



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

بررسی اثر نانو ذرات و الیاف بازیافتی پلی استر بر مقاومت فشاری و برشی خاک‌های رسی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

فواد چنگیزی

استاد راهنما:

دکتر عبدالحسین حداد

شهریور ماه ۱۳۹۳



بررسی اثر نانو ذرات و الیاف بازیافتی پلی استر بر مقاومت فشاری و
برشی خاک های رسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

فواد چنگیزی

استاد راهنما:

دکتر عبدالحسین حداد

استاد مشاور:

مهندس محمود رحمانی

شهریور ماه ۱۳۹۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه ی آقای فواد چنگیزی برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش خاک و پی تحت عنوان " بررسی اثر نانو ذرات و الیاف بازیافتی پلی استر بر مقاومت فشاری و برشی خاک‌های رسی " در جلسه مورخ / / بررسی و با نمره

عدد	
حروف	

مورد تایید قرار گرفت.

اعضای هیئت داوران:

امضاء:

استاد راهنمای: دکتر عبدالحسین حداد

امضاء:

استاد مشاور: مهندس محمود رحمانی

امضاء:

استاد داور:

امضاء:

استاد داور:

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده: امضاء



دانشگاه سمنان
دانشکده مهندسی عمران

اینجانب فواد چنگیزی متعهد می شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان " بررسی اثر نانو ذرات و الیاف بازیافتی پلی استر بر مقاومت فشاری و برشی خاک های رسی " که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی به دانشگاه ارائه شده است، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت های علمی اینجانب می باشد.

در صورتی که خلاف ادعای فوق در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق معنوی متعلق به این پایان نامه از اینجانب سلب شده و موارد قانونی مترتب به آن نیز از طرف مراجع قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی: فواد چنگیزی

شماره دانشجویی: ۹۱۱۱۱۴۶۰۰۲

امضاء



پایان نامه های تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران دانشگاه سمنان

این پایان نامه تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران و در قالب گروه پژوهشی:

روش های اجرایی نوین مهندسی عمران

مصالح نوین مهندسی عمران

سیستم های نوین ساخت

روشهای تحلیل نوین در مهندسی عمران

ارائه شده است.

امضای رئیس پژوهشکده

امضای مدیر گروه پژوهشی

این صفحه در صورتی تکمیل می گردد که فعالیت پژوهشی مورد نظر در راستای اهداف پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران و با حمایت یکی از گروه های پژوهشی صورت پذیرد.

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان با ذکر مرجع بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما با ذکر مرجع بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضاء:

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را سپاس
نتوانم بگویم.

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشت‌م رضای شما

را آوردی گران سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار
خستگی‌تان را بزداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان

در آغاز لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادر گرامی ام و کلیه کسانی که در دوران تحصیل همواره مشوق و

پشتیبان اینجانب بوده‌اند کمال تشکر را بنمایم .

همچنین از زحمات اساتید محترم دانشگاه سمنان و به خصوص استاد ارجمند جناب دکتر حداد که با

راهنمایی‌های خود راهگشاهی اینجانب بوده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

چکیده

تثبیت خاک به اصلاح و بهبود خصوصیات فیزیکی و مهندسی خاک جهت تامین یک رشته اهداف از پیش تعیین شده اطلاق می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از نانو مواد و الیاف مصنوعی در مهندسی ژئوتکنیک مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق به منظور بررسی اثر الیاف بازیافتی پلی استر، نانو سیلیس، الیاف شیشه، استفاده همزمان الیاف بازیافتی پلی استر و نانو سیلیس و استفاده همزمان الیاف شیشه و نانو رس بر خصوصیات مهندسی خاک از جمله مقاومت برشی و مقاومت فشاری از خاک رس با حد روانی پایین استفاده شده است. الیاف شیشه و نانو رس با درصدهای ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ با خاک مخلوط شدند و الیاف بازیافتی پلی استر و نانو سیلیس به ترتیب با درصدهای ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷، ۱/۰ با خاک مخلوط شدند. نتایج آزمایش‌ها نشان‌دهنده می‌دهند که با افزودن ۰/۵٪ الیاف بازیافتی پلی استر مقاومت برشی و فشاری خاک به ترتیب با ضریب ۱/۸ و ۱/۷۴ افزایش می‌یابند. با افزودن الیاف شیشه، بهینه‌ترین مقاومت در ۱/۰٪ الیاف شیشه اتفاق می‌افتد که در این درصد از الیاف مقاومت برشی و فشاری به ترتیب با ضریب ۱/۵۷ و ۱/۵۶ افزایش می‌یابند. مقدار نانو سیلیس باعث افزایش رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک تثبیت شده می‌شود. با افزودن ۰/۷٪ نانو سیلیس، مقاومت برشی و فشاری خاک با ضریب ۱/۷۶ و ۱/۵۶ افزایش می‌یابد. با افزودن ۱/۰٪ نانو سیلیس و ۰/۳٪ الیاف بازیافتی پلی استر مقاومت برشی خاک با ضریب ۲/۹ افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش مقاومت در مقاومت فشاری نهایی و باقیمانده در ۰/۷٪ نانو سیلیس و ۰/۳٪ الیاف بازیافتی پلی استر مشاهده می‌شود و ضریب افزایش به ترتیب ۲/۶۶ و ۲/۸۲ می‌باشد. با افزودن ۱/۰٪ نانو رس و ۱/۰٪ الیاف شیشه مقاومت برشی و فشاری خاک به ترتیب با ضریب ۱/۹۲ و ۲/۳۳ افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: نانو مواد، الیاف بازیافتی پلی استر، الیاف شیشه، تثبیت خاک، خصوصیات مقاومتی

فهرست مطالب

۱	فصل ۱ : مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق
۳	۳-۱- نوآوری تحقیق
۴	۴-۱- اهداف تحقیق
۴	۵-۱- فرضیات تحقیق و محدودیت‌ها
۵	۶-۱- روش تحقیق
۵	۷-۱- ساختار فصول پایان نامه
۶	فصل ۲: بهسازی خاک با استفاده از الیاف مصنوعی و نانو مواد
۷	۱-۲- مقدمه
۷	۲-۲- روش های معمول بهسازی
۸	۱-۲-۲- حفاری و برداشت، جابجایی و یا جایگزینی
۸	۲-۲-۲- تراکم سطحی
۹	۳-۲-۲- تراکم دینامیکی
۱۰	۴-۲-۲- پیش فشردگی از طریق پیش بارگذاری
۱۱	۵-۲-۲- تثبیت خاک به روش تزریق
۱۱	۶-۲-۲- تثبیت با افزودنی‌ها
۱۲	۷-۲-۲- ستون‌های سنگی و ماسه‌ای
۱۳	۸-۲-۲- سیستم های الکتریکی
۱۳	۹-۲-۲- تسلیح خاک
۱۴	۳-۲- الیاف پلی پروپیلن
۱۴	۱-۳-۲- بررسی مقاومت برشی خاک های ریزدانه تثبیت شده با الیاف پلی پروپیلن
۱۹	۲-۳-۲- بررسی مقاومت فشاری خاک های ریزدانه تثبیت شده با الیاف پلی پروپیلن
۲۱	۳-۳-۲- اثر الیاف پلی پروپیلن بر میزان تورم خاک های ریزدانه
۲۲	۴-۲- الیاف پلی استر
۲۲	۱-۴-۲- بررسی مقاومت برشی خاک های ریزدانه تثبیت شده با الیاف پلی استر
۲۴	۲-۴-۲- بررسی مقاومت فشاری خاک های ریزدانه تثبیت شده با الیاف پلی استر
۲۵	۵-۲- الیاف نایلون
۲۶	۱-۵-۲- بررسی خصوصیات تحکیم خاک های ریزدانه تثبیت شده با الیاف نایلون
۲۷	۲-۵-۲- بررسی مقاومت برشی خاک های ریزدانه تثبیت شده با الیاف نایلون

- ۲-۶-۶- پودر لاستیک ۳۰
- ۲-۶-۱- بررسی مقاومت فشاری و حدود اتربرگ خاک ریزدانه تثبیت شده با پودرلاستیک ۳۰
- ۲-۷- اثر نانو رس بر خصوصیات خاک رس ۳۴
- ۲-۸- اثر نانو آلومینیم بر خصوصیات خاک رس ۳۵
- ۲-۹- اثر نانو مس بر خصوصیات خاک رس ۳۷

فصل ۳: معرفی مواد افزودنی و روش انجام آزمایش

- ۳-۱- مقدمه ۴۱
- ۳-۲- مصالح مورد آزمایش ۴۱
- ۳-۳- خصوصیات خاک ۴۱
- ۳-۳-۱- آزمایش تراکم ۴۱
- ۳-۳-۲- آزمایش حدود اتربرگ ۴۱
- ۳-۳-۳- آزمایش تعیین چگالی ویژه ۴۲
- ۳-۳-۴- رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک خاک ۴۲
- ۳-۴- مواد افزودنی ۴۳
- ۳-۴-۱- مواد مسلح کننده ۴۳
- ۳-۴-۲- مواد تثبیت کننده ۴۵
- ۳-۵- آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده ۴۸
- ۳-۵-۱- روش انجام آزمایش تک محوری بر خاک مسلح شده با الیاف ۴۹
- ۳-۵-۲- روش انجام آزمایش تک محوری بر خاک تثبیت شده با نانو مواد ۵۱
- ۳-۵-۳- روش انجام آزمایش تک محوری بر خاک مسلح شده با الیاف و تثبیت شده با نانو مواد ۵۱
- ۳-۶- آزمایش برش مستقیم ۵۳
- ۳-۶-۱- روش انجام آزمایش برش مستقیم خاک مسلح شده با الیاف ۵۴
- ۳-۶-۲- روش انجام آزمایش برش مستقیم خاک تثبیت شده با نانو مواد ۵۶
- ۳-۶-۳- روش انجام آزمایش برش مستقیم بر خاک مسلح شده با الیاف و تثبیت شده با نانو مواد ۵۶

فصل ۴: تاثیر مواد افزودنی بر رفتار مکانیکی خاک

- ۴-۱- مقدمه ۵۸
- ۴-۲- اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر خصوصیات مهندسی خاک ۵۸
- ۴-۲-۱- اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر حدود اتربرگ ۵۸
- ۴-۲-۲- اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر وزن مخصوص خشک خاک ۶۰
- ۴-۲-۳- اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر مقاومت برشی خاک ۶۱

- ۶۴-۲-۴- اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر مقاومت تک محوری ۶۴
- ۶۶-۲-۴- اثر الیاف پلی استر بازیافتی بر مدول ارتجاعی ۶۶
- ۶۶-۳-۴- اثر الیاف شیشه بر خصوصیات مهندسی خاک ۶۶
- ۶۶-۱-۳-۴- اثر الیاف شیشه بر مقاومت برشی ۶۶
- ۶۹-۲-۳-۴- اثر الیاف شیشه بر مقاومت فشاری خاک رسی ۶۹
- ۷۰-۴-۴- اثر نانو سیلیس بر خصوصیات مهندسی خاک رسی ۷۰
- ۷۰-۱-۴-۴- اثر نانو سیلیس بر وزن مخصوص خشک خاک ۷۰
- ۷۱-۲-۴-۴- اثر نانو سیلیس بر مقاومت برشی خاک رس ۷۱
- ۷۴-۳-۴-۴- اثر نانو سیلیس بر مقاومت فشاری محدود نشده ۷۴
- ۷۶-۵-۴- تحلیل نتایج ۷۶
- ۷۶-۱-۵-۴- مکانیسم اثر نانو سیلیس بر خصوصیات مهندسی خاک ۷۶
- ۷۸-۲-۵-۴- مکانیسم اثر الیاف بر خصوصیات مهندسی خاک ۷۸

فصل ۵: تاثیر استفاده همزمان الیاف و نانو مواد بر رفتار مکانیکی خاک ۸۰

- ۸۱-۱-۵- مقدمه ۸۱
- ۸۱-۲-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف بازیافتی پلی استر و نانو سیلیس بر خصوصیات مهندسی خاک ۸۱
- ۸۱-۱-۲-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف بازیافتی پلی استر و نانو سیلیس بر مقاومت برشی خاک. ۸۱
- ۸۱-۲-۲-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف بازیافتی پلی استر و نانو سیلیس بر مقاومت فشاری محدود نشده ۸۱
- ۸۸-۳-۲-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف بازیافتی پلی استر و نانو سیلیس بر مدول ارتجاعی ۹۲
- ۹۴-۳-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف شیشه و نانو رس بر خصوصیات مهندسی خاک ۹۴
- ۹۴-۱-۳-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف شیشه و نانو رس بر مقاومت برشی خاک ۹۴
- ۱۰۰-۲-۳-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف شیشه و نانو رس بر مقاومت فشاری محدود نشده ۱۰۰
- ۱۰۳-۳-۳-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف شیشه و نانو رس بر مدول ارتجاعی ۱۰۳
- ۱۰۵-۴-۵- تحلیل نتایج ۱۰۵
- ۱۰۵-۱-۴-۵- اثر ترکیب همزمان الیاف و نانو مواد بر خصوصیات خاک ۱۰۵
- ۱۰۵-۵-۵- طرح تثبیت و روش اجرایی تثبیت خاک رس با نانو سیلیس و الیاف بازیافتی پلی استر ۱۰۵
- ۱۰۵-۱-۵-۵- طرح تثبیت خاک با نانو سیلیس و الیاف بازیافتی پلی استر ۱۰۵
- ۱۰۶-۲-۵-۵- عملیات اجرایی تثبیت خاک با نانو سیلیس و الیاف بازیافتی پلی استر ۱۰۶

فصل ۶: جمع بندی و پیشنهادها ۱۰۸

- ۱۰۹-۱-۶- مقدمه ۱۰۹
- ۱۰۹-۲-۶- جمع بندی نتایج ۱۰۹

۱۱۲..... نوآوری تحقیق ۳-۶

۱۱۳..... پیشنهادها ۴-۶

۱۱۴

مراجع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) مصالح نامناسب (لیتکوهی ۱۳۹۰)..... ۸
- شکل (۲-۲) اثر تراکم سطحی بر بافت خاکهای رسی و ماسه ای (لیتکوهی ۱۳۹۰)..... ۹
- شکل (۳-۲) تراکم دینامیکی خاک (لیتکوهی ۱۳۹۰)..... ۱۰
- شکل (۴-۲) روش های اجراستون سنگی (لیتکوهی ۱۳۹۰)..... ۱۲
- شکل (۵-۲) منحنی تنش- کرنش خاک مسلح در نسبت طول به عرض ۷۵ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۵
- شکل (۶-۲) منحنی تنش- کرنش خاک مسلح در نسبت طول به عرض ۱۰۰ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۶
- شکل (۷-۲) منحنی تنش- کرنش خاک مسلح در نسبت طول به عرض ۱۲۵ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۷
- شکل (۸-۲) منحنی تنش برشی- قائم در نسبت طول به عرض ۷۵ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۷
- شکل (۹-۲) منحنی تنش برشی- قائم در نسبت طول به عرض ۱۰۰ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۸
- شکل (۱۰-۲) منحنی تنش برشی- قائم در نسبت طول به عرض ۱۲۵ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۸
- شکل (۱۱-۲) منحنی تنش- کرنش خاک مسلح شده با الیاف پلی پروپیلن (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۲۰
- شکل (۱۲-۲) میزان تورم خاک مسلح شده با الیاف پلی پروپیلن (عبدی و همکاران ۲۰۱۲)..... ۲۱
- شکل (۱۳-۲) منحنی تنش- کرنش خاک با الیاف پلی استر در فشار همه جانبه ۵۰ کیلو پاسکال (ماشواری ۲۰۱۱)..... ۲۳
- شکل (۱۴-۲) منحنی تنش- کرنش خاک با الیاف پلی استر در فشار همه جانبه ۱۰۰ کیلو پاسکال (ماشواری ۲۰۱۱)..... ۲۳
- شکل (۱۵-۲) منحنی تنش- کرنش خاک با الیاف پلی استر در فشار همه جانبه ۱۵۰ کیلو پاسکال (ماشواری ۲۰۱۱)..... ۲۴
- شکل (۱۶-۲) اثر الیاف پلی استر بر مقاومت فشاری (کومار و همکاران ۲۰۰۶)..... ۲۵
- شکل (۱۷-۲) منحنی تحکیم خاک مسلح شده با الیاف نایلون (استبراق و همکاران ۲۰۱۱)..... ۲۶
- شکل (۱۸-۲) منحنی تنش- کرنش و فشار آب حفره ای در فشار همه جانبه ۲۰۰ کیلو پاسکال (استبراق و همکاران ۲۰۱۱)..... ۲۸
- شکل (۱۹-۲) منحنی تنش- کرنش و فشار آب حفره ای در فشار همه جانبه ۳۰۰ کیلو پاسکال (استبراق و همکاران ۲۰۱۱)..... ۲۸
- شکل (۲۰-۲) منحنی تنش- کرنش و فشار آب حفره ای در فشار همه جانبه ۴۰۰ کیلو پاسکال (استبراق و همکاران ۲۰۱۱)..... ۲۹
- شکل (۲۱-۲) حد روانی خاک تثبیت شده با پودر لاستیک (پروشت تام و همکاران ۲۰۰۷)..... ۳۰

- شکل (۲-۲۲) حد خمیری و نشانه خمیری خاک تثبیت شده با پودر لاستیک (پروشت نام و همکاران ۲۰۰۷)..... ۳۰
- شکل (۲-۲۳) وزن مخصوص خاک تثبیت شده با پودر لاستیک (پروشت نام و همکاران ۲۰۰۷)..... ۳۱
- شکل (۲-۲۴) رطوبت بهینه خاک تثبیت شده با پودر لاستیک (پروشت نام و همکاران ۲۰۰۷)..... ۳۱
- شکل (۲-۲۵) مقاومت فشاری محدود نشده خاک تثبیت شده با پودر لاستیک (پروشت نام و همکاران ۲۰۰۷)..... ۳۲
- شکل (۲-۲۶) رفتار مکانیکی الیاف درون خاک (تانگ و همکاران ۲۰۰۷)..... ۳۳
- شکل (۲-۲۷) درگیری مصالح دانه‌ای با الیاف (تانگ و همکاران ۲۰۱۰)..... ۳۳
- شکل (۲-۲۸) شیار و گودال ایجاد شده بر سطح الیاف (تانگ و همکاران ۲۰۱۰)..... ۳۴
- شکل (۲-۲۹) اثر نانو رس بر رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک (تاها و تاها ۲۰۱۲)..... ۳۴
- شکل (۲-۳۰) اثر نانو رس بر شاخص خمیری و انقباض خطی (تاها و تاها ۲۰۱۲)..... ۳۵
- شکل (۲-۳۱) اثر نانو آلومینیم بر حداکثر وزن مخصوص خشک خاک (تاها و تاها ۲۰۱۲)..... ۳۶
- شکل (۲-۳۲) تصویر SEM خاک: A خاک طبیعی، B خاک تثبیت شده با نانو آلومینیم (تاها و تاها ۲۰۱۲)..... ۳۶
- شکل (۲-۳۳) اثر نانو مس بر حداکثر وزن مخصوص خشک خاک (تاها و تاها ۲۰۱۲)..... ۳۷
- شکل (۲-۳۴) تصویر SEM خاک تثبیت شده با نانو مس (تاها و تاها ۲۰۱۲)..... ۳۸
- شکل (۲-۳۵) اثر نانو سیلیس و سدیم کلرید بر شاخص تورم خاک (پام و نگوین ۲۰۱۴)..... ۳۹
- شکل (۲-۳۶) اثر دما بر شاخص تورم خاک مخلوط شده با نانو سیلیس (پام و نگوین ۲۰۱۴)..... ۳۹
- شکل (۳-۱) تصویر الیاف بازیافتی پلی استر..... ۴۴
- شکل (۳-۲) تصویر الیاف شیشه..... ۴۵
- شکل (۳-۳) نمودار آزمایش ایکس ری خاک مخلوط شده با نانو سیلیس..... ۴۶
- شکل (۳-۴) مراحل انجام آزمایش تک محوری..... ۵۱
- شکل (۳-۵) نمای کلی از جعبه برش (داس و همکاران ۲۰۱۲)..... ۵۴
- شکل (۳-۶) مراحل انجام آزمایش برش مستقیم..... ۵۵
- شکل (۴-۱) اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر حد روانی خاک رس..... ۵۹
- شکل (۴-۲) اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر حد خمیری خاک رس..... ۵۹
- شکل (۴-۳) اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر حد انقباض خاک..... ۶۰
- شکل (۴-۴) اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر وزن مخصوص خشک خاک..... ۶۰

- شکل (۴-۵) اثر افزایش رطوبت بر توزیع الیاف..... ۶۱
- شکل (۴-۶) اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر مقاومت برشی خاک..... ۶۳
- شکل (۴-۷) اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر مقاومت فشاری محدود نشده..... ۶۵
- شکل (۴-۸) تغییر شکل نمونه ها: a، خاک طبیعی: b، خاک مسلح شده..... ۶۵
- شکل (۴-۹) نمودار تنش-جابجایی افقی خاک مسلح شده با الیاف شیشه..... ۶۸
- شکل (۴-۱۰) نمودار تنش-کرنش خاک مسلح شده با الیاف شیشه..... ۶۹
- شکل (۴-۱۱) منحنی تراکم خاک تثبیت شده با نانو سیلیس..... ۷۰
- شکل (۴-۱۲) نمودار تنش-جابجایی خاک تثبیت شده با نانو سیلیس..... ۷۲
- شکل (۴-۱۳) پوش گسیختگی خاک تثبیت شده با نانو سیلیس..... ۷۳
- شکل (۴-۱۴) منحنی تنش-کرنش خاک تثبیت شده با نانو سیلیس..... ۷۴
- شکل (۴-۱۵) رفتار خاک تثبیت شده با نانو سیلیس: A، خاک تثبیت شده، B، خاک طبیعی..... ۷۵
- شکل (۴-۱۶) اثر نانو سیلیس بر مدول ارتجاعی خاک..... ۷۶
- شکل (۴-۱۷) تصویر (FESEM) خاک تثبیت شده با نانو سیلیس..... ۷۷
- شکل (۴-۱۸) اثر نانو سیلیس بر پیوند بین ذرات خاک..... ۷۸
- شکل (۴-۱۹) اثر نانو سیلیس بر فاصله بین ذرات خاک..... ۷۸
- شکل (۴-۲۰) مکانسیم رفتار مکانیکی بین سطح الیاف و ذرات خاک..... ۷۹
- شکل (۵-۱) منحنی تنش-جابجایی خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۰/۵٪ نانو سیلیس..... ۸۳
- شکل (۵-۲) منحنی تنش-جابجایی خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۰/۷٪ نانو سیلیس..... ۸۴
- شکل (۵-۳) منحنی تنش-جابجایی خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۱/۰٪ نانو سیلیس..... ۸۶
- شکل (۵-۴) نمودار تنش-کرنش خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۰/۵٪ نانو سیلیس..... ۸۹
- شکل (۵-۵) نمودار تنش-کرنش خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۰/۷٪ نانو سیلیس..... ۹۰
- شکل (۵-۶) نمودار تنش-کرنش خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۱/۰٪ نانو سیلیس..... ۹۰

- شکل (۷-۵) a. رفتار خاک تثبیت شده با نانو سیلیس، b. رفتار خاک مسلح شده و تثبیت شده با نانو سیلیس
- ۹۲.....
- شکل (۸-۵) مدول ارتجاعی (E_{50}) خاک مسلح شده و تثبیت شده با ۰/۵٪ نانو سیلیس..... ۹۲
- شکل (۹-۵) مدول ارتجاعی (E_{50}) خاک مسلح شده و تثبیت شده با ۰/۷٪ نانو سیلیس..... ۹۳
- شکل (۱۰-۵) مدول ارتجاعی (E_{50}) خاک مسلح شده و تثبیت شده با ۱/۰٪ نانو سیلیس..... ۹۳
- شکل (۱۱-۵) منحنی تنش-جابجایی خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۰/۵٪ نانو رس..... ۹۶
- شکل (۱۲-۵) منحنی تنش-جابجایی خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۱/۰٪ نانو رس..... ۹۷
- شکل (۱۳-۵) منحنی تنش-جابجایی خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۱/۵٪ نانو رس..... ۹۹
- شکل (۱۴-۵) نمودار تنش- کرنش خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۰/۵٪ نانو رس..... ۱۰۱
- شکل (۱۵-۵) نمودار تنش- کرنش خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۱/۰٪ نانو رس..... ۱۰۲
- شکل (۱۶-۵) نمودار تنش- کرنش خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۱/۵٪ نانو رس..... ۱۰۲
- شکل (۱۷-۵) مدول ارتجاعی (E_{50}) خاک مسلح شده و تثبیت شده با ۰/۵٪ نانو رس..... ۱۰۳
- شکل (۱۸-۵) مدول ارتجاعی (E_{50}) خاک مسلح شده و تثبیت شده با ۱/۰٪ نانو رس..... ۱۰۴
- شکل (۱۹-۵) مدول ارتجاعی (E_{50}) خاک مسلح شده و تثبیت شده با ۱/۵٪ نانو رس..... ۱۰۴
- شکل (۲۰-۵) مکانسیم رفتار مکانیکی بین سطح الیاف و نانو سیلیس و ذرات خاک..... ۱۰۵

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) پارامترهای برشی در نسبت طول به عرض ۷۵ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۸
- جدول (۲-۲) پارامترهای برشی در نسبت طول به عرض ۱۰۰ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۹
- جدول (۳-۲) پارامترهای برشی در نسبت طول به عرض ۱۲۵ (کومار و همکاران ۲۰۱۲)..... ۱۹
- جدول (۴-۲) مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک مسلح شده با الیاف پلی استر (ماشواری ۲۰۱۱)..... ۲۴
- جدول (۵-۲) پارامترهای تحکیم و برشی (استبراق و همکاران ۲۰۱۱)..... ۲۷
- جدول (۱-۳) مشخصات فیزیکی الیاف پلی استر بازیافتی..... ۴۴
- جدول (۲-۳) مشخصات فیزیکی الیاف شیشه..... ۴۵
- جدول (۳-۳) مشخصات فیزیکی نانو سیلیس..... ۴۶
- جدول (۴-۳) ترکیب‌های شیمیایی نانو سیلیس..... ۴۷
- جدول (۵-۳) مشخصات فیزیکی نانو رس..... ۴۷
- جدول (۶-۳) ترکیب‌های شیمیایی نانو رس..... ۴۸
- جدول (۱-۴) اثر الیاف بازیافتی پلی استر بر پارامترهای برشی..... ۶۴
- جدول (۲-۴) پارامترهای برشی خاک مسلح شده با الیاف شیشه..... ۶۸
- جدول (۳-۴) پارامترهای برشی خاک تثبیت شده با نانو سیلیس..... ۷۳
- جدول (۱-۵) پارامترهای برشی خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۰/۵٪ نانو سیلیس..... ۸۷
- جدول (۲-۵) پارامترهای برشی خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۰/۷٪ نانو سیلیس..... ۸۷
- جدول (۳-۵) پارامترهای برشی خاک مسلح شده با الیاف بازیافتی پلی استر و تثبیت شده با ۱/۰٪ نانو سیلیس..... ۸۷
- جدول (۴-۵) پارامترهای برشی خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۰/۵٪ نانو رس..... ۹۹
- جدول (۵-۵) پارامترهای برشی خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۱/۰٪ نانو رس..... ۹۹
- جدول (۶-۵) پارامترهای برشی خاک مسلح شده با الیاف شیشه و تثبیت شده با ۱/۵٪ نانو رس..... ۱۰۰

فهرست علائم اختصاری

σ_n	تنش نرمال
Φ	زاویه اصطکاک داخلی
c	چسبندگی
l/d	نسبت طول به عرض
u_w	فشار آب حفره‌ایی
ε	کرنش
γ_d	وزن مخصوص خشک
ω	رطوبت بهینه
G_s	وزن مخصوص ویژه
γ	وزن مخصوص
V	حجم قالب
M_w	وزن آب
M_s	وزن خاک خشک
LL	حد روانی
PL	حد خمیری
PI	شاخص خمیری
τ	تنش برشی
σ	مقاومت فشاری