق نفوذی	۴۵
۱-۲-۴-۳- تعریف	۴۵
۲-۲-۴-۳- روش های اجرایی	۴۶
۳-۲-۴-۳- ملاحظات طراحی	۴۷

- ۴۹.....توزیع گسیختگی خاک ۳-۴-۳
- ۴۹.....تعریف ۱-۳-۴-۳
- ۵۰.....روشهای اجرایی ۲-۳-۴-۳
- ۵۱.....ملاحظات طراحی ۳-۳-۴-۳
- ۵۲.....ویژگی ها ۴-۳-۴-۳
- ۵۲.....توزیع فورانی ۴-۴-۳
- ۵۲.....تعریف ۱-۴-۴-۳
- ۵۲.....روش های اجرایی ۲-۴-۴-۳
- ۵۳.....ملاحظات طراحی ۳-۴-۴-۳
- ۵۴.....ویژگی ها ۴-۴-۴-۳
- ۵۴.....روش توزیع فورانی نیمه افقی ۵-۳
- ۵۷.....ملاحظات طراحی ۱-۵-۳



- ۵۷.....۳-۵-۱-۱- انواع خاکهای کاربردی
- ۵۸.....۳-۵-۱-۲- پارامترهای تزریق فورانی
- ۵۹.....۳-۵-۱-۳- ویژگی های مهندسی
- ۶۰.....۳-۵-۲- ملاحظات عملی
- ۶۰.....۳-۵-۲-۱- روش حفاری
- ۶۱.....۳-۵-۲-۲- دوغاب
- ۶۲.....۳-۵-۲-۳- برآمدگی سطح زمین
- ۶۳.....۳-۶-۱- لوله فولادی تزریق شده به روش پیش نگهداری
- ۶۳.....۳-۶-۱- مبانی اولیه
- ۶۶.....۳-۶-۲- ملاحظات طراحی
- ۶۶.....۳-۶-۲-۱- انواع خاکهای کاربردی
- ۶۷.....۳-۶-۲-۲- لوله های فولادی کاربردی
- ۶۸.....۳-۶-۳- ملاحظات عملی
- ۶۸.....۳-۶-۳-۱- تزریق (Trevi SPA, 1993)
- ۷۲.....۳-۶-۳-۲- دوغاب
- ۷۳.....۳-۶-۷- روش لوله گذاری سقفی (قوس سلولی)
- ۷۳.....۳-۶-۷-۱- مبانی اولیه
- ۷۵.....۳-۶-۷-۲- ملاحظات طراحی
- ۷۵.....۳-۶-۷-۱- خاکهای مناسب برای روش قوس سلولی

۳-۷-۲-۲- مدل تحلیلی برای طراحی یک مقطع از لوله ..... ۷۶

۳-۷-۳- ملاحظات عملی ..... ۷۷

۳-۷-۳-۱- روش حفاری ..... ۷۷

۳-۷-۳-۲- احداث گودال جهت کوبیدن لوله ..... ۷۹

فصل چهارم : آنالیز و تشریح نتایج بدست آمده از پروژه های اجرا شده با روش چتری ..... ۸۲

۴-۱- مقدمه ..... ۸۲

- ۲-۴- ابعاد تونل، تکیه گاه تونل و جزئیات سازه پیش نگهداری ..... ۸۲
- ۳-۴- اهداف روش پیش نگهداری (چتری) ..... ۸۴
- ۴-۴- شرایط زمینی که در آن روش چتری اجرا شده است ..... ۸۷
- ۴-۴-۱- روش تزریق فورانی نیمه افقی ..... ۸۸
- ۴-۴-۲- لوله فولادی تزریق شده بروش پیش نگهداری ..... ۸۹
- ۴-۴-۳- لوله گذاری سقفی (قوس سلولی) ..... ۸۹
- ۴-۵- نشست سطح زمین و پیرامون تونل ..... ۹۰
- ۴-۶- رفتارسنجی تونلها در روش پیش نگهداری ..... ۹۱
- ۴-۷- برآمدگی و نشست در طول اجرای قوس چتری ..... ۹۴
- فصل پنجم : پیشینه تحقیق ..... ۹۵
- فصل ششم : معرفی نرم افزار **PLAXIS 3D TUNNEL** و بررسی صحت مدل سازی ..... ۱۰۱
- ۶-۱- مقدمه ..... ۱۰۱
- ۶-۲- کلیات نرم افزار **PLAXIS 3D TUNNEL** ..... ۱۰۱
- ۶-۳- ورودی (input) ..... ۱۰۳
- ۶-۴- مدل های رفتاری خاک ..... ۱۰۴
- ۶-۴-۱- مدل الاستیک خطی ..... ۱۰۴
- ۶-۴-۲- مدل موهر - کولمب ..... ۱۰۴
- ۶-۴-۳- مدل خاک سخت شونده ..... ۱۰۶
- ۶-۴-۴- مدل های رفتاری برای خاک های نرم ..... ۱۰۸

- ۱۰۸ .....Jointed rock مدل ۵-۴-۶
- ۱۰۹ .....(calculations) محاسبات ۵-۶
- ۱۱۱ .....(output) خروجی ۶-۶
- ۱۱۱ .....صحت مدل سازی ۷-۶
- ۱۱۳ .....PLAXIS 3D TUNNEL مدل کردن تونل در ۸-۶

- ۱۱۴ ..... ۱-۸-۶ ابزار رسم تونل
- ۱۱۵ ..... ۲-۸-۶ شرایط مرزی
- ۱۱۶ ..... ۳-۸-۶ تعیین خواص فیزیکی خاک و سازه پوسته ای NATM
- ۱۱۷ ..... ۴-۸-۶ مش بندی مدل
- ۱۲۰ ..... ۵-۸-۶ اجرای محاسبات
- ۱۲۱ ..... ۶-۸-۶ نتایج خروجی نرم افزار
- ۱۲۳ ..... فصل هفتم: تحلیل و بررسی نتایج مدلسازی
- ۱۲۳ ..... ۱-۷ مقدمه
- ۱۲۳ ..... ۲-۷ بررسی تونل (Yokohama, Japan) Hodogaya
- ۱۲۳ ..... ۱-۲-۷ موقعیت تونل Hodogaya
- ۱۲۴ ..... ۲-۲-۷ وضعیت زمین شناسی و هیدرولوژی تونل
- ۱۲۵ ..... ۳-۲-۷ موانعی در احداث تونل Hodogaya
- ۱۲۶ ..... ۴-۲-۷ روش پیش نگهداری بکار رفته در تونل Hodogaya
- ۱۲۶ ..... ۵-۲-۷ جزئیات سازه ای
- ۱۲۹ ..... ۷-۲-۷ تحلیل عددی صورت گرفته به روش پیش نگهداری
- ۱۲۹ ..... ۱-۷-۲-۷ مدل تحلیلی
- ۱۳۰ ..... ۲-۷-۲-۷ نتایج تحلیل
- ۱۳۱ ..... ۳-۷ تحلیل سه بعدی به روش پیش نگهداری (چتری)
- ۱۳۱ ..... ۱-۳-۷ نحوه مدلسازی سه بعدی تونل Hodogaya به روش چتری (روش اول)

۱۳۲ ..... ۱-۱-۳-۷ مدل اجزای محدود با مطالعه موردی

۱۳۳ ..... ۲-۱-۳-۷ شرایط مرزی

۱۳۴ ..... ۳-۱-۳-۷ پارامترهای فیزیکی خاک

۱۳۴ ..... ۴-۱-۳-۷ تعیین مشخصات سازه چتری (پیش نگهداری)

۱۳۵ ..... ۵-۱-۳-۷ مش بندی سه بعدی تونل Hodogaya

- ۱۳۶ ..... ۷-۳-۱-۶- تعیین تنش های اولیه
- ۱۳۸ ..... ۷-۳-۱-۷- اجرای محاسبات
- ۱۴۳ ..... ۷-۳-۱-۸- نتایج خروجی
- ۱۴۵ ..... ۷-۴- منحنی نشست سطح زمین در بالای تونل Hodogaya
- ۱۴۶ ..... ۷-۵- مقایسه منحنی نشست تحلیل سه بعدی و اندازه گیری شده در پیرامون تونل Hodogaya
- ۱۴۷ ..... ۷-۶- تأثیر قطر پیش حائل های کاربردی در پایداری تونل
- ۱۴۸ ..... ۷-۷- تأثیر تعداد فورپولها در پایداری تونل
- ۱۴۹ ..... ۷-۸- روش دوم مدلسازی سه بعدی تونل Hodogaya
- ۱۵۱ ..... ۷-۹- نتایج مدلسازی سه بعدی سازه چتری به روش دوم (قوس یکپارچه)
- ۱۵۲ ..... ۷-۱۰- مقایسه منحنی نشست سطح زمین در مدلسازی تونل Hodogaya با روش اول و دوم
- ۱۵۲ ..... ۷-۱۱- بررسی پارامترهای ژئومکانیکی زمین پیرامون تونل
- ۱۵۴ ..... ۷-۱۲- مدلسازی سه بعدی تونل Hodogaya به روش NATM
- ۱۵۵ ..... ۷-۱۲-۱- نتایج مدلسازی سه بعدی تونل Hodogaya به روش NATM
- ۱۵۶ ..... ۷-۱۲-۲- مقایسه و بررسی نتایج روش پیش نگهداری و NATM
- ۱۳-۷- ارزیابی مدلسازی عددی بالا زدگی کف و نشست تونل با استفاده از مدل رفتاری  
موهر-کولمب و خاک سخت شونده.....
- ۱۵۸ ..... ۷-۱۳-۱- مدل موهر-کولمب و ویژگی های آن در شبیه سازی مسائل حفاری
- ۱۶۰ ..... ۷-۱۳-۲- مدل خاک سخت شونده
- ۱۶۱ ..... ۷-۱۱- مدلسازی عددی حفر تونل در عمق های مختلف

فصل هشتم: جمع بندی و پیشنهادات ..... ۱۶۸

۱-۸- مقدمه ..... ۱۶۸

۱-۱-۸- سازگاری جنس خاک، متناسب با روش پیش نگهداری ..... ۱۶۸

۱-۱-۸-۲- ویژگی روشهای اجرایی پیش نگهداری در احداث تونل ..... ۱۶۸

۱-۱-۸-۳- ویژگی های نشست ..... ۱۶۸

۱-۲-۸- مطالعات آتی ..... ۱۷۰



۸-۳- نحوه انتخاب روش پیش نگهداری مناسب ..... ۱۷۰

فهرست منابع و مراجع ..... ۱۷۲

چکیده انگلیسی ..... ۱۷۴

## فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۱	جدول ۱-۲ - پایداری تونل در خاکهای چسبنده
۴۱	جدول ۱-۳ - انواع روشهای (چتری) پیش نگهداری
۵۸	جدول ۲-۳ - زمین مناسب برای روش RJFP
۵۸	جدول ۳-۳ - پارامترهای تزریق فورانی
۵۹	جدول ۴-۳ - ویژگیهای مهندسی ستونهای تزریق فورانی
۶۷	جدول ۵-۳ - لوله های فولادی کاربردی در روشهای حفاری
۸۴	جدول ۱-۴ - خلاصه ای از ابعاد تونل ، تکیه گاههای تونل و جزئیات سازه پیش نگهداری
۸۶	جدول ۲-۴ - مهمترین دلایل جهت انتخاب روش پیش نگهداری
۹۰	جدول ۳-۴ - خلاصه ای از نشستهای سطح زمین و پیرامون تاج تونل در تونل Hodogaya
۹۱	جدول ۵-۴ - مقایسه نشست نهایی سطح زمین در طی اجرای سه روش مختلف چتری
۱۱۷	جدول ۱-۶ - مشخصات فیزیکی خاک
۱۱۷	جدول ۲-۶ - پارامترهای سازه پوسته ای NATM
۱۲۴	جدول ۱-۷ - لایه بندی و پارامترهای خاکها در تونل مورد مطالعه
۱۲۷	جدول ۲-۷ - پارامترهای تزریق فورانی تونل Hodogaya
۱۲۹	جدول ۳-۷ - پارامترهای زمین در مدل تحلیلی تونل Hodogaya
۱۲۹	جدول ۴-۷ - پارامترهای تکیه گاهی در مدل تحلیلی تونل Hodogaya
۱۳۳	جدول ۵-۷ - پارامترهای زمین در مدل تحلیلی تونل Hodogaya
۱۳۴	جدول ۶-۷ - پارامترهای سازه چتری در مدل تحلیلی تونل Hodogaya
۱۶۳	جدول ۷-۷ - پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ماسه متراکم برای مدل های رفتاری MC و HS

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- روش اجرای ایستگاههای مترو به روش کندن و پوشاندن ..... ۳
- شکل ۲-۱- متروی تهران - ایستگاه K1J4 (دروازه دولت) ..... ۳
- شکل ۳-۱- متروی تهران - ایستگاه L1 (اجرا به روش ترانشه بسته) ..... ۴
- شکل ۴-۱- روش حفاری تونل های جانبی ..... ۴
- شکل ۵-۱- روش حفاری دیافراگم میانی ..... ۵
- شکل ۶-۱- روش حفاری پیشانی و پله برداری ..... ۶
- شکل ۷-۱- روش حفاری تمام مقطع در خاک رس ..... ۷
- شکل ۸-۱- روش آلمانی ..... ۷
- شکل ۹-۱- روش پیش نگهدارنده طاق بتنی ..... ۸
- شکل ۱۰-۱- فضای ایجاد شده با روش ترکیبی ..... ۹
- شکل ۱۱-۱- نمایی از ماشین های پیش تونلسازی ..... ۱۱
- شکل ۱۲-۱- طرح کلی روش چتری (پیش نگهداری) ..... ۸
- شکل ۱-۲- نمای شماتیک روش چتری (پیش نگهداری) ..... ۱۵
- شکل ۲-۲- قوس روی گودال ..... ۱۸
- شکل ۳-۲- فرضیه بنیادی تئوری فشار زمین ترزاقی ..... ۱۹
- شکل ۴-۲- تئوری دریچه دسترسی ترزاقی ..... ۲۰
- شکل ۵-۲- ناحیه ساده شده قوسی شکل ..... ۲۱
- شکل ۶-۲- ناحیه قوسی ساده شده اطراف دهانه دایره ای تونل ..... ۲۳

- شکل ۲-۷- ارتفاع معادل ناحیه قوسی در مقابل عمق معادل لایه سر بار ..... ۲۴
- شکل ۲-۸- عمق معادل لایه سر بار در مقابل ارتفاع معادل ناحیه قوسی ..... ۲۵
- شکل ۲-۹- رسم شماتیک گستره ناحیه قوسی و توزیع جابجایی قائم بالای دهانه تونل ..... ۲۶
- شکل ۲-۱۰- ناحیه پلاستیک حول دهانه ورودی تونل ..... ۲۸
- شکل ۲-۱۱- عدد پایداری در مقابل شعاع پلاستیسیته طبیعی ..... ۳۲
- شکل ۲-۱۲- عدد پایداری در مقابل تغییر شکل شعاعی تاج تونل ..... ۳۳
- شکل ۲-۱۳- ناحیه قوسی ساده شده اطراف دهانه دایره ای تونل ..... ۲۳
- شکل ۳-۱- منحنی نشست ..... ۳۵
- شکل ۳-۲- طرح کلی مکانیزمهای روش پیش نگهداری ..... ۳۶
- شکل ۳-۳- توزیع تنش عمودی در خط طولی تاج تونل و حالت تنش در جلوی جبهه کار ..... ۳۷
- شکل ۳-۴- روش تزریق فورانی نیمه افقی ..... ۴۲
- شکل ۳-۵- لوله فولادی تزریق شده به روش پیش نگهداری ..... ۴۲
- شکل ۳-۶- روش لوله گذاری سقفی ..... ۴۳
- شکل ۳-۷- طرح اولیه از روشهای تزریقی ..... ۴۴
- شکل ۳-۸- لوله غلافدار ..... ۴۷
- شکل ۳-۹- گسیختگی خاک ..... ۵۱
- شکل ۳-۱۰- دامنه انواع خاک کاربردی برای تزریق فورانی ..... ۵۳
- شکل ۳-۱۱- نمونه ای از روش تزریق فورانی نیمه افقی ..... ۵۵
- شکل ۳-۱۲- مراحل اجرای روش تزریق فورانی نیمه افقی ..... ۵۶
- شکل ۳-۱۳- طرح مدول وتری در مقابل مقاومت خاکهای تحت تزریق فورانی ..... ۶۰
- شکل ۳-۱۴- نمودار برآمدگی در سطح زمین در مقابل عمق سر بار ..... ۶۳
- شکل ۳-۱۵- روش Infilaggi (لوله فولادی تزریق شده) ..... ۶۵
- شکل ۳-۱۶- مراحل اجرای روش TREVITEB ..... ۶۶
- شکل ۳-۱۷- روش تزریق ..... ۷۰
- شکل ۳-۱۸- انواع تزریق در روش لوله فولادی تزریق شده به روش پیش نگهداری ..... ۷۱