٨٧/١٢/١٠٦٦٣٨
٨٧/١٢/٢١

بسم الله الرحمن الرحيم

١٩٨٧/١٢/٢١

١٠٨٩٤٥

۸۷/۱/۱۰ ۹۶/۳۸
۸۷/۱۲/۲۱

دانشگاه ارومیه

تحلیل نشست جاده شهید کلانتری در کیلومتر ۷+۸۰۰ ارومیه-تبریز

رقیه امامی

دانشکده فنی

گروه عمران

۱۳۸۷ /۱۲/ ۲۱

۱۳۸۶

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد خاک و پی

استاد راهنما:

دکتر کاظم بدو

حق طبع و نشر مطالب این پایان نامه
در انحصار دانشگاه ارومیه می باشد.

۱۰۸۹۴۵

پایان نامه خانم رقیه اسلامی به تاریخ ۸۶/۹/۴ شماره ۳۲-۲ خ مورد پذیرش هیات

محترم داوران با رتبه عالی و نمره ۱۹/۰ قرار گرفت.
نوزده و نیم

۱- **استاد راهنما و رئیس هیئت داوران** : آقای دکتر کاظم بدو

۲- **داور خارجی** : آقای دکتر حسین رضایی

۳- **داور داخلی** : آقای دکتر حسن مومیوند

۴- **نماینده تحصیلات تکمیلی** : آقای دکتر هوشنگ بهروش

تقدیم به:

پدر و مادر و مادربزرگم

که یادشان همیشه در قلب من است

و برادرانم

که زندگیم با محبتشان همراه است.

تقدیر و تشکر

سپاس می گویم خداوند علم را که فرصتی عطا شد تا به کسب علم مشغول بوده و به قدر توان خود بر مجهولاتم آگاهی یابم.

از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر کاظم بدو که پیشبرد این پایان نامه مرهون علم و دانش او است، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از آقایان دکتر رضایی، دکتر مومیوند و دکتر بهروش که زحمت داوری این پایان نامه را پذیرفتند صادقانه تشکر می‌نمایم.

از اساتید محترم دانشکده فنی آقایان دکتر اخلاقی، دکتر محمدی، دکتر سعید منیر و دکتر مومیوند که در طول مدت تحصیل از محضرشان استفاده کردم کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از خانواده عزیزم کمال تشکر و قدردانی را دارم. بدیهی است بدون حمایت و تشویق آنها هرگز این موفقیت حاصل نمی شد.

از جناب آقای دکتر خوشروان، دکتر جلالی و همکاران عزیزم در مهندسین مشاور فرازآب آقایان مهندس نعمت زاده، فاضلی، صالحی و وظیفه که راهنماییهای سودمندشان مرا در بهتر کردن کیفیت پایان نامه یاری کرد، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب I
فهرست جداول VII
فهرست نمودارها VIII
فهرست اشکال IX
چکیده XIV
فصل اول: مقدمه ..... ۱ تا ٤
فصل دوم : ادبیات فنی و پیشینه پژوهش ..... ۵ تا ۵۱
۲- ۱- پیشینهٔ پژوهش ۵
۲-۲- مشخصات ژئوتکنیکی خاکهای سست ۸
۲-۳- نحوهٔ تشکیل خاکهای سست ۸
۲-۳-۱- نحوهٔ تشکیل خاکهای آلی ۹
۲-۳-۲- نحوهٔ تشکیل خاکهای غیرآلی ۹
۲-٤- خصوصیات مقاومت برشی ۱۰
۲-۵- مشخصات تحکیم ۱۰
۲-٦- آزمایشهای موردنیاز برای طراحی خاکریز روی خاک سست ۱۱
۲-۷- طراحی خاکریز ۱۱
۲-۷-۱- مقاومت برشی ۱۲
۲-۷-۲- مقاومت برشی زهکشی شده و زهکشی نشده ۱۲
۲-۷-۳- پایداری خاکریزهای قرار گرفته روی بسترهای سست ۱۳
۲-۸- محاسبه نشست ۱۵
۲-۸-۱- نشست اولیه (ρ_i) ۱٦
۲-۸-۲- نشست تحکیمی ۱۷
۲-۸-۲-۱- تعریف مفاهیم کلیدی ۱۷
۲-۸-۲-۲- مفاهیم اولیه ۱۸
۲-۸-۲-۳- بارگذاری آنی ۱۹
۲-۸-۲-٤- تحکیم تحت بار ثابت- تحکیم اولیه ۱۹
۲-۸-۲-۵- تحکیم ثانویه ۲۰
۲-۸-۲-٦- مسیر زهکشی ۲۰

۲-۸-۲-۷- سرعت تحکیم ۲۱
۲-۸-۲-۸- تغییرات تنش مؤثر ۲۱
۲-۸-۲-۹- نسبت تخلخل و تغییرات نشست تحت بار ثابت ۲۱
۲-۸-۲-۱۰- تأثیر تنشهای عمودی بر تحکیم اولیه ۲۲
۲-۸-۲-۱۱- پارامترهای تحکیم اولیه ۲۳
۲-۸-۲-۱۲- تأثیرات تاریخچه بارگذاری ۲۳
۲-۸-۲-۱۳- نسبت پیش‌تحکیمی ۲٤
۲-۸-۳- محاسبه نشست تحکیمی ۲٤
۲-۸-۳-۱- نشست تحکیمی اولیه در خاکهای ریزدانه عادی تحکیم‌یافته ۲٤
۲-۸-۳-۲- نشست تحکیمی اولیه در خاکهای ریزدانه پیش‌تحکیم‌یافته ۲٤
۲-۸-٤- تئوری تحکیم یک‌بعدی ۲۵
۲-۸-٤-۱- بدست آوردن معادله حاکم ۲۵
۲-۸-٤-۲- حل معادله تحکیم با استفاده از سری فوریه ۲۷
۲-۸-۵- تحکیم ثانویه ۲۹
۲-۸-٦- نمونه‌هایی از پارامترهای نشست تحکیمی و روابط تجربی ۳۰
۲-۹- روشهای ساخت خاکریز روی بستر سست ۳۱
۲-۹-۱- معرفی ژئوسینتتیکها ۳۲
۲-۹-۱-۱- تعریف و انواع ۳۲
۲-۹-۱-۲- انواع و نحوهٔ ساخت ۳۵
۲-۹-۱-۳- شناسایی ۳٦
۲-۹-۱-٤- عملکرد و کاربرد ۳٦
۲-۹-۱-۵- طراحی و انتخاب ٤۰
۲-۹-۱-٦- دوام ٤۰
۲-۹-۲- شکلهای گسیختگی ٤۰
۲-۹-۳- طراحی خاکریزهای مسلح ٤۳
۲-۹-۳-۱- ظرفیت باربری ٤۳
۲-۹-۳-۲- روشهای تعادل حدی ٤٦
۲-۹-۳-۳- روش المان محدود ٤۸
۲-۹-٤- تأثیر سرعت ساخت و ساخت مرحله‌ای ٤۹
۲-۹-۵- مزایای استفاده از مسلح‌کننده ۵۰
۲-۹-٦- عوامل مؤثر در پایداری خاکریز مسلح ۵۰
۲-۹-٦-۱- کرنش در مسلح‌کننده ۵۰
۲-۹-٦-۲- تأثیر سختی کششی مسلح‌کننده ۵۰

۲-۹-٦-۳- تأثیر عرض خاکریز ۵۱
۲-۹-٦-٤- تأثیر شیب خاکریز ۵۱
۲-۹-٦-۵- تأثیر ضخامت لایه سست ۵۱
فصل سوم : معرفی اجمالی پروژه شهید کلانتری، تعریف خصوصیات جاده و مشکل نشست در کیلومتر ۷+۸۰۰ ..... ۵۲ تا ٦۱
۳-۱- معرفی طرح شهید کلانتری ۵۲
۳-۲- گزارشی از وضعیت جاده شهید کلانتری در کیلومتر ۷+۸۰۰ از طرف ارومیه (نشست جاده) ۵۳
۳-۲-۱- مقدمه ۵۳
۳-۲-۲- برداشتهای نقشه برداری ۵۷
۳-۲-۳- عملیات ژئوتکنیک ۵۹
۳-۲-٤- پیشنهادات ارائه شده توسط دفتر فنی نظارت مقیم ٦۱
فصل چهارم : معرفی نرم افزار PLAXIS ..... ٦۲ تا ۱۱۳
٤-۱- مدلهای رفتاری خاک ٦۲
٤-۱-۱ مقدمه ٦۲
٤-۱-۱-۱- کاربرد مدلهای مختلف ٦۲
٤-۱-۱-۲- محدودیتها ٦۳
٤-۱-۲- اقدامات مقدماتی مدل کردن مواد ٦٤
٤-۱-۲-۱- تعاریف عمومی تنش ٦٤
٤-۱-۲-۲- تعاریف عمومی کرنش ٦٦
٤-۱-۲-۳- کرنشهای الاستیک ٦۷
٤-۱-۲-٤- تحلیلهای زهکشی‌نشده با پارامترهای مؤثر ٦۹
٤-۱-۲-۵- تحلیلهای زهکشی‌نشده با پارامترهای زهکشی‌نشده ۷۳
٤-۱-۲-٦- تنش پیش‌تحکیمی اولیه در مدلهای پیشرفته ۷۳
٤-۱-۲-۷- تنشهای اولیه ۷٤
٤-۱-۳- مدل خاک نرم‌شونده خزشی (رفتار تابع زمان) ۷۵
٤-۱-۳-۱- مقدمه ۷۵
٤-۱-۳-۲- اساس خزش تک‌بعدی ۷٦
٤-۱-۳-۳- متغیرهای τ_c و ε_c ۷۷
٤-۱-۳-٤- قانون دیفرانسیل برای خزش تک‌بعدی ۷۹
٤-۱-۳-۵- مدل سه‌بعدی ۸۱
٤-۱-۳-٦- فرمول‌بندی کرنشهای سه‌بعدی الاستیک ۸۳
٤-۱-۳-۷- مرور پارامترهای مدل ۸۵

٤-٢- توضیحاتی در مورد استفاده از نرم‌افزار PLAXIS ٨٧
٤-٢-١- مقدمه ٨٧
٤-٢-٢- اطلاعات عمومی ٨٧
٤-٢-٢-١- واحدها و علامتهای قراردادی ٨٧
٤-٢-٢-٢- بکار انداختن فایل ٨٨
٤-٢-٢-٣- شیوه دادن اطلاعات ورودی ٨٨
٤-٢-٢-٤- قابلیت Help ٨٩
٤-٢-٣- اطلاعات ورودی قبل از پردازش ٨٩
٤-٢-٣-١- برنامه Input ٨٩
٤-٢-٣-٢- منوی Input ٨٩
٤-٢-٣-٣- رسم هندسه ٩٣
٤-٢-٣-٤- شرایط مرزی و بارها ٩٤
٤-٢-٣-٥- ویژگیهای مصالح ٩٥
٤-٢-٣-٦- مش‌بندی ٩٧
٤-٢-٣-٧- شرایط اولیه ٩٨
٤-٢-٣-٨- شرایط آب ٩٩
٤-٢-٣-٩- نمای کلی هندسه اولیه ١٠٠
٤-٢-٣-١٠- شروع محاسبات ١٠١
٤-٢-٤- محاسبات ١٠١
٤-٢-٤-١- برنامه Calculations ١٠١
٤-٢-٤-٢- منوی Calculations ١٠٢
٤-٢-٤-٣- تعریف فاز محاسبه ١٠٢
٤-٢-٤-٤- تنظیمات محاسبات عمومی ١٠٢
٤-٢-٤-٥- روش بار پله‌ای (مرحله‌ای) ١٠٤
٤-٢-٤-٦- پارامترهای کنترل محاسبه ١٠٥
٤-٢-٤-٧- ساخت مرحله‌ای ١٠٦
٤-٢-٤-٨- پیش‌نمایش مرحله ساخت ١٠٦
٤-٢-٤-٩- انتخاب نقاط برای منحنی ١٠٦
٤-٢-٤-١٠- روال محاسبات ١٠٧
٤-٢-٥- اطلاعات خروجی ١٠٧
٤-٢-٥-١- برنامه Output ١٠٧
٤-٢-٥-٢- زیرمنوی Deformations ١٠٧
٤-٢-٥-٣- زیرمنوی Stresses ١٠٨

٤-٢-٥-٤- سازه‌ها و سطوح مشترک ١١٠
٤-٢-٥-٥- مشاهده جداول خروجی ١١١
٤-٢-٥-٦- دیدن خروجی‌ها در مقطع عرضی ١١١
٤-٢-٥-٧- دیدن سایر اطلاعات ١١١
٤-٢-٦- منحنی‌های بار- تغییر مکان و مسیرهای تنش ١١١
٤-٢-٦-١- برنامه Curves ١١١
٤-٢-٦-٢- منوی Curves ١١٢
٤-٢-٦-٣- ایجاد منحنی‌ها ١١٢
فصل پنجم : مدلسازی عددی و محاسبات نشست مقطع جاده در کیلومتر ٧+٨٠٠ ..... ١١٤ تا ١٦٧
٥-١- مقدمه ١١٤
٥-٢- مدلسازی بدون استفاده از مسلح‌کننده ١١٤
٥-٢-١- ورودی ١١٤
٥-٢-١-١- مدل هندسی ١١٦
٥-٢-١-٢- خصوصیات مصالح ١١٦
٥-٢-١-٣- بارگذاری ١١٧
٥-٢-١-٤- شرایط مرزی ١١٨
٥-٢-١-٥- المان‌بندی ١١٩
٥-٢-١-٦- شرایط اولیه ١٢٠
٥-٢-٢- آنالیز مدل ١٢١
٥-٢-٣- تحلیل نتایج ١٢٤
٥-٢-٣-١- فشار آب حفره‌ای ١٢٤
٥-٢-٣-٢- تغییرمکانهای پی و خاکریز ١٢٨
٥-٣- مدلسازی با استفاده از مسلح‌کننده ١٤٣
٥-٣-١- ورودی ١٤٣
٥-٣-٢- آنالیز مدل ١٤٥
٥-٣-٣- تحلیل نتایج ١٤٦
٥-٣-٣-١- فشار آب حفره‌ای ١٤٦
٥-٣-٣-٢- تغییرمکانهای پی و خاکریز ١٤٩
فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات ١٦٨تا ١٧٢
٦-١- مقدمه ١٦٨
٦-٢- فشار آب حفره ای اضافه ١٦٨
٦-٣- نشست خاکریز ١٦٨
٦-٤- تغییرمکانهای افقی ١٧١

٦-٥- خلاصه نتایج ۱۷۳
٦-٦- پیشنهادات ۱۷۳
مراجع ۱۷٤
چکیده انگلیسی ۱۷۸

فهرست جداول

جدول ٤-a١: روابط پارامترهای کم- کلی ٨٦
جدول ٤-b١: روابط توصیه شده مهندسین هلند ٨٦
جدول ٤-c١: روابط پارامترهای نرمالیزه شده بین‌المللی ٨٦
جدول ٥-١: مشخصات مصالح خاکریز ١١٦
جدول ٥-٢: مشخصات مصالح بستر ١١٧
جدول ٥-٣: مراحل آنالیز مدل ١٢٢
جدول ٥-٤: مختصات نقاط کنترل ١٢٣
جدول ٥-٥: مراحل آنالیز مدل ١٤٥

فهرست نمودارها

نمودار ۵-۱: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی در وسط لایه پیت نسبت به زمان..... ۱۲۸

نمودار ۵-۲: نشست تاج خاکریز در مراحل مختلف تحلیل..... ۱۳۵

نمودار ۵-۳: نشست نقاط کنترل C,B,A نسبت به زمان ۱۳۵

نمودار ۵-٤: نشست نقاط کنترل G,F,E,D نسبت به زمان..... ۱۳٦

نمودار ۵-۵: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل (پیش بینی شده توسط Plaxis) و مقادیر اندازه گیری شده نشست در سال چهارم پس از پایان ساخت..... ۱۳۷

نمودار ۵-٦: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل (پیش بینی شده توسط Plaxis) و مقادیر اندازه گیری شده نشست در سال نهم پس از پایان ساخت..... ۱۳۷

نمودار ۵-۷: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل(پیش بینی شده توسط Plaxis) و مقادیر اندازه گیری شده نشست در سال ۱۰/۵ پس از پایان ساخت..... ۱۳۸

نمودار ۵-۸: تغییرمکانهای افقی تاج خاکریز در مراحل مختلف تحلیل..... ۱۳۹

نمودار ۵-۹: تغییرمکانهای افقی نقاط کنترل C,B,A نسبت به زمان..... ۱۳۹

نمودار ۵-۱۰: تغییرمکانهای افقی نقاط کنترل F,E,D نسبت به زمان..... ۱٤۰

نمودار ۵-۱۱: نشست تاج خاکریز مسلح در مراحل مختلف تحلیل..... ۱۵۳

نمودار ۵-۱۲: نشست نقاط کنترل C,B,A خاکریز مسلح نسبت به زمان..... ۱۵٤

نمودار ۵-۱۳: نشست نقاط کنترل G,F,E,D خاکریز مسلح نسبت به زمان..... ۱۵٤

نمودار ۵-۱٤: تغییرمکانهای افقی تاج خاکریز در مراحل مختلف تحلیل..... ۱۵۹

نمودار ۵-۱۵: تغییرمکانهای افقی نقاط کنترل C,B,A نسبت به زمان..... ۱۵۹

نمودار ۵-۱٦: تغییرمکانهای افقی F,E,D نقاط کنترل نسبت به زمان..... ۱٦۰

نمودار ۵-۱۷: تغییرات کرنش y-y ژئوتکستایل مسلح کننده نسبت به زمان..... ۱٦٦

نمودار ۵-۱۸: تغییرات کرنش x-x ژئوتکستایل مسلح کننده نسبت به زمان..... ۱٦۷

نمودار ٦-۱: مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح در پایان ساخت..... ۱٦۹

نمودار ٦-۲: مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ٤ سال..... ۱٦۹

نمودار ٦-۳: مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۹ سال..... ۱۷۰

نمودار ٦-٤: مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۱۰/۵سال..... ۱۷۰

نمودار ٦-۵: مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح در پایان تحکیم..... ۱۷۰

نمودار ٦-٦: مقایسه تغییرمکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح در پایان ساخت..... ۱۷۱

نمودار ٦-۷: مقایسه تغییرمکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ٤ سال..... ۱۷۱

نمودار ٦-۸: مقایسه تغییرمکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۹ سال..... ۱۷۲

نمودار ٦-۹: مقایسه تغییرمکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۱۰/۵سال..... ۱۷۲

نمودار ٦-۱۰: مقایسه تغییرمکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح در پایان تحکیم..... ۱۷۲

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: روشهای ساخت خاکریز روی بستر سست با باقی گذاردن خاک سست درمحل ۲
شکل ۲-۱: خرابی خاکریز روی خاک سست از لحاظ ظرفیت باربری ۱۳
شکل ۲-۲: خرابی خاکریز روی خاک سست به سبب گسیختگی دورانی ۱٤
شکل ۲-۳: خرابی خاکریز روی خاک سست به سبب گسیختگی لغزشی ۱٤
شکل ۲-٤: خرابی خاکریز روی خاک سست به سبب پهن‌شدگی خاکریز ۱۵
شکل ۲-۵: خرابی خاکریز روی خاک سست به سبب فشردگی خاک پی ۱۵
شکل ۲-٦: جدول ارائه شده توسط Osterberg جهت محاسبه نشست اولیه ۱٦
شکل ۲-۷: دستگاه مورد استفاده در آزمایش تحکیم ۱۸
شکل ۲-۸: فشار آب حفره‌ای اضافه در اثر بارگذاری ۱۹
شکل ۲-۹: توزیع فشار آب حفره‌ای اضافه و نشست در حین تحکیم ۲۰
شکل ۲-۱۰: پارامترهای نشست بدست آمده از منحنیهای تحکیم ۲۲
شکل ۲-۱۱: دو حالت فرضی در محاسبه نشست خاکهای ریزدانه پیش تحکیم یافته ۲۵
شکل ۲-۱۲: جریان یک‌بعدی از میان المان دوبعدی خاک ۲٦
شکل ۲-۱۳: دو نوع توزیع فشار آب حفره‌ای اضافه با عمق، (a) توزیع یکنواخت با عمق در لایه خاک با ضخامت کم و (b) توزیع مثلثی در لایه خاک با ضخامت زیاد ۲۷
شکل ۲-۱٤: توزیع تئوریکی فشار آب حفره‌ای اضافه با عمق ۲۸
شکل ۲-۱۵: رابطه بین فاکتور زمان و درجه تحکیم متوسط برای توزیع یکنواخت و مثلثی فشار آب حفره‌ای اضافه اولیه ۲۹
شکل ۲-۱٦: تحکیم ثانویه ۲۹
شکل ۲-۱۷: روشهای ساخت خاکریز روی بستر سست ۳۱
شکل ۲-۱۸: رده بندی ژئوسینتتیکها ۳٤
شکل ۲-۱۹: جهت یارنهای طولی و عرضی در ژئوتکستایل ۳۵
شکل ۲-۲۰: ژئوکامپوزیت Rockpec ۳۸
شکل ۲-۲۱: ژئوگرید Rock G ۳۸
شکل ۲-۲۲: ژئوتکستایل Rock W ۳۹
شکل ۲-۲۳: خرابی خاکریز مسلح بدلیل عدم کفایت ظرفیت باربری ٤۱
شکل ۲-۲٤: خرابی لغزشی خاکریز مسلح ٤۲
شکل ۲-۲۵: خرابی بعلت تغییر شکل خاکریز مسلح ٤۲
شکل ۲-۲٦: خرابی خاکریز مسلح بعلت بیرون کشیدگی مسلح کننده ٤۲
شکل ۲-۲۷: خرابی بعلت پهن شدگی جانبی خاکریز مسلح ٤۳
شکل ۲-۲۸: فاکتور ظرفیت باربری برای خاکهای غیر همگن ٤٤

شکل ۲-۲۹: تعریف متغیرهایی که در تعیین ارتفاع گسیختگی برای خاکریز مسلح بکار میروند ٤٤
شکل ۲-۳۰: تاثیر غیر همگنی بر عمق ناحیه گسیختگی زیر شالوده صلب ٤٥
شکل ۲-۳۱: شکل کلی روش تعادل حدی ارائه شده توسط Mylleville and Rowe (۱۹۸۸) ٤٦
شکل ۳-۱: نمای مسیر از تبریز تا ارومیه ٥٣
شکل ۳-۲: خط پروژه و خط زمین طبیعی در کیلومتر ۷+٦۰۰ الی ۷+۹۰۰ در محور بزرگراه شهید کلانتری ٥٤
شکل ۳-۳: نشست بزرگراه شهید کلانتری در کیلومتر ۷+۸۰۰ (عکس در امتداد محور تهیه شده است) ٥٤
شکل ۳-٤: نشست بزرگراه شهید کلانتری در کیلومتر ۷+۸۰۰ (عکس از بغل جاده تهیه شده است) ٥٥
شکل ۳-٥: رقومهای نیولمان سطح جاده در کیلومتر ۷+۸۰۰ در محور بزرگراه شهید کلانتری در تاریخ ۱۳۸۱/۱/۲٥ ..... ٥٦
شکل ۳-٦: رقومهای نیولمان سطح جاده در کیلومتر ۷+۸۰۰ در محور بزرگراه شهید کلانتری در تاریخ ۱۳۸۲/۸/۱ ..... ٥٧
شکل ۳-۷: اختلاف رقومهای نیولمان سطح جاده در کیلومتر ۷+۸۰۰ در محور بزرگراه شهید کلانتری از تاریخ ۱۳۸۱/۱/۲٥ لغایت ۱۳۸۲/۸/۱ ..... ٥٨
شکل ۳-۸: مقطع عرضی جاده در محور بزرگراه شهید کلانتری در کیلومتر ۷+۸۰۰ در تاریخ ۱۳۸۲/۸/۱ به همراه خط پروژه در این کیلومتر(اشل ۱/۲۰۰) ٥٨
شکل ۳-۹: مقطع زمین شناسی از وضعیت لایه های زیر سطحی در کیلومتر ۷+۸۰۰ و مقطع عرضی جاده وخط پروژه در این قسمت ٦۰
شکل ٤-۱: مولفه های تنش ٦٥
شکل ٤-۲: فضای تنش اصلی ٦٥
شکل ٤-۳: جدول پارامترها برای مدل الاستیک خطی ٦۹
شکل ٤-٤: جدول پارامتر پیشرفته ٦۹
شکل ٤-٥: رسم تنش پیش‌تحکیمی عمودی در ارتباط با تنش عمودی درجا (٤-٥a) بکارگیری OCR (٤-٥b) بکارگیری POP ۷۳
شکل ٤-٦: حالات تنش بدست آمده از بارگذاری اولیه و باربرداری بعدی ۷٤
شکل ٤-۷: رفتار خزش و تحکیم در آزمایش ادئومتر استاندارد ۷۸
شکل ٤-۸: منحنی تنش- کرنش ایده‌آل شده برای آزمایش ادئومتر ۷۹
شکل ٤-۹: دیاگرام بیضی p^{eq} در صفحه $p-q$ ۸۱
شکل ٤-۱۰: پارامترهای خاک نرم خزشی ۸٥
شکل ٤-۱۱: پارامترهای پیشرفته مرتبط با مدل خاک نرم‌شونده خزشی ۸٥
شکل ٤-۱۲: سیستم مختصات و مولفه های تنش مثبت ۸۸
شکل ٤-۱۳: پنجره اصلی برنامه Input ۹۰
شکل ٤-۱٤: پنجره General settings (قسمت Project) ۹۰
شکل ٤-۱٥: مثالهایی از مسائل کرنش صفحه ای و تقارن محوری ۹۱

شکل ٤-١٦: چگونگی گره ها و نقاط تنش در المانهای خاک ٩٢
شکل ٤-١٧: پنجره General settings (قسمت Dimension) ٩٢
شکل ٤-١٨: موقعیت گره‌ها و نقاط تنش در المان‌های ژئوگرید ٥ گرهی و ٣ گرهی ٩٣
شکل ٤-١٩: توزیع گره‌ها و نقاط تنش در المان سطح مشترک و نحوه اتصال آنها به المان‌های خاک ٩٤
شکل ٤-٢٠: پنجره مشخصات مصالح ٩٦
شکل ٤-٢١: پنجره اصلی برنامه Calculations ١٠٢
شکل ٤-٢٢: پنجره محاسبات (General) ١٠٣
شکل ٤-٢٣: پنجره محاسبات (Parameters) ١٠٥
شکل ٤-٢٤: نوار ابزار در پنجره اصلی برنامه Output ١٠٧
شکل ٤-٢٥: نوار ابزارها در پنجره اصلی برنامه Curves ١١٢
شکل ٤-٢٦: پنجره Curves generation ١١٢
شکل ٥-١: مقطع عرضی جاده شهید کلانتری در کیلومتر ٧+٨٠٠ ..... ١١٥
شکل ٥-٢: شرایط مرزی هندسی ١١٨
شکل ٥-٣: شرایط مرزی جریان ١١٩
شکل ٥-٤: نحوهٔ المان‌بندی مدل ١١٩
شکل ٥-٥: تنشهای مؤثر اولیه ١٢٠
شکل ٥-٦: تنشهای اولیه ناشی از آب ١٢١
شکل ٥-٧: نقاط انتخاب شده برای رسم منحنی ١٢٣
شکل ٥-٨: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی در پایان ساخت ١٢٥
شکل ٥-٩: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی پس از اعمال بار ترافیک ١٢٥
شکل ٥-١٠: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی پس از ٤ سال ١٢٦
شکل ٥-١١: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی پس از ٩ سال (پس از ریختن آسفالت برای ترمیم نشست جاده) ١٢٦
شکل ٥-١٢: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی پس از ١٠/٥ سال ١٢٧
شکل ٥-١٣: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی در پایان تحکیم ١٢٧
شکل ٥-١٤: تغییر مکانهای کلی خاکریز در پایان ساخت ١٢٨
شکل ٥-١٥: تغییر مکانهای کلی خاکریز پس از اعمال بار ترافیک ١٢٩
شکل ٥-١٦: تغییر مکانهای کلی خاکریز پس از ٤ سال ١٢٩
شکل ٥-١٧: تغییر مکانهای کلی خاکریز پس از ٩ سال (پس از ریختن آسفالت برای ترمیم نشست جاده) ١٣٠
شکل ٥-١٨: تغییر مکانهای کلی خاکریز پس از ١٠/٥ سال ١٣٠
شکل ٥-١٩: تغییر مکانهای کلی خاکریز در پایان تحکیم ١٣١
شکل ٥-٢٠: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز در پایان ساخت ١٣٢
شکل ٥-٢١: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز پس از اعمال بار ترافیک ١٣٢

شکل ۵-۲۲: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز پس از ٤ سال ۱۳۳
شکل ۵-۲۳: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز پس از ۹ سال (پس از ریختن آسفالت برای ترمیم نشست جاده) ۱۳۳
شکل ۵-۲٤: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز پس از ۱۰/۵ سال ۱۳٤
شکل ۵-۲۵: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز در پایان تحکیم ۱۳٤
شکل ۵-۲٦: تغییر مکانهای افقی خاکریز در پایان ساخت ۱٤۰
شکل ۵-۲۷: تغییر مکانهای افقی خاکریز پس از اعمال بار ترافیک ۱٤۱
شکل ۵-۲۸: تغییر مکانهای افقی خاکریز پس از ٤ سال ۱٤۱
شکل ۵-۲۹: تغییر مکانهای افقی خاکریز پس از ۹ سال ۱٤۲
شکل ۵-۳۰: تغییر مکانهای افقی خاکریز پس از ۱۰/۵ سال ۱٤۲
شکل ۵-۳۱: تغییر مکانهای افقی خاکریزدر پایان تحکیم ۱٤۳
شکل ۵-۳۲: مقطع عرضی جاده با وجود یک لایه ژئوتکستایل در بستر ۱٤۳
شکل ۵-۳۳: نحوهٔ المان‌بندی مدل ۱٤٤
شکل ۵-۳٤: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی در پایان ساخت ۱٤٦
شکل ۵-۳۵: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی پس از اعمال بار ترافیک ۱٤۷
شکل ۵-۳٦: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی پس از چهار سال تحکیم ۱٤۷
شکل ۵-۳۷: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی پس از ۹ سال ۱٤۸
شکل ۵-۳۸: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی پس از ۱۰/۵ سال ۱٤۸
شکل ۵-۳۹: تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی تولید شده در پی در پایان تحکیم ۱٤۹
شکل ۵-٤۰: تغییر مکانهای کلی خاکریز مسلح در پایان ساخت ۱۵۰
شکل ۵-٤۱: تغییر مکانهای کلی خاکریز مسلح پس از اعمال بار ترافیک ۱۵۰
شکل ۵-٤۲: تغییر مکانهای کلی خاکریز مسلح پس از ٤ سال ۱۵۱
شکل ۵-٤۳: تغییر مکانهای کلی خاکریز مسلح پس از ۹ سال ۱۵۱
شکل ۵-٤٤: تغییر مکانهای کلی خاکریز مسلح پس از ۱۰/۵ سال ۱۵۲
شکل ۵-٤۵: تغییر مکانهای کلی خاکریز مسلح در پایان تحکیم ۱۵۲
شکل ۵-٤٦: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز مسلح در پایان ساخت ۱۵۵
شکل ۵-٤۷: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز مسلح پس از اعمال بار ترافیک ۱۵٦
شکل ۵-٤۸: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز مسلح پس از ٤ سال ۱۵٦
شکل ۵-٤۹: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز مسلح پس از ۹ سال ۱۵۷
شکل ۵-۵۰: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز مسلح پس از ۱۰/۵ سال ۱۵۷
شکل ۵-۵۱: تغییر مکانهای قائم (نشست) خاکریز مسلح در پایان تحکیم ۱۵۸
شکل ۵-۵۲: تغییر مکانهای افقی خاکریز مسلح در پایان ساخت ۱٦۱
شکل ۵-۵۳: تغییر مکانهای افقی خاکریز مسلح پس از اعمال بار ترافیک ۱٦۱

شکل ۵-۵٤: تغییر مکانهای افقی خاکریز مسلح پس از ٤ سال ۱٦۲
شکل ۵-۵۵: تغییر مکانهای افقی خاکریز مسلح پس از ۹ سال ۱٦۲
شکل ۵-۵٦: تغییر مکانهای افقی خاکریز مسلح پس از ۱۰/۵ سال ۱٦۳
شکل ۵-۵۷: تغییر مکانهای افقی خاکریز مسلح در پایان تحکیم..... ۱٦۳
شکل ۵-۵۸: تغییر مکانهای قائم ژئوتکستایل در پایان ساخت..... ۱٦٤
شکل ۵-۵۹: تغییر مکانهای قائم ژئوتکستایل در پایان تحکیم..... ۱٦۵
شکل ۵-٦۰: تغییر مکانهای افقی ژئوتکستایل در پایان ساخت ۱٦۵
شکل ۵-٦۱: تغییر مکانهای افقی ژئوتکستایل در پایان تحکیم..... ۱٦٦

چکیده

طراحی و ساخت خاکریز روی بسترهای سست یکی از مسائل چالش انگیز مهندسی ژئوتکنیک بشمار می رود. از خصوصیات اصلی خاکهای سست تراکم پذیری زیاد و مقاومت برشی کم آنها می باشد که سبب ایجاد تغییرشکلهای بلندمدت و بروز مشکلاتی در پایداری خاکریز می شود.

خاکریز بزرگراه شهید کلانتری ارومیه به عنوان بخشی از پروژه میانگذر دریاچه ارومیه در تاریخ ۱۳۷۲ توسط اداره کل راه وترابری استان آذربایجان غربی احداث شده است. از این تاریخ تا تاریخ ۱۳۷٦ قسمتی از جاده در کیلومتر۷+۸۰۰ در طول تقریبی ۱۰۰ متر به مقدار قابل ملاحظه ای نشست کرد. حداکثر میزان نشست تا این تاریخ حدود ۰/۷ متر در وسط محور یکصدمتری و در شانه راست جاده بوده است. در تاریخ ۱۳۷٦ اداره کل راه و ترابری استان اقدام به ترمیم نشست با ریختن آسفالت به سطح جاده نمود که حدود ۵۰۰ تن آسفالت جهت ترمیم مصرف شد. از این تاریخ تا تاریخ ۱۳۸۱ نشست جاده در این قسمت ادامه پیدا کرده که حداکثر میزان نشست حدود ۰/٤ متر بوده است. از تاریخ فروردین ۱۳۸۱ لغایت ۸۲/۸/۱ میزان نشست این قسمت از جاده ناچیز بوده و بیشترین مقدار نشست حدود ٤ سانتی متر بوده است.

کاوشهای ژئوتکنیکی وجود لایه های ضخیم خاک آلی در زیر و عمدتا در حاشیه راست بزرگراه از یک طرف و وجود لایه های رس سیلتی سست از طرف دیگررا از عوامل اصلی نشست در این قسمت از مسیر نشان داد. سطح آب زیرزمینی در این قسمت مسیر بالا بوده و در حدود یک متری سطح زمین است. وجود ضخامت بیشتر لایه خاک آلی در حاشیه راست جاده نسبت به حاشیه چپ باعث شده است که سمت راست جاده نسبت به سمت چپ آن نشست بیشتری داشته باشد.

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار PLAXIS که یک نرم افزار المان محدود برای انجام آنالیز پایداری و تغییر شکل در کاربردهای ژئوتکنیکی می باشد میزان نشست محاسبه شده و با مقادیر واقعی مقایسه گردید. جهت مدل کردن خاک سست بستر از مدل رفتاری خاک نرم خزشی (Soft Soil Creep) که قادر به مدلسازی رفتار وابسته به زمان خاک سست می باشد استفاده گردید و برای مدلسازی خاکریز مدل الاستوپلاستیک موهرکولمب (Mohr-Coulomb) مورد استفاده قرار گرفت. بطور کلی نتایج تحلیل عددی تطبیق خوبی با مقادیر نشستهای مشاهده شده نشان داد. سپس آنالیز نشست با وجود یک لایه ژئوتکستایل در بستر انجام گردید. نتایج آنالیز نشست با و بدون وجود ژئوتکستایل نشان داد که استفاده از یک لایه ژئوتکستایل در بستر خاکریز سبب بهبود عملکرد خاکریز از نظر نشست و کاهش تغییر مکانهای افقی و قائم جاده در طول عمر مفید طراحی می گردد.

کلید واژه ها: خاکریز بزرگراه شهید کلانتری، نشست، پیت، رس سیلتی سست، مدل خاک نرم خزشی، ژئوتکستایل، تحلیل عددی، PLAXIS

فصل اول

مقدمه

طراحی و احداث خاکریز روی بسترهای سست (رس، رس سیلتی، سیلت رسی و خاکهای آلی) یکی از مسائل چالش انگیز مهندسی ژئوتکنیک بشمار می رود و تا دو دهه پیش از ساخت خاکریز روی چنین بسترهایی اجتناب می گردید. رفتار خاکریزهای احداث شده روی بسترهای سست بسیار پیچیده است و دلیل این پیچیدگی رفتار خاک سست بستر می باشد. از خصوصیات اصلی خاکهای سست، تراکم پذیری زیاد و مقاومت برشی کم آنها می باشد که سبب ایجاد تغییر شکلهای بلندمدت و بروز مشکلاتی در پایداری خاکریز می شود. امروزه به دلیل اهمیت راههای ارتباطی آگاهی از مشکلات مختلف مربوط به این خاکها و روشهای مختلف ساخت خاکریز روی این نوع بسترها ضروری بنظر می رسد.

در فصل دوم این تحقیق ابتدا به تشریح خصوصیات ژئوتکنیکی، نحوه تشکیل، خصوصیات مقاومت برشی و خصوصیات تحکیم خاکهای سست و آزمایشهای مورد نیاز برای طراحی خاکریز روی بستر سست پرداخته شده و سپس پایداری خاکریزهای قرار گرفته روی بسترهای سست و شکلهای مختلف گسیختگی در این خاکریزها مورد بررسی قرار گرفته است. شکلهای مختلف گسیختگی در این خاکریزها شامل خرابی از لحاظ ظرفیت باربری[۱]، خرابی لغزش دورانی[۲] ،خرابی لغزشی[۳]، خرابی به سبب پهن شدگی خاکریز[٤]و خرابی به علت فشردگی خاک پی[٥] می باشد.

پس از بررسی پایداری محاسبه نشست شامل نشست آنی، نشست تحکیمی اولیه و نشست تحکیمی ثانویه بتفصیل شرح داده شده است.

با توجه به مشکلات ذکر شده روشهای مختلفی جهت ساخت خاکریز روی بستر سست وجود دارد که هریک از روشها دارای معایب و مزایایی می باشند. بطور کلی در برخورد با خاکهای سست پنج روش اصلی وجود دارد شامل:

۱) اجتناب از خاک سست
۲) حفاری خاک سست
۳) جایگزینی خاک سست
٤) جابجایی خاک سست
٥) باقی گذاردن خاک سست در محل

۱- Bearing capacity failure
۲- Rotational failure
۳- Sliding failure
٤- Spreading failure
٥- Foundation soil squeezing failure