

پیشگفتار مترجم

ساخت تونل‌های زیر زمینی در مناطق شهری به کمک حفاری مکانیزه با سیر فشار تعادلی زمین در اکثر کلانشهرهای کشورمان، در چند دهه اخیر توسعه گسترده‌ای داشته است. عملیات حفاری تونل برای ساخت مترو در شهرهایی از قبیل تهران، تبریز، اهواز، کرج، شیراز، مشهد و اصفهان نه تنها آغاز شده، بلکه فازهای چندم آن نیز در برخی شهرها به مرحله بهره‌برداری رسیده است. به عنوان مثال در مراحل آخر ترجمه این کتاب، خبری در رسانه‌ها منتشر شد که پروژه متروی خط ۶ تهران، در بین ۴ پروژه عملیات‌های تونلسازی برتر در سطح جهان قرار گرفت. علیرغم بکارگیری از آخرین دستاوردهای تکنولوژی دستگاه‌های حفار زمین، تونل حفاری شده و عملیات حفاری آن سازه‌های مجاور از قبیل تونل‌های اطراف و ساختمان‌های روی زمین را تحت تاثیر قرار خواهد داد. کتاب اخیر روشی را برای آشنایی و برآورد مخاطرات ناشی از عملیات تونلسازی بر ساختمان‌ها ارائه می‌دهد. همچنین مؤلف کتاب در سال ۱۹۹۸ میلادی مقالات و روش‌های تحلیلی برای پیش‌بینی نشست سطح زمین ناشی از عملیات تونلسازی ارائه کرده است.

اینجانب بنا به اهمیت و ضرورت مساله و همچنین اشتیاق نویسنده در زمینه تونلسازی در زمین‌های نرم، ترجمه این کتاب را انتخاب و آغاز نمودم. به عنوان مترجم این کتاب، علاوه بر سابقه کاری در زمینه حفاری تونل مترو، تحقیقات دوره کارشناسی ارشد و دکتری خود را معطوف به مسائل مربوط به حفاری تونل در زمین‌های نرم و پوشش نگهداری آنها نموده‌ام و مقالاتی را در این زمینه در کنفرانس‌های داخلی و خارجی و مجلات معتبر بین‌المللی به چاپ رسانده‌ام و مطالعه این کتاب را به مهندسیین طراح تونل در مناطق شهری و همچنین دانشجویان علاقمند توصیه می‌کنم. هر چند که بهتر است خواننده از قبل از عملکرد انواع سپرهای حفاری برای فهم بهتر مطالب عنوان شده آگاهی داشته باشد، اما مطالب ارائه شده نیز بگونه‌ای است که خواننده می‌تواند در این مورد به درک روشنی دست یابد و در مورد لزوم برای تفهیم بیشتر خواننده، توضیحات اضافی از طرف اینجانب به صورت زیر نویس ارائه شده است.

از آنجایی که هیچ نوشته‌ای نمی‌تواند خالی از اشتباه باشد، خوانندگان محترم می‌توانند نقطه نظرات خود را به آدرس الکترونیکی armin.rastbood@ut.ac.ir ارسال کرده و بنده را از رهنمودهای خود هم

برای این کتاب و هم پیشنهاد برای تألیفات و ترجمه‌های بعدی بهره‌مند سازند.

آرمین راست بود

شهریور ماه ۱۳۹۶



متروی خط ۶ در بین ۴ پروژه تونلی برتر دنیا

خط ۶ متروی تهران ۶ رکورد استثنایی دارد که می‌تواند جایزه جهانی برترین تونل جهان در سال ۲۰۱۷ را به تهران برساند

فهرست

فصل ۱: مقدمه	۱۵
۱-۱- هدف و نیاز	۱۵
۲-۱- کلیات تحقیق	۱۷
۱-۲-۱- پیش‌بینی تغییر شکل زمین	۱۷
۲-۲-۱- راه حل‌های فرم بسته برای پیش‌بینی جابجایی زمین	۱۸
۳-۲-۱- ارزیابی اثرات ناشی از تونلسازی بر سازه‌های مجاور	۱۹
۴-۲-۱- روش‌های ارزیابی ریسک ساختمان	۱۹
فصل ۲: مرور ادبیات فنی	۲۱
۱-۲- مقدمه	۲۱
۱-۱-۲- مؤلفه‌ها و مکانیسم‌های افت زمین	۲۱
۲-۱-۲- افت زمین و نوع TBM	۲۳
۲-۲- تحقیقات پیشین در مورد افت زمین	۲۴
۳-۲- تحقیقات پیشین در مورد روش‌های موجود برای پیش‌بینی جابجایی‌های زمین ناشی از عملیات تونلسازی	۲۹
۱-۳-۲- روش‌های تجربی	۲۹
۲-۳-۲- روش‌های تحلیلی	۳۳
۳-۳-۲- روش‌های عددی	۳۵
۴-۲- شیوه‌های موجود ارزیابی ریسک ساختمان	۳۶
فصل ۳: برآورد میزان افت زمین ناشی از عملیات تونلسازی	۴۱
۱-۳- مقدمه	۴۱
۲-۳- تعریف افت زمین	۴۲
۳-۳- پیش‌زمینه تئوری در مورد مؤلفه‌های فضای خالی	۴۳
۱-۳-۳- افت سینه کار V_f	۴۳

۴۶	۲-۳-۳- افت سپر V_s
۴۹	۳-۳-۳- افت دنباله V_t
۵۱	فصل ۴: جابجایی‌های زمین
۵۱	۱-۴- مقدمه
۵۲	۲-۴- راه‌حل‌های فرم بسته برای محاسبه جابجایی‌های زمین
۵۷	۳-۴- خلاصه- جابجایی‌های زمین بکر
۵۹	فصل ۵: اثرات ناشی از عملیات تونلسازی بر شمع‌های مجاور
۵۹	۱-۵- مقدمه
۶۰	۲-۵- روش بررسی
۶۱	۳-۵- مطالعه پارامتری
۶۲	۴-۵- مفهوم نمودار طراحی
۶۴	۵-۵- نمودارهای طراحی برای شمع‌های کوتاه
۶۹	۶-۵- نمودارهای طراحی برای شمع‌های بلند
۷۳	۷-۵- خلاصه فصل
۷۵	فصل ۶: روش ارزیابی ریسک برای شمع‌ها
۷۵	۱-۶- مقدمه
۷۵	۲-۶- مسیر جابجایی زمین و شمع
۷۹	۳-۶- اثرات ویژه ناشی از موقعیت شمع
۸۰	۴-۶- خلاصه فصل
۸۱	فصل ۷: روش ارزیابی ریسک ساختمان
۸۱	۱-۷- مقدمه
۸۲	۲-۷- نمودار گردش کار برای ارزیابی ریسک
۸۴	۳-۷- ارزیابی ریسک ساختمان ناشی از تونلسازی برای پی‌های کم عمق
۸۹	۴-۷- ارزیابی ریسک ساختمان ناشی از عملیات تونلسازی برای پی‌های شمعی
۹۲	۵-۷- خلاصه فصل
۹۳	فصل ۸: نتایج

فصل ۹: پیوست‌ها ۹۷

پیوست A. کار برگ‌های طراحی ۹۷

پیوست B. برنامه کامپیوتری بررسی کلی شمع (GEPAN) ۱۰۲

پیوست C. کاربرگ شاخص برای ارزیابی آسیب‌دیدگی ساختمان ۱۰۶

فصل ۱۰: مراجع ۱۱۳

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۱۷

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- مثال‌هایی از آسیب دیدگی ساختمان ناشی از عملیات تونلسازی ۱۶

شکل ۱-۲- مؤلفه‌های مختلف افت زمین در حفاری تونل با دستگاه TBM ۲۱

شکل ۲-۲- مکانیسم جریان تزریق پرکننده و دوغاب بنتونیت پیرامون TBM دوغابی (بروزن و بیکر، ۲۰۰۷) ۲۶

شکل ۲-۳- الف- الگوی شاخص بیرون زدگی سینه‌کار TBM نوع فشار تعادلی زمین ۲۶

شکل ۲-۳- ب- تغییرات فشار سینه‌کار با افت زمین ۲۷

شکل ۲-۴- تعریف فضای خالی در اطراف تونل ۲۸

شکل ۲-۵- مقایسه شکل‌های مختلف گودی‌های نشست سطحی ۳۱

شکل ۲-۶- ارتباط آسیب‌دیدگی با انحراف زاویه‌ای و کرنش افقی (بوسکاردین و کوردینگ، ۱۹۸۹) ۳۷

شکل ۳-۱- الگوی تغییر شکل‌های دایره‌ای و بیضی شکل در اطراف تونل ۴۲

شکل ۳-۲- نمای شماتیک TBM با زبانه برشی و سپر مخروطی ۴۶

شکل ۳-۳- فشار اثر کننده سینه‌کار TBM بر فضای خالی سپر از نوع فشار تعادلی زمین ۴۸

شکل ۳-۴- جابجایی زمین و مکانیسم پرشدن فضای خالی سپر برای TBM از نوع فشار تعادلی زمین ۴۹

شکل ۴-۱- جابجایی‌های زمین ناشی از عملیات تونلسازی در زمین بکر ۵۲

شکل ۴-۲- الگوهای تغییر شکل و شرایط مرزی نشست زمین ۵۳

شکل ۴-۳- الف- نشست زیر سطحی، ب- تغییر شکل جانبی ۵۶

شکل ۴-۴- مقایسه نتایج روش‌های مختلف ۵۷

شکل ۴-۵- حالت شاخص هندسه تونل ۵۸

شکل ۵-۱- شمع منفرد در مجاورت عملیات تونلسازی - مساله بررسی شده اولیه ۶۰

شکل ۵-۲- نمودارهای طراحی: اثرات ناشی از تونلسازی برای حالت اولیه شمع کوتاه ۶۵

شکل ۵-۳- نمودارهای طراحی: فاکتورهای تصحیح برای مقاومت برشی زهکشی نشده خاک-شمع کوتاه ۶۶

- شکل ۵-۴- نمودارهای طراحی: فاکتورهای تصحیح برای قطر شمع - شمع کوتاه ۶۷
- شکل ۵-۵- نمودارهای طراحی: فاکتورهای تصحیح برای نسبت طول شمع به عمق تونل - شمع کوتاه ۶۸
- شکل ۵-۶- نمودارهای طراحی: اثرات ناشی از تونلسازی برای حالت اولیه شمع بلند ۷۰
- شکل ۷-۷- نمودارهای طراحی: فاکتورهای تصحیح برای مقاومت برشی زهکشی نشده خاک - شمع بلند ۷۱
- شکل ۵-۸- نمودارهای طراحی: فاکتورهای تصحیح برای قطر شمع - شمع بلند ۷۲
- شکل ۵-۹- نمودارهای طراحی: فاکتورهای تصحیح برای نسبت طول شمع به عمق تونل - شمع بلند ۷۳
- شکل ۶-۱- نمای مقطع و پلان نشان‌دهنده نواحی تاثیر نشست و جابجایی‌های شمع برای حالت افت منفی در سینه‌کار ۷۶
- شکل ۶-۲- نمای مقطع و پلان نشان‌دهنده نواحی تاثیر نشست و جابجایی‌های شمع برای حالت افت مثبت در سینه‌کار ۷۸
- شکل ۶-۳- گستردگی نواحی مختلف جابجایی ۷۹
- شکل ۷-۱- روش ارزیابی ریسک: نمودار گردش کار برای ارزیابی آسیب دیدگی بالقوه ساختمان‌های موجود ۸۲
- شکل ۷-۲- نقشه شاخص مرز نشست با محل اثر ساختمان‌ها ۸۵
- شکل ۷-۳- مثالی از یک کاربرگ برای مرحله ۱ ارزیابی ریسک ۸۶
- شکل ۷-۴- تعریف نواحی برآمدگی و تورفتگی ۸۷
- شکل ۷-۵- ترسیم شدت ریسک ساختمان ۸۹
- شکل ۷-۶- پروفیل نشست راس شمع ۹۰
- شکل ۱-B- نمودار شماتیک نشان‌دهنده المان‌بندی جزء مرزی ۳D شمع و بارها و تنش‌های اثرکننده روی شمع و شمع‌های مجاور ۱۰۳
- شکل ۱-C- نمودارهای طراحی برای فاکتورهای تصحیح ۱۱۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- مقادیر پیشنهاد شده از توسط محققین مختلف ۳۰
- جدول ۲-۲- معیارهای ارزیابی آسیب دیدگی برای مرحله ۱ و مرحله ۲ ۳۹
- جدول ۱-۴- مقایسه پارامترهای گودی نشست سطحی و مقادیر مشاهده شده آن ۵۵
- جدول ۱-۶- مقادیر بحرانی ناشی از عملیات تونلسازی بر روی شمع‌ها ۷۹
- جدول ۱-۷- طبقه‌بندی آسیب دیدگی-مقادیر شاخص برای بیشترین شیب و نشست ساختمان برای ارزیابی ریسک آسیب دیدگی (CIRIA PR30، 1996) ۸۶