



دانشگاه گورگان، دانشکده منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و پنجم، شماره سوم، ۱۳۹۷

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2018.15009.1745

## تأثیر اختلاط خاکستر ساقه ذرت (*Zea mays L.*) با خاک رسی تورم‌پذیر و زمان عمل‌آوری آن بر ویژگی‌های مکانیکی خاک راه‌های جنگلی

عبدالرسول حیدری<sup>۱</sup>، آیدین پارساخو<sup>۲</sup>، مهران نصیری<sup>۳</sup> و هاشم حبشی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۲</sup>استادیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۳</sup>استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

<sup>۴</sup>دانشیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** خاک‌های تورم‌پذیر مانند خاک‌های رسی به دلیل دارا بودن قابلیت تغییر حجم ناشی از تغییر رطوبت و مشخصات مکانیکی نامطلوب به‌عنوان مصالح نامناسب در فرآیند ساخت جاده‌های جنگلی به شمار می‌روند. هدف از اجرای این تحقیق بررسی قابلیت خاکستر ساقه ذرت به‌عنوان یک تثبیت‌کننده زیستی حاوی سیلیس در ارتقاء و اصلاح مقاومت مکانیکی خاک بستر بخشی از جاده‌های پیشنهادی سری دو طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا در استان گلستان است.

**مواد و روش‌ها:** تیمارهای تحقیق شامل درصد اختلاط خاکستر ساقه ذرت با خاک رس و زمان عمل‌آوری آن بود. نخست نسبت به جمع‌آوری ضایعات ساقه ذرت مزارع اقدام، سپس بندهای ساقه که حاوی مقادیر بالاتری سیلیس هستند برش داده شده و آسیاب گردید. قطعات آسیاب شده به مدت دو ساعت در دمای ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد در کوره سوزانده و خاکستر آن استحصال شد. تعداد ۵۰ نمونه خاک رسی تورم‌پذیر (میانگین وزن هر نمونه دو کیلوگرم) به کمک بیل و به روش تصادفی منظم از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری بخشی از مسیر عبور جاده‌های پیشنهادی به طول ۱۰۰ متر جمع‌آوری و به آزمایشگاه مکانیک خاک منتقل گردید. نمونه‌ها در آنجا با نسبت‌های مختلف ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد از خاکستر ترکیب شده و پس از عمل‌آوری و گذشت ۷، ۱۴ و ۲۸ روز از زمان تثبیت، آزمایشات حدود آتربرگ، تراکم استاندارد و مقاومت تک محوری یا مقاومت فشاری نامحدود هر یک در سه تکرار روی مخلوط‌های خاک و خاکستر ساقه ذرت انجام پذیرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که افزودن خاکستر ساقه ذرت به خاک تا مقدار ۵ درصد سبب کاهش شاخص خمیری، ولی از آن بیشتر باعث افزایش شاخص خمیری می‌شود. همچنین با افزایش مقدار خاکستر ساقه ذرت، حداکثر تراکم خشک

\*مسئول مکاتبه: Parsakhoo@gau.ac.ir

خاک کاهش و مقدار رطوبت بهینه افزایش پیدا می‌نماید. حداکثر تراکم خشک خاک برابر با ۱/۳۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود که در رطوبت بهینه ۲۸/۵ درصد و با افزودن ۵ درصد خاکستر ساقه ذرت به ثبت رسید. مقاومت فشاری نامحدود خاک با افزودن ۵ درصد خاکستر ساقه ذرت به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند ولی از آن پس افزودن مقادیر بیشتر خاکستر سبب کاهش مقاومت فشاری خاک می‌گردد. افزایش زمان عمل‌آوری سبب کاهش شاخص خمیری، افزایش حداکثر تراکم خشک و مقاومت فشاری خاک شد اما در بسیاری از موارد بین زمان عمل‌آوری ۱۴ و ۲۸ روز تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که به‌دلیل خواص پوزولانی خاکستر ساقه ذرت می‌توان از آن در مقدار بهینه ۵ درصد و زمان عمل‌آوری ۱۴ روز برای بهبود خواص مکانیکی خاک‌های رسی تورم‌پذیر در زیرسازی راه‌های جنگلی استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** حدود آتربرگ، حداکثر تراکم خاک، شاخص خمیری، سیلیس، مقاومت فشاری نامحدود

#### مقدمه

خاک‌های ریزدانه حاوی رس در جنگل‌های شمال کشور، مشکلات زیادی در پروژه‌های ساختمانی به‌ویژه جاده‌سازی ایجاد کرده‌اند (۱۹). این مناطق به‌دلیل بارندگی زیاد، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، عدم زهکشی مناسب و فراوانی خاک‌های رسی و یا رس‌دار، با مسئله تورم خاک مواجه بوده که به نوبه خود باعث به‌وجود آمدن ناهمواری در بستر راه و در نتیجه خرابی زودهنگام روسازی شبکه حمل و نقل می‌شود (۱۸). از گذشته‌های دور استفاده از مواد افزودنی تثبیت‌کننده خاک مانند خاکستر چوب و آهک مرسوم بوده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در شرایط محیطی و اقلیم مرطوب و با دمای نسبتاً پایین عمل واکنش‌پذیری آهک و خاک رس به‌خوبی انجام نخواهد پذیرفت، ضمن آن که افزودن آهک باعث تردشدگی خاک نیز شده و این امر باعث می‌شود تا خاک مقاومت خود را تحت تأثیر تنش به سرعت از دست دهد (۵، ۸ و ۲۶). به‌همین دلیل و با توجه به اهمیت یافتن روزافزون مسائل زیست‌محیطی، استفاده از تثبیت‌کننده‌های زیستی خاک مانند خاکستر چوب بیش از پیش مورد توجه

قرار گرفته است (۴). در رابطه با خاکسترها پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که افزودن خاکستر تا سقف ۲۰ درصد وزنی خاک می‌تواند در جهت تثبیت تورم‌زایی آن مؤثر واقع شود (۶، ۷ و ۹). امروزه ثابت شده است که در پیکره گیاهان خانواده‌های گندمیان، دم‌اسبیان و نخل‌ها به‌ویژه در محل بندها حدود ۶۰-۷۰ درصد سیلیس بی‌شکل ( $\text{SiO}_2$ ) وجود دارد که می‌توان غالب آن را در کوره تحت شرایط دمایی حدود ۶۰۰ درجه‌سانتی‌گراد به‌صورت خاکستر استحصال نمود (۶ و ۷). برای این کار می‌توان از ضایعات کشاورزی مانند پوسته برنج، برگ نخل، ساقه ذرت و ساقه نیشکر استفاده کرد (۲۲ و ۲۴). استفاده از ترکیبات سیلیس‌دار برای بهبود رفتار خاک به این دلیل اهمیت دارد که این عنصر یکی از معروف‌ترین موادی است که نقش مهمی در بروز خواص پوزولانی و چسبندگی ذرات خاک دارد (۲۵ و ۲۸). پوزولان‌ها مواد سیلیسی یا سیلیسی-آلومینی هستند که به تنهایی فاقد ارزش چسبانندگی بوده اما در اندازه بسیار ریز در مجاورت رطوبت طی واکنش شیمیایی با کلسیم هیدروکسید و آهک موجود در خاک ترکیبات

سیلیکات کلسیم با خواص سیمانی ایجاد می‌کنند (۲ و ۳). این ماده کلئیدهای خاک را به هم متصل کرده و ذرات درشت‌تر و مقاوم‌تری را به وجود می‌آورد (۲۲، ۲۸ و ۲۹). گیاه ذرت از خانواده گندمیان به طور وسیعی در سرتاسر جهان کشت می‌شود (۱۲ و ۱۳). سطح زیرکشت این محصول در استان گلستان ۱۰۷۲ هکتار و میزان تولید در این سطح ۱۲۷۸۳ تن می‌باشد (۱). ساقه ذرت محصول فرعی گیاه ذرت است (۳۳ و ۳۵). به طوری که از هر تن ذرت برداشت شده حدود ۱۶۰ الی ۱۸۰ کیلوگرم آن به صورت ضایعات (ساقه، مغز و برگ) باقی می‌ماند. بر این اساس سالانه حدود ۲۱۷۳ تن ضایعات ذرت در استان گلستان تولید می‌گردد (۳۰). اکثر این بقایای آلی دور انداخته می‌شوند که می‌توانند برای استحصال خاکستر و تثبیت خاک مورد استفاده واقع شوند (۹ و ۱۷).

جایمو و آپامیا (۲۰۱۴) به بررسی اثر خاکستر ساقه ذرت روی برخی مشخصات مکانیکی خاک لاتریت مانند ظرفیت بارگذاری کالیفرنیا و مقاومت فشاری نامحدود پرداختند. آن‌ها مقادیر صفر، ۱/۵، ۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۵ درصد خاکستر را در ترکیب با خاک مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص خمیری خاک با افزایش مقدار خاکستر ساقه ذرت افزایش پیدا می‌نماید. با افزایش مقدار خاکستر، حداکثر تراکم خشک خاک به آهستگی کاهش یافت. با به کارگیری ۳ درصد خاکستر ساقه ذرت، ظرفیت بارگذاری اشباع و غیراشباع خاک و همچنین مقاومت خاک در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (۱۵). اکینوامی و آیدوموجی (۲۰۱۵) در کشور نیجریه به بررسی تأثیر ترکیب خاکستر ساقه ذرت و سیمان پرتلند بر خواص ژئوتکنیکی خاک لاتریت پرداختند. نخست سه تیمار شامل ۶۰ درصد سیمان به اضافه ۴۰ درصد خاکستر، ۵۰ درصد سیمان به اضافه ۵۰ درصد خاکستر و ۴۰ درصد سیمان به اضافه ۶۰ درصد

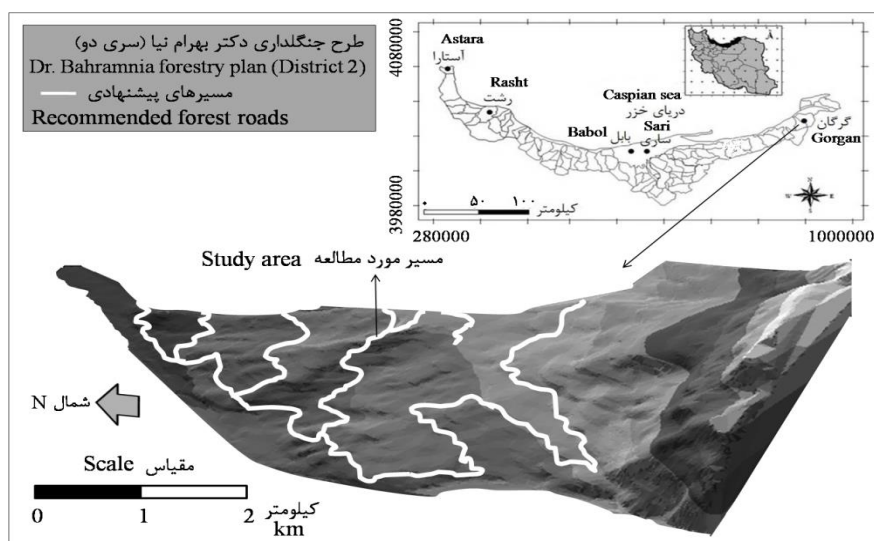
خاکستر را در چهار سطح ۰، ۴، ۸ و ۱۲ درصد به خاک اضافه نمودند. نتایج نشان داد که با افزودن ترکیب خاکستر- سیمان مقدار شاخص خمیری، ظرفیت تورم و نفوذپذیری خاک کاهش و مقدار مقاومت خاک افزایش پیدا می‌نماید (۴). جفر و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که افزایش زمان عمل-آوری و افزودن مقادیر بیشتر ترکیب خاکستر بادی و خاکستر روغن نخل به خاک سیلتی منجر به کاهش شاخص خمیری و افزایش چشم‌گیر مقاومت فشاری نامحدود شد (۱۴). یاداو و همکاران (۲۰۱۷) از خاکستر پوسته برنج، خاکستر نیشکر و خاکستر مدفوع گاو هر یک با نسبت‌های وزنی ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ درصد برای تثبیت خاک بستر جاده‌های روستایی بهره گرفتند. نتایج نشان داد که ظرفیت بارگذاری خاک و مقاومت فشاری نامحدود با افزودن ۷/۵ درصد خاکستر به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرد و از آن پس، افزودن مقادیر بیشتر خاکستر سبب کاهش متغیرهای نام‌برده شد (۳۲). صدیق و همکاران (۲۰۱۵) از ترکیب خاکستر نیشکر و آهک هیدراته با نسبت‌های وزنی ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد برای اصلاح خواص مکانیکی خاک لاتریت در کشور نیجریه استفاده نمودند. نتایج نشان داد که حداکثر ظرفیت بارگذاری خاک و حداکثر مقاومت فشاری نامحدود از ترکیب ۸ درصد آهک و ۶ درصد خاکستر نیشکر حاصل گردید و ارقام آن به ترتیب ۴۳ درصد و ۶۹۸ کیلونیوتن بر مترمربع بود (۲۷). بدین ترتیب با بهره‌گیری از برخی مصالح زیستی محلی می‌توان ضمن تثبیت بستر، هزینه ساخت جاده را نیز به طور قابل توجهی کاهش داد. هدف تحقیق حاضر افزودن ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی خاکستر ساقه ذرت (*Zea mays L.*) به خاک رسی تورم‌پذیر به منظور تعیین مقدار بهینه ترکیب برای حصول حداکثر واکنش‌پذیری در خواص مکانیکی خاک راه‌های

عرض جغرافیایی شمالی و  $6^{\circ} 21' 54''$  تا  $30' 23''$   $54^{\circ}$  طول جغرافیایی شرقی قرار دارد. تحقیق در محدوده ارتفاعی ۶۵۰-۶۰۰ متری از سطح دریا و در دامنه شمالی تا شمال غربی انجام گرفت. در این دامنه قسمتی (۱۰۰ متر) از طول مسیر دربرگیرنده خاک رس تورم‌پذیر به‌روش تصادفی ساده معین شد. در مرحله بعد به‌طور تصادفی منظم در فواصل دو متری یک نمونه خاک به وزن دو کیلوگرم از عمق ۲۰ سانتی‌متری (با توجه به عدد پروژه احتمالی منطقه) با بیل برداشت شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید (شکل ۱). در مجموع ۵۰ نمونه به وزن کل ۱۰۰ کیلوگرم تهیه شد. برخی مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی نمونه‌های خاک در جدول ۱ و منحنی دانه‌بندی آن که حاصل آزمایش الک تر می‌باشد در شکل ۲ ارائه گردیده است. بافت خاک به روش هیدرومتری، مواد آلی به روش والکی بلاک، درصد آهک به روش تیتراسیون با سود، اسیدیته خاک با pH متر، هدایت الکتریکی اشباع با EC متر و چگالی ویژه با چگالی سنج تعیین شد (۱۰).

جنگلی شامل شاخص خمیری، مقاومت فشاری و تراکم و همچنین تعیین بهترین زمان عمل‌آوری بود. در این تحقیق این‌گونه فرض شد که با افزودن خاکستر ساقه ذرت به خاک رس متورم شونده، تراکم خشک و شاخص خمیری خاک کاهش و مقاومت برشی خاک افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان عمل‌آوری، شاخص خمیری خاک کاهش و تراکم خشک و مقاومت برشی خاک افزایش می‌یابد.

### مواد و روش‌ها

**نمونه‌برداری و مشخصات خاک مورد مطالعه:** در این پژوهش محل وجود خاک رس تورم‌پذیر با توجه به مشخصات ظاهری و عملکردی آن مانند رطوبت بالا، لغزش‌های قبلی و انحراف تنه درختان در اثر خزش زمین که در طول یک کیلومتر از مسیر عبور جاده‌های پیشنهادی برای ساخت (پیش‌بینی شده) در سری شماره دو طرح جنگل‌داری آموزشی- پژوهشی دکتر بهرام‌نیا قابل مشاهده بود، مشخص گردید. این سری با مساحت ۱۹۹۲ هکتار در استان گلستان، شهر گرگان و در محدوده  $36^{\circ} 42' 30''$  تا  $36^{\circ} 43' 30''$



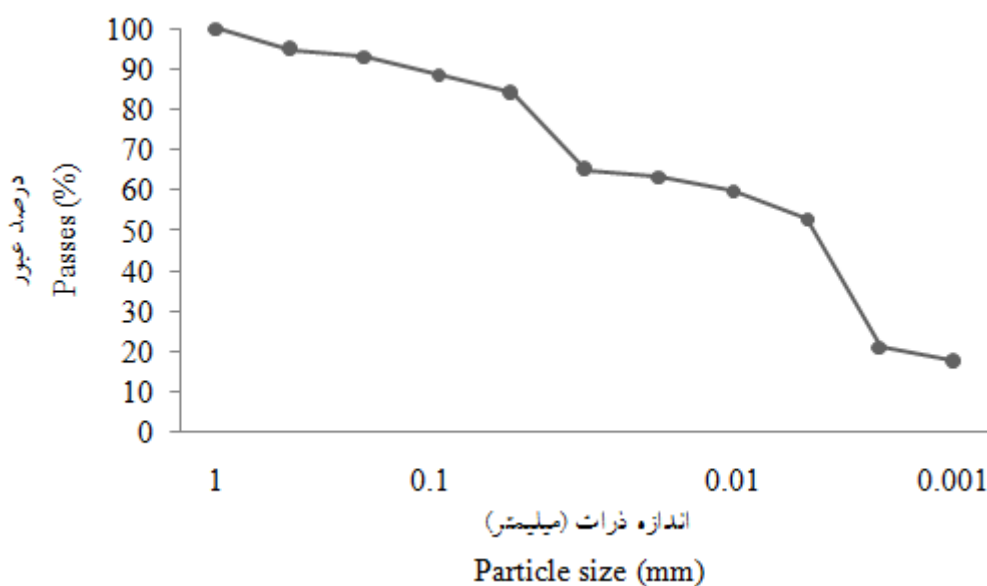
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Study area

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی نمونه‌های خاک رس تورم‌پذیر.

Table 1. Some of the physical, chemical and mechanical properties of swelling clay soil.

مقدار	متغیر	مقدار	متغیر
140.0	هدایت الکتریکی اشباع (میکروموس بر سانتی‌متر) Saturated electrical conductivity ( $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ )	41.6	رس (درصد) Clay (%)
42.5	حد روانی (درصد) Liquid limit (%)	30.0	سیلت (درصد) Silt (%)
29.5	حد خمیری (درصد) Plastic limit (%)	28.4	شن (درصد) Sand (%)
13.0	شاخص خمیری (درصد) Plastic index (%)	28.3	رطوبت وزنی (درصد) Moisture (%)
1.75	حداکثر تراکم خشک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Maximum dry density ( $\text{g cm}^{-3}$ )	3.2	مواد آلی (درصد) Organic matter (%)
26.6	رطوبت بهینه (درصد) Optimum moisture (%)	3.0	آهک (درصد) Lime (%)
142.0	مقاومت فشاری نامحدود (کیلوپاسکال) Unconfined compressive strength (kp)	9.8	اسیدیته pH
0.72	ضریب چسبندگی Cohesion coefficient	2.4	وزن مخصوص حقیقی یا چگالی ویژه Specific gravity



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی بافت خاک رسی مورد مطالعه

Figure 2. Aggregate curve of studied clay texture soil

باشد. قطعات بدون بند به دلیل داشتن سیلیس کم دور ریخته شد (۲۵). در مرحله بعد قطعات ساقه ذرت جهت تسهیل و تسریع فرآیند تولید خاکستر توسط دستگاه آسیاب تا اندازه‌های حداکثر ۴ میلی‌متری خرد و سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۸۰ درجه

تهیه خاکستر ساقه ذرت و آماده‌سازی تیمارها: ساقه‌های ذرت (*Zea mays L.*) از مزارع حاشیه شهر گرگان جمع‌آوری و پس از شستشو و خشک کردن در معرض هوا به اندازه‌های ۱۰ سانتی‌متری قطعه قطعه شد، به طوری که هر قطعه دربرگیرنده یک بند

رساندن آن به تمام ذرات خاک به زمان معینی نیاز دارد که به آن دوره عمل‌آوری می‌گویند و مدت آن از حدود یک تا چهار هفته است (۱۴). در این تحقیق برای هر یک از درصد اختلاط‌های تهیه شده در پایان هر دوره عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه (۲۷)، آزمایش‌های مکانیک خاک در سه تکرار انجام پذیرفت تا درصد اختلاط بهینه و بهترین زمان عمل‌آوری مشخص شود. میزان تأثیرگذاری خاکستر ساقه ذرت بر خواص مکانیکی خاک از طریق مقایسه با نمونه شاهد (تیمار نشده) تعیین گردید. در مجموع ۳۹ نمونه مورد بررسی قرار گرفت.

سانتی‌گرا کوره سوزانده و به خاکستر تبدیل شد (۱۵ و ۳۲) (شکل ۳). ترکیب شیمیایی این محصول در آزمایشگاه مشخص گردید (جدول ۲). غالب اندازه ذرات خاکستر کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر بود. برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک، هر یک از درصدهای وزنی خاکستر ساقه ذرت (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) با مقدار آب متناظر با درصد رطوبت بهینه (حدود ۲۷ درصد) برای حداکثر تراکم خاک درون همزن ریخته شد و به همراه خاک تورم‌پذیر هوا خشک به مدت ۵ دقیقه هم‌زده شد تا در پایان مخلوط همگن و عاری از کلوخه به دست آید (۲۱ و ۳۱). تغییرات ایجاد شده در خاک در نتیجه افزودن خاکستر آنی نبوده و فرآیند



شکل ۳- مراحل تهیه خاکستر ساقه ذرت (الف) مزرعه ذرت، (ب) جداسازی بندهای ساقه، (ج) آسیاب کردن بندها و (د) تولید خاکستر  
Figure 3. The stages of corncob ash production (A) corn farmland, (B) separating the nodes of the cobs and (D) ash production.

جدول ۲- تجزیه شیمیایی خاکستر ساقه ذرت.

Table 2. Chemical decomposition of corncob ash

نام ترکیب Name	اکسید سیلیسیم SiO <sub>2</sub>	اکسید منیزیم MgO	اکسید آلومینیوم Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	اکسید گوگرد SO <sub>3</sub>	اکسید پتاسیم K <sub>2</sub> O	اکسید کلسیم CaO	اکسید فسفر P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	اکسید آهن Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
واحد (درصد) Unit (%)	62.00	3.02	4.01	0.85	13.44	4.61	6.53	3.99

(۲/۷)،  $P_w$  چگالی آب بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب (تقریباً ۱ گرم بر سانتی متر مکعب) و  $W$  درصد رطوبت است. منحنی تراکم خشک خاک به صورت تابعی از درصد رطوبت ترسیم شد. به کمک این نمودار درصد رطوبتی که در آن حداکثر تراکم خشک خاک حاصل گردید به دست آمد (۱۱).

**ج- آزمایش مقاومت فشاری نامحدود:** برای انجام این آزمایش نمونه‌های خاک از الک نمره ۴ عبور داده شدند. نمونه‌ها با مقداری آب مخلوط شده و با ضربات چکش لاستیکی درون قالب مخصوص متراکم شدند. سپس نمونه‌ها از درون قالب خارج شده و درون دستگاه تک‌محوری قرار گرفتند. برای محاسبه مقاومت برشی از رابطه کولمب استفاده گردید (رابطه ۵).

$$\tau_f = C + \sigma \tan \varphi \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن  $\tau_f$  مقدار تنش برشی بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع است که سبب گسیختگی خاک می‌گردد،  $C$  چسبندگی خاک بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع،  $\sigma$  مقدار تنش مؤثر نرمال بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع و  $\varphi$  زاویه اصطکاک داخلی خاک بر حسب درجه است (۱۴ و ۳۲).

**تجزیه و تحلیل‌های آماری:** در این طرح فاکتوریل، اثر خاکستر ساقه ذرت در ۴ سطح اختلاط به همراه یک تیمار شاهد (۵ تیمار) و اثر زمان عمل‌آوری در ۳ سطح (۷، ۱۴ و ۲۸ روز) و با ۳ تکرار برای هر یک از آزمایشات مکانیک خاک شامل تراکم، حدود آتربرگ و مقاومت فشاری نامحدود بررسی شد. نرمال بودن توزیع مشاهدات با آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. آزمون تجزیه واریانس و آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹٫۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها

آزمایش‌های مکانیک خاک: در این تحقیق برای بررسی واکنش‌پذیری مکانیکی خاک رس تورم‌پذیر از آزمایش‌های حدود آتربرگ، تراکم خشک و مقاومت فشاری نامحدود بهره گرفته شد.

**الف- آزمایش حدود آتربرگ:** برای انجام این آزمایش نمونه‌های خاک از الک نمره ۴۰ عبور داده شدند (۳). حد خمیری خاک یا درصد رطوبتی که در آن خمیره خاک هنگام ورز دادن شروع به ترک خوردن می‌کند از رابطه (۱) به دست آمد:

$$PL = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه  $W_2$  وزن ظرف و خاک مرطوب (گرم)،  $W_3$  وزن ظرف و خاک خشک و  $W_1$  وزن ظرف خالی می‌باشد. حد روانی خاک نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$LL = W_N * \left[ \frac{N}{25} \right]^{0.121} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $N$  تعداد ضرباتی است که در آن ۱۳/۷ میلی‌متر از طول شیار ایجاد شده روی خاک درون ظرف کاساگرانده بسته می‌شود و  $W$  درصد رطوبتی است که در آن این طول از شیار بسته می‌شود (۳). شاخص خمیری از تفاضل حد روانی از حد خمیری به دست آمد (رابطه ۳).

$$PI = LL - PL \quad \text{رابطه (۳)}$$

**ب- آزمایش تراکم خشک خاک:** نمونه‌های خاک منطقه پس از افزودن درصدهای وزنی مختلف خاکستر و عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفتند (رابطه ۴). نمونه‌ها از الک نمره ۴ عبور داده شدند. حداکثر تراکم خشک خاک از رابطه (۴) به دست آمد.

$$P_d = \frac{P_w}{\left( \frac{W}{100} + \frac{1}{G_s} \right)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

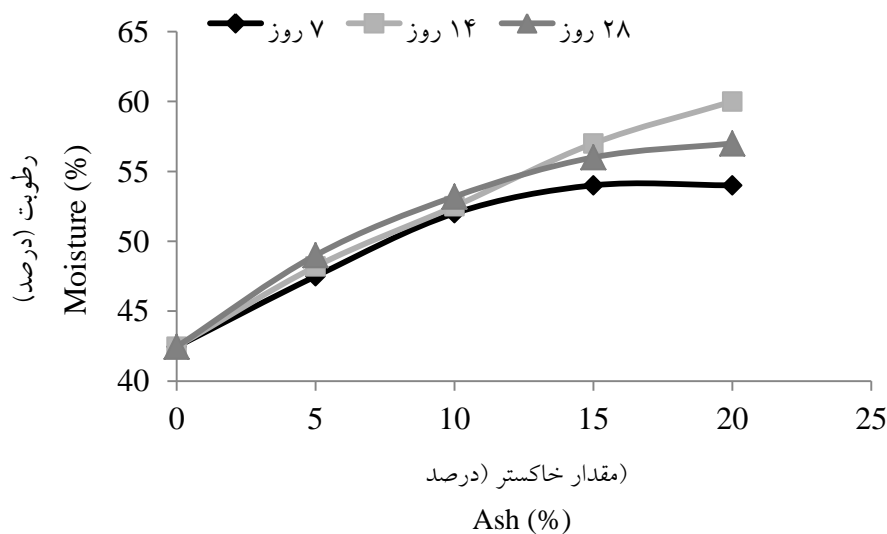
که در آن  $P_d$  تراکم خشک خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب،  $G_s$  وزن مخصوص حقیقی خاک

خمیری از ۲۵ تا ۳۴/۸ درصد و بنابراین کاهش شاخص خمیری از ۲۰ به ۱۵/۷ درصد شد. کاهش خواص خمیری خاک به دگرگون شدن طبیعت خاک و گرانوله شدن خاک‌دانه‌ها به واسطه تولید ژل‌های سیمانی شکل سیلیکات کلسیم هیدراته نسبت داده می‌شود (۱۶). اکینوومی و آیدوموجی (۲۰۱۵) نیز نشان دادند که با افزودن ترکیب خاکستر-سیمان مقدار شاخص خمیری، ظرفیت تورم و نفوذپذیری خاک کاهش یافت (۴). چنانچه شاخص خمیری بین صفر تا پنج باشد خاک غیرخمیری، بین پنج تا ۱۵ خمیری متوسط، بین ۱۵ تا ۳۵ خاک خمیری و بزرگتر از ۳۵ خاک خیلی خمیری است (۲۳). بر این اساس خاک مورد مطالعه در تحقیق حاضر در تیمار شاهد (شاخص خمیری: ۱۳ درصد) به صورت خمیری متوسط بود که با افزودن ۵ درصد خاکستر و پس از گذشت ۱۴ روز به مرز غیرخمیری نزدیک شد (شاخص خمیری: ۷ درصد).

نیز در سطح احتمال ۹۵ درصد به روش LSD صورت پذیرفت.

### نتایج و بحث

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر مقدار خاکستر و زمان عمل‌آوری بر اکثر متغیرهای مکانیکی خاک معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزایش مقدار خاکستر ساقه ذرت حد روانی خاک افزایش پیدا کرد (شکل ۴). افزودن خاکستر ساقه ذرت به خاک تا مقدار ۱۰ درصد سبب افزایش حد خمیری، ولی از آن بیشتر باعث کاهش تدریجی حد خمیری می‌گردد (شکل ۵). افزودن خاکستر ساقه ذرت به خاک تا مقدار ۵ درصد سبب کاهش شاخص خمیری، ولی از آن بیشتر باعث افزایش شاخص خمیری می‌شود (شکل ۶). کریم و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که با افزودن مقدار بیشتری خاکستر ساقه نی به خاک رس، حد روانی و حد خمیری افزایش یافته و شاخص خمیری کاهش یافت. بیشترین مقدار خاکستر نی افزوده شده به خاک ۱۲ درصد بود که سبب افزایش حد روانی از ۴۵ به ۵۰/۵ درصد، حد



شکل ۴- تغییرات حد روانی در اثر افزودن خاکستر ساقه ذرت و افزایش زمان عمل‌آوری  
Figure 4. Variation of the liquid limit by increasing the corncob ash and curing times.

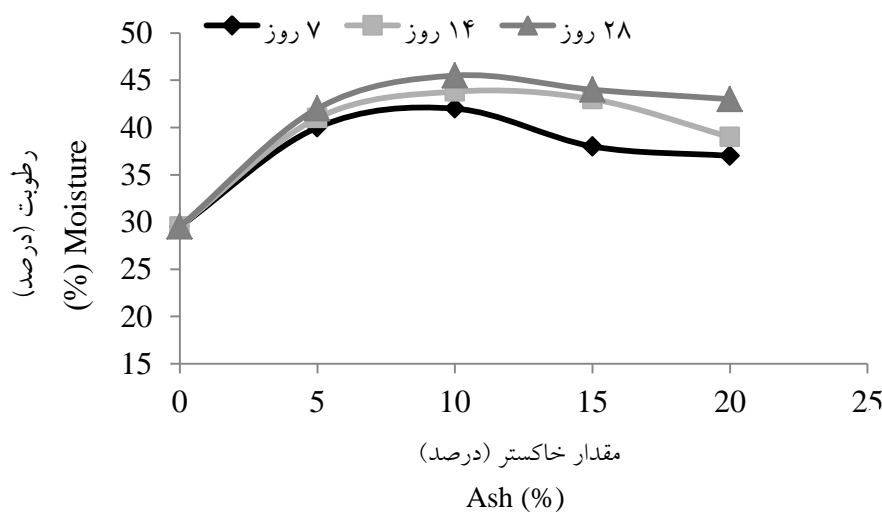


جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مقادیر مختلف خاکستر ساقه ذرت و زمان عمل آوری بر متغیرهای مکانیکی خاک.

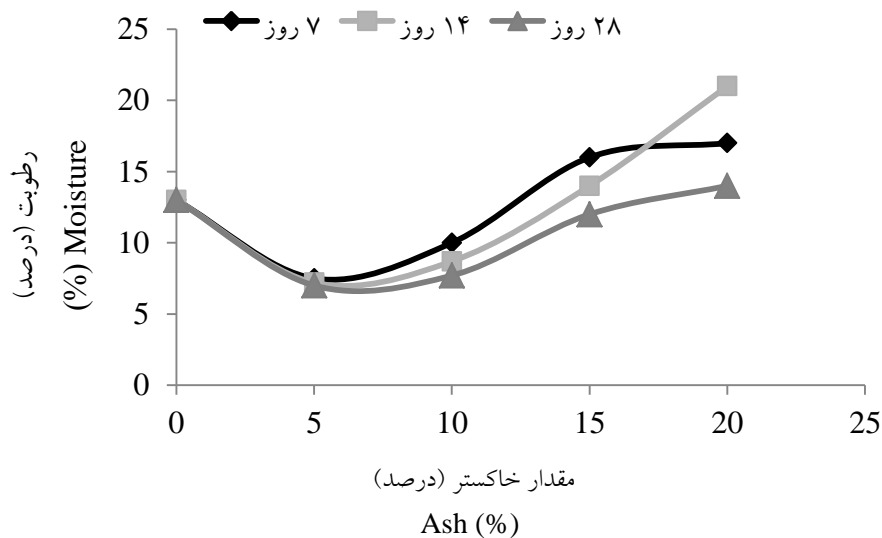
Table 3. Analysis of variance for the effect of corncob ash and curing time on mechanical properties of soil

F	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی Degree of freedom	منبع Source
<b>افزایش خاکستر ساقه ذرت</b> <b>Increasing the corncob ash</b>				
406.12***	313.62	1254.47	4	حد روانی Liquid limit
343.50***	282.43	1129.73	4	حد خمیری Plastic limit
157.21***	149.35	597.41	4	شاخص خمیری Plastic index
32.75***	0.07	0.28	4	حداکثر تراکم خشک Maximum dry density
112.09***	85.71	342.85	4	درصد رطوبت بهینه Optimum moisture
4737.25***	119378.7	477514.8	4	مقاومت فشاری نامحدود Compressive strength
<b>افزایش زمان عمل آوری</b> <b>Increasing the curing time</b>				
20.56***	15.87	31.75	2	حد روانی Liquid limit
57.25***	47.07	94.15	2	حد خمیری Plastic limit
21.08***	20.02	40.05	2	شاخص خمیری Plastic index
2.94 <sup>ns</sup>	0.006	0.012	2	حداکثر تراکم خشک Maximum dry density
43.74***	33.45	66.90	2	درصد رطوبت بهینه Optimum moisture
168.63***	4249.4	8498.4	2	مقاومت فشاری نامحدود Compressive strength

\*\*\* معنی دار در سطح احتمال ۹۹/۹ درصد، ns عدم معنی داری.



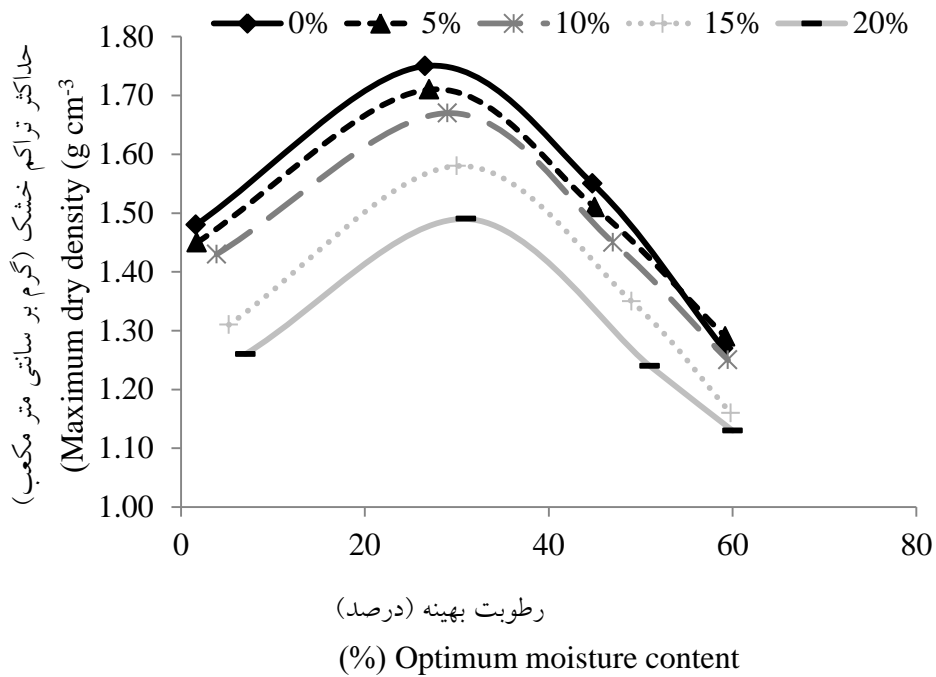
شکل ۵- تغییرات حد خمیری در اثر افزودن خاکستر ساقه ذرت و افزایش زمان عمل آوری  
Figure 5. Variation of the plastic limit by increasing the corncob ash and curing times.



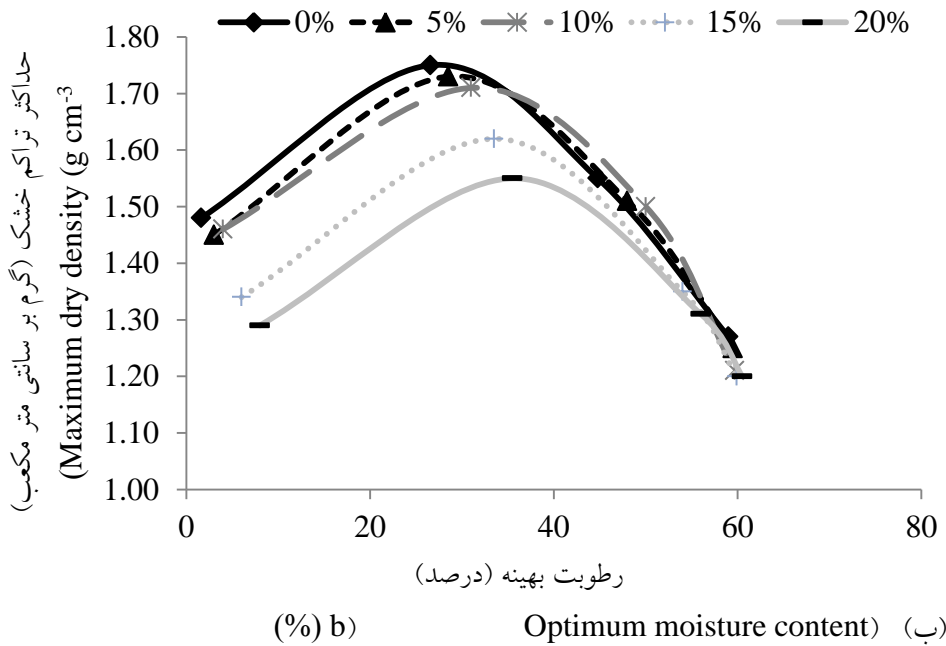
شکل ۶- تغییرات شاخص خمیری خاک در اثر افزودن خاکستر ساقه ذرت و افزایش زمان عمل‌آوری.  
Figure 6. Variation of the plastic index of soil by increasing the corncob ash and curing times.

خاکستر برگ موز و خاکستر ساقه ذرت در تحقیقات جایمو و آپامیا (۲۰۱۴) و نوچیری و آدرینلو (۲۰۱۶) نیز به اثبات رسیده است (۱۵ و ۲۰). نکته قابل توجه آن است که منحنی‌های پروکتور دو تیمار ۱۰ و ۵ درصد خاکستر از زمان عمل‌آوری ۱۴ روز تقریباً بر یکدیگر منطبق شده‌اند و فاصله مشخصی نیز از تیمارهای ۱۵ و ۲۰ درصد پیدا کرده‌اند که این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از مقادیر بیشتر از ۱۰ درصد خاکستر نتوانسته تأثیری بر مقادیر تراکم خشک و رطوبت بهینه خاک بگذارد (شکل ۷، شکل ۸ و شکل ۹). افزایش زمان عمل‌آوری سبب افزایش حداکثر تراکم خشک خاک شد اما در بسیاری از موارد بین زمان عمل‌آوری ۱۴ و ۲۸ روز از نظر حداکثر تراکم خشک خاک تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۳).

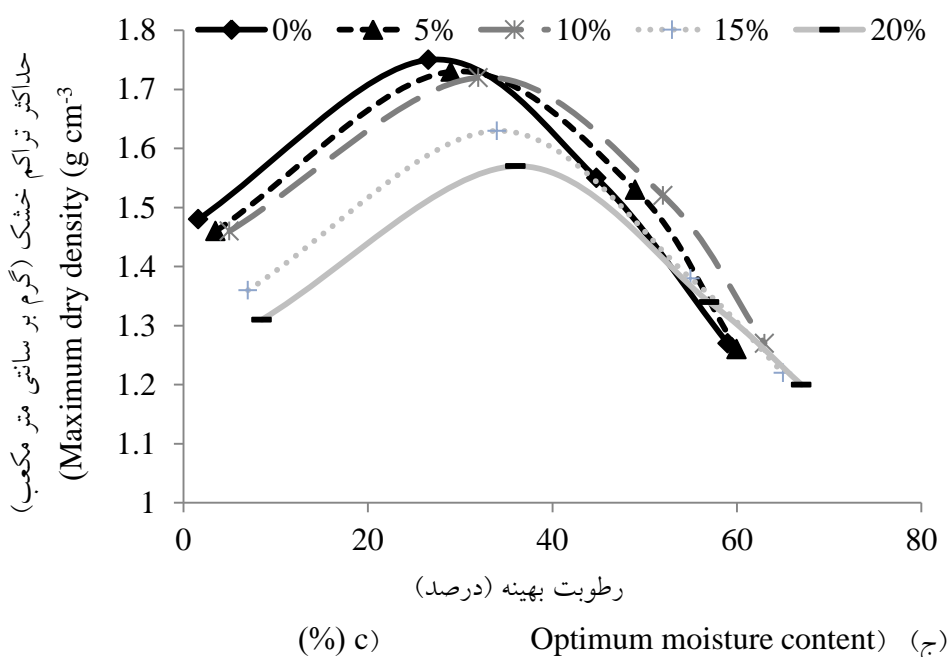
بررسی‌های انجام شده در هر یک از زمان‌های عمل‌آوری نشان داد که با افزایش مقدار خاکستر ساقه ذرت در خاک، حداکثر تراکم خشک خاک کاهش و مقدار رطوبت بهینه افزایش پیدا نمود (شکل ۷، شکل ۸ و شکل ۹). کاهش تراکم خشک خاک احتمالاً به دلیل چگالی ویژه پایین خاکستر ساقه ذرت می‌باشد (۲۱). افزایش رطوبت بهینه خاک نیز احتمالاً به این دلیل است که مولکول‌های آب تمایل به هیدراته شدن دارند (۶). کریم و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که محتوی رطوبت بهینه و حداکثر تراکم خشک خاک طبیعی تیمار نشده به ترتیب ۱۷ درصد و ۱/۸۹ گرم بر سانتی‌مترمکعب بوده که با افزودن ۱۲ درصد خاکستر نی مقدار رطوبت بهینه تا ۲۰ درصد افزایش و حداکثر تراکم خشک خاک به‌طور معنی‌داری تا ۱/۶۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب کاهش یافت (۱۶). کاهش معنی‌دار حداکثر تراکم خشک خاک در نتیجه افزودن



شکل ۷- منحنی حداکثر تراکم خشک خاک و رطوبت بهینه برای خاک‌های تیمار شده با خاکستر در زمان عمل‌آوری ۷ روز.  
 Figure 7. Maximum dry density-water content curve for soil treated by ash in curing time of 7 day.



شکل ۸- منحنی حداکثر تراکم خشک خاک و رطوبت بهینه برای خاک‌های تیمار شده با خاکستر در زمان عمل‌آوری ۱۴ روز.  
 Figure 8. Maximum dry density-water content curve for soil treated by ash in curing time of 14 day.



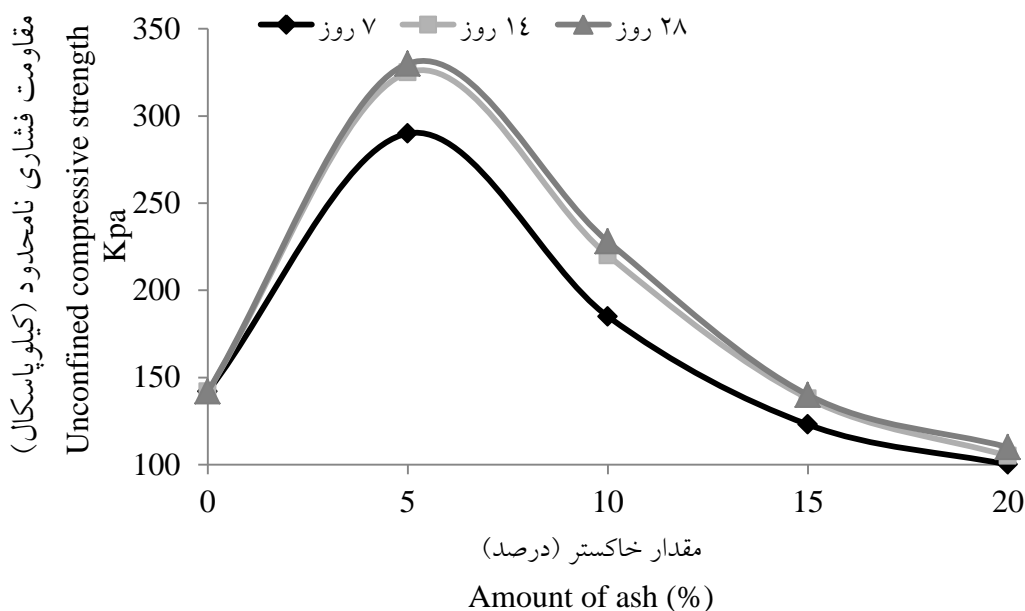
شکل ۹- منحنی حداکثر تراکم خشک خاک و رطوبت بهینه برای خاک‌های تیمار شده با خاکستر در زمان عمل‌آوری ۲۸ روز.  
Figure 9. Maximum dry density-water content curve for soil treated by ash in curing time of 28 day.

ذرت به خاک، یون‌های کلسیم و هیدروکسید موجود در ساختمان آهک خاک تجزیه شده که این موضوع سبب افزایش pH می‌گردد. در این هنگام، سیلیکات‌های نامحلول و یون‌های سیلیس موجود در خاکستر با یون‌های هیدروکسید ترکیب شده و  $\text{Si(OH)}_3$  تولید می‌شود (۱۴ و ۳۲). سپس این هیدروکسیدها با یون‌های کلسیم ترکیب شده و ژل‌های سیمانی شکلی که سیلیکات کلسیم هیدراته نام دارند به وجود می‌آورد. نفوذ این ژل‌های سیمانی در درون خلل و فرج غالباً درشت خاک سبب افزایش مقاومت خاک و کاهش تورم‌پذیری آن می‌گردد (۸ و ۳۴). بر اساس یافته‌های کریم و همکاران (۲۰۱۵) با افزایش مقدار خاکستر ساقه نی از ۰ تا ۱۲ درصد، مقاومت فشاری نامحدود از ۱۶۴ به ۳۰۴/۹ کیلوپاسکال و ظرفیت بارگذاری خاک از ۴/۹ به ۱۶ درصد افزایش یافت (۱۶). صدیق و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که حداکثر ظرفیت بارگذاری خاک و حداکثر مقاومت فشاری نامحدود از ترکیب ۸ درصد

نتایج تحقیق نشان داد که مقاومت فشاری نامحدود خاک با افزودن ۵ درصد خاکستر ساقه ذرت به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا نمود ولی از آن پس افزودن مقادیر بیشتر خاکستر سبب کاهش مقاومت فشاری خاک شده که این موضوع به دلیل مقاومت کم خاکستر در مقادیر زیاد است (۷). ضمن آن‌که افزایش زمان عمل‌آوری سبب افزایش مقاومت فشاری خاک گردید هرچند که بین دو زمان عمل‌آوری ۱۴ و ۲۸ روز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱۰). این یافته با نتایج تحقیقات جایمو و آپامپا (۲۰۱۴)، اکینومی و آیدوموجی (۲۰۱۵) و نوچیری و آدرینلو (۲۰۱۶) مطابقت دارد (۴، ۱۵ و ۲۰). دلیل این افزایش، واکنش پوزولانی است که هنگام آمیخته شدن خاکستر با خاک رس اتفاق می‌افتد ( $\text{SiO}_2$  موجود در خاکستر +  $\text{Ca}^{++}$  موجود در خاک). این فرایند که اصطلاحاً کلوخه‌سازی گفته می‌شود سبب به وجود آمدن ذرات درشت‌تر می‌گردد (۱۶). همچنین به نظر می‌رسد که با افزودن خاکستر ساقه

فشاری نامحدود خاک با افزودن ۴ درصد خاکستر از ۲۰۹/۱۸ کیلوپاسکال به مقدار بهینه ۲۳۳/۷۷ کیلوپاسکال می‌رسد (۱۹).

آهک و ۶ درصد خاکستر نیشکر حاصل می‌گردد (۲۷). پژوهشگران در نیجریه به بررسی تأثیر افزودن ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد وزنی خاکستر برگ موز به خاک لاتریت پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت



شکل ۱۰- تغییرات مقاومت فشاری نامحدود خاک در اثر افزودن خاکستر ساقه ذرت و افزایش زمان عمل‌آوری.  
Figure 10. Variation of the unconfined compressive strength of soil by increasing the corncob ash and curing time.

کاهش حداکثر تراکم خشک و شاخص خمیری خاک می‌گردد. حداکثر مقاومت خاک پس از ۲۸ روز و با افزودن ۴ درصد آهک و ۹ درصد خاکستر حاصل شد (۱۹). در پژوهش حاضر نیز مشخص گردید که با افزایش زمان عمل‌آوری حداکثر تراکم خشک و مقاومت فشاری نامحدود خاک افزایش و شاخص خمیری کاهش می‌یابد. حداکثر تراکم و مقاومت خاک و حداقل شاخص خمیری در تیمار ۵ درصد و زمان عمل‌آوری ۱۴ روز مشاهده شد و در درصدهای بالاتر و زمان عمل‌آوری بیشتر تغییر محسوس و معنی‌داری در مشخصات مکانیکی خاک به‌وجود نیامد (جدول ۴). بدین ترتیب کلیه فرضیات این تحقیق بجز در مورد تأثیر زمان‌های عمل‌آوری ۱۴ و ۲۸ روز بر تراکم و مقاومت خاک مورد تأیید قرار می‌گیرد.

یالی و آسیدو (۲۰۱۳) و اکینومی و آیدوموجی (۲۰۱۵) تحقیقات خود را به اثر خاکستر ساقه ذرت بر مقاومت خاک را پس از یک دوره ۲۸ روزه به اجرا درآوردند (۴ و ۳۱). صدیق و همکاران (۲۰۱۵) تحقیقات خود را در سه دوره عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روز انجام دادند و دریافتند که با افزایش زمان عمل‌آوری مقدار مقاومت خاک افزایش پیدا می‌نماید (۲۷). نصیری و همکاران (۲۰۱۶) اثر نسبت‌های مختلف خاکستر پوسته برنج و آهک را بر خواص مکانیکی خاک ریزدانه بستر راه‌های جنگلی در سه دوره زمانی ۷، ۱۴ و ۲۸ روز بررسی کردند. نتایج نشان داد که مواد افزودنی یاد شده با گذشت زمان موجب افزایش مقاومت فشاری نامحدود خاک می‌شوند. همچنین مشخص شد که افزایش درصد وزنی خاکستر پوسته برنج سبب افزایش رطوبت بهینه،

جدول ۴- تأثیر زمان‌های عمل‌آوری بر مشخصات مکانیکی خاک تیمار شده با مقادیر مختلف خاکستر ساقه ذرت.

Table 4. The effect of curing time on mechanical properties of soil treated by different amount of corncob ash.

خاکستر ساقه ذرت Corncob ash					متغیر Variable
۲۰ درصد 20%	۱۵ درصد 15%	۱۰ درصد 10%	۵ درصد 5%	۰ درصد 0%	
54.0Ba	54.0Ba	52.0Aa	47.5Ab	42.5Ac	حد روانی (درصد)-۷ روز Liquid limit (%) -7 days
60.0Aa	57.0Aa	52.5Ab	48.0Ac	42.5Ad	حد روانی (درصد)-۱۴ روز Liquid limit (%) -14 days
57.0Aa	56.0Aa	53.2Aa	49.0Ab	42.5Ac	حد روانی (درصد)-۲۸ روز Liquid limit (%) -28 days
37.0Bb	38.0Bb	42.0Aa	40.0Aa	29.5Ac	حد خمیری (درصد)-۷ روز Plastic limit (%) -7 days
39.0Bb	43.0Aa	43.8Aa	41.0Ab	29.5Ac	حد خمیری (درصد)-۱۴ روز Plastic limit (%) -14 days
43.0Aa	44.0Aa	45.5Aa	42.0Aa	29.5Ab	حد خمیری (درصد)-۲۸ روز Plastic limit (%) -28 days
17.0Ba	16.0Aa	10.0Ab	7.5Ac	13.0Ab	شاخص خمیری (درصد)-۷ روز Plastic index (%) -7 days
21.0Aa	14.0Ab	8.7Bc	7.2Ac	13.0Ab	شاخص خمیری (درصد)-۱۴ روز Plastic index (%) -14 days
14.0Ca	12.0Aa	7.7Bb	7.0Ab	13.0Aa	شاخص خمیری (درصد)-۲۸ روز Plastic index (%) -28 days
1.49Bc	1.58Bb	1.67Bab	1.71Aa	1.75Aa	حداکثر تراکم خشک (گرم بر سانتی متر مکعب)-۷ روز Maximum dry density (g cm <sup>-3</sup> ) -7 days
1.55Ac	1.62Ab	1.71Aa	1.73Aa	1.75Aa	حداکثر تراکم خشک (گرم بر سانتی متر مکعب)-۱۴ روز Maximum dry density (g cm <sup>-3</sup> ) -14 days
1.57Ab	1.63Ab	1.72Aa	1.72Aa	1.75Aa	حداکثر تراکم خشک (گرم بر سانتی متر مکعب)-۲۸ روز Maximum dry density (g cm <sup>-3</sup> ) -28 days
31.0Ba	30.0Ba	29.0Ba	27.0Aa	26.6Aa	رطوبت بهینه (درصد)-۷ روز Optimum moisture content (%) -7 days
35.5Aa	33.5Aa	31.0Aab	28.5Aab	26.6Ab	رطوبت بهینه (درصد)-۱۴ روز Optimum moisture content (%) -14 days
36.0Aa	34.0Aa	32.0Aab	29.0Aab	26.6Ab	رطوبت بهینه (درصد)-۲۸ روز Optimum moisture content (%) -28 days
100.0Ab	123.0Bb	185.0Ba	290.0Ba	142.0Ac	مقاومت فشاری نامحدود (کیلو پاسکال)-۷ روز Compressive strength (kp) -7 days
105.0Ab	138.0Aab	220.0Aa	325.0Aa	142.0Ac	مقاومت فشاری نامحدود (کیلو پاسکال)-۱۴ روز Compressive strength (kp) -14 days
110.0Ac	140.0Ab	228.0Aa	330.0Aa	142.0Ad	مقاومت فشاری نامحدود (کیلو پاسکال)-۲۸ روز Compressive strength (kp) -28 days

حروف کوچک نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین درصدهای مختلف خاکستر برای هر پارامتر در سطح ۹۵ درصد می‌باشد (ردیف).

حروف بزرگ نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین دوره‌های عمل‌آوری در هر درصد اختلاط در سطح ۹۵ درصد می‌باشد (ستون).

Little signs show the significant difference among the different percentages of ash for each parameter at probability level of 95% (row).

Capital signs show the significant difference among the curing times for each of mixture at probability level of 95% (column).

درصدهای وزنی بیشتر، ذرات حاصل از گرانوله شدن بزرگتر بوده، خلل و فرج بزرگتری را به وجود آورده و بنابراین چگالی خاک کمتر می شود. حداکثر مقاومت فشاری نامحدود خاک در تیمار ۵ درصد و زمان عمل آوری ۱۴ روز مشاهده شد و افزودن مقادیر بیشتر خاکستر به دلیل چگالی ویژه پایین آن سبب کاهش مقاومت خاک گردید. به طور کلی می توان دریافت که به دلیل خواص پوزولانی خاکستر ساقه ذرت می توان از آن در مقدار بهینه ۵ درصد برای بهبود خواص مکانیکی خاک های رسی تورم پذیر در زیرسازی راه های جنگلی استفاده کرد. بدین ترتیب که نسبت به پاشیدن آن روی بستر راه و اختلاط با خاک توسط دیسک تا عمق حداقل ۱۵ سانتی متر اقدام نموده و در پایان بستر توسط غلتک کوبیده می شود.

### نتیجه گیری کلی

تثبیت سریع، آسان، ارزان قیمت و سازگار با محیط زیست خاک های رسی تورم پذیر از ملزومات اولیه ایجاد بستر حمل و نقل مناسب در جنگل های شمال کشور است. وجود مقادیر زیاد عنصر سیلیس در ساختمان شیمیایی ضایعات گیاهانی همچون ذرت سبب شده است تا استفاده از خاکستر آن ها برای تثبیت بیولوژیک خاک های رسی مورد توجه واقع شود. در این تحقیق، افزودن ۵ درصد وزنی خاکستر ساقه ذرت به نمونه های خاک رسی بستر جاده که بر اساس طبقه بندی یونیفاید حالت خمیری متوسط داشتند سبب آن شد که با گذشت ۱۴ روز به مرز غیرخمیری نزدیک شوند. علاوه بر این، مشخص گردید که هر چقدر درصد وزنی خاکستر افزوده شده به خاک کمتر باشد، حداکثر تراکم خشک خاک در مقایسه با تیمارهای دیگر بیشتر بوده و این تراکم نیز در درصد رطوبت پایین تری به دست می آید. زیرا در

5. Baugherian, A., Janalizadeh, A., and Hesami, S. 2005. The use of the rice husk ash for soil stabilization by lime. 2nd National Conference in Civil Engineering, 10-13 May 2005, Iran University of Science & technology, Tehran, 7p. (In Persian)

6. Barazesh, A., Saba, H., Yousefi Rad, M., and Gharib, M. 2012. Effect of wood ash admixture on clay soils in Atterberg test. International Journal of Basic Sciences and Applied Research, 1(4): 83-89.

7. Butt, W.A., Gupta, K., and Jha, J.N. 2016. Strength behavior of clays soil stabilized with saw dust ash. International Journal of Geo-Engineering, 7(18): 1-9.

8. Bell, F.G. 1996. Lime stabilization of clay minerals and soil. Journal of Engineering Geology, 42: 223-237.

9. Binici, H., Yucegok, F., Aksogan, O., and Kaplan, H. 2008. Effect of corncob, wheat straw, and plane leaf ashes as

### منابع

1. Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Fazli, M., Hossein pour, R., Kazemian, A., and Rafiei, M. 2016. Agriculture-Iran-Statistics for 2014-2015. Agricultural products, 1: 174p. (In Persian)

2. Amo, O.O., Fajobi, A.A., and Fekhuai, A. 2005. Stabilizing potential of cement and fly ash mixture on expansive clay soil. Journal of Applied Science, 5(9): 1669-1673.

3. Atterberg, A. 1911. On the investigation of the physical properties of soils and on the plasticity of clays. Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, 1: 10-43. (In German)

4. Akinwumi, I.I., and Aidomojie, O.I. 2015. Effect of Corncob ash on the geotechnical properties of Lateritic soil stabilized with Portland cement. 5(3): 375-392.

19. Nasiri, M., Lotfalian, M., Modarres, A., and Wu, W. 2016. Optimum utilization of rice husk ash for stabilization of sub-base materials in construction and repair projects of forest roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 37(2): 333-344.
20. Nnochiri, E.S., and Aderinlewo, O.O. 2016. Geotechnical Properties of Lateritic Soil Stabilized with Banana Leaves Ash. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, 1(1): 116-119.
21. Owolabi, T.A., Oladipo, I.O., and Popoola, O.O. 2015. Effect of Corncob ash as partial substitute for cement in concrete. *New York Science Journal*, 8(11): 1-4.
22. Pinto, J., Paiva, A., Varum, H., Costa, A., Cruz, D., Pereira, S., Fernandes, L., Tavares, P., and Agarwal, J. 2011. Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material. *Energy and Buildings*, 43(8): 1985-1990.
23. Parsakhoo, A. 2015. Forest road construction and maintenance. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press. 243p. (In Persian)
24. Pashabavandpouri, M.A., and Jahangiri, S. 2015. Effect of nano silica on swelling, compaction and strength properties of clayey soil stabilized with lime. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 5(7): 538-548.
25. Pham, H., and Nguyen, Q.P. 2014. Effect of silica nanoparticles on clay swelling and aqueous stability of nano particles dispersion. *J Nano-particle Research.*, 16: 21-37.
26. Rajasekaran, G., and Narasimha Rao, S. 2002. Compressibility behavior of lime-treated marine clay. *Ocean Engineering*, 29(5): 545-555.
27. Sadeeq, J.A., Ochebo, J., Salahudeen, A.B., and Tijjani, S.T. 2015. Effect of Bagasse Ash on Lime Stabilized Lateritic Soil. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(2): 203-213.
28. Silverio, H.A., Neto, W.P.F., Dantas, N.O., and Pasquini, D. 2013. Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from corncob for mineral admixtures on concrete durability. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(7): 478-483.
10. Bybordi, M. 2014. Soil physics. Tehran University Publication, 674p.
11. Davidson, D.T., and Gardiner, W.F. 1949. Calculation of standard proctor density and optimum moisture content from mechanical analysis, shrinkage and factors and plasticity index. *Highway Research Board* 29(1): 447-481.
12. Egues, I., Stepan, A.M., Eceiza, A., Toriz, G., Gatenholm, P., and Labidi, J. 2014. Corncob arabinosyran for new materials. *Carbohydrate Polymers*, 102: 12-20.
13. Garg, U., Kaur, M.P., Jawa, G.K., Sud, D., and Garg, V.K. 2008. Removal of cadmium (II) from aqueous solution by agricultural waste biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1-3): 1149-1157.
14. Jafer, H., Atherton, W., Sadigue, M., Ruddock, F., and Loffill, E. 2018. Stabilisation of soft soil using binary blending of high calcium fly ash and palm oil fuel ash. *Applied Clay Science*, 152: 323-332.
15. Jimoh, Y.A., and Apampa, O.A. 2014. An evaluation of the influence of corn cob ash on the strength parameters of lateritic soils. *Civil and Environmental Research*, 6(5): 1-10.
16. Karim, H.H., Samueel, Z.W., and Ahmed, S.F. 2015. Geotechnical properties of soft clay soil stabilized by reed ashes. *2nd Int. Conf. on Buildings, Construction and Environmental Engineering*, 154: 1-5.
17. Liu, K., Lin, X., Yue, J., Li, X., Fang, X., Zhu, M., Lin, J., Qu, Y., and Xiao, L. 2010. High concentration ethanol production from corncob residues by fed-batch strategy. *Bioresource Technology*, 101(13): 4952-4958.
18. Lotfalian, M., Parsakhoo, A., and Savadkoohi, A. 2016. Improvement of forest road gravel surfacing quality by Nano-polymer CBR PLUS. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 37(2): 345-352.



- ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(3): 254-261.
33. Ye, Y., Huang, C., Wang, Q., Li, Q., Chen, Z., and Bao, C. 2008. Biomimetic synthesis of a novel HA/corn cob composite. *Applied Surface Science*, 255(2): 548-551.
34. Yong, R.N., and Ouhadi, V.R. 2007. Experimental study on instability of bases on natural and lime/cement – stabilized clayey soils. *Journal of Applied clay science*, 35(3-4): 238-149.
35. Zhang, C., Geng, Z., Cai, M., Zhang, J., Liu, X., Xin, H., and Ma, J. 2013. Microstructure regulation of super activated carbon from biomass source corn cob with enhanced hydrogen uptake. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(22): 9243-9250.
- application as reinforcing agent in nanocomposites. *Industrial Crops and Products*, 44: 427-436.
29. Sun, Y., and Webley, P.A. 2010. Production of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. *Chemical Engineering Journal*, 162(3): 883-892.
30. USDA. 2014. World agricultural supply and demand estimates, WASDE-529. United States Department of Agriculture: Washington, 74p.
31. Yalley, P.P.K., and Asiedu, E. 2013. Enhancing the properties of soil bricks by stabilizing with corn husk ash. *Civil and Environmental Research*, 3(11): 43-52.
32. Yadav, A.K., Gaurav, K., Kishor, R., and Suman, S.K. 2017. Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk



## **Effect of the curing time and combination of corncob (*Zea mays* L.) ash with swelling clay on mechanical properties of soil in forest road**

**A.R. Heidari<sup>1</sup>, \*A. Parsakhoo<sup>2</sup>, M. Nasiri<sup>3</sup> and H. Habashi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., Faculty of Forest Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, <sup>4</sup>Associate Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 05/01/2018; Accepted: 08/13/2018

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Swelling soil such as clay soil is known as unsuitable material for forest transportation due to the high volume change and mechanical defects. The aim of this study was to investigate the capability of biologic stabilizers with silica content such as corncob ash for enhancing and improving the mechanical strength of soil in recommended forest roads of district two in Bahramnia forestry plan in Golestan province.

**Materials and Methods:** The combination percentage of corncob ash and curing time were the treatments of study. At first, the waste of corncob was collected from farmlands. The nodes of stem which have higher amount of Silica were separated and then grind and heated in furnace at 580°C for 2 hours. The 50 swelling soil samples were brought from the depth of 0-20 cm in 100 meters of recommended roads to the soil mechanic laboratory using the systematic randomized sampling method (each sample with a weight of 2 kg). Samples were treated by 5, 10, 15 and 20% corncob ash and in curing times of 7, 14 and 28 days the tests of Atterberg limits, standard proctor and unconfined compressive strength were done with three replications.

**Results:** Findings showed that the plastic index decreased by increasing corncob ash to 5% and then the use of ash more than 5% increased the plastic index. With increasing the amount of ash in the mixture, the dry bulk density of the mixture decreased and optimum moisture content increased. Maximum dry density was 1.73 g cm<sup>-3</sup> which was recorded in optimum moisture of 28.5% and in corncob ash content of 5%. Unconfined compressive strength of the mixture increased until adding 5% of ash, and then the compressive strength decreased by increasing the ash content. Increasing the curing time causes that the maximum dry density and compressive strength to increase whereas the plastic index decreased. In most of the cases, there wasn't significant difference between the curing times of 14 and 28 days.

**Conclusion:** Findings indicated that because of the pozzolonic properties of corncob ash, it is enough to use the optimum amount of 5% and curing time of 14 days for improving the mechanical properties of swelling clay soil of forest road bed.

**Keywords:** Atterberg limits, Maximum dry density, Plastic index, Silica, Unconfined compressive strength

---

\*Corresponding author: Parsakhoo@gau.ac.ir