بسم الله الرحمن الرحيم

پردیس بین الملل
گروه عمران

گرایش خاک و پی

بررسی آزمایشگاهی تأثیر همزمان نانو رس و سیمان بر روی مقاومت برشی ماسه ی انزلی

از

مسعود ولیزاده چناری

اساتید راهنما

دکتر یاسر جعفریان

دکتر رضا انصاری

شهریور ۱۳۹۱

تقدیم می‌کنم به

پدر و مادر مهربانم

و همسر عزیزم که همواره از حمایت های بیدریغ آن ها بهره مند بودم.

دانشگاه گیلان

پردیس بین الملل

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی آزمایشگاهی تأثیر همزمان نانو رس و سیمان بر روی مقاومت برشی ماسه ی انزلی

از

مسعود ولیزاده چناری

اساتید راهنما

دکتر یاسر جعفریان

دکتر رضا انصاری

شهریور ۱۳۹۱

چکیده

بررسی آزمایشگاهی تاثیرهم زمان نانو رس و سیمان بر روی مقاومت برشی ماسه انزلی

مسعود ولیزاده چناری

در این پژوهش تأثیر هم زمان نانو رس (مونت مریلونیت اصلاح شدهٔ Na^+)، برمقاومت برشی و خواص مهندسی خاک های ماسه ای مورد مطالعه قرار گرفته است. خاک ماسه ای از ساحل بندر انزلی بدست آمده است. ابتدا از آسیاب گلوله ای برای پراکندن نانو رس در توده خاک و آماده سازی نمونه ها استفاده شد. هدف از این تحقیق بررسی های، تأثیر نانورس (مونتمریلونیت اصلاح شده) و سیمان بروی خصوصیات مهندسی ماسهٔ انزلی ،توسط دستگاه برش مستقیم موجود در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه گیلان می باشد..نمونه ها با توزیع دانه بندی ثابت خاک اصلی،در دو مقدار متفاوت سیمان(۳٪ و ۶٪) و هشت مقدار متفاوت نانو رس (۲٪ ،۳٪ ،۴٪ ،۵٪ ،۶٪ ،۸٪ و۹٪) در آزمایش برش مستقیم در تنش‌های نرمال ۲۸kPa ، ۵۶kPa و ۱۱۲ kPa مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در نهایت تأثیر نانو رس بر خصوصیات مقاومتی خاک های ماسه ای تثبیت شده با سیمان با درصدهای مختلف را در تراکم نسبی ۵۰٪ تا۵۵٪ درصد مورد ارزیابی قرار دادیم.نتایج تاثیر قابل قبولی در بهبود مقاومت برشی حداکثر نمونه های هفت روزه و چهارده روزه حاوی نانو رس در سر بارهای بالا از خود نشان می دهد اما در سربارهای پایین وهمچنین نمونه های یک روزه تغییرات متغیر و غیر قبل قبول می باشد ازینرو بهتر می باشد در راهسازی و یا پایداری شیب های سطحی از افزودن نانو رس به خاک اجتناب نموده ولی در ارتباط با پدیده روانگرایی در خاک های ماسه ای افزودن نانو رس به خاک سیمانی ،با افزایش مقاومت برشی حداکثر خاک می تواند تاثیر مناسبی در افزایش مقاومت برشی در هنگام زلزله در خاک های ماسه ای داشته باشد.

کلید واژه: ماسه، نانو رس، سیمان، آزمایش برش مستقیم، خصوصیات مهندسی ماسه

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول۲-۱- خصوصیات اساسی کانی‌های رسی	۱۵
جدول۲-۲- حدود خمیری، روانی و دامنه‌ی خمیری خاک با درصدهای مختلف افزودنی MMT و بنتونیت	۲۳
جدول۲-۳- درصد وزنی مناسب سیمان برای انواع خاک ها در طبقه بندی های مختلف	۲۶
جدول ۳-۱- سری الک های استفاده شده	۳۵
جدول ۳-۲- نتایج آزمایش دانه بندی ماسه	۳۶
جدول ۳-۳- ترکیبات شیمیایی سیمان پورتلند معمولی نوع۱-۴۲۵	۳۶
جدول ۳-۴- ترکیبات شیمیایی و خصوصیات فیزیکی Cloisite15A	۳۷
جدول ۳-۵- مشخصات ماسه انزلی	۴۱
جدول ۳-۶- روش های انجام آزمایش تراکم	۴۴
جدول ۴-۱- لیست آزمایشات انجام گرفته	۵۱
جدول ۴-۲- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه ها تحت تنش نرمال(kpa) ۲۸	۵۶
جدول ۴-۳- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه هادر تنش نرمال(kpa)۵۶	۶۰
جدول ۴-۴- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه ها در تنش نرمال(kpa)۱۱۲	۶۴
جدول ۴-۵- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه های یک روزه در تنش های نرمال متغیر	۶۷
جدول ۴-۶- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه های هفت روزه تنش های نرمال متغیر	۶۷
جدول۴-۷- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه های چهارده روزه در تنش های نرمال متغیر	۶۸
جدول۴-۸- تغییر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونهٔ نانو رس نسبت به ماسه سیمان یک روزه	۷۲
جدول۴-۹- تغییر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نانو رس نسبت به ماسه سیمان هفت روزه	۷۳
جدول۴-۱۰- تغییر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نانو رس نسبت به ماسه سیمان چهارده روزه	۷۴
جدول۴-۱۱- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه ها در تنش نرمال(kpa)۲۸	۷۹
جدول۴-۱۲- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه ها در تنش نرمال(kpa)۵۶	۸۳
جدول۴-۱۳- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه ها در تنش نرمال(kpa)۱۱۲	۸۶
جدول۴-۱۴- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه های یک روزه در تنش های نرمال متغیر	۸۹

جدول۴-۱۵- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر نمونه های هفت روزه در تنش های نرمال متغیر ۸۹
جدول۴-۱۶- تأثیر نانو رس بر مقاومت برشی حداکثر چهارده روزه در تنش های نرمال متغیر ۹۰
جدول۴-۱۷- تغییر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نانو رس نسبت به ماسه سیمان یک روزه ۹۴
جدول۴-۱۸-تغییر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نانو رس نسبت به ماسه سیمان هفت روزه ۹۵
جدول۴-۱۹- تغییر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نانو رس نسبت با ماسه سیمان چهارده روزه ۹۶
جدول۴-۲۰- مقاومت برشی حداکثر به ازای سربارهای مختلف ۱۰۰
جدول۴-۲۱- تغییر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی ۱۰۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست شکل ها	أ
فهرست جدول ها	ص
چکیده فارسی	
چکیده انگلیسی	

فصل اول : کلیات

۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- شرح مختصری از تحقیق	۴
۱-۳- اهداف مورد نظر در تحقیق	۴
۱-۴- معرفی فصول	۵

فصل دوم : مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱- نانو فناوری	۷
۲-۱-۱- مقدمه	۷
۲-۱-۲- تاریخچه نانو در جهان	۷
۲-۱-۳- مکانیزم فناوری نانو	۹
۲-۱-۴- کاربردهای نانو فناوری	۱۰
۲-۲- فناوری نانو در مهندسی ژئوتکنیک	۱۱
۲-۲-۱- نانو ذرات و ساختار آن در مهندسی ژئوتکنیک	۱۱
۲-۲-۱-۱- نانو ذرات خاک و تأثیر آنها بر خصوصیات مهندسی خاک ها	۱۱
۲-۲-۱-۲- تقسیم بندی ساختمانی رسها	۱۳

۲-۲-۱-۲-۱-گروه‌کاندیت ۱۳
۲-۲-۱-۲-۲-گروه اسمکتیت ۱۳
۲-۲-۱-۳- نانو ذرات خاک و مهندسی خاک ها ۱۳
۲-۲-۱-۴- بررسی نانو ذرات خاک و خصوصیات آنها ۱۴
۲-۲-۱-۴-۱- نانو صفحه ها ۱۵
۲-۲-۱-۴-۲- نانوسیم ها و نانو لوله ها ۱۵
۲-۲-۱-۴-۳- نانو نقطه ها یا نانو ذره ها ۱۶
۲-۲-۲- تأثیر نانو ذرات بر خصوصیات ریز ساختاری و فیزیکی خاک ها ۱۶
۲-۲-۲-۱- روش های تأثیر بر ویژگی های شاخص خاک بوسیله نانو ذرات ۱۶
۲-۲-۲-۲- تاثیر نانو ذرات برحدود اتربرگ ۱۷
۲-۲-۲-۳- تاثیر نانو ذرات بر هدایت هیدرولیکی خاک ۱۸
۲-۲-۳-۴- تأ ثیر نانوذرات برمقاومت برشی خاک ۱۸
۲-۳- بررسی‌های متعدد در خصوص استفاده از نانو ذرات برای بهبود پارامترهای مقاومتی خاک ۱۹
2-۴- نانو رس مونتموریلونیت اصلاح شده (MMN) ۲۱
۲-۴-۱- مونتمریلونیت ۲۱
۲-۴-۲- تأثیر افزودن مونت موریلونیت بر خواص مهندسی خاک ۲۳
۲-۵- مروری بر تثبیت خاک با سیمان ۲۵
۲-۵-۱ اختلاط عمیق ۲۸
۲-۶- تأ ثیر مونت مریلونیت برتغییر شکل وابسته به زمان در ماسه های تحکیم نیافته ۳۰
۲-۶-۱- رفتار غیرارتجاعی و از هم پاشیدگی ماسه خشک تحکیم نیافته ۳۰
۲-۶-۲- ماسه اتاوا و ۵٪ رس مونتموریلونیت ۳۰

فصل سوم : مطالعات آزمایشگاهی

۳-۱- مقدمه ۳۴
۳-۲- مشخصات مصالح 34

۳-۲-۱- ماسه 34
۳-۲-۲- سیمان 36
۳-۲-۳- ترکیبات شیمیایی و خصوصیات مکانیکی Cloisite15A 37
۳-۳- دانسیته نسبی 38
۳-۳-۱- برآورد دانسیته نسبی ماسه انزلی در محل 38
۳-۳-۲- تعیین دانسیته نسبی ماسه انزلی در آزمایشگاه 40
۳-۴- پراکندن نانوذرات در توده خاک 41
۳-۴-۱- استفاده از اشعه ماورا صوت به همراه میکسر با سرعت بالا 41
۳-۴-۲- استفاده از آسیاب گلوله ای 43
۳-۵- آزمایش تراکم 44
۳-۶- آزمایش برش مستقیم 46
۳-۷- مراحل آماده سازی نمونه ها 47

فصل چهارم : شرح آزمایش و نتایج حاصله ۵۱

۴-۱- مقدمه ۵۳
۴-۲- تأثیر همزمان سیمان و نانو رس بر مقاومت برشی خاک ماسه ای با آزمایش برش مستقیم ۵۳
۴-۲-۱- تغییرات رفتار خاک تحت تاثیر مقادیر مختلف نانو رس در ماسه حاوی ۶٪ سیمان ۶۶
۴-۲-۱-۱- میزان تأثیر سیمان و نانو رس بر رفتار تنش-کرنش خاک در تنش های نرمال ثابت ۷۲
۴-۲-۱-۲- میزان تأثیر سیمان و نانو رس بر رفتار تنش-کرنش خاک در تنش های نرمال متفاوت ۷۶
۴-۲-۱-۳- تأثیرات نانو رس بر پارامتر های خاک ۷۶
۴-۲-۲- بررسی تغییرات رفتار خاک تحت تاثیر مقادیر مختلف نانو رس در ماسه حاوی ۳٪ سیمان ۸۸
۴-۲-۲-۱- میزان تأثیر سیمان و نانو رس بر رفتار تنش-کرنش خاک در تنش های نرمال ثابت ۹۴
۴-۲-۲-۲- میزان تأثیر سیمان و نانو رس بر رفتار تنش-کرنش خاک در تنش های نرمال متفاوت
۴-۲-۲- ۳- تاثیرات نانو رس بر پارامتر های خاک

۴-۳- بررسی اثر افزایش نانورس بر مقاومت برشی نمونه ها ۹۸

فصل پنجم : جمع بندی، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۵-۱- جمع بندی ۱۰۲

۵-۲- نتیجه گیری ۱۰۳

۵-۳- پیشنهاد برای ادامه مطالعه ۱۰۴

فهرست منابع و مراجع ۱۰۷

پیوست الف: نمودارهای ۶ درصد سیمان ۱۱۸

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل۲-۱- مقایسه کلی روش بالا به پایین نسبت به روش پایین به بالا. ۹

شکل۲-۲- آسیاب مکانیکی در روش بالا به پایین ۱۰

شکل ۲-۳- تصویر SEM از مونت موریلونیت ۲۱

شکل ۲-۴- طرحی شماتیک از ساختار اسمکتیت ۲۲

شکل ۲-۵- تصویر شماتیک از پیوندها و اتم ها در مونت موریلونیت ۲۲

شکل ۲-۶- صویر SEM از نانو رس (مونت موریلونیت اصلاح شدهٔ +Na) ۲۲

شکل ۲-۷- حدود خمیری، روانی و دامنه‌ی خمیری خاک با درصدهای مختلف MMT ۲۴

شکل ۲-۸- حدود خمیری، روانی و دامنه‌ی خمیری خاک با درصدهای مختلف بنتونیت ۲۴

شکل ۲-۹- مقایسه‌ی روند افزایش مخلوطهای خاک با MMT و بنتونیت ۲۴

شکل ۲-۱۰- تجهیزات مورد نیاز جهت انجام اختلاط عمیق ۲۸

شکل۲-۱۱- مراحل اجرای اختلاط عمیق با استفاده از مته اوگر ۲۹

شکل۲-۱۲- اجرای ستونهای سیمانی ، به روش اختلاط عمیق ۳۰

شکل ۲-۱۳- تنش- کرنش تحت بار سیکلی همه جانبه بر ماسه اتاوا با ۰٪ و ۵٪ مونت موریلونیت ۳۱

شکل۲-۱۴- پاسخ تنش-کرنش برای ماسه اتاوا با ۵٪ مونت موریلونیت تحت تنش همه جانبه ۳۱

شکل ۲-۱۵- تغییرات خزش در تنش همه جانبه ۳۰ مگا پاسکال در ماسه اتاوا با ۵٪ مونت موریلون ۳۲

شکل ۲-۱۶- اختلاف بین میزان مدول دینامیکی و استاتیکی در زمان بارگذاری در تنش همه جانبه ۳۲

شکل ۳-۱- الک های قرار گرفته بروی لرزاننده ۳۵

شکل ۳-۲- منحنی دانه بندی خاک ماسه ای بندر انزلی ۳۶

شکل ۳-۳- مونت موریلونیت استفاده شده در آزمایشات ۳۷

شکل ۳-۴- رابطه میان درصد تراکم نسبی و نتایج حاصل از آزمایش نفود استاندارد ارائه شده ۳۸

شکل ۳-۵- میانگین حدودی $(N_1)_{60}$ بر حسب عمق در منطقه انزلی ۳۹

شکل ۳-۶- میانگین درصد تراکم نسبی Dr برحسب عمق در منطقه انزلی ۴۰

شکل ۳-۷- دستگاه اولتراسونیک ۴۲

شکل ۳-۸- دستگاه آسیاب گلوله ای ۴۳

شکل ۳-۹- نمودار تراکم ماسه-سیمان ۴۵

شکل۳-۱۰- نمودار تراکم ماسه- ۳٪ سیمان ۴۵

شکل ۳-۱۱- نمودار تراکم ماسه- ۶٪ سیمان ۴۵

شکل۳-۱۲- نمودار مقایسه تراکم ماسه و ماسه- سیمان ۴۶

شکل ۳-۱۳- نمونه ای از ظرف دسیکاتور ۴۷

شکل ۳-۱۴- نمونه برش خورده حاوی ۶٪ نانو رس ۴۸

شکل ۳-۱۵- دستگاه برش مستقیم ۴۸

شکل ۳-۱۶- تغییرات تنش برشی حداکثر به ازای تنش های عمودی مختلف ۴۹

شکل ۴-۱- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa) ۲۸ نمونه های یک روزه ۵۴

شکل ۴-۲- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa) ۲۸ نمونه های هفت روزه ۵۴

شکل ۴-۳- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa) ۲۸ نمونه های چهارده روزه ۵۵

شکل۴-۴- مقایسه نمودار تنش برشی حداکثر نمونه ماسه+۶٪ سیمان در تنش نرمال (kPa) ۲۸ ۵۵

شکل۴-۵- مقایسه نمودار تنش برشی حداکثر نمونه ماسه+۶٪ سیمان+۶٪ نانورس در تنش نرمال (kPa) ۲۸ ۵۶

شکل ۴-۶- مدول الاستیسیته در کرنش صفر درصد در تنش نرمال(kpa) ۲۸ ۵۷

شکل ۴-۷- مدول الاستیسیته سکانتی در کرنش برشی با مقاومت برشی حداکثر در تنش نرمال(kpa) ۲۸ ۵۷

شکل ۴-۸- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۵۶ نمونه های یک روزه ۵۸

شکل ۴-۹- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۵۶ نمونه های هفت روزه ۵۸

شکل ۴-۱۰- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۵۶ نمونه های چهارده روزه ۵۹

شکل۴-۱۱- مقایسه زمانی نمودار تنش برشی حداکثر نمونه ماسه+۶٪ سیمان در تنش نرمال (kPa) ۵۶ ۵۹

شکل۴-۱۲- مقایسه زمانی نمودار تنش برشی حداکثر ماسه+۶٪ سیمان+۶٪ نانورس در تنش نرمال (kPa) ۲۸ ۶۰

شکل۴-۱۳- درصد افزایش مقاومت برشی نمونه ها در اثر گذشت زمان در تنش نرمال (kPa)۵۶ ۶۲

شکل۴-۱۴- رشد حداکثر مقاومت حاوی نانو نسبت به نمونه بدون نانو در اثر زمان در تنش نرمال(kPa)۵۶ ۶۲

شکل ۴-۱۵- مدول الاستیسیته مماس اولیه در کرنش صفر درصد در تنش نرمال(kPa)۵۶ ۶۳

شکل ۴-۱۶- مدول الاستیسیته سکانتی در کرنش برشی با مقاومت برشی حداکثر در تنش نرمال(kPa) ۵۶ ۶۳

شکل۴-۱۷- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kPa)۱۱۲ نمونه های یک روزه ۶۴

شکل۴-۱۸-رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kPa)۱۱۲ نمونه های هفت روزه

شکل ۴-۱۹- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۱۱۲ نمونه های چهارده روزه ۶۴
شکل ۴-۲۰- درصد افزایش رشد مقاومت برشی نمونه ها در گذشت زمان در تنش نرمال (kpa)۱۱۲ ۶۵
شکل ۴-۲۱- رشد حداکثر مقاومت حاوی نانو نسبت بدون نانو در اثر زمان در تنش نرمال(kpa)۱۱۲ ۶۵
شکل ۴-۲۲- مدول الاستیسیته در کرنش صفر درصد در تنش نرمال(kpa)۱۱۲ ۶۶
شکل ۴-۲۳- مدول الاستیسیته سکانتی در کرنش برشی با مقاومت برشی در تنش نرمال(kpa) ۱۱۲ ۶۶
شکل ۴-۲۴- درصد رشد مقاومت برشی در اختلاف سربارهای متفاوت نمونه های یک روزه ۶۹
شکل۴-۲۵- درصد رشد مقاومت برشی در اختلاف سربارهای متفاوت نمونه های هفت روزه ۶۹
شکل۴-۲۶- درصد رشد مقاومت برشی در اختلاف سربارهای متفاوت نمونه های چهارده روزه ۶۹
شکل۴-۲۷- رشد حداکثر مقاومت نمونه های حاوی نانو نسبت بدون نانو در اثر زمان با افزایش سربار ۷۰
شکل ۴-۲۸- تاثیر نانو رس بر شکل پذیری نمونه ها در نمونه های یک روزه ۷۱
شکل ۴-۲۹- تاثیر نانو رس بر شکل پذیری نمونه ها در نمونه های هفت روزه ۷۱
شکل ۴-۳۰- تاثیر نانو رس بر شکل پذیری نمونه ها در نمونه های ۱۴ روزه ۷۲
شکل ۴-۳۱- تغییر زاویه اصطکاک داخلی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت به ماسه سیمان یک روزه ۷۳
شکل ۴-۳۲- تغییر چسبندگی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت به ماسه سیمان یک روزه ۷۳
شکل ۴-۳۳- تغییر زاویه اصطکاک داخلی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت به ماسه سیمان هفت روزه ۷۴
شکل ۴-۳۴- تغییر چسبندگی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت به ماسه سیمان هفت روزه ۷۴
شکل ۴-۳۵- تغییر زاویه اصطکاک داخلی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت به ماسه سیمان چهارده روزه ۷۵
شکل ۴-۳۶- تغییر چسبندگی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت به ماسه سیمان چهارده روزه ۷۵
شکل ۴-۳۷- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa) ۲۸ نمونه های یک روزه ۷۶
شکل ۴-۳۸- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa) ۲۸ نمونه های هفت روزه ۷۷
شکل ۴-۳۹- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa) ۲۸ نمونه های چهارده روزه ۷۷
شکل۴-۴۰- مقایسه زمانی نمودار تنش برشی حداکثر ماسه+۳٪ سیمان در تنش نرمال (kPa) ۲۸ ۷۸
شکل۴-۴۱- مقایسه زمانی نمودار تنش برشی ماسه+۳٪ سیمان+۳٪ نانورس در تنش نرمال (kPa) ۲۸ ۷۸
شکل ۴-۴۲- مدول الاستیسیته مماس اولیه در کرنش صفر درصد در تنش نرمال(kpa) ۲۸ ۷۹
شکل ۴-۴۳- مدول الاستیسیته سکانتی در کرنش برشی با مقاومت برشی در تنش نرمال(kpa) ۲۸ ۸۰
شکل ۴-۴۴- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۵۶ نمونه های یک روزه ۸۰

شکل ۴-۴۵- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۵۶ نمونه های هفت روزه ۸۱
شکل ۴-۴۶- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۵۶ نمونه های چهارده روزه ۸۱
شکل۴-۴۷- مقایسه زمانی نمودار تنش برشی حداکثر ماسه+۳٪ سیمان در تنش نرمال (kPa) ۵۶ ۸۲
شکل۴-۴۸- مقایسه زمانی تنش برشی ماسه+۶٪ سیمان+۶٪ نانو رس در تنش نرمال (kPa) ۵۶ ۸۲
شکل۴-۴۹- درصد افزایش مقاومت برشی نمونه ها در اثر گذشت زمان در تنش نرمال (kPa)۵۶ ۸۳
شکل۴-۵۰- رشد حداکثر مقاومت نمونه های حاوی نانو نسبت به بدون نانو در اثر زمان در تنش نرمال(kPa)۵۶ ۸۴
شکل ۴-۵۱- مدول الاستیسیته مماس اولیه در کرنش صفر درصد در تنش نرمال(kPa)۵۶ ۸۴
شکل۴-۵۲- مدول الاستیسیته در کرنش برشی با مقاومت برشی حداکثر در تنش نرمال(kpa) ۵۶ ۸۵
شکل ۴-۵۳- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۱۱۲ نمونه های یک روزه ۸۵
شکل ۴-۵۴- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۱۱۲ نمونه های هفت روزه ۸۶
شکل ۴-۵۵- رفتار تنش-کرنش خاک در تنش نرمال(kpa)۱۱۲ نمونه های چهارده روزه ۸۶
شکل ۴-۵۵- درصد افزایش رشد مقاومت برشی در اثر گذشت زمان در تنش نرمال (kpa) ۱۱۲ ۸۷
شکل ۴-۵۶- رشد حداکثر مقاومت نمونه های حاوی نانو نسبت بدون نانو در اثر زمان در تنش نرمال(kPa)۱۱۲ ۸۷
شکل ۴-۵۷- مدول الاستیسیته ممان اولیه در کرنش صفر درصد در تنش نرمال(kpa) ۱۱۲ ۸۸
شکل ۴-۵۸- مدول الاستیسیته سکانتی در کرنش برشی با مقاومت برشی ر در تنش نرمال(kpa)۱۱۲ ۸۸
شکل ۴-۵۹- درصد رشد مقاومت برشی در اختلاف سربار های متفاوت نمونه های یک روزه ۹۰
شکل ۴-۶۰- درصد رشد مقاومت برشی در اختلاف سربارهای متفاوت نمونه های هفت روزه ۹۱
شکل۴-۶۱- درصد رشد مقاومت برشی در اختلاف سربارهای متفاوت نمونه های چهارده روزه ۹۱
شکل۴-۶۲- رشد حداکثر مقاومت نمونه های حاوی نانو نسبت به نمونه بدون نانو در اثر زمان با افزایش سربار ۹۲
شکل ۴-۶۳- تاثیر نانو رس بر شکل پذیری نمونه ها در نمونه های یک روزه ۹۲
شکل ۴-۶۴- تاثیر نانو رس بر شکل پذیری نمونه ها در نمونه های هفت روزه ۹۳
شکل ۴-۶۵- تاثیر نانو رس بر شکل پذیری نمونه ها در نمونه های چهارده روزه ۹۳
شکل ۴-۶۶- تغییر زاویه اصطکاک داخلی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت به ماسه سیمان یک روزه ۹۴
شکل ۴-۶۷- تغییر چسبندگی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت به ماسه سیمان نمونه یک روزه ۹۵
شکل ۴-۶۸- تغییر زاویه اصطکاک داخلی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت با ماسه سیمان هفت روزه ۹۶
شکل ۴-۶۹- تغییر چسبندگی نمونهٔ حاوی نانو رس نسبت با ماسه سیمان نمونه های هفت روزه ۹۶

شـکل ۴-۷۰- تغییـر زاویـه اصـطکاک داخلـی نمونـۀ حـاوی نـانو رس نسـبت بـا ماسـه سـیمان چهـارده روزه ۹۷
شکل ۴-۷۱- تغییر چسبندگی نمونۀ حاوی نانو رس نسبت با ماسه سیمان نمونه های چهارده روزه ۹۷
شکل۴-۷۲- مقاومت برشی حداکثر نمونه ها در سربار ۲۸ kPa ۹۸
شکل۴-۷۳- مقاومت برشی حداکثر نمونه ها در سربار ۵۶ kPa ۹۹
شکل۴-۷۴- مقاومت برشی حداکثر نمونه ها در سربار ۱۱۲ kPa ۹۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

اولین اصل در شروع یک پروژه عمرانی داشتن زمین مقاوم برای احداث بنا می باشد، برخی از خاکها به علت مشخصات فنی نامطلوب و یا دارا بودن مقادیر قابل توجهی رس یا لای برای عملیات ساختمانی مناسب نبوده و به دلیل حساسیت، ناپایداری در برابر رطوبت، مقاومت کم و تراکم پذیری مشکلات فراوانی را بر سر راه خواهند نهاد. عموماً اکثر خاکهای موجود در سایت ها از دیدگاه مهندسی برای ساخت و ساز، ایده آل و کاملاً مطلوب نیست و باید با اعمال تغییراتی آنها را برای فعالیت های عمرانی آماده نمود. لذا دو راهکار متفاوت در مواجهه با خاکهای نامناسب در مهندسی ژئوتکنیک، تغییر محل سایت و تغییر خصوصیات خاک سایت است که به بهسازی موسوم است. انتخاب روش بهسازی خاک به صورت طبقه بندی شده دشوار است. مهندس ژئوتکنیک با توجه به کلیه مسائل فنی، اقتصادی، نیروی انسانی، ماشین آلات و نتایج آزمایشها، روش بهینه را انتخاب و اقدام به بهسازی خاک می‌نماید. بهبود خصوصیات خاک در وضعیت درجا با استفاده از مواد افزودنی به پایدار کردن یا تثبیت معروف است. در واقع تثبیت خاک فرآیندی است که طی آن مواد طبیعی یا مصنوعی به عنوان ماده افزودنی به خاک اضافه شده و باعث بهبود مشخصات خاک می شوند. برای تثبیت خاک می توان از مواد افزودنی مختلفی استفاده کرد. افزودنی های استفاده شده در گذشته شامل سیمان، قیر، آهک، کلرید کلسیم و خاکستر آتشفشانی و غیره می باشند. با افزودن این مواد به خاک، می توانیم به اهداف زیر نائل شویم [۲]:

۱. افزایش مقاومت

۲. کاهش تغییر شکل پذیری/ نشست

۳. پایداری حجمی (کنترل تورم و انقباض)

۴. کاهش خوردگی

۵. افزایش دوام

۶. کاهش نفوذپذیری

و غیره.....

افزودنیهای متداول همچون سیمان، آهک، کلسیم کلرید، خاکستر بادی، قیر، انکلوزیونهای پلیمری و ... در مطالعات سایر پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است [۲-۵] درطول سالهای ۱۹۵۰- ۱۹۴۰ تحقیقاتی بر روی فاکتورهای مؤثر خاک بهبود یافته متراکم شده در بستر راهها انجام گرفت، سمنتاسیون که معنای عام آن سیمانی شدن و چسبیدن است، در مهندسی ژئوتکنیک به چسبیدن ذرات خاک به یکدیگر و ایجاد یک توده چسبنده و با مقاومت بیشتر اطلاق می شود. سیمانی شدن مصنوعی عموماً در ارتباط با ماسه ها مورد بررسی قرار گرفته است. زیرا مصالح درشت تر مانند شن و ماسه های درشت

دانه اصولاً نیاز به بهسازی نیستند و اغلب خصوصیات ژئوتکنیکی مطلوبی دارند به همین منظور برای بهسازی خاک با استفاده از سیمانی شدن مصنوعی آن، محققین بیشترین توجه را به ماسه ها و مصالح ریزدانه معطوف داشته اند. تأثیر سایر افزودنی های متداول نیز مانند آهک، کلرید کلسیم، خاکستر بادی و ... نیز در مطالعات سایر پژوهشگران به کرات مورد بررسی قرار گرفته است. در کنار این ها نانو مواد که حائز ویژگی های منحصر به فردی هستند و استفاده از آنها در دیگر شاخه های علوم مهندسی منجر به تحولاتی بنیادین گشته است، در مهندسی ژئوتکنیک کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه تأثیرسیمان به همراه موادی در مقیاس نانو را بر خصوصیات مهندسی خاک ها مورد مطالعه قرار داده ایم. نانو ذره به ذره ای اطلاق می شود که حداقل یک بعد در مقیاس نانو داشته باشد، بر این اساس که نانو ذره چند بعد در مقیاس نانو داشته باشد، این ذرات به سه دسته کلی تقسیم می شوند: نانو صفحات که یک بعد در مقیاس نانو متر دارند (مانند برخی از ذرات رسی صفحه ای)، نانو تیوپ ها که دو بعد در مقیاس نانو دارند (مانند ذرات فیبری) و نهایتا نانو دات ها (نانو نقطه ها) که دارای سه بعد در مقیاس نانو متر هستند[۶]. اخیراً نانو علم و نانوتکنولوژی امکان مطالعه نانو مواد با جزئیاتشان را فراهم نموده است.

براساس تعریف، نانو مواد با اندازه بسیار کوچکشان مشخص می شوند. عموماً، هنگامیکه اندازهٔ ذرات به مقیاس نانومتر کاهش می یابد، در مقایسه با نقطهٔ مقابلشان در اندازهٔ بزرگتر، رفتار های بسیار متفاوت و یا خصوصیات بسیار ارتقاء یافته تری را خود نشان می دهند. این تفاوت در رفتار به دو دلیل عمدهٔ زیر ایجاد می شود[۶]:

۱. مساحت سطح بسیار افزایش یافته

۲. تأثیرات کوانتومی

هنگامیکه اندازهٔ ذرات کاهش می یابد، درصد بیشتری از اتم ها و مولکول در سطح ظاهر می شوند. بنابراین خصوصیات سطح آن ها (از جمله، فیزیکی، شیمیایی، الکتریکی و واکنش پذیری) بسیار مهم تر و غالب می شود، درحالیکه خصوصیات جرمی آن ها بسیار کم اهمیت تر می شود. یک مثال ساده از این مورد خصوصیات بسیار متفاوتی است که خاک های چسبندهٔ حاوی درصد زیادی از ذرات رسی و خاک های دانه ای ماسه ای از خود نشان می دهند. نانو ذرات به خاطر داشتن خصوصیاتی همچون مساحت سطح ویژه بسیار بالا، بارهای سطحی و گهگاهی نانو تخلخل، در صورتی که به مقدار بسیار کمی هم در خاک حضور داشته باشند می توانند خصوصیات مهندسی و رفتار فیزیکی- شیمیایی خاک را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قراردهند [۷]. خاک های حاوی نانو ذرات با تخلخل های درون ذره ای معمولا حدود خمیری و روانی بالاتری را از خود نشان می دهند [۸] علاوه برموارد مذکور در صورت استفاده از نانو ذرات خاک، برای بهبود خصوصیات خاک، مسئله آلودگی محیطی و سمی بودن مصالح مورد استفاده جهت تثبیت خاک و احتمال شسته شدن این مصالح به محیط که در صورت استفاده از افزودنی های شیمیایی همچون سیمان، آهک، کلرید کلسیم و ... به شدت نمود پیدا می کند به طور کلی حذف می شود زیرا منشأ این ذرات در اصل یک خاک طبیعی می باشد. [۶]

۱-۲- شرح مختصری از تحقیق

در این مطالعه با بررسی های آزمایشگاهی و با بکارگیری آزمایشات مکانیک خاک، تأثیر نانورس (مونتمریلونیت اصلاح شده) و سیمان بروی خصوصیات مهندسی ماسهٔ انزلی مورد مطالعه قرار گرفته است. نانو ذره انتخابی نانورس (مونتمریلونیت اصلاح شدهٔ Na^+)می باشد. نانورس در مهندسی ژئوتکنیک بسیار شناخته شده می باشد چراکه این نانو از جنس خاک رس می باشد که خصوصیات آن نیز شناخته شده می باشد [۷-۸]. هدف اصلی تحقیق جاضر بررسی تغییرات تنش برشی- تغییر مکان و ویژگی‌های مقاومت برشی ماسه تثبیت شده انزلی با سیمان و نانو رس در تنش‌های نرمال متفاوت می‌باشد. نمونه ها با توزیع دانه بندی ثابت خاک اصلی، در دو مقدار متفاوت سیمان(۳٪ و ۶٪) و هشت مقدار متفاوت نانو رس (۲٪ ،۳٪ ،۴٪ ،۵٪ ،۶٪ ،۸٪ و۹٪) در آزمایش برش مستقیم در تنش‌های نرمال ۲۸kPa، ۵۶kPa و ۱۱۲ kPa مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به این منظور در ابتدا آزمایش تراکم با درصد های مختلف سیمان بروی ماسه انجام گرفت تا درصد رطوبت بهینه به منظور بهبود خصوصیات مکانیکی مخلوط ماسه-سیمان روشن گردد. در ادامه آزمایشات برش مستقیم را بروی مخلوط ماسه- سیمان با ۳٪ و ۶٪ وزنی خاک ماسه ای خشک انجام گرفته است. و در نهایت تأثیر نانو رس بر خصوصیات مقاومتی خاک های ماسه ای تثبیت شده با سیمان با درصدهای مختلف را در تراکم نسبی ۵۰٪ تا ۵۵٪ درصد مورد ارزیابی قرار دادیم. بحث بسیار مهم در ارتباط با استفاده نانو ذرات در توده خاک به منظور مشاهده تأثیراتشان، پراکندگی مناسب این ذرات در توده خاک می باشد. لذا به این منظور از دو روش مکانیکی برای پراکندن نانو ذرات استفاده نمودیم که عبارتند از: استفاده از آسیاب گلوله ای و استفاده از دستگاه اولتراسونیک[۱] به همراه میکسر با سرعت بالا.

در روش آسیاب گلوله ای ابتدا درصد نانو و سیمان به مدت ۲ تا ۳ ساعت داخل دستگاه قرار داده می شود پس از خارج ساختن مواد از آسیاب گلوله ای با اضافه کردن درصد رطوبت در دستگاه اولتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفته تا دوغاب مورد نظر بدست آید. ولی در روش اولتراسونیک با افزایش درصد رطوبت به مقدار نانو و سیمان پس از مدت ۲۰ دقیقه دوغاب بدست آمده را به ماسه اضافه نموده که جهت ساخت نمونه ها مورد استفاده قرار می گیرد.

۱-۳- اهداف مورد نظر درتحقیق

در این مطالعه بررسی تأثیر نانورس (مونتمریلونیت اصلاح شده)، سیمان و مقدار تنش نرمال بر خصوصیات مهندسی ماسه انزلی مورد مطالعه قرار گرفته است. اهداف مورد نظر در این پروژه به صورت زیر بیان می شوند:

۱. بررسی میزان تأثیر سیمان و نانو رس بر رفتار تنش- کرنش خاک در تنش‌های نرمال مختلف

[۱] . Ultrasonic