بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی مهندسی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی عمران – مکانیک خاک و پی

مقایسه رفتار تونل‌های تکی و دوقلو در سنگ با استفاده از مدل‌سازی عددی و آزمایشگاهی

به کوشش

وحید نیکوئی

استاد راهنما

دکتر نادر هاتف

شهریور ماه ۱۳۹۳

به نام خدا

مقایسه رفتار تونل‌های تکی و دوقلو در سنگ با استفاده از مدل‌سازی عددی و آزمایشگاهی

به کوشش

وحید نیکوئی

پایان نامه‌ی

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم

برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی

مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی

دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته‌ی پایان نامه، با درجه‌ی: عالی

دکتر نادر هاتف، استاد بخش راه، ساختمان و محیط زیست (استاد راهنما).....

دکتر ارسلان قهرمانی، استاد بخش راه، ساختمان و محیط زیست (استاد مشاور).....

دکتر قاسم حبیب‌آگهی، استاد بخش راه، ساختمان و محیط زیست (استاد مشاور).....

دکتر مجتبی جهان‌اندیش، دانشیار بخش راه، ساختمان و محیط زیست (داور متخصص داخلی).....

شهریور ماه ۱۳۹۳

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب وحید نیکوئی (۹۱۳۰۰۷۱) دانشجوی رشته مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی دانشکده مهندسی اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات آن را کامل نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی : وحید نیکوئی

تاریخ و امضا : ۱۳۹۳/۰۶/۲۶

چکیده

مقایسه رفتار تونل‌های تکی و دوقلو در سنگ با استفاده از مدل‌سازی عددی و آزمایشگاهی

به کوشش:

وحید نیکوئی

امروزه به دلیل نقش تونل‌ها در حمل و نقل، اهمیت بررسی جنبه‌های مختلف تونل‌های تکی و دوقلو از جایگاه ویژه‌ای در مطالعات و پژوهش‌ها برخوردار است. یکی از مهمترین دغدغه‌ها در مراحل ابتدایی طراحی تونل‌ها، انتخاب نوع تونل از نظر تکی یا دوقلو بودن تونل می‌باشد. در حالت کلی ایجاد تغییر در داخل محیط خاک و سنگ سبب بر هم خوردن میدان تنش شده و همچنین جابجایی‌هایی را در این محدوده بوجود می‌آورد. در این تحقیق، ابتدا تونل‌های تکی و دوقلو در شرایط آزمایشگاهی مدل‌سازی شد و تعدادی مدل به منظور بررسی و مقایسه این دو نوع تونل مورد آزمایش قرار گرفت. با مقایسه نمودارهای بار- نشست، منحنی نشست سطح زمین و بالای تونل برای دو قطر ۹ و ۱۱ سانتی‌متر برای هریک از تونل‌های تکی و دوقلو این دو نوع تونل با یکدیگر مقایسه شدند. سپس این آزمایش‌ها به روش المان محدود توسط نرم‌افزار Plaxis 3D-2013 مدل‌سازی شده و با مقایسه نتایج آن با آزمایش‌های صورت گرفته، نتایج مدل‌سازی عددی

اعتبارسنجی شد. در ادامه تأثیر پارامترهایی از قبیل قطر، عمق و فاصله تونل‌ها از یکدیگر توسط مدل‌سازی عددی در ابعاد واقعی شبیه‌سازی، بررسی و مقایسه گردید. نتایج این تحقیق حاصل از مدل‌سازی آزمایشگاهی با شبیه‌سازی عددی انجام شده و سایر روابط تجربی تطابق رضایت بخشی را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان به نتایج تحلیل نشست‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار اطمینان کرده و در پروژه‌های احداث تونل قطار شهری در انتخاب نوع تونل از نظر تکی یا دوقلو بودن برمبنای نوع نشست با اطمینان بیشتری عمل کرد.

کلمات کلیدی: تونل تکی، تونل دوقلو، نشست، Plaxis 3D-2013.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول ۱

۱- مقدمه ۲

۱-۱- کلیات ۲

۱-۲- انواع تونل‌های قطار شهری ۴

۱-۳- اهمیت و ضرورت انجام پژوهش ۶

۱-۴- اهداف تحقیق ۷

فصل دوم ۹

۲- مروری بر تحقیقات گذشته ۱۰

۲-۱- مطالعات و تحقیقات تجربی، تحلیلی و نیمه تحلیلی ۱۰

۲-۱-۱- روش «پک» ۱۱

۲-۱-۲- روش«اتوو» ۱۶

۲-۱-۳- روش «ساگاستا» ۱۷

۲-۱-۴- روش «وروج- بوکر» ۱۸

۲-۲- تاریخچه مطالعات عددی و آزمایشگاهی ۱۹

عنوان صفحه

۲-۲-۱- تاریخچه مطالعات آزمایشگاهی ۲۰

۲-۲-۱-۱- آداچی و همکاران..... ۲۰

۲-۲-۱-۲- بین لین چو و همکاران ۲۰

۲-۲-۱-۳- جانگ این چوی و سوک وون لی..... ۲۲

۲-۲-۱-۴- ژونگ چانگ ونگ و هوی جون وو..... ۲۵

۲-۲-۲- تاریخچه مطالعات عددی ۲۷

۲-۲-۲-۱- محمد عفیفی‌پور و همکاران..... ۲۷

۲-۲-۲-۲- میرحبیبی و همکاران ۲۸

۲-۲-۲-۳- شفیعی ۲۹

۲-۲-۳- سایر تحقیقات و مطالعات پیشین ۳۰

فصل سوم ۳۱

۳- روش تحقیق..... ۳۲

۳-۱- روش تحقیق آزمایشگاهی..... ۳۳

۳-۱-۲- محفظه دستگاه آزمایش ۳۳

۳-۱-۳- سیستم بارگذاری ۳۶

۳-۱-۴- مصالح مورد استفاده..... ۳۹

۳-۱-۴-۱- وزن مخصوص ترکیب (γ) ۴۰

۳-۱-۴-۲- مقاومت تک محوری (UCS , σ_c) ۴۰

۳-۱-۴-۳- مدول الاستیسیته (E) ۴۴

۳-۱-۴-۴- چسبندگی، زاویه اصطکاک و زاویه اتساع نمونه (C , Φ , ψ) ۴۵

عنوان صفحه

۳-۱-۴-۵- طبقه بندی توده سنگ مدل‌سازی شده ۵۰
۳-۱-۵- نحوه ساخت مدل آزمایشگاهی ۵۳
۳-۱-۶- قرارگیری نمونه داخل محفظه بارگذاری، مشخص کردن نقاط هدف و نصب جابجایی سنج‌ها ۵۵
۳-۱-۷- نحوه تصویر برداری به کمک دوربین عکاسی جهت پردازش تصویر ۵۷
۳-۱-۸- بارگذاری روی نمونه ۶۰
۳-۱-۹- پردازش تصاویر گرفته شده توسط نرم‌افزار Sigmascan Pro 5 ..... ۶۰
۳-۱-۱۰- برنامه آزمایش‌ها و پارامترهای مورد بررسی ۶۳
۳-۲- روش شبیه‌سازی عددی ۶۵
۳-۲-۱- درباره نرم‌افزار ۶۵
۳-۲-۲- مراحل شبیه‌سازی عددی ۶۶
فصل چهارم ۷۴
۴- نتایج ۷۵
۴-۱- داده‌های آزمایشگاهی، طبقه بندی و تحلیل نتایج آنها ۷۵
۴-۱-۱- داده‌های حاصل از آزمایشات تونل‌های تکی ۷۶
۴-۱-۱-۱- نتایج آزمایش تونل تکی به قطر ۹ cm ۷۸
۴-۱-۱-۲- نتایج آزمایش تونل تکی به قطر ۱۱ cm ۸۰
۴-۱-۲- داده‌های حاصل از آزمایشات تونل‌های دوقلو ۸۲
۴-۱-۲-۱- نتایج آزمایش تونل دوقلو به قطر ۹ cm ۸۴
۴-۱-۲-۲- نتایج آزمایش تونل دوقلو به قطر ۱۱ cm ۸۷

عنوان صفحه

۴-۲- مقایسه نتایج بدست آمده از آزمایشات با روابط تجربی پیشین ۸۹
۴-۳- اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی عددی ۹۲
۴-۴- مقایسه تونل‌های تکی و دوقلو ۹۸
۴-۴-۱- مقایسه نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل تکی ۹ و ۱۱ سانتی‌متر ۹۸
۴-۴-۲- مقایسه نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل دوقلوی ۹ و ۱۱ سانتی-متر ۱۰۰
۴-۴-۳- مقایسه نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل تکی ۱۱ سانتی‌متر و دوقلوی ۹ سانتی‌متر ۱۰۱
۴-۴-۴- مقایسه نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل‌های تکی و دوقلوی ۹ و ۱۱ سانتی‌متر ۱۰۳
۴-۴-۵- مقایسه نشست پی برای تونل‌های تکی و دوقلوی ۹ و ۱۱ سانتی‌متر ۱۰۴
۴-۵- پارامترهای مورد بررسی توسط تحلیل عددی..... ۱۰۵
۴-۶- نتایج تحلیل‌های المان محدود برای مدل‌سازی با ابعاد واقعی ۱۰۷
۴-۶-۱- تاثیر قطر تونل(D) ۱۰۸
۴-۶-۲- تاثیر عمق(Z) ۱۱۰
۴-۶-۳- تاثیر فاصله تونل‌ها از هم (Pillar width) ۱۱۲
۴-۶-۴- مقایسه نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل‌های تکی و دوقلو با ابعاد واقعی ۱۱۴
۴-۶-۵- مقایسه کانتورهای تنش و جابجایی قائم برای تونل‌های تکی و دوقلو..... ۱۱۷
فصل پنجم ۱۲۰

عنوان صفحه

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۲۱

۵-۱- خلاصه‌ی تحقیق ۱۲۱

۵-۲- نتیجه گیری ۱۲۲

۵-۳- پیشنهادات ۱۲۳

فهرست منابع ۱۲۴

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول۱- ۱- تاثیر پارامترهای مختلف در تغییر تونل تک جداره دو مسیره به تونل دوجداره تک مسیره ۵
جدول۲- ۱- روابط ارائه شده جهت محاسبه پارامتر i..... ۱۴
جدول۲- ۲- مقادیر V_l براساس شرایط خاک و نوع حفاری ۱۵
جدول۲- ۳- ترکیب و نسبت اختلاط مصالح برای ساخت مدل ۲۱
جدول۲- ۴- خصوصیات مکانیکی ترکیب اختلاط‌های مختلف ۲۱
جدول۳-۱- مقادیر وزن مخصوص‌های محاسبه شده ۴۰
جدول۳-۲- مقاومت تک محوری نمونه‌های استوانه‌ای ۴۲
جدول۳- ۳- مشخصات دستگاه آزمایش فشاری تک محوری ۴۳
جدول۳- ۴- مدول الاستیسیته نمونه‌های استوانه‌ای ۴۴
جدول۳- ۵- پارامترهای مدل آزمایشگاهی ۴۸
جدول۳- ۶- طبقه بندی نوع سنگ از نظر مقاومت فشاری ۵۰
جدول۳- ۷- مقادیر مقاومت تک محوری و عدد متناظراختصاص داده شده ۵۱
جدول۳- ۸- مقادیر RQD و عدد متناظراختصاص داده شده..... ۵۱
جدول۳- ۹- مقادیر فاصله درزه ها در توده سنگ و عدد متناظراختصاص داده شده ۵۲

عنوان صفحه

جدول۳- ۱۰- شرایط مختلف سطح درزه‌ها و عدد متناظراختصاص داده شده ۵۲
جدول۳- ۱۱- شرایط آب زیرزمینی در توده سنگ و عدد متناظراختصاص داده شده ۵۲
جدول۳- ۱۲- جدول طبقه بندی RMR ۵۲
جدول۳- ۱۳- برنامه آزمایشات انجام شده بر روی تونل‌های تکی و دوقلو ۶۴
جدول۳- ۱۴- مشخصات مصالح مدل المان محدود ۶۸
جدول۴- ۱- مقادیر جابجایی ماکزیمم برای تونل تکی به قطر ۹ cm ۷۹
جدول۴- ۲- مقادیر جابجایی ماکزیمم برای تونل تکی به قطر ۱۱ cm ۸۲
جدول۴- ۳- مقادیر جابجایی ماکزیمم برای تونل دوقلو به قطر ۹ cm ۸۶
جدول۴- ۴- مقادیر جابجایی ماکزیمم برای تونل دوقلو به قطر ۱۱ cm ۸۸
جدول۴- ۵- خطاهای صحت سنجی نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل‌سازی عددی ۹۷
جدول۴- ۶- مشخصات هندسی مدل‌های عددی با ابعاد واقعی ۱۰۷

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل۱- ۱- انواع سیستم‌های تونل‌های تکی و دوقلو در قطارهای شهری ۴
شکل۲- ۱- منحنی پیشنهادی پک برای نشست زمین ۱۲
شکل۲-۲- مقایسه پروفیل عرضی نشست سطح در اثر ایجاد تونل در زمین با i های مختلف ... ۱۵
شکل۲- ۳- پروفیل نشست سطح زمین و پارامترهای به کار رفته در معادلات نشست سطح زمین ۱۶
شکل۲- ۴- عوامل بوجود آورنده نشست سطح زمین ناشی از ایجاد تونل ۱۹
شکل۲- ۵- تصویر شماتیک مربوط به مدل آزمایش تونل دوقلو در سه لایه ۲۲
شکل۲- ۶- دستگاه استفاده شده برای انجام آزمایش ۲۴
شکل۲- ۷- شکل شماتیک محل قرارگیری تونل‌ها و نقاط هدف..... ۲۵
شکل۲- ۸- منحنی نشست زمین در سه ردیف با عمق متفاوت ۲۶
شکل۲- ۹- موقعیت نسبی تونل‌های دوقلو و زیرگذر زند، بارگذاری ترافیکی و لایه‌های خاک.. ۲۷
شکل۲- ۱۰- تصویر شماتیک مربوط به موقعیت قرارگیری تونل دوقلو و ساختمان‌های روی سطح زمین ۲۹
شکل۳-۱- ابعاد محفظه آزمایش و محل قرارگیری نمونه و جک بارگذاری ۳۴
شکل۳-۲- ابعاد مدل استفاده شده در آزمایش‌ها برای تونل تکی و دوقلو..... ۳۴

عنوان صفحه

شکل۳- ۳- محفظه انجام آزمایش، جک بارگذاری، محل قرارگیری پی در مدل تونل دوقلو ۳۵
شکل۳- ۴- پی نواری قرار گرفته روی سطح به عرض ۲۵ سانتی‌متر ۳۶
شکل۳-۵- بازوی اعمال نیروی جک هیدرولیکی ۳۷
شکل۳-۶- موتور اعمال فشار روغن در جک هیدرولیکی ۳۸
شکل۳- ۷- فشارسنج دیجیتال برای اندازه‌گیری فشار روغن پشت جک بر حسب bar یا PSI. ۳۹
شکل۳-۸- نمونه‌های استوانه‌ای ۴۱
شکل۳-۹- دستگاه نمونه گیر برای نمونه‌های استوانه‌ای..... ۴۲
شکل۳-۱۰- دستگاه آزمایش فشاری تک محوری ۴۳
شکل۳- ۱۱- نمودار تنش-کرنش برای نمونه‌های استوانه‌ای..... ۴۴
شکل۳- ۱۲- مقادیر مختلف GSI بر اساس نوع سنگ..... ۴۷
شکل۳- ۱۳- مقادیر مختلف m_i براساس نوع و بافت سنگ..... ۴۷
شکل۳- ۱۴- مقادیر مختلف ضریب D..... ۴۸
شکل۳- ۱۵- نمودار تنش برشی بر حسب تنش قائم برای بدست آوردن مقادیر C و Φ..... ۴۹
شکل۳- ۱۶- نمودار تنش اصلی قائم نسبت به تنش اصلی افقی ۴۹
شکل۳- ۱۷- قالب دوتیکه برای ساخت مدل..... ۵۳
شکل۳- ۱۸- قالب نهایی آماده شده برای ساخت مدل به همراه لوله‌های قرار گرفته برای ایجاد تونل ۵۴
شکل۳- ۱۹- نمونه ساخته شده پس از خارج شدن از قالب ۵۵
شکل۳- ۲۰- محل قرارگیری نقاط هدف بر روی نمونه..... ۵۶
شکل۳- ۲۱- نحوه قرارگیری جابجایی سنجها بر روی جک بارگذاری..... ۵۶
شکل۳- ۲۲- موقعیت قرارگیری دوربین نسبت به نمونه ۵۹
شکل۳- ۲۳- نقشه Remote shutterr طراحی شده..... ۵۹

عنوان صفحه

شکل۳- ۲۴- نمونه‌ای از عکس وارد شده در نرم افزار و نقاط مشخص شده برای برداشت دیتا.. ۶۱
شکل۳- ۲۵- پارامترهای موثر در تحقیق ۶۳
شکل۳- ۲۶-تعریف مشخصات پروژه برای مدل عددی..... ۶۷
شکل۳- ۲۷- تعریف مشخصات مدل در برنامه ۶۸
شکل۳- ۲۹- مدل تونل دوقلو ۷۰
شکل۳- ۳۰- مش‌بندی برای تونل تکی ۷۱
شکل۳- ۳۱- مش‌بندی برای تونل دوقلو..... ۷۱
شکل۳- ۳۲- المان‌های سه بعدی مدل ۷۲
شکل۳- ۳۳- اعمال شرایط مرزی پیش فرض توسط نرم‌افزار ۷۳
شکل۳- ۳۴- شرایط مرزی اعمال شده به مدل ۷۳
شکل۴- ۱- موقعیت نقاط سطح زمین(G)، تاج تونل(A) و دیواره تونل(B) برای نمودار بار- نشست..... ۷۷
شکل۴- ۲- موقعیت نقاط استفاده شده برای رسم نمودار نشست بر حسب فاصله از محور تونل ۷۷
شکل۴- ۳- نمودار بار- نشست برای تونل تکی به قطر ۹ cm..... ۷۸
شکل۴- ۴- نمودار نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل تکی به قطر ۹ cm تحت بارگذاری نهایی قبل از شکست..... ۷۹
شکل۴- ۵- الگوی ترک خوردگی تونل تکی..... ۸۰
شکل۴- ۶- نمودار بار- نشست برای تونل تکی به قطر ۱۱ cm ۸۱
شکل۴- ۷- نمودار نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل تکی به قطر ۱۱ cm تحت بارگذاری نهایی قبل از شکست ۸۱
شکل۴- ۸- موقعیت نقاط سطح زمین(G)، تاج تونل‌ها(AوC) و دیواره تونل‌ها(BوD) برای رسم نمودار بار- نشست..... ۸۳

عنوان صفحه

شکل۴- ۹- موقعیت نقاط استفاده شده برای رسم نمودار نشست بر حسب فاصله از محور تونل ۸۳
شکل۴- ۱۰- نمودار بار- نشست برای تونل دوقلو به قطر ۹ cm ۸۵
شکل۴- ۱۱- نمودار نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل دوقلو به قطر ۹ cm تحت بارگذاری نهایی قبل از شکست ۸۵
شکل۴- ۱۲- الگوی ترک خوردگی تونل دوقلو ۸۶
شکل۴- ۱۳- نمودار بار- نشست برای تونل دوقلو به قطر ۱۱ cm ۸۷
شکل۴- ۱۴- نمودار نشست سطح زمین و بالای تونل برای تونل دوقلو به قطر ۱۱ cm تحت بارگذاری نهایی قبل از شکست ۸۸
شکل۴- ۱۵- مقایسه نمودار نشست سطح زمین حاصل از نتایج آزمایش و روابط تجربی ۹۰
شکل۴- ۱۶- مقایسه نمودار نشست بالای تونل حاصل از نتایج آزمایش و روابط تجربی..... ۹۱
شکل۴- ۱۷- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی آزمایش(۱) (نمودار نشست سطح زمین، تونل تکی ۹cm) ۹۳
شکل۴- ۱۸- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی آزمایش(۱) (نمودار نشست بالای تونل، تونل تکی ۹cm) ۹۳
شکل۴- ۱۹-مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی آزمایش(۲) (نمودار نشست سطح زمین تونل دوقلو ۹cm) ۹۴
شکل۴- ۲۰- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی آزمایش(۲) (نمودار نشست بالای تونل دوقلو ۹cm) ۹۴
شکل۴- ۲۱- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی آزمایش(۳) (نمودار نشست سطح زمین تونل تکی ۱۱cm) ۹۵
شکل۴- ۲۲- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی آزمایش(۳) (نمودار نشست بالای تونل تکی ۱۱cm) ۹۵

عنوان صفحه

شکل۴- ۲۳- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی آزمایش(۳) (نمودار نشست سطح زمین تونل دوقلو ۱۱cm) ۹۶
شکل۴- ۲۴- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی آزمایش(۴) (نمودار نشست بالای تونل دوقلو ۱۱cm) ۹۶
شکل۴- ۲۵- اعتبارسنجی الگوی ترک خوردگی و کانتور جابجایی ۹۷
شکل۴- ۲۶- مقایسه منحنی نشست سطح زمین ناشی از تونل تکی ۹ و ۱۱ سانتی‌متری ۹۹
شکل۴- ۲۷- مقایسه منحنی نشست بالای تونل ناشی از تونل تکی ۹ و ۱۱ سانتی‌متری ۹۹
شکل۴- ۲۸- مقایسه منحنی نشست سطح زمین ناشی از تونل دوقلوی ۹ و ۱۱ سانتی‌متری . ۱۰۰
شکل۴- ۲۹- مقایسه منحنی نشست بالای تونل ناشی از تونل دوقلوی ۹ و ۱۱ سانتی‌متری .. ۱۰۱
شکل۴- ۳۰- مقایسه منحنی نشست سطح زمین ناشی از تونل دوقلوی ۹ سانتی‌متر و تونل تکی ۱۱ سانتی‌متر ۱۰۲
شکل۴- ۳۱- مقایسه منحنی نشست بالای تونل ناشی از تونل دوقلوی ۹ سانتی‌متر و تونل تکی ۱۱ سانتی‌متر ۱۰۲
شکل۴- ۳۲- مقایسه منحنی نشست سطح زمین ناشی از تونل‌های تکی و دوقلوی ۹ و ۱۱ سانتی-متر ۱۰۳
شکل۴- ۳۳- مقایسه منحنی نشست بالای تونل ناشی از تونل‌های تکی و دوقلوی ۹ و ۱۱ سانتی-متر ۱۰۴
شکل۴- ۳۴- مقایسه منحنی‌های بار- نشست برای تونل‌های تکی و دوقلوی ۹ و ۱۱ سانتی‌متر ۱۰۵
شکل۴- ۳۵- پارامترهای مورد بررسی توسط تحلیل عددی..... ۱۰۶
شکل۴- ۳۶- تاثیر قطر تونل بر نمودار بار- نشست نقاط G ، A و B..... ۱۰۸
شکل۴- ۳۷- تأثیر قطر تونل بر نمودار نشست سطح زمین ۱۰۹

عنوان صفحه

شکل۴- ۳۸- تأثیر قطر بر نمودار نشست بالای تونل ۱۰۹
شکل۴- ۳۹- تاثیر عمق تونل بر نمودار بار- نشست نقاط G، A و B..... ۱۱۰
شکل۴- ۴۰- تأثیر عمق تونل بر نمودار نشست سطح زمین ۱۱۱
شکل۴- ۴۱- تأثیر عمق تونل بر نمودار نشست بالای تونل ۱۱۱
شکل۴- ۴۲- تأثیر فاصله تونل‌ها از هم بر نمودار بار- نشست نقاط G، A، B، C و D ۱۱۲
شکل۴- ۴۳- تأثیر فاصله تونل‌ها از هم بر منحنی نشست سطح زمین ۱۱۳
شکل۴- ۴۴- تأثیر فاصله تونل‌ها از هم برمنحنی نشست بالای تونل‌ها..... ۱۱۳
شکل۴- ۴۵- مقایسه منحنی نشست سطح زمین ناشی از تونل‌های تکی و دوقلوی ۹ متر ۱۱۵
شکل۴- ۴۶- مقایسه منحنی نشست سطح زمین ناشی از تونل تکی ۱۲ متر و تونل دوقلوی ۹ متر ۱۱۵
شکل۴- ۴۷- مقایسه منحنی نشست بالای تونل ناشی از تونل‌های تکی و دوقلوی ۹ متر ۱۱۶
شکل۴- ۴۸- مقایسه منحنی نشست بالای تونل ناشی از تونل تکی ۱۲ متر و تونل دوقلوی ۹ متر ۱۱۶
شکل۴- ۴۹- کانتور تنش‌های قائم در تونل تکی و دوقلوی ۹ cm ۱۱۷
شکل۴- ۵۰- کانتور جابجایی‌های قائم در تونل تکی و دوقلوی ۹ cm ۱۱۸
شکل۴- ۵۱- کانتور تنش‌های قائم در تونل تکی و دوقلوی ۱۱ cm ۱۱۸
شکل۴- ۵۲- کانتور جابجایی‌های قائم در تونل تکی و دوقلوی ۱۱ cm ۱۱۸
شکل۴- ۵۳- مقایسه کانتورهای جابجایی قائم برای تونل‌های تکی با قطرهای متفاوت..... ۱۱۹
شکل۴- ۵۴- مقایسه کانتورهای جابجایی قائم برای فواصل مختلف تونل‌های دوقلو (قطر ۹ متر) از یکدیگر ۱۱۹

فصل اول