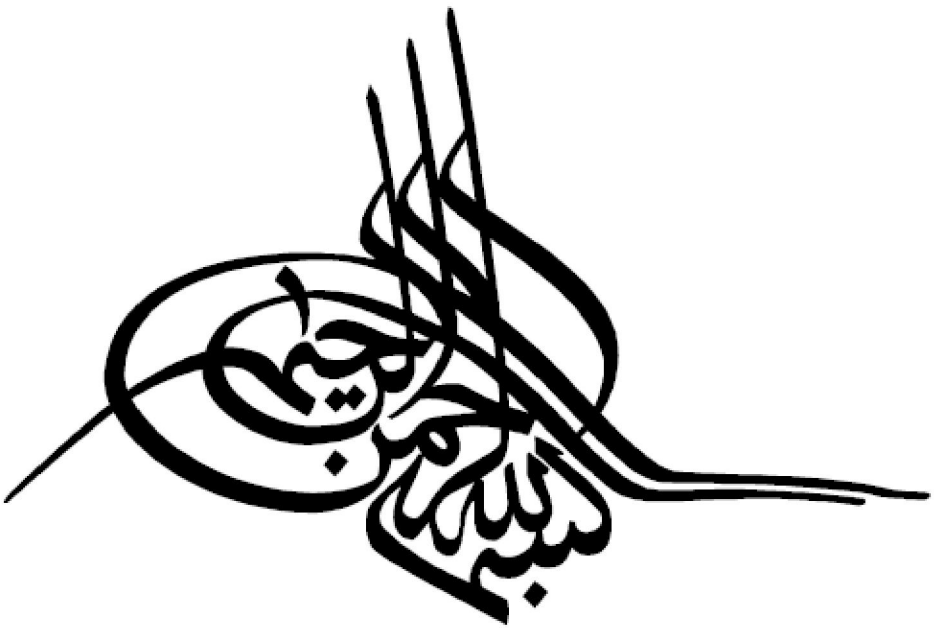

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی ارشد (مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی)

بررسی اثر استفاده از پیش‌طاق بر کاهش نشست سطح زمین ناشی از حفر تونل

تحقیق وتدوین:

محمود خردی نعمتی

استاد راهنما:

دکتر سعید قربان‌بیگی

استاد مشاور:

دکتر احمدرضا محبوبی

بهمن ۱۳۹۰

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

پایا ن نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی

آقای محمود خردی نعمتی

تحت عنوان

بررسی اثر استفاده از پیش‌طاق بر کاهش نشست سطح زمین ناشی از حفر تونل

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر سعید قربان‌بیگی	.....
۲- استاد مشاور	دکتر احمدرضا محبوبی	.....
۳- استاد داور	دکتر سعید خرقانی	.....
۴- استاد داور	دکتر محمد رضا عطرچیان	.....
معاونت تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر رضا راستی	.....

با سپاس از زحمات بی دریغ پدر و مادر عزیزتر از جانم که هر چه دارم از دعای خیر آنهاست

و قدردانی از برادران و خواهرانم که تا این مرحله از زندگی همواره مشوق و پیشتیبان من بوده اند.

و با تشکر از راهنمایی و مشاوره جناب آقای دکتر قربان بیگی و جناب آقای دکتر محبوبی که اینجانب را در تدوین این پایان نامه یاری نمودند.

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر:

اینجانب محمود خردی نعمتی تائید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب می باشد و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است.

این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین تر و بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق(شهید عباسپور) می باشد.

محمود خردی نعمتی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ هدف از انجام تحقیق..... ۳

۱-۳ موضوعات ارائه شده در فصول مختلف تحقیق..... ۳

فصل دوم: حرکات زمین ناشی از حفر تونل

۲-۱ مقدمه..... ۶

۲-۲ محاسبه نشست قائم سطح زمین ناشی از تونل‌سازی..... ۶

۲-۲-۱ روابط مربوط به محاسبه بیشینه نشست قائم سطح زمین..... ۷

۲-۲-۲ روابط مربوط به محاسبه طول نقطه عطف..... ۸

۲-۲-۳ پروفیل طولی نشست قائم سطح زمین ناشی از حفاری تونل..... ۹

۲-۳ تغییرمکان‌های افقی زمین در اثر حفر تونل..... ۹

۲-۴ برآورد خسارات وارد بر ساختمان در اثر نشست زمین ناشی از تونل‌سازی..... ۱۰

۲-۴-۱ طبقه بندی خرابی ساختمان‌ها بر اثر نشست زمین ناشی از تونل‌سازی..... ۱۲

۲-۴-۲ کرنش بحرانی برای خرابی ساختمان..... ۱۳

۲-۴-۳ نشست‌های نسبی مجاز سازه‌ها..... ۱۴

فصل سوم: پیش طاق

۳-۱ مقدمه..... ۱۶

۳-۲ تئوری قوس‌زدگی..... ۱۶

۳-۲-۱ تحقیقات ترزاقی در زمینه قوس‌زدگی..... ۱۷

۳-۲-۲ توصیف استفاده از روش پیش‌طاق توسط تئوری قوس‌زدگی..... ۱۹

۳-۳ بررسی تأثیر استفاده از پیش‌طاق بر پایداری تونل با توجه به معیار موهر-کولمب..... ۲۰

۳-۴ انواع پیش‌طاق..... ۲۲

۳-۴-۱ روش آنفیلاژ..... ۲۲

۳-۴-۲ روش پیش برش مکانیکی (Perforex)..... ۲۳

۳-۴-۳ روش چتری..... ۲۴

۳-۴-۳-۱ روش‌های اجرای تزریق..... ۲۵

۳-۴-۳-۱-۱ تزریق نفوذی..... ۲۶

۳-۴-۳-۱-۲ تزریق شکننده ساختار خاک..... ۲۶

۳-۴-۳-۱-۳ روش تزریق با فشار بالا..... ۲۷

۳-۴-۳-۲ روش تزریق نیمه افقی..... ۲۸

۳-۴-۳-۳ روش لوله فولادی تزریق شده..... ۳۰

۳-۴-۳-۳-۱ روش‌های جایگذاری لوله‌ها..... ۳۱
۳-۴-۳-۳-۲ تأثیر عوامل اجرایی بر مقاومت لوله‌ها..... ۳۳
۳-۴-۳-۳-۲-۱ اثر تزریق دوغاب داخل لوله..... ۳۴
۳-۴-۳-۳-۲-۲ اثر حفره‌های تزریق ایجاده شده روی لوله..... ۳۴
۳-۴-۳-۳-۲-۳ اثر وجود اتصال بین لوله‌ها..... ۳۵
۳-۴-۳-۴ روش سقف لوله‌گذاری شده (Pipe Roof)..... ۳۵
۳-۴-۳-۴-۱ روش جایگذاری لوله‌ها..... ۳۶
۳-۴-۳-۴-۲ نوع خاک مناسب اجرا..... ۳۸
۳-۴-۳-۴-۳ فاصله جانبی لوله‌ها..... ۳۸
۳-۴-۳-۵ هدف از اجرای روش چتری..... ۳۸
۳-۵ روش‌های ریاضی برای تحلیل سازه‌ای روش چتری..... ۳۹
۳-۵-۱ روش تجربی..... ۳۹
۳-۵-۲ روش تیر بر روی بستر ارتجاعی..... ۴۰
۳-۵-۲-۱ مدل Pasternak..... ۴۱
۳-۵-۲-۱-۱ مقایسه مدل Pasternak با مدل Winkler..... ۴۶
۳-۵-۳ مدل پوسته معادل..... ۴۷
۳-۵-۳-۱ بدست آوردن پارامترهای سازه‌ای پوسته معادل..... ۵۱
۳-۵-۳-۲ مقایسه مدل پوسته معادل با اندازه‌گیری‌های محلی..... ۵۲

فصل چهارم: اثر پیش‌طاق بر نشست زمین ناشی از حفر تونل

۴-۱ مقدمه..... ۵۵
۴-۲ مطالعات آزمایشگاهی..... ۵۵
۴-۲-۱ آزمایش بزرگ مقیاس..... ۵۵
۴-۲-۲ آزمایش کوچک مقیاس..... ۵۶
۴-۳ مطالعات عددی..... ۵۹
۴-۴ مطالعات پارامتریک..... ۶۲

فصل پنجم : معرفی و اعتبارسنجی نرم‌افزار PLAXIS 3D Tunnel

۵-۱ مقدمه..... ۶۷
۵-۲ مراحل مدل‌سازی سه بعدی..... ۶۷
۵-۳ مختصات مرجع..... ۶۸
۵-۴ المان بندی..... ۶۸
۵-۵ المان صفحه..... ۶۹
۵-۶ المان سطح مشترک..... ۶۹
۵-۷ مدل موهر- کولمب..... ۷۱

۵-۷-۱ مدول یانگ (E)..... ۷۳
۵-۷-۲ نسبت پواسون (ν)..... ۷۴
۵-۷-۳ زاویه اصطکاک (φ)..... ۷۴
۵-۷-۴ چسبندگی (c)..... ۷۵
۵-۷-۵ زاویه اتساع (ψ)..... ۷۵
۵-۸ اعتبارسنجی نرم‌افزار..... ۷۶

فصل ششم: مدل‌سازی عددی
۶-۱ مقدمه..... ۸۰
۶-۲ مدل‌سازی سازه پیش‌طاق..... ۸۰
۶-۳ مصالح مورد استفاده در مدل‌سازی..... ۸۱
۶-۴ مدل‌سازی حفاری تونل..... ۸۱
۶-۵ شرایط مرزی مدل..... ۸۱
۶-۶ مدل اجزاءمحدود..... ۸۲
۶-۷ اثر تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق بر نشست‌های قائم سطح زمین..... ۸۳
۶-۸ اثر تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق بر نشست‌های افقی سطح زمین..... ۸۵
۶-۹ اثر تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق بر نشست‌های قائم زمین در اعماق مختلف..... ۸۵
۶-۱۰ اثر تغییر در قطر لوله‌ها بر نشست‌های قائم سطح زمین..... ۸۶
۶-۱۱ اثر تغییر در قطر لوله‌ها بر نشست‌های افقی سطح زمین..... ۸۸
۶-۱۲ بررسی اثر طول پیش‌مسلح‌سازی شده تونل..... ۸۹
۶-۱۲-۱ اثر طول پیش‌مسلح‌سازی شده بر نشست قائم سطح زمین..... ۸۹
۶-۱۲-۲ اثر طول پیش‌مسلح‌سازی شده بر خطوط تراز نشست قائم سطح زمین..... ۹۰
۶-۱۲-۳ اثر طول پیش‌مسلح‌سازی شده برخطوط تراز نشست قائم در اعماق مختلف زمین..... ۹۲

فصل هفتم: نتیجه‌گیری
۷-۱ نتایج..... ۹۶
۷-۲ پیشنهادات..... ۹۷

ضمیمه..... ۹۹

منابع و مراجع..... ۱۰۲

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ نمای کلی یک تونل که در آن سازه پیش‌طاق اجرا شده است..... ۲

شکل ۲-۱ گودی نشست سطح زمین ناشی از حفر تونل..... ۶
شکل ۲-۲ پروفیل عرضی گودی نشست قائم سطح زمین ناشی از حفر تونل..... ۷
شکل ۲-۳ پروفیل طولی نشست قائم سطح زمین ناشی از حفر تونل..... ۹
شکل ۲-۴ نشست و کرنش‌های افقی سطح زمین ناشی از حفر تونل..... ۱۰
شکل ۲-۵ تغییرشکل‌های ساختمان ناشی از حفر تونل..... ۱۱
شکل ۲-۶ پارامترهای برآورد خسارت وارد بر ساختمان ناشی از نشست زمین..... ۱۱

شکل ۳-۱ انتقال تنش قائم در عمق زمین بر اثر پدیده قوس‌زدگی..... ۱۸
شکل ۳-۲ نتایج حاصل از آزمایش دریچه ترزاقی..... ۱۸
شکل ۳-۳ حالات مختلف جابجایی قائم زمین ناشی از حفر تونل بر اثر قوس‌زدگی..... ۱۹
شکل ۳-۴ توزیع تنش قائم در بالای تاج تونل در حالتی که از پیش‌طاق استفاده نشده است..... ۲۰
شکل ۳-۵ توزیع تنش قائم در بالای تاج تونل در حالتی که از پیش‌طاق استفاده شده است..... ۲۱
شکل ۳-۶ چگونگی اثر سازه پیش‌طاق بر افزایش پایداری سینه‌کار تونل..... ۲۲
شکل ۳-۷ روش آنفیلاژ..... ۲۲
شکل ۳-۸ (۱) اره مکانیکی حفاری، (۲) حفاری سینه‌کار تونل با اره مکانیکی،
(۳) پرکردن شیار حفاری شده با بتن..... ۲۳
شکل ۳-۹ روش تزریق نیمه افقی..... ۲۴
شکل ۳-۱۰ روش لوله فولادی تزریق شده..... ۲۴
شکل ۳-۱۱ روش سقف لوله‌گذاری شده..... ۲۵
شکل ۳-۱۲ انواع روش‌های تزریق با فشار بالا..... ۲۸
شکل ۳-۱۳ نحوه اجرای روش تزریق نیمه افقی..... ۲۸
شکل ۳-۱۴ تونل پیش‌مسلح‌سازی شده به روش لوله فولادی تزریق شده..... ۳۱
شکل ۳-۱۵ (۱) ماشین حفاری روش Pre - Drilling، (۲) ماشین حفاری روش Cased - Drilling..... ۳۲
شکل ۳-۱۶ سمت راست گمانه حفاری شده به روش Pre - Drilling
سمت چپ گمانه لوله‌گذاری شده به روش Cased - Drilling ۳۳
شکل ۳-۱۷آزمایش خمش انجام گرفته روی لوله..... ۳۳
شکل ۳-۱۸ نتایج آزمایش خمش برای لوله فولادی بدون حفره تزریق و با حفره تزریق..... ۳۴
شکل ۳-۱۹ نتایج آزمایش خمش برای بررسی اثر نوع اتصال بر مقاومت لوله..... ۳۵
شکل ۳-۲۰ تونل مسلح‌سازی شده به روش سقف لوله‌گذاری شده..... ۳۶
شکل ۳-۲۱ مراحل اجرای روش سقف لوله‌گذاری شده..... ۳۷

شکل ۳-۲۲ روش تجربی برای محاسبه فاصله جانبی بین لوله‌ها..... ۳۸
شکل ۳-۲۳ دلایل استفاده از روش چتری..... ۳۹
شکل ۳-۲۴ روش تجربی مدل‌سازی سازه پیش‌طاق..... ۴۰
شکل ۳-۲۵ مناطق مختلف ایجادشده در یک تونل با سازه پیش‌طاق..... ۴۱
شکل ۳-۲۶ تیر بر بستر ارتجاعی Pasternak..... ۴۲
شکل ۳-۲۷ رفتار مکانیکی سازه پیش‌طاق در مدل A..... ۴۲
شکل ۳-۲۸ رفتار مکانیکی سازه پیش‌طاق در مدل B..... ۴۳
شکل ۳-۲۹ مقاسیه نتایج حاصل از مدل‌های Winkler و Pasternak با مقادیر واقعی..... ۴۷
شکل ۳-۳۰ سیستم مختصات در نظر گرفته شده در مدل پوسته معادل..... ۴۷
شکل ۳-۳۱ مدل مکانیکی A در روش پوسته معادل..... ۵۰
شکل ۳-۳۲ مدل مکانیکی B در روش پوسته معادل..... ۵۰
شکل ۳-۳۳ چگونگی محاسبه ضخامت پوسته معادل در حالت پیش‌طاق تک لایه..... ۵۱
شکل ۳-۳۴ چگونگی محاسبه ضخامت پوسته معادل در حالت پیش‌طاق دو لایه..... ۵۱
شکل ۳-۳۵ مقایسه نتایج حاصل از مدل پوسته معادل با مدل‌سازی عددی و مقدار واقعی..... ۵۲

شکل ۴-۱ مدل مورد آزمایش Jong-Ho Shin *et. al.* (2008)..... ۵۶
شکل ۴-۲ مدل مورد آزمایش M. Hisatake, S. Ohno (2008)..... ۵۷
شکل ۴-۳ نشست قائم سطح زمین در حالت‌های مختلف آزمایش..... ۵۷
شکل ۴-۴ جابجایی افقی سطح زمین در حالات مختلف آزمایش..... ۵۸
شکل ۴-۵ مدل مورد آزمایش A.Juneja *et. al.* (2010)..... ۵۸
شکل ۴-۶ خطوط تراز نشست قائم سطح زمین برای حالت‌های مختلف آزمایش..... ۵۹
شکل ۴-۷ آرایش دروازه‌ای و نعل اسبی سقف لوله‌ای..... ۶۰
شکل ۴-۸ نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی G.M. Volkmann and W. Schubert (2006)..... ۶۱
شکل ۴-۹ نتایج مدل‌سازی عددی متروی ازمیر توسط C.O .Aksoy and T. Onargan (2010)..... ۶۱
شکل ۴-۱۰ پارامترهای مهم مورد استفاده در تحقیق Kochen (1992)..... ۶۲
شکل ۴-۱۱ مقادیر U بر حسب E_t/E_m برای H/R=۳..... ۶۳
شکل ۴-۱۲ مقادیر U بر حسب E_t/E_m برای H/R=۲/۵..... ۶۳
شکل ۴-۱۳: مقادیر U بر حسب E_t/E_m برای H/R=۲..... ۶۴
شکل ۴-۱۴ مقادیر U بر حسب E_t/E_m برای H/R=۱/۵..... ۶۴
شکل ۴-۱۵ مقادیر U_b بر حسب E_b/E_m برای H/R =۳..... ۶۵

شکل ۵-۱ مراحل مدل‌سازی سه بعدی..... ۶۷
شکل ۵-۲ مختصات مرجع و جهت تنش‌های اصلی در نرم‌افزار..... ۶۸
شکل ۵-۳ نحوه المان‌بندی..... ۶۸
شکل ۵-۴ المان صفحه و نقاط تنش روی آن..... ۶۹

شکل ۵-۵ المان ۱۶ نقطه‌ای سطح مشترک..... ۷۰
شکل ۵-۶ نقاط سخت گوشه با توزیع نامتوازن تنش..... ۷۰
شکل ۵-۷ اثر استفاده از المان سطح مشترک در توزیع متوازن تنش در نقاط گوشه..... ۷۱
شکل۵-۸ نمودار تنش- کرنش یک مدل الاستو- پلاستیک کامل..... ۷۱
شکل ۵-۹ سطح تسلیم مدل موهر-کولمب در فضای تنش‌های اصلی..... ۷۲
شکل ۵-۱۰ مفهوم E_0 و E_{50} برای یک آزمایش سه محوری زهکشی شده..... ۷۳
شکل۵-۱۱ دوایر مختلف تنش موهر-کولمب ۷۴
شکل ۵-۱۲ نحوه محاسبه زاویه اتساع از روی نتایج آزمایش سه محوری زهکشی شده..... ۷۵
شکل ۵-۱۳ پروفیل طولی نشست قائم سطح زمین در تحقیق Möller, S., (2006)..... ۷۷
شکل ۵-۱۴ مدل سه بعدی ایجاد شده به همراه مراحل حفاری تونل..... ۷۷
شکل ۵-۱۵ پروفیل طولی نشست قائم سطح زمین ناشی از حفر تونل بدست آمده از اعتبار سنجی نرم‌افزار..... ۷۸

شکل ۶-۱ شرایط مرزی اعمال شده به مدل اجزاءمحدود..... ۸۲
شکل ۶-۲ مدل سه بعدی ایجاد شده..... ۸۲
شکل ۶-۳ جزئیات تونل و سازه پیش‌طاق مورد استفاده..... ۸۳
شکل ۶-۴ زاویه پوشش پیش‌طاق θ ۸۳
شکل ۶-۵ تغییرات پروفیل عرضی نشست قائم سطح زمین با تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق..... ۸۴
شکل ۶-۶ تغییرات پروفیل طولی نشست قائم سطح زمین با تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق..... ۸۴
شکل ۶-۷ تغییرات نشست افقی سطح زمین با تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق..... ۸۵
شکل ۶-۸ اثر تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق بر نشست قائم در ترازهای مختلف زیر سطح زمین..... ۸۶
شکل ۶-۹ تغییر پروفیل عرضی نشست قائم سطح زمین با تغییر در قطر لوله‌های مورد استفاده در پیش‌طاق..... ۸۷
شکل ۶-۱۰ تغییر پروفیل طولی نشست قائم سطح زمین با تغییر در قطر لوله‌های مورد استفاده در پیش‌طاق..... ۸۷
شکل ۶-۱۱ تغییر در نشست قائم بیشینه سطح زمین با تغییر در قطر لوله‌ها..... ۸۸
شکل ۶-۱۲ تغییرات نشست افقی بیشینه سطح زمین با تغییر در قطر لوله‌ها..... ۸۸
شکل ۶-۱۳ تحلیل‌های مختلف برای بررسی اثر تغییر در طول پیش‌مسلح‌سازی شده تونل بر نشست زمین..... ۸۹
شکل ۶-۱۴ پروفیل طولی نشست قائم سطح زمین برای مقادیر مختلف طول پیش‌مسلح‌سازی شده تونل..... ۹۰
شکل ۶-۱۵ خطوط تراز نشست قائم سطح زمین برای تحلیل اول..... ۹۰
شکل ۶-۱۶ خطوط تراز نشست قائم سطح زمین برای تحلیل دوم..... ۹۱
شکل ۶-۱۷ خطوط تراز نشست قائم سطح زمین برای تحلیل سوم..... ۹۱
شکل ۶-۱۸ خطوط تراز نشست قائم سطح زمین برای تحلیل چهارم..... ۹۲
شکل۶-۱۹ خطوط تراز نشست قائم بالای تاج تونل در تحلیل اول..... ۹۳
شکل۶-۲۰ خطوط تراز نشست قائم بالای تاج تونل در تحلیل دوم..... ۹۳
شکل۶-۲۱ خطوط تراز نشست قائم بالای تاج تونل در تحلیل سوم..... ۹۴
شکل۶-۲۲ خطوط تراز نشست قائم بالای تاج تونل در تحلیل چهارم..... ۹۴

جداول

جدول ۲-۱ معیارهای خرابی ساختمان ارائه شده توسط Burland *et. al.* (1977) ۱۳
جدول ۲-۲ طبقه‌بندی خسارات ساختمان بر اساس کرنش بحرانی ۱۴
جدول ۲-۳ طبقه‌بندی خسارت ساختمان بر اساس نشست و زاویه کج‌شدگی بیشینه ۱۴

جدول ۳-۱ نوع خاک‌های مناسب برای روش تزریق نیمه افقی ۲۹
جدول ۳-۲ مقادیر مناسب برای تزریق با فشار بالا ۲۹
جدول ۳-۳ ویژگی‌های مقاومتی ستون خاک تزریق شده در انواع خاک ۳۰

جدول ۵-۱ پارامترهای اصلی مورد استفاده در مدل موهر-کولمب ۷۳
جدول ۵-۲ مشخصات خاک مورد استفاده در مدل‌سازی ۷۶
جدول ۵-۳ مشخصات پوشش تونل مورد استفاده در مدل‌سازی ۷۶

جدول ۶-۱ مشخصات سازه‌ای برای پیش‌طاق‌های مختلف مورد استفاده در مدل‌سازی ۸۰

چکیده

در سال‌های اخیر با گسترش روز افزون شهرها و افزایش تقاضای حمل و نقل، استفاده از فضاهای زیرزمینی به منظور مسیر عبور و مرور رونق یافته است. احداث هر سازه عمرانی با مخاطراتی همراه است که باید آن‌ها را تا حد امکان شناسایی نمود و با در نظر گرفتن راه حل مناسب میزان خسارات وارده را کاهش داد. یکی از مسائلی که در رابطه با حفر تونل مورد توجه است، میزان نشست زمین بالای منطقه حفر تونل می‌باشد. این پدیده بخصوص در مناطق شهری می‌تواند باعث خسارت شدید به سازه‌های اطراف تونل شود. یکی از راه‌کارهای نوینی که در سال‌های اخیر برای محدود کردن نشست زمین ناشی از حفر تونل بکار بسته می‌شود، استفاده از روش پیش‌طاق می‌باشد. روش پیش‌طاق دارای انواع مختلف می‌باشد که هر کدام از این روش‌ها دارای شرایط و ملزومات اجرایی خود می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار اجزاءمحدود PLAXIS 3D Tunnel به مدل‌سازی عددی یک تونل که از روش پیش‌طاق برای پیش‌مسلح‌سازی آن استفاده شده، پرداخته‌ایم و اثر پارامترهای مانند تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق، تغییر در قطر لوله و تغییر در طول پیش‌مسلح‌سازی شده تونل بر نشست‌های زمین ناشی از حفر تونل را بررسی کرده‌ایم. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شده است که استفاده از سازه پیش‌طاق تأثیر بسزایی بر کاهش نشست‌های زمین ناشی از حفر تونل خواهد داشت.

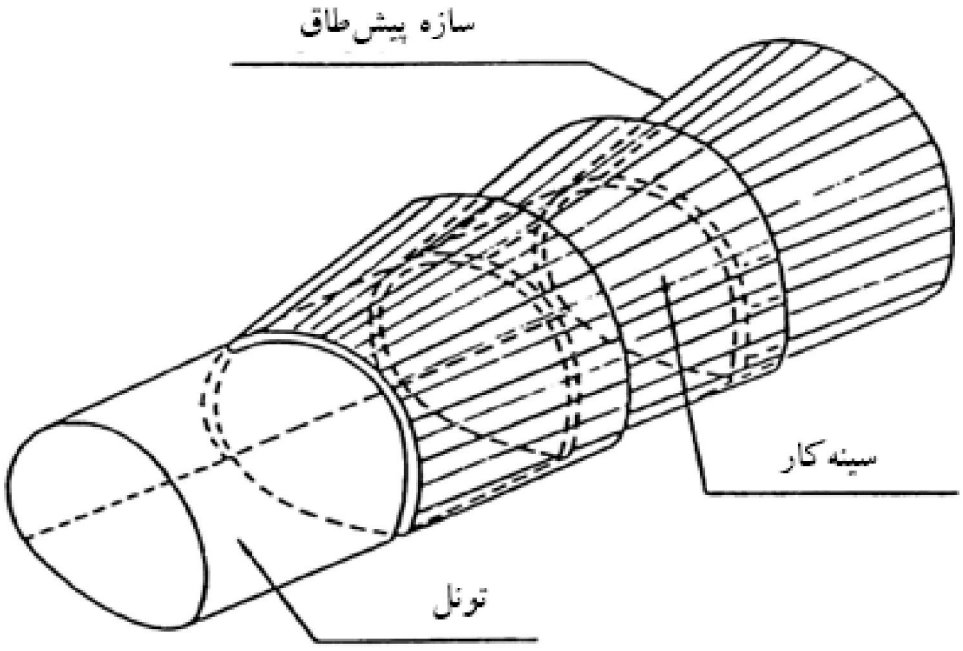
کلمات کلیدی: حفر تونل، نشست زمین، روش پیش‌طاق، مدل‌سازی عددی تونل

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه

گسترش شهرهای بزرگ در نتیجه افزایش نیاز به سازه‌های زیربنایی اتفاق می‌افتد. ازآنجا که به دلیل مشکلاتی نظیر ترافیک و تراکم جمعیت، در مناطق شهری زمین مورد نیاز برای احداث سازه‌ها روی سطح زمین محدود می‌باشد، لذا استفاده از بناهای زیرزمینی مانند تونل نقش بسزایی در کاهش مشکلات ناشی از گسترش شهرها خواهد داشت.
با احداث یک تونل جدید در زیر مناطق پر تراکم شهری، عملیات احداث این تونل ممکن است عملکرد سازه‌های روی سطح زمین یا سازه‌های زیرزمینی را دچار اختلال کند و یا باعث آسیب به این سازه‌ها شود. یکی از مهم‌ترین مسائلی که ممکن است با ساخت تونل موجب ایجاد خسارت در سازه‌های اطراف شود، نشست زمین ناشی از حفر تونل می‌باشد. لذا کنترل این نشست‌ها یک از مهم‌ترین عواملی است که باید در جریان طراحی و ساخت تونل مورد توجه قرار گیرد.
در دهه‌های اخیر استفاده از سازه پیش‌طاق به عنوان یکی از روش‌های کاهش نشست زمین ناشی از حفر تونل مورد توجه قرار گرفته است. در این روش قبل از حفاری تونل در ناحیه بالای تونل یک ناحیه پیش‌مسلح‌سازی شده، که معمولاً شبیه یک طاق است، ایجاد می‌گردد. با اجرای این سازه از فروریزش منطقه بالای تونل و سینه‌کار آن تا حد امکان جلوگیری می‌شود. این جلوگیری از ریزش، حرکات زمین ناشی از حفر تونل را محدود کرده و نشست‌های زمین را کاهش می‌دهد. شکل (۱-۱) بیان‌گر نمای عمومی یک تونل است که در آن از پیش‌طاق استفاده شده است.



شکل ۱-۱: نمای کلی یک تونل که در آن سازه پیش‌طاق اجرا شده است.

۱-۲- هدف از انجام تحقیق

در این تحقیق به دلیل افزایش روز افزون استفاده از روش پیش‌طاق در پیش‌مسلح‌سازی تونل، به بررسی مسائل مهندسی مرتبط با این روش پرداخته شده است. هدف از انجام این تحقیق آشنایی با روش پیش‌طاق به عنوان یک روش کارآمد در کاهش مخاطرات ناشی از تونل‌سازی و بررسی چگونگی اثر استفاده از پیش‌طاق بر حرکات زمین ناشی از حفر تونل می‌باشد. بدین منظور در این رساله با ایجاد یک مدل اجزاءمحدود سه بعدی، به بررسی اثرگذاری پارامترهای مرتبط با سازه پیش‌طاق، بر حرکات زمین ناشی از حفر تونل پرداخته شده است.

۱-۳- موضوعات ارائه شده در فصول مختلف تحقیق

این تحقیق شامل هفت فصل می‌باشد که به شرح زیر است:

- در فصل دوم روش‌های پیش‌بینی حرکات زمین ناشی از حفر تونل معرفی شده است و ضمن طبقه‌بندی انواع حرکات زمین به معرفی جزئیات هر یک پرداخته شده است. در ادامه به معرفی انواع خسارات وارده بر ساختمان بر اثر حرکت زمین پرداخته شده، و برای برآورد میزان خسارت وارد بر سازه معیارهایی بر حسب کرنش‌های بوجود آمده در ساختمان و یا نشست‌های قائم زمین زیر ساختمان بیان شده است.

- در فصل سوم شرایطی که سازه پیش‌طاق در آن اجرا می‌شود معرفی گردیده و مکانیسم عملکرد این سازه بر افزایش پایداری تونل مورد بحث قرار گرفته است. در ادامه به معرفی انواع سازه پیش‌طاق و عوامل اجرایی مرتبط با هر یک از این روش‌ها پرداخته شده است. از آنجا که برای طراحی سازه پیش‌طاق نیاز است تا نیروهای بوجود آمده در این سازه محاسبه شود، در این فصل انواع روش‌های موجود برای تحلیل این سازه معرفی گردیده است.

- در فصل چهارم به بررسی مطالعات انجام گرفته در زمینه اثر استفاده از پیش‌طاق بر نشست‌های زمین ناشی از حفر تونل پرداخته شده است. این مطالعات شامل مطالعات آزمایشگاهی، عددی و پارامتریک می‌گردد.

- در فصل پنجم ضمن معرفی نرم‌افزار اجزاءمحدود PLAXIS 3D Tunnel و معرفی انواع المان‌های موجود در این نرم‌افزار به معرفی مدل رفتاری موهر-کولمب و پارامترهای مربوط به آن پرداخته شده است. درضمن برای اطمینان از صحت نتایج نسخه مورد استفاده نرم‌افزار، به اعتبارسنجی آن می‌پردازیم.

- در فصل ششم با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS 3D Tunnel یک مدل سه بعدی از تونلی که به روش لوله فولادی تزریق شده پیش‌مسلح‌سازی شده، ایجاد گردیده است. در این فصل به بررسی اثرات پارامترهایی مانند تغییر در زاویه پوشش پیش‌طاق، تغییر در قطر لوله‌ها و تغییر در طول پیش‌مسلح‌سازی شده

تونل بر نشست‌های زمین ناشی از حفر تونل پرداخته شده و با ارائه نمودارهایی به بررسی و بحث در مورد اثر هر یک از پارامترهای مذکور پرداخته ایم.

- در فصل هفتم نتایج بدست آمده در سایر فصل‌ها ذکر گردیده و پیشنهادهایی برای تحقیقاتی که در آینده ممکن است در این زمینه انجام شود، آورده شده است.

فصل دوم:

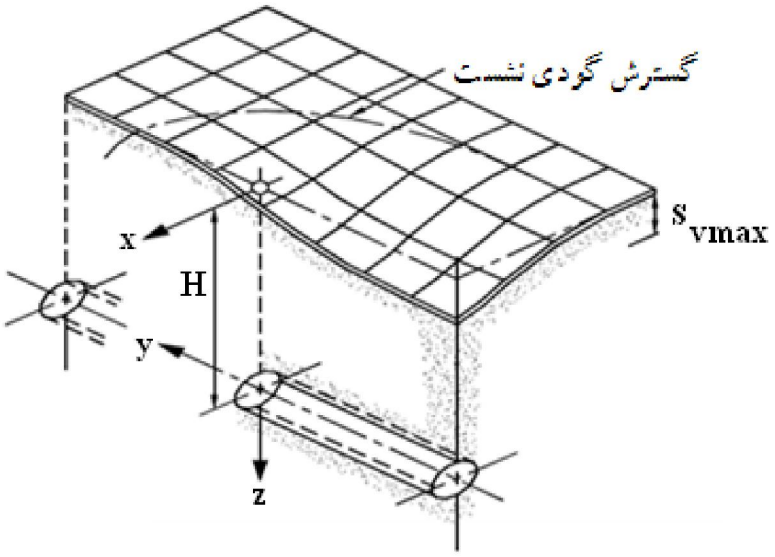
حرکات زمین ناشی از حفر تونل

۲-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر به منظور حل مشکلات حمل و نقل در کلان شهرها، استفاده از تونل به میزان زیادی افزایش پیدا کرده است. در این شرایط تونل احداث شده معمولاً در زیر مناطق با تراکم بالای ساختمان و جمعیت قرار گرفته است. احداث تونل در این مناطق حیاتی بدون آسیب زدن به ساختمان‌های موجود یکی از مسائل اساسی در مهندسی تونل می‌باشد. یکی از مهمترین مسائلی که باعث آسیب رسیدن به ساختمان‌ها در خلال تونل‌سازی می‌شود نشست زمین است. لذا برای پیش‌بینی دقیق نشست سطح زمین ناشی از ساخت تونل، شناخت شیوه‌های پیش‌بینی نشست و ارائه معیارهایی برای کنترل خرابی سازه‌ها ناشی از نشست زمین امری ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به معیارهای خسارت سازه‌ای ناشی از نشست زمین، اگر حفاری تونل باعث بوجود آمدن نشست‌های خطر آفرین در سطح زمین شود، می‌توان با به‌کار بستن تمهیداتی مانند استفاده از پیش‌طاق به کنترل و کاهش نشست‌های غیر مجاز پرداخت.
بدین جهت در این فصل به بررسی روش‌های پیش‌بینی نشست زمین ناشی از حفر تونل و خرابی‌های ایجاد شده در ساختمان ناشی از نشست‌ها پرداخته و معیارهایی برای کنترل این خسارت ارائه خواهیم کرد.

۲-۲- محاسبه نشست قائم سطح زمین ناشی از تونل‌سازی

عملیات حفاری تونل باعث به وجود آمدن تغییرشکل‌هایی در زمین اطراف آن می‌شود. زمانی که عملیات حفر تونل در اعماق سطحی زمین اجرا گردد، این تغییرشکل‌های اعمالی منجر به مقادیر قابل توجه نشست در سطح زمین می‌گردد. مطابق شکل (۲-۱) نشست زمین به صورت یک گودی قابل مشاهده است که با پیشروی تونل این گودی نیز به سمت جلو حرکت خواهد کرد (Attewe11 *et. al.* 1986).



شکل ۲-۱: گودی نشست سطح زمین ناشی از حفر تونل