



دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - ژئوتکنیک

موضوع:

تاثیر انواع الیاف بر مقاومت ماسه تثبیت شده با سیمان حاوی نانوسیلیس

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم زاده

نام دانشجو:

ساعد توکلی

بهمن ۱۳۹۵

بسم الله الرحمن الرحيم



هیات داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان **تاثیر انواع الیاف بر مقاومت ماسه تثبیت شده با سیمان حاوی نانوسیلیس** توسط آقای **ساعد توکلی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک مورد تأیید قرار می‌دهند.

۴- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه آقای دکتر امضاء

ت

تقدیر و تشکر

از استاد گرامیم جناب آقای دکتر قاسم‌زاده که در این پایان نامه کمک و راهنمایی شایانی به اینجانب نمودند سپاسگزارم. همچنین از تکنسین محترم آزمایشگاه جناب آقای منافی به خاطر کمک‌هایی که در طول انجام آزمایش‌ها به بنده نمودند کمال قدردانی را دارم.

استفاده از تکنیک‌های تثبیت و تسلیح در چند دهه اخیر، به دلیل ساخت و ساز در محل‌های جدید و زیاد بودن مناطق با زمین‌های با کیفیت پایین، به طور قابل توجهی افزایش یافته است، که از آن جمله زمین‌های با خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی شده است. به منظور بررسی تأثیر افزودن نانوسیلیس، خاکستر پوسته برنج (RHA^1) و الیاف روی خصوصیات مقاومتی و شکل‌پذیری ماسه‌سیمان مجموعه‌ای از آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری و برش مستقیم انجام شد. برای رسیدن به اهداف مطالعه نمونه‌ها با به کار بردن مقادیر مختلفی از مواد افزودنی آماده شدند. مقدار سیمان ۴ درصد وزن خشک خاک ماسه‌ای در نظر گرفته شد و نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز عمل‌آوری شدند. نانوسیلیس و خاکستر پوسته برنج (RHA) به ترتیب در نسبت‌های $0/3$ تا $1/5$ درصد و ۳ تا ۱۵ درصد وزن خشک مخلوط به کار برده شدند. الیاف استفاده شده در این تحقیق الیاف شیشه، پلی پروپیلن و پلی وینل الکل (PVA^2) بودند، که در نسبت‌های مختلف ۰، $0/3$ و $0/6$ درصد وزن خشک خاک استفاده و به صورت تصادفی در کل مخلوط توزیع شدند و نمونه‌ها در دانسیته نسبی ۸۰ درصد آماده شدند. مقاومت ماسه‌سیمان با افزودن افزودنی‌ها و الیاف افزایش پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که افزودن نانوسیلیس، خاکستر پوسته برنج (RHA) و الیاف باعث افزایش مقاومت فشاری تک‌محوری (UCS) و افزایش کرنش محوری گسیختگی می‌شود. گنجاندن الیاف در خاک تقویت شده با سیمان باعث کاهش سختی و کاهش کمتر مقاومت پس از بیشینه مقاومت می‌شود، رفتار ماسه‌سیمان را از حالت ترد به شکل‌پذیر تغییر می‌دهد و مقاومت برشی و پارامترهای مربوط به آن، شامل چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی را افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: خاک تقویت شده با سیمان و الیاف ، مقاومت فشاری ، نانوسیلیس ،

خاکستر پوسته برنج ، مقاومت برشی ،الیاف

¹ Rice husk ash

² Polyvinyl alcohol

۱	فصل اول: پیش گفتار.....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- ضرورت انجام تحقیق.....
۴	۳-۱- هدف از تحقیق.....
۴	۴-۱- سوالات تحقیق.....
۵	۵-۱- ساختار پایان نامه.....
۶	فصل دوم: مبانی تئوری و مروری بر تحقیقات گذشته.....
۷	۱-۲- مقدمه.....
۷	۲-۲- خاک‌ها از نظر ساختار.....
۷	۱-۲-۲- شن و ماسه.....
۸	۲-۲-۲- خاک رس.....
۹	۳-۲- تثبیت.....
۹	۱-۳-۲- کلیات تثبیت خاک.....
۱۰	۲-۳-۲- تثبیت خاک به وسیله سیمان پرتلند.....
۱۱	۳-۳-۲- نانوسیلیس.....
۱۳	۴-۳-۲- خاکستر پوسته برنج (RHA).....
۱۶	۴-۲- تسلیح.....
۱۶	۱-۴-۲- مقدمه.....
۱۶	۲-۴-۲- تاریخچه تسلیح خاک.....

۱۷	۲-۴-۳- طبقه‌بندی کلی تسلیح خاکها.....
۱۷	۲-۴-۴- ژئوسنتتیکها.....
۱۸	۲-۴-۵- الیاف مجزا با توزیع تصادفی.....
۱۹	۲-۴-۶- الیاف طبیعی.....
۱۹	۲-۴-۷- الیاف مصنوعی.....
۲۰	۲-۴-۸- خصوصیات الیاف پلیمری.....
۲۱	۲-۴-۹- الیاف پلی پروپیلن.....
۲۳	۲-۴-۱۰- الیاف پلی استر.....
۲۳	۲-۴-۱۱- الیاف پلی وینل الکل.....
۲۴	۲-۴-۱۲- الیاف شیشه.....
۲۶	۲-۵-۵- مروری بر تحقیقات گذشته.....
۲۶	۲-۵-۱- نانوسیلیس.....
۳۴	۲-۵-۲- خاکستر پوسته برنج (RHA).....
۳۸	۲-۵-۳- الیاف.....
۶۶	۲-۶- جمع‌بندی.....
۶۸	فصل سوم: مطالعات آزمایشگاهی و تعیین خواص مواد و مصالح مصرفی.....
۶۹	۳-۱- مقدمه.....
۶۹	۳-۲- مواد و مصالح مصرفی.....
۶۹	۳-۲-۱- خاک.....
۷۰	۳-۲-۲- سیمان.....

۷۱	۳-۲-۳- آب
۷۱	۳-۲-۴- نانوسیلیس پودری
۷۳	۳-۲-۵- خاکستر پوسته برنج (RHA)
۷۵	۳-۲-۶- الیاف
۷۷	۳-۳- روش تهیه نمونه‌ها
۷۷	۳-۳-۱- نحوه اختلاط مخلوط
۷۸	۳-۳-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام آزمایش‌ها
۸۰	۳-۴-۱- دستورالعمل انجام آزمایش‌ها
۸۰	۳-۴-۱-۱- آزمایش تراکم
۸۲	۳-۴-۲- آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده (تک محوری)
۸۴	۳-۴-۳- آزمایش برش مستقیم
۸۶	۳-۴-۴- آزمایش میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)
۹۱	فصل چهارم: نتایج تحقیق و بررسی آن‌ها
۹۲	۴-۱- مقدمه
۹۲	۴-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده
۹۳	۴-۲-۱-۱- تاثیر افزودن خاکستر پوسته برنج
۹۶	۴-۲-۲- تاثیر افزودن نانوسیلیس
۱۰۰	۴-۲-۳- مقایسه اثر افزودن RHA و نانوسیلیس
۱۰۵	۴-۲-۴- نتایج بررسی میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)
۱۱۰	۴-۲-۵- تاثیر افزودن الیاف

۱۱۷.....	۳-۴- آزمایش برش مستقیم.
۱۱۷.....	۳-۴-۱- تاثیر افزایش نانوسیلیس برنتایج آزمایش برش مستقیم.
۱۱۹.....	۳-۴-۲- تاثیر افزودن الیاف برنتایج آزمایش برش مستقیم.
	۳-۴-۳- مقایسه پارمترهای مقاومت برشی حاصل از آزمایش‌های تک‌محوری و برش
۱۳۰.....	مستقیم.
۱۳۱.....	فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات.
۱۳۲.....	۵-۱- مقدمه.
۱۳۲.....	۵-۲- نتایج.
۱۳۵.....	۵-۳- پیشنهادات.
۱۳۶.....	مراجع:

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲- انواع الیاف مصنوعی و مشخصات فیزیکی آن‌ها [۷۹].....	۲۰
جدول ۲-۲- پارامترهای مقاومتی بدست آمده از آزمایش CU [۶۲].....	۵۱
جدول ۳-۲- پارامترهای مقاومتی بدست آمده از آزمایش CD [۶۲].....	۵۱
جدول ۱-۳- خصوصیات فیزیکی ماسه ۱۶۱ فیروزکوه.....	۷۰
جدول ۲-۳- آنالیز شیمیایی سیمان تهران نوع II رده مقاومتی ۴۲۵.....	۷۱
جدول ۳-۳- نتایج آزمایش‌های فیزیکی انجام شده روی سیمان.....	۷۱
جدول ۴-۳- آنالیز نانوسیلیس.....	۷۱
جدول ۵-۳- آنالیز خاکستر پوسته برنج (RHA).....	۷۴
جدول ۶-۳- مشخصات الیاف استفاده شده.....	۷۵
جدول ۱-۴- مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی برای نمونه پایه و نمونه حاوی ۰/۶٪ نانوسیلیس.....	۱۱۹
جدول ۲-۴- جدول مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی مخلوط براساس نوع و درصد استفاده شده از الیاف.....	۱۲۵
جدول ۳-۴- جدول مقادیر حاصله زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی مخلوط از آزمایش‌های برش مستقیم و تک محوری، براساس نوع و درصد استفاده شده از الیاف.....	۱۳۰

فهرست اشکال

شکل ۱-۲- تولید سالیانه برنج در ایران طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۶۰ [۲۱].....	۱۴
شکل ۲-۲- تصویر SEM گرفته شده از خاکستر حاصل از احتراق پوسته معمولی [۴۴].....	۱۵
شکل ۳-۲- الیاف پلی پروپیلن.....	۲۱
شکل ۴-۲- الیاف پلی وینل الکل.....	۲۴
شکل ۵-۲- الیاف شیشه.....	۲۶
شکل ۶-۲- مقاومت فشاری خمیرهای سیمان حاوی مقادیر مختلف نانوسیلیس [۳۱].....	۲۸
شکل ۷-۲- تاثیر سیمان و نانوسیلیس بر منحنی‌های تراکم خاک SP [۳۸].....	۳۰
شکل ۸-۲- تاثیر افزودن انوسیلیس بر مقاومت تک‌محوری خاک SP [۳۸].....	۳۰
شکل ۹-۲- تاثیر افزودن نانوسیلیس بر مقاومت [۳۹].....	۳۲
شکل ۱۰-۲- تاثیر افزودن نانوسیلیس بر بهبود مقاومت [۳۹].....	۳۲
شکل ۱۱-۲- تاثیر افزودن نانوسیلیس و عمل‌آوری روی مقاومت تک‌محوری [۴۰].....	۳۳
شکل ۱۲-۲- تاثیر سیمان و RHA بر روی حداکثر وزن مخصوص خشک خاک [۴۲].....	۳۴
شکل ۱۳-۲- تاثیر سیمان و RHA بر روی مقاومت فشاری تک‌محوری [۴۲].....	۳۴
شکل ۱۴-۲- تاثیر RHA بر روی مقاومت فشاری تک‌محوری [۴۳].....	۳۵
شکل ۱۵-۲- تاثیر RHA بر روی CBR [۴۴].....	۳۶
شکل ۱۶-۲- تاثیر RHA خاکستربادی بر روی مقاومت فشاری تک‌محوری [۴۶].....	۳۷
شکل ۱۷-۲- تاثیر RHA بر روی چسبندگی و زاویه اصطکاک خاک (HES=CH, NES=CL) (۵۰).....	۳۸
شکل ۱۸-۲- تغییرات تنش انحرافی - کرنش محوری [۶۶].....	۴۴
شکل ۱۹-۲- کرنش حجمی - کرنش محوری در آزمایش CD برای درصد‌های وزنی مختلف الیاف [۶۶].....	۴۵
شکل ۲۰-۲- تغییرات تنش انحرافی حداکثر بر حسب درصد وزنی عناصر تسلیح و نسبت اضلاع عناصر در آزمایش CD [۶۶].....	۴۵
شکل ۲۱-۲- تاثیر طول الیاف بر تنش تفاضلی گسیختگی نمونه‌های مسلح شده با مقادیر مختلف الیاف پلی پروپیلن [۶۹].....	۴۸
شکل ۲۲-۲- تاثیر طول الیاف بر الف) زاویه اصطکاک، ب) چسبندگی نمونه‌های مسلح‌شده با مقادیر مختلف الیاف [۶۹].....	۴۹
شکل ۲۳-۲- اثر "پل" الیاف در خاک از توسعه بیشتر ترک‌های کششی جلوگیری می‌کند [۷۰].....	۵۳
شکل ۲۴-۲: تصاویر SEM الیاف در خاک غیرسیمانی مسلح (درصد رشته ۰/۲۵) (a) خاک غیرسیمانی مسلح با رشته با بزرگ‌نمایی ۱۵۰۰ بار، (b) خاک غیرسیمانی با بزرگ‌نمایی ۱۵۰۰ بار (c) سطح رشته در خاک غیرسیمانی با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰ بار، (d) توزیع رشته در بدنه خاک، (e) چاله‌ها و شیارهای ایجاد شده در سطح الیاف [۷۰].....	۵۳

شکل ۲-۲۵: تصاویر SEM: (a) سطح الیاف در خاک سیمانی با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰ بار، (b) بزرگ‌نمایی محلی محصولات هیدراته مشخص شده در شکل [۷۰].....	۵۴
شکل ۲-۲۶: شکل میکروسکوپی ذرات خاک چسبیده به بدنه الیاف پس از آزمایش بیرون کشیدن [۷۴].....	۵۷
شکل ۲-۲۷: تصویر میکروسکوپی شیارهای شکل گرفته روی سطح الیاف پس از آزمایش بیرون کشیدن [۷۴].....	۵۸
شکل ۲-۲۸: تغییرات تنش برشی و جابجایی قائم با جابجایی افقی برای ماسه اتاوا مسلح با الیاف (a) الیاف نوع ۱، درصد الیاف ۱/۵٪، (b) الیاف نوع ۲، درصد الیاف ۱٪ [۷۵].....	۶۰
شکل ۲-۲۹: تغییرات تنش برشی و جابجایی قائم با جابجایی افقی برای ماسه BGL مسلح با رشته.....	۶۰
شکل ۲-۳۰: تأثیر (a) درصد الیاف، (b) نسبت ابعاد بر مقاومت برشی مخلوط ماسه ریز [۷۵].....	۶۱
شکل ۲-۳۱: تأثیر (a) درصد الیاف، (b) نسبت ابعاد بر مقاومت برشی ماسه درشت [۷۵].....	۶۱
شکل ۲-۳۲: تأثیر طول الیاف روی مقاومت فشاری محصورنشده [۸۷].....	۶۵
شکل ۲-۳۳: تأثیر طول الیاف روی مقاومت فشاری محصورنشده [۸۷].....	۶۶
شکل ۳-۱: منحنی دانه‌بندی ماسه ۱۶۱ فیروزکوه.....	۶۹
شکل ۳-۲: منحنی دانه‌بندی کائولینیت.....	۷۰
شکل ۳-۳: تصویر SEM ذرات نانوسیلیس.....	۷۲
شکل ۳-۴: نانوسیلیس پودری استفاده شده در تحقیق.....	۷۲
شکل ۳-۵: شلتوک دپو شده در شالی کوبی.....	۷۳
شکل ۳-۶: شلتوک پس از سوختن در کوره و تبدیل شدن به RHA.....	۷۴
شکل ۳-۷: RHA آسیاب شده.....	۷۴
شکل ۳-۸: الیاف پلی وینل الکل (RHA) استفاده شده در تحقیق.....	۷۵
شکل ۳-۹: الیاف پلی پروپیلن استفاده شده در تحقیق.....	۷۶
شکل ۳-۱۰: الیاف شیشه استفاده شده در تحقیق.....	۷۶
شکل ۳-۱۱: مخلوط دارای الیاف، آماده برای قالبگیری.....	۷۸
شکل ۳-۱۲: محفظه عمل‌آوری نمونه‌ها.....	۷۹
شکل ۳-۱۳: دیاگرام نمونه تحت بار در آزمایش تک محوری.....	۸۳
شکل ۳-۱۴: نمونه شکسته شده در آزمایش تک محوری.....	۸۴
شکل ۳-۱۵: دستگاه آزمایش تک محوری استفاده شده.....	۸۴
شکل ۳-۱۶: دستگاه آزمایش برش مستقیم.....	۸۶
شکل ۳-۱۷: نوک کانتیلور میکروسکوپ AFM.....	۸۸
شکل ۳-۱۸: ساختمان شماتیک یک میکروسکوپ AFM.....	۸۹
شکل ۳-۱۹: نمونه آماده شده درون میکروسکوپ AFM.....	۹۰
شکل ۳-۲۰: میکروسکوپ AFM استفاده شده.....	۹۰

شکل ۴-۱- نمودار مقاومت فشاری محصورنشده در مقابل کرنش محوری برای خاک تثبیت شده با درصد های مختلف RHA.....	۹۴
شکل ۴-۲- تاثیر درصدهای مختلف RHA برروی مقاومت فشاری محصورنشده.....	۹۴
شکل ۴-۳- تاثیر درصدهای مختلف RHA برروی کرنش گسیختگی.....	۹۵
شکل ۴-۴- نمونه تثبیت شده با RHA قبل و بعد از انجام آزمایش تک محوری.....	۹۶
شکل ۴-۵- نمودار مقاومت فشاری محصورنشده در مقابل کرنش محوری برای خاک تثبیت شده با درصد های مختلف نانوسیلیس.....	۹۸
شکل ۴-۶- تاثیر درصدهای مختلف نانوسیلیس برروی مقاومت فشاری محصورنشده.....	۹۹
شکل ۴-۷- تاثیر درصدهای مختلف نانوسیلیس برروی کرنش گسیختگی.....	۹۹
شکل ۴-۸- نمونه حاوی نانوسیلیس بعد از انجام آزمایش تک محوری.....	۱۰۰
شکل ۴-۹- نمودار تنش-کرنش مربوط به نمونه های حاوی ۰/۳٪ نانوسیلیس و ۳٪ RHA.....	۱۰۱
شکل ۴-۱۰- نمودار تنش-کرنش مربوط به نمونه های حاوی ۰/۶٪ نانوسیلیس و ۶٪ RHA.....	۱۰۲
شکل ۴-۱۱- نمودار تنش-کرنش مربوط به نمونه های حاوی ۱٪ نانوسیلیس و ۱۰٪ RHA.....	۱۰۲
شکل ۴-۱۲- نمودار تنش-کرنش مربوط به نمونه های حاوی ۱/۵٪ نانوسیلیس و ۱۵٪ RHA.....	۱۰۳
شکل ۴-۱۳- نمودار تغییرات مقاومت فشاری محصورنشده با افزودن نانوسیلیس و RHA.....	۱۰۳
شکل ۴-۱۴- نمودار نسبت تغییرات مقاومت فشاری محصورنشده با افزودن نانوسیلیس و RHA.....	۱۰۴
شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات کرنش گسیختگی با افزودن نانوسیلیس و RHA.....	۱۰۴
شکل ۴-۱۶- تصویر نمونه حاوی ۱ درصد نانوسیلیس در مانیتور میکروسکوپ؛ الف: نمونه حاوی ۱ درصد نانوسیلیس، ب؛ نمونه حاوی ۱۰ درصد RHA.....	۱۰۶
شکل ۴-۱۷- تصاویر توپوگرافی نمونه ها؛ الف: خاک حاوی ۱ درصد نانوسیلیس، ب: خاک حاوی ۱۰ درصد RHA.....	۱۰۸
شکل ۴-۱۸- تصویر مقاطع عرضی نمونه ها؛ الف: نمونه ی حاوی ۱ درصد نانوسیلیس ب: نمونه ی حاوی ۱۰ درصد RHA.....	۱۰۹
شکل ۴-۱۹- اثر افزودن ۰/۳٪ الیاف شیشه، پلی پروپیلن و PVA برروی مقاومت فشاری محصور نشده.....	۱۱۱
شکل ۴-۲۰- اثر افزودن ۰/۶٪ الیاف شیشه، پلی پروپیلن و PVA برروی مقاومت فشاری محصور نشده.....	۱۱۱
شکل ۴-۲۱- اثر افزودن الیاف پلی پروپیلن برروی مقاومت فشاری محصورنشده.....	۱۱۳
شکل ۴-۲۲- اثر افزودن الیاف پلی وینل الکل برروی مقاومت فشاری محصورنشده.....	۱۱۳
شکل ۴-۲۳- اثر افزودن الیاف شیشه برروی مقاومت فشاری محصورنشده.....	۱۱۴
شکل ۴-۲۴- نمودار نسبت تغییرات مقاومت فشاری محصورنشده در مقابل تغییرات درصدهای استفاده شده از الیاف.....	۱۱۴
شکل ۴-۲۵- نمودار تغییرات کرنش گسیختگی در مقابل تغییرات درصدهای استفاده شده از الیاف.....	۱۱۶

- شکل ۴-۲۶- نمونه مسلح شده با الیاف PVA بعد از انجام آزمایش تک‌محوری.....۱۱۶
- شکل ۴-۲۷- منحنی‌های تنش برشی-جابجایی برشی، برای نمونه پایه.....۱۱۸
- شکل ۴-۲۸- منحنی‌های تنش برشی-جابجایی برشی، برای نمونه پایه حاوی ۰/۶ درصد نانوسیلیس.....۱۱۸
- شکل ۴-۲۹- منحنی‌های تنش برشی-جابجایی برشی، برای نمونه پایه حاوی ۰/۶ درصد نانوسیلیس و ۰/۳ % الیاف پلی وینل الکل.....۱۲۰
- شکل ۴-۳۰- منحنی‌های تنش برشی-جابجایی برشی، برای نمونه پایه حاوی ۰/۶ درصد نانوسیلیس و ۰/۶ % الیاف پلی وینل الکل.....۱۲۰
- شکل ۴-۳۱- منحنی‌های تنش برشی-جابجایی برشی، برای نمونه پایه حاوی ۰/۶ درصد نانوسیلیس و ۰/۳ % الیاف پلی‌پروپیلن.....۱۲۱
- شکل ۴-۳۲- منحنی‌های تنش برشی-جابجایی برشی، برای نمونه پایه حاوی ۰/۶ درصد نانوسیلیس و ۰/۶ % الیاف پلی‌پروپیلن.....۱۲۱
- شکل ۴-۳۳- منحنی‌های تنش برشی-جابجایی برشی، برای نمونه پایه حاوی ۰/۶ درصد نانوسیلیس و ۰/۳ % الیاف شیشه.....۱۲۲
- شکل ۴-۳۴- منحنی‌های تنش برشی-جابجایی برشی، برای نمونه پایه حاوی ۰/۶ درصد نانوسیلیس و ۰/۶ % الیاف شیشه.....۱۲۲
- شکل ۴-۳۵- نمودار تغییرات مقاومت برشی_تنش نرمال، براساس نوع و درصد استفاده شده از الیاف...۱۲۳
- شکل ۴-۳۶- نمودار تغییرات مقاومت برشی_تنش نرمال همراه با پوش گسیختگی نمونه‌ها، براساس نوع و درصد استفاده شده از الیاف.....۱۲۴
- شکل ۴-۳۷- تاثیر افزودن الیاف PVA برروی مقاومت برشی در تنش‌های نرمال مختلف.....۱۲۷
- شکل ۴-۳۸- تاثیر افزودن الیاف pp برروی مقاومت برشی در تنش‌های نرمال مختلف.....۱۲۸
- شکل ۴-۳۹- تاثیر افزودن الیاف شیشه برروی مقاومت برشی در تنش‌های نرمال مختلف.....۱۲۹
- شکل ۴-۴۰- نمونه مسلح شده با الیاف PVA بعد از انجام آزمایش برش مستقیم.....۱۲۹

فصل اول: پیش‌گفتار

۱-۱- مقدمه

خاک طبیعی موجود در محل پروژه‌ها، همواره برای استفاده مناسب نمی باشد و ممکن است در اثر اعمال بار، نشست های قابل توجهی در خاک نامرغوب بوجود آید. در بسیاری از نقاط جهان مصالح خاکی با کیفیت خوب برای ساخت و سازهای مختلف وجود ندارد. در مناطقی مانند حاشیه رودخانه ها، مناطق ساحلی، زمین های مناطق گرمسیری، مناطق ماندابی و تالاب ها به دلیل وجود رطوبت فوق اشباع یا لجن آبدار، در بستر این مناطق، اجرای خاکریزی با روش های معمول که شامل بسترکوبی و آماده سازی بستر برای اجرای خاکریزی می باشد، امکان پذیر نبوده و لازم است روش دیگری به کار گرفته شود [۱]. تقویت خاکهای ضعیف و نامناسب جهت بکارگیری در شیروانی ها، پی ها، بستر جاده ها، سدها و غیره برای ایجاد پیکربندی خاک با ویژگی های مهندسی دلخواه، تثبیت و تسلیح خاک نامیده می شود. هزینه های قابل توجه حمل و نقل مصالح مناسب، از طرفی دیگر مشکلات زیست محیطی در بسیاری از مناطق ناشی از برداشت مصالح مناسب از معادن طبیعی شن و ماسه، مثل بستر رودخانه ها باعث به کارگیری روش های مختلف تثبیت و بهبود مقاومت مصالح محلی گشته است.

مقاومت هر خاک وابسته به پیوند بین ذرات خاک می باشد. این مقاومت را در دو مقیاس کوچک و بزرگ می توان بهبود داد. در مقیاس کوچک مقاومت را باید از طریق ایجاد عاملی برای پیوند بین ذرات بالا برد که به روش های گوناگونی قابل انجام می باشد. این روش ها تحت عنوان تثبیت خاک معرفی می شوند. در مقیاس بزرگ با استفاده از لوازم و تجهیزاتی باید پیوند بین ذرات را استحکام بخشید که غالباً به این روش تسلیح خاک گفته می شود.

در این تحقیق ازدو افزودنی جدیدتر برای کاربرد در تثبیت خاک در کنار سیمان استفاده شده است، که ذرات فعال نانو سیلیس و خاکستر پوسسته برنج (RHA) می باشند. ذرات نانو سیلیس و خاکستر پوسسته برنج (RHA) به دلیل آمورف بودن و به دلیل خاصیت پوزولانی توانایی شرکت در واکنش های شیمیایی درون خاک و علی الخصوص واکنش با آهک و تشکیل ژل سیلیکات کلسیم در محیط آبی را دارند. بنابر این میتوان گفت کاربرد این ذرات به آسانی می تواند جایگزین مناسبی برای

مقدار قابل توجهی از سیمان مورد نظر جهت تثبیت خاکها باشد. آنچه بیشتر در این تحقیق مورد نظر می باشد استفاده از واکنش های پوزولانی نانو سیلیس با آهک آزاد ایجاد شده در واکنش سمنتاسیون می باشد. همچنین به دلیل قطر کوچک ذرات نانو سیلیس و خاکستر پوسته برنج (RHA) این مواد توانایی پر کردن حفرات را نیز دارند. لذا میزان مقاومت فشاری نمونه ها که علاوه بر مقدار چسبندگی به میزان حفرات موجود در نمونه ها نیز مربوط می شود با به کار بردن این ذرات باز هم بهبود می یابد. برای تسلیخ خاک نیز از الیاف استفاده شد. الیاف نوعی از این مواد مسلح کننده است که با توجه به روند روبه رشد تولیدات پلیمری و خصوصیات فیزیکی می توانند نقش بسزایی در اصلاح خواص خاک با هدف افزایش مقاومت برشی و کششی خاک ایفا نمایند. در این تحقیق سه نوع الیاف پلی پروپیلن، پلی وینل الکل و شیشه استفاده شد و نتایج با هم مقایسه شد.

۲-۱- ضرورت انجام تحقیق

خاک طبیعی موجود در محل پروژه ها، همواره برای استفاده مناسب نمی باشد و ممکن است در اثر اعمال بار نشست های قابل توجهی در خاک نامرغوب بوجود آید. تثبیت و تسلیخ خاک های ماسه ای به خصوص خاک های ماسه ای بد دانه بندی شده ی مناطق ساحلی و مناطقی که خاک بستر ماسه ایی است با هدف افزایش تراکم پذیری ، کاهش هدایت هیدرولیکی ، کاهش پتانسیل روانگرایی ، کاهش نشست پذیری و افزایش ظرفیت باربری انجام می شود. روش تثبیت خاک با متداول ترین مواد افزودنی مانند آهک و سیمان تاثیر مثبت روی رفتار خاک دارد. اما افزودن مواد تثبیت کننده ای نظیر پوزولانها که در صنعت بتن از آن استفاده گسترده ای میشود، در محیط های خاکی هنوز به درستی به کار گرفته نشده اند. موادی که با توجه به فعال بودن و خواص پوزولانی، توانایی بالایی در افزایش ظرفیت باربری دارند و به نوعی با توجه به نزدیک بودن محیط های خاکی و بتنی نیاز به توجه بیشتری دارند. به همین دلیل در این تحقیق از دو ماده پوزولانی نانوسیلیس و خاکستر پوسته برنج (RHA) استفاده شد.

به منظور رفع مشکلی که خاک در برابر تنش های برشی و کششی دارد از روش های مختلف تسلیح استفاده می شود که ما در اینجا از دو نوع الیاف متداول شیشه ، پلی پروپیلن و یک نوع الیاف جدیدتر به نام پلی وینل الکل استفاده کردیم. در این بحث مطالعات زیادی انجام شده ولی اثر این الیاف روی خاک ماسه ای و بخصوص خاک ماسه ای سیمانته شده و مقایسه نتایج با هم به درستی پرداخته نشده است. به همین خاطر در این تحقیق در این تحقیق از این سه نوع الیاف استفاده کرده و نتایج را به منظور شناختن گزینه بهتر مقایسه کردیم.

۱-۳- هدف از تحقیق

هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر درصدهای مختلف هریک از مواد افزودنی، بر مقاومت و تغییر شکل خاک است. جهت بررسی میزان افزایش مقاومت ماسه سیمانته شده با افزودن نانوسیلیس و خاکستر پوسته برنج ، مقایسه بین نتایج این دو افزودنی و رسیدن به درصد بهینه هر کدام از آنها، آزمایش های مقاومت فشاری محصور نشده بر روی پنج درصد مختلف از هر کدام از آنها انجام شد. جهت بررسی تاثیر تسلیح خاک با استفاده از الیاف آزمایش های مقاومت فشاری محصور نشده و برش مستقیم، بر روی خاک مسلح نشده و خاک تسلیح شده با سه نوع الیاف مختلف، در سه درصد مختلف از هر الیاف انجام شد. در این تحقیق از سه نوع الیاف پلی پروپیلن، پلی وینل الکل و شیشه استفاده شد.

۱-۴- سوالات تحقیق

سوالات تحقیق عبارتند از:

۱- نانوسیلیس و خاکستر پوسته برنج (RHA)، روی مقاومت فشاری خاک تقویت شده با سیمان،

چه میزان تاثیر دارد؟

۲- مقادیر بهینه افزودن نانوسیلیس و RHA، در خاک تقویت شده با سیمان، چه مقدار است؟

۳- مقایسه تاثیر نانوسیلیس و خاکستر پوسته برنج و اینکه کدام یک در تثبیت خاک عملکرد

بهتری دارد؟

۴- تاثیر الیاف پلی وینل الکل، پلی پروپیلن و شیشه روی مقاومت فشاری و برشی خاک

تقویت شده با سیمان چگونه است؟

۵- کدام یک از الیاف عملکرد بهتری در تسلیح خاک دارد؟

۶- مقدار بهینه استفاده از الیاف چه میزان است؟

۱-۵- ساختار پایان نامه

مطالب این تحقیق در قالب پنج فصل زیر تنظیم و ارایه شده است:

فصل اول که پیش روست، شامل معرفی پایان نامه ، ضرورت و هدف از تحقیق و معرفی بخشهای

مختلف پایان نامه است.

در فصل دوم، به شرح مختصری از کلیات در باره خاک، کلیات تثبیت و تسلیح و تاریخچه آنها و

مواد تثبیت کننده و مسلح کننده استفاده شده در این پایان نامه و مروری بر تحقیقات انجام شده

درباره تاثیر استفاده از این مواد تثبیت کننده و الیاف پرداخته شده است.

در فصل سوم، شرح مفصلی از روش های ساخت نمونه ها و شیوه انجام آزمایش های انجام شده ،

همراه با معرفی مصالح به کار برده شده ارائه شده است.

فصل چهارم، شامل نتایج آزمایشهای انجام شده ، مقایسه و تحلیل آنهاست.

در فصل پنجم، به نتیجه گیری کلی و ارائه پیشنهادها پرداخته شده است.

در انتها، منابع و مراجع مورد استفاده به عنوان بخش پایانی آورده شده است.

فصل دوم: مبانی تئوری و مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱-مقدمه

دربسیاری از نقاط جهان مصالح خاکی با کیفیت خوب برای ساخت سازهای مختلف وجود ندارد. با وجود ساخت و سازهای جدید و مشکلات و هزینه‌های موجود برای حمل خاک با کیفیت به محل پروژه، استفاده از تکنیک‌های تثبیت و تسلیح به منظور اصلاح و بهبود رفتار خاک امری اجتناب ناپذیر است.

به منظور شناسایی و درک موضوع جهت تفسیر بهتر نتایج، در این فصل سعی شده است شرح مختصری از ساختار خاک، کلیاتی راجع به تثبیت و تسلیح و شرح مختصری از مواد استفاده شده در تحقیق شامل نانوسیلیس، خاکستر پوسته برنج، الیاف شیشه، الیاف پلی پروپیلن و الیاف پلی وینل الکل ارائه گردد. همچنین سعی شده است خلاصه‌ای از پژوهش‌های گذشته بر روی تاثیر هر کدام از مواد استفاده شده در تحقیق، بر روی پارامترهای خاک آورده شود.

۲-۲- خاک‌ها از نظر ساختار

۲-۲-۱-شن و ماسه

شن و ماسه مواد بدون سیمان و مجزائی هستند که از متلاشی شدن طبیعی سنگ‌های سطح زمین حاصل می‌شوند. با وجود اینکه این مواد در سطح زمین همیشه با هم یافت می‌شوند ولی در نوع و دانه بندی با هم تفاوت‌هایی دارند. طبق تعریف ASTM ماسه (Sand) عبارت است از مواد زاویه داری که از سایش و خرد شدن طبیعی سنگ‌ها حاصل شده و دانه‌های آن از الک شماره ۳/۸ اینچ و تقریباً تماماً از الک شماره ۴ یا ۴/۷۶ میلیمتر عبور نماید و یا اینکه تماماً روی الک شماره ۲۰۰ باقی بماند. شن (Gravel) عبارت از مصالحی است که به طور طبیعی از سایش و خرد شدن سنگ‌ها حاصل شده و غالباً روی الک شماره ۴ یا ۴/۷۶ میلیمتر باقی بماند و تماماً از الک شماره $\frac{1}{2}$ ، (۲) اینچ عبور نمایند.

۲-۲-۲- خاک رس

خاک های رسی آن دسته از خاک های ریزدانه هستند که ذرات آن دارای اندازه ای کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر بوده و از کانی های رسی تشکیل شده باشند. البته برای قرار گرفتن یک خاک در دسته ی رس ها، می بایست خاک از خود رفتار خمیری نیز نشان دهد و تنها اندازه ی ذرات ملاک نیست. در سیستم طبقه بندی متحد خاک ها نیز بر این موضوع تأکید می شود. یادآوری می شود که خاک های رسی اغلب از تخریب شیمیایی سنگ ها به وجود می آیند و همانطور که می دانیم تخریب شیمیایی سنگ ها از عواملی نظیر هوازدگی، تبادل یونی در محیط های خورنده و باران های اسیدی حاصل می شود و به دلیل آن که خاک های رسی بر اثر فعل و انفعالات شیمیایی به اندازه ی کافی دچار تخریب شیمیایی شده اند، امکان تخریب بیشتر در این خاک ها وجود ندارد.

کانی های تشکیل دهنده ی رس از دو واحد اصلی تشکیل می شوند: چهار وجهی سیلیس و هشت وجهی آلومین. از ترکیب چهاروجهی های سیلیس، صفحات سیلیکا و از ترکیب واحدهای هشت وجهی آلومین، صفحات گیسیت تولید می شود. معمولاً صفحات سیلیکا به شکل دوزنقه و هشت وجهی های آلومین با مستطیل نشان داده می شوند؛ و در نهایت از ترکیب این واحدهای بنیادی سه کانی اصلی رس ها یعنی کائولینیت، ایلیت و مونت موریلونیت به وجود می آیند. پیوند بین این واحدها برای تشکیل کانی مورد نظر به ترتیب پیوند هیدروژنی برای کائولینیت، یون فلزی با اتصال به کمک یون های پتاسیم برای ایلیت و پیوند ضعیف واندروالسی با حضور آب و کاتیون ها برای مونت موریلونیت می باشد.

دو نوع لایه ی آب در مجاورت کانی های رسی وجود دارد:

۱- لایه ی آب جذبی: به دلیل وجود بار منفی در سطح رس، مولکول های آب از سر مثبت خود بوسیله پیوند هیدروژنی به سطح ذرات رس چسبیده و در نتیجه لایه ی نازکی از آب در اطراف آن تشکیل می شود که دارای پیوند بسیار قوی با ذره می باشد که همان لایه ی آب جذبی است.

۲- لایه ی دوگانه (مضاعف): علاوه بر آب، یون های مثبت (کاتیون ها) موجود در محیط نیز به سطح منفی رس جذب می شوند. غلظت این یون ها با فاصله گرفتن از سطح ذره کاهش یافته و در این میان برخی مولکول های آب نیز این بار از سمت منفی خود جذب این کاتیون ها می شوند. به ضخامتی از آب که به این ترتیب در اطراف کانی های رسی از مجموعه ای از کاتیون ها و آنیون ها تشکیل می شود، لایه دو گانه یا مضاعف گفته می شود. لازم به ذکر است که خاصیت خمیری رس ها ناشی از وجود همین لایه است.

در خارج از لایه ی دوگانه، آبی که از قید جاذبه و دافعه سطح کانی رها شده آب آزاد نامیده می شود و عامل روانی رس است.

۲-۳- تثبیت

۲-۳-۱- کلیات تثبیت خاک

تثبیت خاک به اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسی آن برای تامین یک رشته اهداف از پیش تعیین شده اطلاق می شود. امروزه برای تثبیت خاک از مواد تثبیت کننده مختلفی نظیر سیمان، آهک، کف قیر و ... استفاده می شود. انتخاب نوع ماده تثبیت کننده به عوامل زیادی از قبیل جنس خاک، شرایط جوی منطقه، وفور و سهولت استفاده در خاک، میزان بارگذاری و بهره برداری و نوع کاربرد و هزینه عملیات بستگی دارد. تثبیت خاک و مصالح شنی عمدتاً به دلایل زیر انجام می شود:

اصلاح خاک های نرم و کم مقاومت، بهبود مشخصات فنی خاک ها و مصالح شنی، ایجاد لایه های اساس و زیر اساس با قابلیت باربری نسبتاً زیاد، بازسازی روسازی های فرسوده با استفاده از مصالح موجود، کاهش گرد و خاک و یا کاهش رطوبت و تسریع در عملیات اجرایی [۵].