

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

شور اخلاق پژوهش

یادماندگاری از خداوند سبحان و اعتقاد بر این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر احوال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظریه‌آزمایی است جایگاه دانشگاه در اعطای فرسنگ و تمدن بشری، مادام‌العمر و احسان هدایت علمی و اخلاقی دانشگاه آزاد اسلامی مستعدی گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت‌های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نمی‌کنیم:

- ۱- اصل حقیقت‌جویی: تلاش در راستای پی‌جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از حرکت‌پسندان‌سازی حقیقت.
- ۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهش‌مندان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- ۳- اصل باکیت‌ناپذیری و ممنوعیت: تعهد به رعایت کامل حقوق‌ناپذیری و ممنوعیت دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.
- ۴- اصل منع‌ناپذیری: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن به‌میشرو توسعه کشور و کلیه مراکز پژوهش.
- ۵- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از حرکت‌چاپ‌داری غیر علمی و صفاقت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.
- ۶- اصل رازداری: تعهد به مینت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان‌ها و کشور و کلیه افراد و نهادها و مرتبط با تحقیق.
- ۷- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم و حرمت‌ها و انجام تحقیقات و رعایت جانب‌تقد و خودداری از حرکت‌حرمت‌کنی.
- ۸- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و دانش‌نتیج‌تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- ۹- اصل برانست: التزام به برانست‌جویی از حرکت‌رقه‌ذای غیر حرفه‌ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به‌شبه‌های غیر علمی می‌آیند.



دانشگاه آزاد اسلامی

پردیس علوم و تحقیقات شاهرود

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران (M.Sc)

گرایش: راه و ترابری

عنوان:

مقاوم سازی خاک های نمکی بستر راه با استفاده از رس

نگارنده

احمد دهنوی

سال تحصیلی ۱۳۹۱ - ۱۳۹۳

۱. دکتر حسین قاسم زاده طهرانی - استاد راهنما

هیأت داوران: ۲. دکتر رضا نادری - استاد داور

۳. دکتر رضا فرخ نژاد - استاد داور

دانشگاه آزاد اسلامی



پردیس تحصیلات تکمیلی علوم و تحقیقات شاهرود

تعهد نامه اصالت رساله یا پایان نامه

اینجانب احمد دهنوی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته / دکتری تخصصی در رشته راه و ترابری که در تاریخ ۹۳/۱۲/۱۷ از پایان نامه / رساله خود تحت عنوان مقاوم سازی خاک‌های نمکی بستر راه با استفاده از خاک رس با کسب نمره ۱۶/۴۲ و درجه خوب دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می‌شوم :

- ۱) این پایان نامه / رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آنرا در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده‌ام.
- ۲) این پایان نامه / رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.
- ۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه یا رساله را داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد، مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.
- ۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می‌پذیرم و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی:

احمد دهنوی

تاریخ و امضاء



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد علوم و تحقیقات شاهرود
دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی عمران
ارشد در رشته

گرایش:

راه و ترابری

عنوان:

مقاوم سازی خاک‌های نمکی بستر راه با استفاده از
خاک رس

استاد راهنما:

دکتر حسین قاسم زاده طهرانی

نگارش:

احمد دهنوی

زمستان ۱۳۹۳

سپاسگزاری

در اینجا لازم میدانم از زحمات دلسوزانه و بی دریغانه استاد راهنما جناب آقای دکتر قاسم زاده طهرانی که در طول انجام پایان نامه همواره از راهنمایی ها و پیشنهادات ارزشمند ایشان بهره برده ام کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

از فرماندهی انتظامی و مرزبانی استان خراسان رضوی، فرماندهی هنگ مرزی تایباد و معاونت مهندسی استان و معاونت مهندسی مرزبانی خراسان رضوی که در گرد آوری اطلاعات مورد نظر برای انجام پایان نامه مرا یاری نمودند سپاسگزاری می-نمایم.

تقدیم

تقدیم به روح شهدای نیروی انتظامی که در دفاع از مرزبوم این کشور با تلاش شبانه روزی از مرزهای این کشور حراست می-کنند و همچنین روح پدر بزرگوارم.

تقدیم می‌کنم به مادر مهربانم، همسر دلسوزم و فرزندان عزیزم که در به پایان رساندن این پایان نامه کمک شایانی به اینجانب نمودند.

چکیده ۱

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه ۳

۲-۱ بیان مسئله: ۵

۳-۱ ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم: مروری بر پیشینه تحقیق

۱-۲ مقدمه ۸

۲-۲ اهداف تثبیت خاک ۸

۳-۲ اصلاح خاک به روش‌های مکانیکی ۹

۱-۳-۲ اصلاح خاک به روش تراکم استاتیکی ۹

۲-۳-۲ اصلاح خاک به روش تراکم دینامیکی ۹

۳-۳-۲ روش‌های دینامیکی ۱۱

۴-۳-۲ اصلاح خاک با استفاده از ژئوسینتتیکها ۱۱

۵-۳-۲ تثبیت خاک‌ها به روش نیلینگ ۱۳

۴-۲ اصلاح به روش‌های بیولوژیکی ۱۴

۵-۲ اصلاح به روش‌های فیزیکی - شیمیایی ۱۴

۱-۵-۲ اصلاح خاک با آهک ۱۴

۲-۵-۲ تثبیت خاک با سیمان ۱۵

۳-۵-۲ تثبیت خاک با استفاده از خاکستر بادی (خاکستر نرم) ۱۶

۴-۵-۲ اصلاح خاک با استفاده از فرآورده‌های قیری ۱۷

۵-۵-۲ تثبیت خاک با استفاده از RRP ۱۸

۶-۵-۲ تثبیت‌کننده‌های مرکب خاک ۱۹

۷-۵-۲ تثبیت خاک با مواد نانو ۱۹

۶-۲ جاده‌ها در خاک‌های نمکی ۲۵

۲۶	۱-۶-۲ طراحی جاده ها در خاکهای نمکی.....
۲۶	۲-۶-۲ مشکلات خاکهای نمکی.....
۲۷	۳-۶-۲ راه های مقابله و کنترل خاکهای نمکی.....
۲۹	۵-۶-۲ راه های مقابله و کنترل ماسه های بیابانی.....
۳۱	۷-۶-۲ طراحی جاده ها و بزرگراه ها در بیابان ها.....
۳۱	۸-۶-۲ طراحی هماهنگ زمین های اطراف.....
۳۲	۲-۸-۶-۲ احداث آبروهای خاکی.....
۳۲	۳-۸-۶-۲ احداث شیارهای خاکی روی خطوط تراز.....
۳۳	۴-۸-۶-۲ احداث بندهای انحرافی و آبرگردان ها.....

فصل سوم: برنامه آزمایشگاهی

۳۵	۱-۳ مقدمه :.....
۳۵	۲-۳ خاک رس.....
۳۵	۱-۲-۳ واحدهای اصلی تشکیل دهنده خاک رس.....
۳۷	۱-۱-۲-۳ کائولینیت.....
۳۸	۲-۱-۲-۳ ایلیت.....
۳۸	۳-۱-۲-۳ مونتموریلونیت.....
۴۱	۲-۲-۳ بار الکتریکی رس.....
۴۱	۳-۲-۳ لایه دوگانه.....
۴۱	۴-۲-۳ ساختمان ذرات رس.....
۴۱	۵-۲-۳ سطح مخصوص یا سطح ویژه خاک (SSA).....
۴۱	۳-۳ طبقه بندی خاک.....
۴۲	۱-۳-۳ سیستم طبقه بندی آشتو AASHTO.....
۴۶	۲-۳-۳ سیستم طبقه بندی متحد (USCS (Unified Soil Classification System) :.....
۵۰	۴-۳ آزمایش دانه بندی.....
۵۰	۵-۳ آزمایش تعیین درصد رطوبت.....
۵۰	۶-۳ آزمایش تعیین چگالی ویژه (Gs).....
۵۲	۷-۳ آزمایش تعیین حد خمیری و حد روانی.....

۵۴	۱-۷-۳	فعالیت خاک:
۵۵	۲-۷-۳	تعیین کانی‌های رس از روی حدود اتربرگ
۵۶	۸-۳	آزمایش تراکم
۵۷	۹-۳	آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا
۵۸	۱۰-۳	آزمایش فشاری محدود نشده
۵۹	۱۱-۳	ترکیب ساخت نمونه‌ها
۶۰	۱۲-۳	منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری خاک
۶۲	۱۳-۳	تثبیت خاک با آهک
۶۳	۱۴-۳	تعیین درصد بهینه آهک
۶۴	۱-۱۴-۳	روش PH
۶۴	۲-۱۴-۳	روش نشانه خمیری
۶۴	۳-۱۴-۳	روش نسبت باربری کالیفرنیا
۶۴	۴-۱۴-۳	روش مقاومت فشاری تک‌محوری
۶۴	۵-۱۴-۳	روش AASHTO
۶۵	۱۵-۳	بررسی میزان تورم نمونه‌ها تثبیت‌شده با آهک
۶۵	۱۶-۳	تأثیر آهک بر حدود اتربرگ
۶۶	۱۷-۳	تأثیر آهک بر تورم
۶۶	۱۸-۳	تأثیر آهک بر PH
۶۶	۱۹-۳	تأثیر آهک بر وزن مخصوص خشک
۶۶	۲۰-۳	تأثیر آهک بر رطوبت بهینه تراکم
۶۷	۲۱-۳	انواع آهک در شکل‌های مختلف
۶۸	۲۲-۳	واکنش‌های آهک و خاک رس
۶۹	۱-۲۲-۳	تبادل کاتیونی
۶۹	۲-۲۲-۳	مجمع شدن - خسته شدن
۷۰	۳-۲۲-۳	واکنش پوزولانی
۷۱	۴-۲۲-۳	کربناته شدن

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج

۷۳	۱-۴ مقدمه
۷۳	۲-۴ معرفی کلی مواد مصرفی
۷۳	۱-۲-۴ معرفی کلی خاک رس
۷۴	۲-۲-۴ معرفی کلی آهک
۷۵	۳-۲-۴ معرفی کلی نانو رس
۷۶	۳-۴ نتایج آزمایش دانه‌بندی
۷۶	۱-۳-۴ دانه‌بندی خاک رس
۷۷	۲-۳-۴ دانه‌بندی آهک
۷۷	۴-۴ نتایج آزمایش درصد رطوبت
۷۷	۱-۴-۴ تعیین رطوبت خاک رس
۷۷	۵-۴ نتایج آزمایش تعیین چگالی ویژه (G_s)
۷۷	۱-۵-۴ نتایج آزمایش تعیین چگالی ویژه خاک رس
۷۸	۲-۵-۴ نتایج آزمایش تعیین چگالی ویژه آهک
۷۸	۶-۴ نتایج آزمایش تعیین حد خمیری خاک رس
۷۹	۷-۴ نتایج آزمایش تعیین حد روانی خاک رس
۸۰	۸-۴ حدود آتربریگ نمونه‌های تثبیت‌شده
۸۰	۱-۸-۴ حدود آتربریگ نمونه‌های تثبیت‌شده با نانو رس
۸۲	۲-۸-۴ حدود آتربریگ نمونه‌های تثبیت‌شده با آهک
۸۳	۳-۸-۴ حدود آتربریگ نمونه‌های تثبیت‌شده با ترکیب آهک و نانو
۸۵	۹-۴ نتایج آزمایش تراکم
۸۵	۱-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم خاک رس
۸۶	۲-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه یک درصد آهک
۸۷	۳-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه ۳ درصد آهک (3L)
۸۸	۴-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه ۵ درصد آهک (5L)
۸۹	۵-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه ۱ درصد نانو رس (1N)
۹۰	۶-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه ۲ درصد نانو رس (2N)

- ۹۱-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه ۳ درصد نانو رس (3N)..... ۹۱
- ۹۲-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه ۳ درصد آهک بعلاوه ۱ درصد نانو رس
.....(3L+1N) ۹۲
- ۹۳-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه ۳ درصد آهک بعلاوه ۲ درصد نانو رس
.....(3L+2N) ۹۳
- ۹۴-۹-۴ نتایج آزمایش تراکم نمونه ۳ درصد آهک بعلاوه ۳ درصد نانو رس
.....(3L+3N) ۹۴
- ۹۵-۴ نتایج آزمایش CBR..... ۹۵
- ۹۵-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۱ درصد پودر
آهک..... ۹۵
- ۹۶-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۳ درصد پودر
آهک..... ۹۶
- ۹۷-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۵ درصد پودر
آهک..... ۹۷
- ۹۸-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۱ درصد نانو
..... ۹۸
- ۹۹-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۲ درصد نانو
..... ۹۹
- ۱۰۰-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۳ درصد نانو
..... ۱۰۰
- ۱۰۱-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۳ درصد پودر
آهک به‌علاوه ۱ درصد نانو..... ۱۰۱
- ۱۰۲-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۳ درصد پودر
آهک به‌علاوه ۲ درصد نانو..... ۱۰۲
- ۱۰۳-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت اشباع و تثبیت‌شده با ۳ درصد پودر
آهک به‌علاوه ۳ درصد نانو..... ۱۰۳
- ۱۰۴-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۱ درصد پودر
آهک..... ۱۰۴
- ۱۰۵-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۱ درصد پودر
آهک..... ۱۰۵

۱۱-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۳ درصد پودر آهک.....	۱۰۶
۱۲-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۵ درصد پودر آهک.....	۱۰۷
۱۳-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۱ درصد نانو.....	۱۰۸
۱۴-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۲ درصد نانو.....	۱۰۹
۱۵-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۳ نانو.....	۱۱۰
۱۶-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۳ درصد پودر آهک بعلاوه ۱ درصد نانو.....	۱۱۱
۱۸-۱۰-۴ نتایج آزمایش CBR در حالت خشک و تثبیت‌شده با ۳ درصد پودر آهک بعلاوه ۳ درصد نانو.....	۱۱۳
۱۹-۱۰-۴ مقایسه CBR نمونه‌ها در حالت خشک و اشباع.....	۱۱۵
۱۱-۴ مقاومت فشاری.....	۱۱۶
۱۲-۴ نتایج آزمایش نمونه آهک ریخته شده در محل.....	۱۲۱
۱۲-۴ نتایج آزمایش نمونه آبشویی شده.....	۱۲۲
۱۳-۴ ارزیابی اقتصادی طرح.....	۱۲۲
۱-۱۳-۴ هزینه احداث راه.....	۱۲۳

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۵ مقدمه.....	۱۲۶
۲-۵ نتایج کلی تحقیق.....	۱۲۷
۳-۵ پیشنهادات برای تحقیقات آتی.....	۱۲۸

فهرست جداول

جدول (۱-۲) نتایج تحقیق کریستوفر و مترکین [۶].....	۱۳
جدول (۲-۲): نتایج حاصل از تثبیت با سیمان [۲۲].....	۱۸
جدول (۳-۲): اثر نوع و میزان نمکها بر کفایت مصالح راهسازی.....	۲۸

جدول (۲-۴): حداقل تراز خاکریز نسبت به سطح ایستایی در خاک‌های	۲۸
ایستایی.....	۲۸
جدول (۳-۱) طبقه‌بندی مصالح بستر راه‌ها طبق طبقه‌بندی آشتو.....	۴۴
جدول (۳-۲) سیستم طبقه‌بندی متحد.....	۴۷
جدول (۳-۳) مقادیر G_s برای کانی‌های مختلف.....	۵۲
جدول (۳-۴): نمودار حدود اتربرگ خاک.....	۵۳
جدول (۳-۵): فعالیت کانی‌های رسی.....	۵۴
جدول (۳-۶): رابطه تخمینی حدود اتربرگ و خواص مهندسی.....	۵۵
جدول (۳-۷) حدود اتربرگ برای چند نوع خاک رسی چسبنده.....	۵۵
جدول (۳-۸): تقسیم‌بندی خاک بر اساس حد روانی آنها.....	۵۶
جدول (۳-۹): تقسیم‌بندی خاک بر اساس دامنه خمیری آنها.....	۵۶
جدول (۳-۱۰): مشخصات آزمایش تراکم استاندارد.....	۵۶
جدول (۳-۱۱): مقادیر بار استاندارد آزمایش CBR.....	۵۷
جدول (۳-۱۲): تفاوت دوروش تراکم خاک بر اساس ASTM.....	۵۸
جدول (۳-۱۳): تقسیم‌بندی رتبه خاک بر اساس عدد CBR.....	۵۸
جدول (۳-۱۴) مشخصات و علامت اختصاری نمونه‌های آزمایش.....	۵۹
جدول شماره (۴-۱) خواص مهندسی خاک رس.....	۷۳
جدول شماره (۴-۲) ترکیب شیمیایی خاک رس.....	۷۴
جدول شماره (۴-۳) ترکیب شیمیایی خاک رس بعد از یک هفته آبشویی.....	۷۴
جدول (۴-۵) ترکیب شیمیایی آهک.....	۷۴
جدول شماره (۴-۶) مشخصات فیزیکی و مکانیکی نانو رس مونت مریلونیت.....	۷۵
جدول (۴-۷) آنالیز شیمیایی نانو رس.....	۷۵
جدول (۴-۸): تعیین درصد رطوبت خاک رس.....	۷۷
جدول شماره (۴-۹): چگالی ویژه خاک رس.....	۷۸
جدول شماره (۴-۱۰): چگالی ویژه آهک.....	۷۸
جدول (۴-۱۱): حد خمیری خاک رس ((PL.....	۷۸
جدول (۴-۱۲): نتایج آزمایش تعیین حد روانی خاک رس ((LL.....	۷۹
جدول (۴-۱۳): حد روانی، خمیری و دامنه خمیری خاک رس با درصد های مختلف	
نانو رس.....	۸۲
جدول (۴-۱۴): حد روانی، خمیری و دامنه خمیری خاک رس با درصد های مختلف	
آهک.....	۸۳
جدول (۴-۱۵): حد روانی، خمیری و دامنه خمیری خاک رس با درصد های مختلف	
نانو با ۳ درصد آهک.....	۸۵

جدول (۴-۱۶) : حداکثر CBR به دست آمده برای نمونه‌ها با ترکیب‌های مختلف در حالت اشباع.....	۱۰۴
جدول (۴-۱۷) : حداکثر CBR به دست آمده برای نمونه‌ها با ترکیب‌های مختلف در حالت خشک.....	۱۱۴
جدول (۴-۱۸) : هزینه احداث راه	۱۲۴

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) : جرثقیل سیار جهت انجام تراکم دینامیکی.....	۱۰
۲-۸-۶-۲ احداث آبروهای خاکی.....	۳۲
۲-۸-۶-۳ احداث شیارهای خاکی روی خطوط تراز.....	۳۲
۲-۸-۶-۴ احداث بندهای انحرافی و آبرگردان‌ها.....	۳۳
شکل ۳-۱ : چهاروجهی سیلیکا و ورقه چهاروجهی سیلیکا [۲۷].....	۳۶
شکل ۳-۲ : هشت وجهی آلومینا و ورقه هشت وجهی آلومینا (گیبسیت) [۲۷].....	۳۶
شکل ۳-۳ : ورقه سیلیکا (۵۱).....	۳۷
شکل ۳-۴ : ورقه گیبسیت و بروسیت.....	۳۷
۳-۱-۲-۳ کائولینیت.....	۳۷
شکل ۳-۵ : ساختمان اتمی کائولینیت.....	۳۸
۳-۱-۲-۳ ایلیت.....	۳۸
۳-۱-۲-۳ مونتموریلونیت.....	۳۸
شکل ۳-۶ : ساختمان اتمی ایلیت.....	۳۹
شکل ۳-۷ : ساختمان اتمی مونتموریلونت.....	۴۰
شکل ۳-۸ (a) کائولینیت (b) ایلیت (c) مونتموریلونیت.....	۴۰
شکل (۳-۹) دامنه حد مایع و نشانه خمیری برای خاک‌های گروه‌های A-7, A-6, A-5, A-4, A-2.....	۴۶
شکل (۳-۱۰) : نمودار خمیری.....	۴۹
شکل (۳-۱۱) : طبقه‌بندی سریع به روش متحد.....	۴۹

- شکل (۳-۱۲): دشت سیر خون شهرستان خواف..... ۶۰
- شکل (۳-۱۳): برداشتن خاک سطحی جهت نمونه برداری..... ۶۱
- شکل (۳-۱۴): ایجاد حفره جهت ریختن دوغاب آهک..... ۶۱
- شکل (۳-۱۵): دوغاب آهک..... ۶۲
- شکل (۳-۱۶): نمودار تعیین درصد بهینه آهک در روش آشتو..... ۶۵
- شکل (۳-۱۷): مکانیزم تبادل کاتیونی..... ۷۰
- شکل (۴-۱): منحنی دانه بندی خاک رس..... ۷۶
- شکل (۴-۲): منحنی دانه بندی آهک..... ۷۷
- شکل (۴-۳): منحنی آزمایش تعیین حد روانی خاک رس..... ۷۹
- شکل (۴-۴) نمودار حدود آتربرگ برای خاک رس با درصدهای مختلف نانو رس
..... ۸۱
- شکل (۴-۵): نمودار حدود آتربرگ برای خاک رس با درصدهای مختلف آهک.. ۸۳
- شکل (۴-۶): نمودار حدود آتربرگ برای خاک رس با درصدهای مختلف نانو
با ۳ درصد آهک..... ۸۵
- شکل (۴-۷): منحنی آزمایش تراکم استاندارد خاک..... ۸۶
- شکل (۴-۸): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 1L..... ۸۷
- شکل (۴-۹): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 3L..... ۸۸
- شکل (۴-۱۰): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 5L..... ۸۹
- شکل (۴-۱۱): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 1N..... ۹۰
- شکل (۴-۱۲): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 2N..... ۹۱
- شکل (۴-۱۳): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 3N..... ۹۲
- شکل (۴-۱۴): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 3L+1N..... ۹۳
- شکل (۴-۱۵): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 3L+N..... ۹۴
- شکل (۴-۱۶): منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه 3L+3N..... ۹۵
- شکل (۴-۱۷): نمودار CBR ۷ روزه اشباع 1L..... ۹۶
- شکل (۴-۱۸): نمودار CBR ۷ روزه اشباع 3L..... ۹۷
- شکل (۴-۱۹): نمودار CBR ۷ روزه اشباع 5L..... ۹۸

- شکل (۲۰-۴) : نمودار CBR ۷ روزه اشباع 1N ۹۹
- شکل (۲۱-۴) : نمودار CBR ۷ روزه اشباع 2N ۱۰۰
- شکل (۲۲-۴) : نمودار CBR ۷ روزه اشباع 3N ۱۰۱
- شکل (۲۳-۴) : نمودار CBR ۷ روزه اشباع 3L+1N ۱۰۲
- شکل (۲۴-۴) : نمودار CBR ۷ روزه اشباع 3L+2N ۱۰۳
- شکل (۲۵-۴) : نمودار CBR ۷ روزه اشباع 3L+3N ۱۰۴
- شکل (۲۶-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 1L ۱۰۶
- شکل (۲۷-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 3L ۱۰۷
- شکل (۲۸-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 5L ۱۰۸
- شکل (۲۹-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 1N ۱۰۹
- شکل (۳۰-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 2N ۱۱۰
- شکل (۳۱-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 3N ۱۱۱
- شکل (۳۲-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 3L+1N ۱۱۲
- شکل (۳۳-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 3L+2N ۱۱۳
- شکل (۳۴-۴) : نمودار CBR ۷ روزه خشک 3L+3N ۱۱۴
- شکل (۳۵-۴) : نمودار CBR ۷ روزه کلیه نمونه‌ها در حالت خشک و اشباع ۱۱۶
- شکل (۳۶-۴) : مقاومت فشاری خاک تثبیت‌شده با نانو ۱۱۷
- شکل (۳۷-۴) : مقاومت فشاری خاک تثبیت‌شده با آهک ۱۱۸
- شکل (۳۸-۴) : مقاومت فشاری خاک تثبیت‌شده با ۳ درصد آهک و مقادیر مختلف نانو ۱۱۹
- شکل (۳۹-۴) : مقایسه مقاومت فشاری خاک تثبیت‌شده ۱۲۰
- شکل (۴۰-۴) : منحنی آزمایش تراکم استاندارد نمونه آهک ریخته شده در محل ۱۲۱
- شکل (۴۱-۴) : منحنی CBR نمونه دوغاب ریخته شده در محل در حالت خشک و اشباع ۱۲۱
- شکل (۴۲-۴) : منحنی CBR نمونه آبشویی شده در حالت خشک ۱۲۲

شکل (۴-۴۳): طرح شماتیک مسیر منحنی و مسیر مستقیم و محل استقرار
پاسگاههای مرزی.....۱۲۳

چکیده

ثبیت خاک به اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسی آن برای تأمین یک رشته اهداف از پیش تعیین شده اطلاق می‌شود. برخی از خاک‌ها به علت مشخصات فنی نامطلوب و یا دارا بودن مقادیر قابل توجهی رس یا لای برای عملیات راه‌سازی، نامرغوب محسوب می‌شوند. امروزه استفاده از فناوری نانو موجب پیشرفت‌های چشمگیر در علوم مختلف شده است. در همین راستا تحقیقاتی کاربرد این فناوری در ژئوتکنیک انجام شده که نتایج موفقیت‌آمیز آن جامعه مهندسی را به مطالعه بیشتر در این حوزه سوق داده است.

برای این منظور مطالعات و آزمایش‌هایی بروی خاک‌های رسی نمکی به منظور استفاده در بستر راه با افزودن در صدهای مختلف تثبیت‌کننده به سه روش: الف) افزودن آهک (ب) نانو رس مونتمریلونیت (ج) ترکیب آهک و نانو رس مونتمریلونیت صورت می‌گیرد. این نمونه‌ها به سه حالت: الف) خشک، ب) به مدت ۹۶ ساعت درون آب در حالت اشباع، ج) یک هفته بعد از آبشویی جهت از بین رفتن نمک موجود در خاک تحت آزمایش قرار می‌گیرند؛ و نتایج حاصل از این آزمایش‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

تمامی نمونه‌ها تحت آزمایش CBR، مقاومت فشاری و حدود آتربرگ قرار گرفتند و نتایج آن‌ها با هم مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که افزودن آهک، نانو رس و ترکیب نانو رس و آهک باعث افزایش مقاومت فشاری، CBR و همچنین بهبود خواص خاک رس گردید. بهترین نتیجه با ترکیب نانو رس و آهک با نسبت ۳ درصد وزن خاک حاصل شد.

کلیدواژه‌ها: خاک رس، مقاوم‌سازی، نانو رس، آهک و CBR

فصل اول

کلیات