





دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد تهران مرکزی  
دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)  
گرایش: عمران - مکانیک خاک و پی

عنوان:

ارزیابی پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های سیمان‌دار و لحاظ آن‌ها در طراحی‌های ژئوتکنیکی

استاد راهنما:

دکتر ابوالفضل اسلامی

استاد مشاور:

دکتر اسماعیل افلاکی

پژوهشگر:

پویا صدیقی

تابستان ۱۳۹۰



ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Engineering and Technical-Department of Civil Engineering

M.Sc Thesis

Geotechnical Engineering

Subject :

Evaluation of Shear Strength Parameters of Soil-Cement for Geotechnical Design

Advisor :

Dr. A. Eslami

Consulting Advisor :

Dr. E. Aflaki

By :

Pouya Sedighi

Summer 2011

## تقدیر و تشکر:

سپاس پروردگار را که در طول به سرانجام رسیدن این تحقیق با تمام وجود حضورش را در کنار خود حس کردم.

سپاس و تشکر فراوان از اساتید محترم، جناب آقایان دکتر ابوالفضل اسلامی و دکتر اسماعیل افلاکی که بی شک بدون وجود این دو معلم دلسوز و راهنمایی‌های ارزشمندشان در تمامی مراحل پایان نامه، اتمام این مجموعه ممکن نبود.

همچنین از پرسنل محترم شرکت و آزمایشگاه مهندسی مشاور شالوده‌های مقاوم عمران (شمع) که طی این مدت با حمایت‌ها و صبوری‌ها و راهنمایی‌های خود نهایت همکاری را با اینجانب داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

بی شک مساعدت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه پشتیبان من بوده‌اند قابل وصف نیست و امیدوارم توانسته باشم گوشه‌ای از زحمات آن‌ها را جبران نمایم.

در پایان از دوستان گرامی آقایان مهندس آرش سخاوتیان و مهندس میلاد خوش‌نشین و سایر عزیزانی که همواره و در تمامی شرایط، حامی، مشوق و غمخوار اینجانب بوده‌اند کمال تشکر را دارم.

پویا صدیقی - شهریور ماه ۱۳۹۰

# **تقدیم:**

**تقدیم به پدر و مادر عزیزتر از جانم**

**که همواره در لحظات دشوار و سرنوشت ساز زندگی،**

**همراه مهربان، فداکار و مؤثری بوده اند.**

**امید است تا حاصل تلاش‌های انجام شده در این رساله،**

**ذره ای دل ایشان را شاد و لبشان را خندان نماید.**

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
و	فهرست جداول.....
ح	فهرست اشکال.....
۱	فصل اول: کلیات .....
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۲-۱ بیان مسئله.....
۳	۳-۱ اهداف تحقیق.....
۴	۴-۱ چگونگی انجام تحقیق.....
۵	۵-۱ عناوین مندرج در رساله.....
۷	فصل دوم سوابق تحقیقات انجام شده.....
۸	۱-۲ معرفی.....
۸	۲-۲ خاک سیمان دار.....
۱۱	۳-۲ خاک‌های مسئله‌دار.....
۱۱	۱-۳-۲ خاک‌های نرم و شل.....
۱۲	۲-۳-۲ خاک‌های قابل تورم.....
۱۳	۳-۳-۲ خاک‌های رمبنده یا فروریزی.....
۱۴	۴-۳-۲ خاکریزها.....
۱۵	۵-۳-۲ مقایسه و انتخاب روش‌ها.....
۱۵	۴-۲ تثبیت خاک با مواد افزودنی.....
۱۵	۱-۴-۲ هدف.....
۱۹	۵-۲ انتخاب ماده افزودنی.....
۱۹	۱-۵-۲ روش کورین و همکاران.....
۲۰	۲-۵-۲ روش گروه مهندسان ارتش امریکا.....

۲۴	۶-۲ تثبیت خاک با سیمان پرتلند
۲۹	۱-۶-۲ خصوصیات و ویژگی‌های فنی خاک‌های تثبیت شده با سیمان
۳۱	۲-۶-۲ مقاومت فشاری محدود نشده یا تک محوری
۳۵	۳-۶-۲ آزمایش کشش
۳۶	۴-۶-۲ مقاومت CBR
۳۷	۵-۶-۲ دوام
۳۹	۶-۶-۲ قابلیت فشردگی و خواص تحکیمی
۴۱	۷-۶-۲ تنش-تغییر شکل نسبی
۴۲	۸-۶-۲ ضریب پواسون
۴۳	۹-۶-۲ خستگی
۴۴	۱۰-۶-۲ خصوصیات خمیری
۴۵	۱۱-۶-۲ تراکم
۴۶	۱۲-۶-۲ تغییر حجم
۴۷	۷-۲ تثبیت خاک با آهک
۴۸	۸-۲ تثبیت خاک با قیر
۴۹	۹-۲ استفاده از ترکیب تثبیت کننده‌های مختلف
۵۲	۱-۹-۲ تثبیت با خاکستر بادی و آهک و سیمان (LCF)
۵۳	۲-۹-۲ تثبیت خاک با آهک و سیمان
۵۳	۳-۹-۲ تثبیت خاک با آهک و قیرابه
۵۳	۱۰-۲ استفاده از مواد پلیمری برای تثبیت خاک
۵۳	۱-۱۰-۲ استفاده از مواد پلیمری برای تثبیت ماسه‌های روان در ایران
۵۴	۲-۱۰-۲ استفاده از مواد پلیمری برای تثبیت شن‌های روان در ایران
۵۵	۳-۱۰-۲ استفاده از مواد پلیمری در شیب‌ها
۵۵	۱۱-۲ ملاحظات زیست محیطی
۵۶	۱۲-۲ معیار گسیختگی برای خاک‌های سیمان دار

۵۶	..... معرفی ۱-۱۲-۲
۵۶	..... تئوری کیفیت و کیفیت اصلاح شده ۲-۱۲-۲
۶۲	..... معیار شکست جانسون ۳-۱۲-۲
۶۴	..... فصل سوم آزمایشات
۶۵	..... ۱-۳ مقدمه
۶۵	..... ۲-۳ خاکهای مورد استفاده
۶۷	..... ۳-۳ خلاصه‌ای از زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه
۶۷	..... ۱-۳-۳ زمین‌شناسی گرگان
۶۸	..... ۲-۳-۳ زمین‌شناسی استان گیلان
۷۳	..... ۴-۳ برنامه آزمایشات
۷۳	..... ۱-۴-۳ آزمایش تعیین حدود اتربرگ
۷۴	..... ۳-۴-۳ آزمایش تراکم استاندارد
۷۵	..... ۴-۴-۳ آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده (تک محوری)
۷۵	..... ۱-۴-۴-۳ معرفی آزمایش
۷۷	..... ۲-۴-۴-۳ آماده سازی نمونه‌ها
۷۹	..... ۵-۴-۳ آزمایش سه محوری تحکیم یافته-زهکشی شده CD
۷۹	..... ۱-۵-۴-۳ آماده سازی نمونه‌ها
۸۱	..... ۲-۵-۴-۳ انجام آزمایش
۸۳	..... ۶-۴-۳ آزمایش ادنومتر (تحکیم)
۸۴	..... ۷-۴-۳ آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس
۸۸	..... ۱-۷-۴-۳ آماده سازی نمونه‌ها و انجام آزمایش
۸۹	..... فصل چهارم ارزیابی نتایج آزمایشات انجام شده
۹۰	..... ۱-۴ مقدمه
۹۰	..... ۲-۴ حدود اتربرگ
۹۳	..... ۳-۴ تراکم



۹۸	..... ۴-۴ آزمایش تحکیم
۱۰۰	..... ۵-۴ مقاومت فشاری محدود نشده
۱۰۰	..... ۴-۵-۱ لس گرگان
۱۰۳	..... ۴-۵-۲ رس رشت
۱۰۶	..... ۴-۵-۳ ماسه انزلی
۱۱۳	..... ۴-۶ آزمایش سه محوری تحکیم یافته-زهکشی شده
۱۱۳	..... ۴-۶-۱ لس گرگان
۱۲۱	..... ۴-۶-۲ ماسه انزلی
۱۲۷	..... ۴-۶-۳ رس رشت
۱۳۳	..... ۴-۷ آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس
۱۳۸	..... فصل پنجم بحث در نتایج و لحاظ آنها در طراحی های ژئوتکنیکی
۱۳۹	..... ۵-۱ مقدمه
۱۳۹	..... ۵-۲ پوش گسیختگی موهر-کولمب
۱۳۹	..... ۵-۲-۱ لس گرگان
۱۴۲	..... ۵-۲-۲ ماسه انزلی
۱۴۴	..... ۵-۲-۳ رس رشت
۱۴۶	..... ۵-۳ تئوری شکست گریفیت و گریفیت اصلاح شده
۱۴۶	..... ۵-۳-۱ لس گرگان
۱۴۹	..... ۵-۳-۲ ماسه انزلی
۱۵۰	..... ۵-۳-۳ رس رشت
۱۵۳	..... ۵-۴ معیار گسیختگی جانسون
۱۵۳	..... ۵-۴-۱ لس گرگان
۱۵۵	..... ۵-۴-۲ ماسه انزلی
۱۵۷	..... ۵-۴-۳ رس رشت
۱۵۹	..... ۵-۵ معیار گسیختگی در آزمایش برش مستقیم

۱۵۹	.....	۱-۵-۵ معیار گسیختگی موهر-کولمب
۱۶۱	.....	۲-۵-۵ معیار گسیختگی گریفیت اصلاح شده
۱۶۴	.....	۶-۵ تاثیر پارامترهای بدست آمده در طراحی های ژئوتکنیکی
۱۶۴	.....	۱-۶-۵ تعیین توان باربری خاک لس
۱۶۶	.....	۱-۶-۵ پایداری شیب خاکریز ماسه ای
۱۶۹	.....	۳-۶-۵ نشست در زیر یک پی مربعی واقع بر خاک رس
۱۷۲	.....	۷-۵ جمع بندی
۱۷۳	.....	فصل ششم جمع بندی و نتیجه گیری
۱۷۴	.....	۱-۶ کلیات
۱۷۵	.....	۲-۶ جمع بندی
۱۷۶	.....	۳-۶ نتیجه گیری
۱۷۹	.....	۴-۶ کاربردها و محدودیت های تحقیق
۱۸۱	.....	۵-۶ پیشنهاد ادامه کار
۱۸۲	.....	فهرست منابع و مراجع

## فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

- ۲-۱ جدول راهنمای انتخاب ماده افزودنی [7]..... ۲۳
- ۲-۲ جدول مقاومت فشاری انواع بتن سیمانی نسبت به سیمان نوع I بر حسب درصد [6]..... ۲۵
- ۲-۳ جدول درصد‌های وزنی مناسب سیمان برای تثبیت انواع خاک‌ها [6]..... ۲۶
- ۳-۱ جدول خواص ژئوتکنیکی خاک‌های مورد استفاده..... ۶۷
- ۳-۲ جدول مشخصات روش انجام آزمایش تراکم استاندارد..... ۷۵
- ۳-۳ جدول مقادیر ضریب اسکمپتون B برای خاک‌های مختلف در اشباع کامل یا نزدیک به اشباع کامل [39]..... ۸۲
- ۴-۱ جدول حدود اتربرگ تعیین شده با استفاده از روش کاسا گرانه..... ۹۱
- ۴-۲ جدول پارامترهای تحکیمی نمونه‌های لس و رس بدون سیمان و سیمان‌دار..... ۹۸
- ۴-۳ جدول خلاصه مقادیر مقاومت فشاری محدود نشده ۷ روزه و مدول الاستیسیته نمونه‌ها..... ۱۰۹
- ۴-۴ مقادیر مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه در حالت اشباع..... ۱۱۰
- ۴-۵ محدوده مقاومت فشاری تک محوری خاک‌های سیمان‌دار [43]..... ۱۱۳
- ۵-۱ جدول مقادیر پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های رس بدون سیمان و سیمان‌دار بر پایه معیار گسیختگی موهر-کولمب..... ۱۴۱
- ۵-۲ جدول مقادیر پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های ماسه‌ای بدون سیمان و سیمان‌دار بدست آمده از آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس بر پایه معیار گسیختگی موهر-کولمب..... ۱۴۳
- ۵-۳ جدول مقادیر پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های رس بدون سیمان و سیمان‌دار بر پایه معیار گسیختگی موهر-کولمب..... ۱۴۶
- ۵-۴ جدول مقایسه مقادیر پارامترهای بدست آمده از رابطه ترزاقی و گریفیت اصلاح شده در آزمایشات سه‌محوری تحکیم یافته زهکشی شده..... ۱۵۳

- ۵-۵ جدول مقادیر پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های ماسه‌ای بدون سیمان و سیمان‌دار بدست آمده از آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس بر پایه معیار گسیختگی موهر-کولمب.....۱۶۱
- ۵-۶ جدول مقایسه مقایسه مقادیر پارامترهای بدست آمده از رابطه ترزاقی و کیفیت اصلاح شده در آزمایشات برش مستقیم بزرگ مقیاس.....۱۶۴
- ۵-۷ جدول مقادیر  $N_c$  و  $N_q$  و  $N_\gamma$  بر حسب  $\phi$  بر اساس مدل ترزاقی [45].....۱۶۵
- ۵-۸ جدول نتایج بدست آمده از رابطه ترزاقی در تعیین توان باربری خاک لس بدون سیمان و با ۵٪ و ۸٪ سیمان.....۱۶۵
- ۵-۹ جدول مشخصات ژئوتکنیکی خاکریز و خاک بستر.....۱۶۶
- ۵-۱۰ جدول پارامترهای ژئوتکنیکی خاک رس بدون سیمان و سیمان‌دار.....۱۷۰
- ۵-۱۱ جدول نتایج محاسبات نشست شالوده مستقر بر لایه رسی قبل و بعد از افزودن سیمان.....۱۷۱

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- ۱-۲ شکل محدوده کاربرد روش‌های مختلف بهسازی در خاک‌های مختلف [3]..... ۱۶
- ۲-۲ شکل تعیین تثبیت کننده مناسب [9]..... ۲۰
- ۳-۲ شکل مثلث درجه بندی برای انتخاب عنصر افزودنی مقرون به صرفه، [7]..... ۲۲
- ۴-۲ شکل ارتباط بین درصد سیمان و مقاومت فشاری محدود نشده برای خاک‌های تثبیت شده با سیمان [15]..... ۳۲
- ۵-۲ شکل تاثیر زمان عمل آوری بر مقاومت فشاری محدود نشده برای خاک‌های تثبیت شده با سیمان [15]..... ۳۳
- ۶-۲ شکل تاثیر مقدار سیمان بر چندین نمونه خاک درشت دانه و ریزدانه [15]..... ۳۵
- ۷-۲ شکل رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری و درصد سیمان برای خاک‌های تثبیت شده با سیمان [6]..... ۳۷
- ۸-۲ شکل ارتباط بین مقاومت فشاری محدود نشده و دوام خاک‌های تثبیت شده با سیمان بر اساس معیار انجمن سیمان پرتلند [19]..... ۳۹
- ۹-۲ منحنی تحکیم رس بانکوک با ۲۵٪ سیمان [17]..... ۴۰
- ۱۰-۲ شکل رابطه بین ضریب ارتجاعی دینامیکی و استاتیکی چند نمونه خاک تثبیت شده با سیمان [6]..... ۴۲
- ۱۱-۲ شکل نتایج آزمایش خستگی خمشی چند نمونه خاک تثبیت شده با سیمان و بتن سیمانی [6]..... ۴۳
- ۱۲-۲ شکل تاثیر سیمان بر روی خواص خمیری یک نمونه خاک رس لای دار [6]..... ۴۴
- ۱۳-۲ شکل رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری ۷ روزه با درصد رطوبت [6]..... ۴۶
- ۱۴-۲ شکل پوش گسیختگی شماتیک تئوری شکست گریفیت بر حسب تنش‌های اصلی [24]..... ۵۷
- ۱۵-۲ شکل پوش گسیختگی شماتیک تئوری شکست گریفیت بر حسب تنش برشی و تنش‌های نرمال [24]..... ۵۸

- ۱۶-۲ شکل پوش گسیختگی شماتیک تئوری کیفیت اصلاح شده برحسب تنش برشی و تنش‌های  
 نرمال [24]..... ۵۹
- ۱۷-۲ شکل مقایسه بین مقاومت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با تئوری کیفیت  
 برای شن‌های تثبیت‌شده با سیمان [15]..... ۶۰
- ۱۸-۲ شکل مقایسه بین مقاومت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با تئوری کیفیت برای  
 رس سیلت‌دار تثبیت‌شده با سیمان [15]..... ۶۰
- ۱۹-۲ شکل پوش گسیختگی خاک‌های تثبیت‌شده با سیمان [15]..... ۶۱
- ۱-۳ شکل مناطق مورد مطالعه واقع در خط ساحلی جنوب دریای خزر..... ۶۶
- ۲-۳ شکل منحنی دانه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه..... ۶۶
- ۳-۳ شکل توزیع انواع رسوبات در محدوده شهر رشت..... ۷۰
- ۴-۳ شکل توزیع و پراکندگی خاک‌ها در منطقه گرگان..... ۷۱
- ۵-۳ شکل توزیع انواع رسوبات دریایی در منطقه بندر انزلی..... ۷۲
- ۶-۳ شکل دستگاه کاسه گرانه ساخت شرکت ELE جهت انجام آزمایش حد روانی..... ۷۵
- ۷-۳ شکل قالب آزمایش تراکم استاندارد..... ۷۴
- ۸-۳ شکل نمونه‌های آزمایش تک محوری حالت اشباع، قرار گرفته در آب پیش از انجام آزمایش..... ۷۸
- ۹-۳ شکل دستگاه آزمایش تک محوری..... ۷۹
- ۱۰-۳ شکل جک بیرون اورنده نمونه..... ۸۰
- ۱۱-۳ شکل دستگاه آزمایش سه محوری..... ۸۱
- ۱۲-۳ شکل دستگاه آزمایش تحکیم..... ۸۳
- ۱۳-۳ شکل دستگاه آزمایش برش مستقیم  $30 \times 30 \times 10$ ..... ۸۷
- ۱۴-۳ شکل قالب ۲ تکه جهت ساخت نمونه‌های  $30 \times 30 \times 10$  cm..... ۸۸
- ۱-۴ شکل تغییرات حدود اتربرگ خاک رس رشت در درصد سیمان‌های مختلف..... ۹۲
- ۲-۴ شکل تغییرات حدود اتربرگ خاک لس گرگان در درصد سیمان‌های مختلف..... ۹۲
- ۳-۴ شکل نمودار ستونی کل آزمایشات تعیین حدود اتربرگ نمونه‌های بدون سیمان و سیمان‌دار..... ۹۳
- ۴-۴ شکل نمودار آزمایش تراکم لس گرگان برای درصد‌های مختلف سیمان..... ۹۴

- ۴-۵ شکل نمودار آزمایش تراکم رس رشت برای درصد‌های مختلف سیمان.....۹۵
- ۴-۶ شکل نمودار آزمایش تراکم ماسه انزلی (عبوری الک ۴) برای درصد‌های مختلف سیمان.....۹۶
- ۴-۷ شکل تاثیر افزودن سیمان بر دانسیته خشک ماکزیم خاک‌ها.....۹۷
- ۴-۸ شکل تاثیر افزودن سیمان بر درصد رطوبت بهینه خاک‌ها.....۹۷
- ۴-۹ شکل نمودار نسبت تخلخل در برابر تنش قائم نمونه‌های خاک لس بدون سیمان و سیمان‌دار.....۹۹
- ۴-۱۰ شکل نمودار نسبت تخلخل در برابر تنش قائم نمونه‌های خاک رس بدون سیمان و سیمان‌دار.....۹۹
- ۴-۱۱ شکل نمونه‌ای از گسیختگی خاک لس تثبیت شده با سیمان در آزمایش تک محوری.....۱۰۰
- ۴-۱۲ شکل منحنی تنش-کرنش آزمایش تک محوری نمونه‌های بدون سیمان و سیمان‌دار خاک لس گرگان در حالت غیر اشباع.....۱۰۱
- ۴-۱۳ شکل منحنی تنش-کرنش آزمایش تک محوری نمونه‌های سیمان‌دار خاک لس گرگان در حالت اشباع.....۱۰۱
- ۴-۱۴ شکل تاثیر سیمان بر مقاومت فشاری محدود نشده خاک لس گرگان.....۱۰۲
- ۴-۱۵ شکل تاثیر سیمان بر مدول الاستیسیته خاک لس گرگان.....۱۰۲
- ۴-۱۶ شکل منحنی تنش-کرنش آزمایش تک محوری نمونه‌های بدون سیمان و سیمان‌دار خاک رس رشت در حالت غیر اشباع.....۱۰۴
- ۴-۱۷ شکل منحنی تنش-کرنش آزمایش تک محوری نمونه‌های سیمان‌دار خاک رس رشت در حالت خیس رشت در حالت اشباع.....۱۰۴
- ۴-۱۸ شکل تاثیر سیمان بر مقاومت فشاری محدود نشده خاک رس رشت.....۱۰۵
- ۴-۱۹ شکل تاثیر سیمان بر مدول الاستیسیته خاک رس رشت.....۱۰۵
- ۴-۲۰ شکل یک نمونه از گسیختگی ماسه تثبیت شده با سیمان در آزمایش تک محوری.....۱۰۶
- ۴-۲۱ شکل منحنی تنش-کرنش آزمایش تک محوری نمونه‌های سیمان‌دار ماسه انزلی (عبوری از الک شماره ۴) در حالت غیر اشباع.....۱۰۷
- ۴-۲۲ شکل منحنی تنش-کرنش آزمایش تک محوری نمونه‌های سیمان‌دار ماسه انزلی (عبوری از الک شماره ۴) در حالت اشباع.....۱۰۷
- ۴-۲۳ شکل تاثیر سیمان بر مقاومت فشاری محدود نشده ماسه انزلی.....۱۰۸

- ۴-۲۴ شکل تاثیر سیمان بر مدول الاستیسیته ماسه انزلی..... ۱۰۸
- ۴-۲۵ شکل نمودار تغییرات مقاومت فشاری محدود نشده ۷ روزه کل نمونه‌ها در حالت غیر اشباع با افزودن درصدهای مختلف سیمان..... ۱۱۰
- ۴-۲۶ شکل نمودار تغییرات مقاومت فشاری محدود نشده ۷ روزه کل نمونه‌ها در حالت اشباع با افزودن درصدهای مختلف سیمان..... ۱۱۱
- ۴-۲۷ شکل نمودار تغییرات مقاومت فشاری محدود نشده ۲۸ روزه کل نمونه‌ها در حالت اشباع با افزودن درصدهای مختلف سیمان..... ۱۱۱
- ۴-۲۸ شکل نمودار تغییرات مدول الاستیسیته (۷ روزه) کل نمونه‌ها در حالت غیر اشباع با افزودن درصدهای مختلف سیمان..... ۱۱۲
- ۴-۲۹ نمودار تغییرات مدول الاستیسیته (۷ روزه) کل نمونه‌ها در حالت اشباع با افزودن درصدهای مختلف سیمان..... ۱۱۲
- ۴-۳۰ شکل منحنی های تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری خاک لس بدون سیمان..... ۱۱۴
- ۴-۳۱ شکل منحنی کرنش حجمی در مقابل کرنش محوری خاک لس بدون سیمان..... ۱۱۵
- ۴-۳۲ شکل منحنی های تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری خاک لس با ۵٪ سیمان..... ۱۱۵
- ۴-۳۳ شکل منحنی کرنش حجمی در مقابل کرنش محوری خاک لس با ۵٪ سیمان..... ۱۱۶
- ۴-۳۴ شکل منحنی های تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری خاک لس با ۸٪ سیمان..... ۱۱۶
- ۴-۳۵ شکل منحنی کرنش حجمی در مقابل کرنش محوری خاک لس با ۸٪ سیمان..... ۱۱۷
- ۴-۳۶ شکل گسیختگی از نوع نرم خاک لس بدون سیمان..... ۱۱۷
- ۴-۳۷ شکل گسیختگی صفحه‌ای خاک لس با ۵٪ سیمان..... ۱۱۸
- ۴-۳۸ شکل گسیختگی از نوع شکافتگی و دو نیم شدن از وسط خاک لس با ۸٪ سیمان..... ۱۱۸
- ۴-۳۹ شکل تغییرات پیک تنش انحرافی در مقابل فشار محدود کننده برای خاک لس..... ۱۱۹
- ۴-۴۰ شکل تغییرات نشانه شکنندگی در مقابل فشار محدود کننده برای خاک لس..... ۱۲۰
- ۴-۴۱ شکل تغییرات مدول الاستیسیته در برابر فشار محدود کننده خاک لس در درصدهای سیمان مختلف..... ۱۲۰
- ۴-۴۲ شکل گسیختگی ترد و شکننده نمونه ماسه با ۵٪ سیمان..... ۱۲۲



- ۴-۴۳ شکل گسیختگی از نوع شکافتگی دو نیم شدن از وسط ماسه با ۸٪ سیمان.....۱۲۲
- ۴-۴۴ شکل منحنی های تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری ماسه انزلی با ۵٪ سیمان.....۱۲۳
- ۴-۴۵ شکل منحنی کرنش حجمی در مقابل کرنش محوری ماسه انزلی با ۵٪ سیمان.....۱۲۳
- ۴-۴۶ شکل منحنی های تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری ماسه انزلی با ۸٪ سیمان.....۱۲۴
- ۴-۴۷ شکل منحنی کرنش حجمی در مقابل کرنش محوری ماسه با ۸٪ سیمان.....۱۲۴
- ۴-۴۸ شکل تغییرات پیک تنش انحرافی در مقابل فشار محدود کننده برای ماسه انزلی.....۱۲۶
- ۴-۴۹ شکل تغییرات نشانه شکنندگی در برابر فشار محدود کننده برای ماسه انزلی.....۱۲۶
- ۴-۵۰ شکل تغییرات مدول الاستیسیته در برابر فشار محدود کننده ماسه در درصدهای سیمان مختلف.....۱۲۶
- ۴-۵۱ شکل منحنی های تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری خاک رس بدون سیمان.....۱۲۸
- ۴-۵۲ شکل منحنی کرنش حجمی در مقابل کرنش محوری خاک رس بدون سیمان.....۱۲۸
- ۴-۵۳ شکل منحنی های تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری خاک رس با ۵٪ سیمان.....۱۲۹
- ۴-۵۴ شکل منحنی کرنش حجمی در مقابل کرنش محوری خاک رس با ۵٪ سیمان.....۱۲۹
- ۴-۵۵ شکل منحنی های تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری خاک رس با ۸٪ سیمان.....۱۳۰
- ۴-۵۶ شکل منحنی کرنش حجمی در مقابل کرنش محوری خاک رس با ۸٪ سیمان.....۱۳۰
- ۴-۵۷ شکل تغییرات پیک تنش انحرافی در مقابل فشار محدود کننده برای خاک رس.....۱۳۱
- ۴-۵۸ شکل تغییرات نشانه شکنندگی در برابر فشار محدود کننده برای خاک رس.....۱۳۲
- ۴-۵۹ شکل تغییرات مدول الاستیسیته در برابر فشار محدود کننده نمونه های رس با درصدهای سیمان مختلف.....۱۳۲
- ۴-۶۰ شکل تغییرات مقاومت برشی کلیه نمونه ها با توجه به درصد سیمان و فشار همه جانبه.....۱۳۳
- ۴-۶۱ شکل گسیختگی نمونه ماسه تثبیت شده با ۵٪ سیمان و فشار قائم ۱۰۰ کیلوپاسکال.....۱۳۴
- ۴-۶۲ شکل نمودار تنش برشی-جابجایی افقی ماسه انزلی بدون سیمان.....۱۳۵
- ۴-۶۳ شکل نمودار تنش برشی-جابجایی افقی ماسه انزلی با ۵٪ سیمان.....۱۳۵
- ۴-۶۴ شکل نمودار تنش برشی-جابجایی افقی ماسه انزلی با ۸٪ سیمان.....۱۳۶
- ۴-۶۵ شکل نمودار مدول برشی در برابر تنش قائم نمونه های ماسه بدون سیمان و سیمان دار.....۱۳۶

- ۴-۶۶ شکل نمودار تغییرات مقاومت برشی کل نمونه‌های ماسه‌ای در برابر تغییرات فشار قائم و درصد سیمان..... ۱۳۷
- ۵-۱ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای خاک لس بدون سیمان..... ۱۴۰
- ۵-۲ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای خاک لس با ۵٪ سیمان..... ۱۴۰
- ۵-۳ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای خاک لس با ۸٪ سیمان..... ۱۴۱
- ۵-۴ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای ماسه با ۵٪ سیمان..... ۱۴۲
- ۵-۵ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای ماسه با ۸٪ سیمان..... ۱۴۳
- ۵-۶ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای رس بدون سیمان..... ۱۴۴
- ۵-۷ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای رس با ۵٪ سیمان..... ۱۴۵
- ۵-۸ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای رس با ۸٪ سیمان..... ۱۴۵
- ۵-۹ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های کیفیت و کیفیت اصلاح شده برای خاک لس بدون سیمان..... ۱۴۷
- ۵-۱۰ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های کیفیت و کیفیت اصلاح شده برای خاک لس با ۵٪ سیمان..... ۱۴۸
- ۵-۱۱ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های کیفیت و کیفیت اصلاح شده برای لس با ۸٪ سیمان..... ۱۴۸
- ۵-۱۲ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های کیفیت و کیفیت اصلاح شده برای ماسه با ۵٪ سیمان..... ۱۴۹
- ۵-۱۳ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های کیفیت و کیفیت اصلاح شده برای ماسه با ۸٪ سیمان..... ۱۵۰
- ۵-۱۴ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های کیفیت و کیفیت اصلاح شده برای رس بدون سیمان..... ۱۵۱
- ۵-۱۵ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های کیفیت و کیفیت اصلاح شده برای رس با ۵٪ سیمان..... ۱۵۱

- ۱۶-۵ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری‌های گریفیت و گریفیت اصلاح شده برای رس با ۸٪ سیمان..... ۱۵۲
- ۱۷-۵ شکل مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر تخمینی معیار جانسون برای خاک لس بدون سیمان..... ۱۵۴
- ۱۸-۵ شکل مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر تخمینی معیار جانسون برای خاک لس با ۵٪ سیمان..... ۱۵۴
- ۱۹-۵ شکل مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر تخمینی معیار جانسون برای خاک لس با ۸٪ سیمان..... ۱۵۵
- ۲۰-۵ شکل مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تخمینی معیار جانسون برای ماسه با ۵٪ سیمان..... ۱۵۶
- ۲۱-۵ شکل مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تخمینی معیار جانسون برای ماسه با ۸٪ سیمان..... ۱۵۶
- ۲۲-۵ شکل مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تخمینی معیار جانسون برای خاک رس بدون سیمان..... ۱۵۷
- ۲۳-۵ شکل مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تخمینی معیار جانسون برای خاک رس با ۵٪ سیمان..... ۱۵۸
- ۲۴-۵ شکل مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر تخمینی معیار جانسون برای خاک رس با ۸٪ سیمان..... ۱۵۸
- ۲۵-۵ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای نمونه ماسه بدون سیمان..... ۱۵۹
- ۲۶-۵ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای نمونه ماسه با ۵٪ سیمان..... ۱۶۰
- ۲۷-۵ شکل پوش گسیختگی موهر-کولمب برای نمونه ماسه با ۸٪ سیمان..... ۱۶۰
- ۲۸-۵ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری گریفیت اصلاح شده برای ماسه بدون سیمان در آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس..... ۱۶۲
- ۲۹-۵ شکل مقادیر اندازه‌گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری گریفیت اصلاح شده برای ماسه با ۵٪ سیمان در آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس..... ۱۶۲

- ۳۰-۵ شکل مقادیر اندازه گیری شده و مقاومت پیش‌بینی شده توسط تئوری کیفیت اصلاح شده برای ماسه با ۸٪ سیمان در آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس.....۱۶۳
- ۳۱-۵ شکل پی منفرد مربعی واقع بر خاک لس.....۱۶۴
- ۳۲-۵ شکل خاکریز ماسه‌ای با شیب ۱:۲ قبل از افزودن سیمان.....۱۶۷
- ۳۳-۵ شکل خاکریز ماسه‌ای با شیب ۱:۲ بعد از افزودن سیمان.....۱۶۷
- ۳۴-۵ شکل خاکریز ماسه‌ای با شیب ۳:۱ بعد از افزودن سیمان.....۱۶۸
- ۳۵-۵ شکل مقایسه حجم مصالح در حالت شیب ۱:۲ و شیب ۳:۱.....۱۶۹
- ۳۶-۵ شکل پی مربعی صلب با ابعاد مشخص شده در شکل بر روی لایه رسی.....۱۶۹
- ۳۷-۵ شکل افزایش تنش در زیر مرکز یک سطح بارگذاری مستطیلی [46].....۱۷۱