

اثر خاکستر مازاد مقطوعات در بهبود برخی خواص خاک شیروانی خاک ریزی جاده جنگلی

دنیا الغوثی^۱، مجید لطفعلیان^۲، مهران نصیری^۳ و محمد اسماعیل پور^{۴*}

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (donya_alghosii@yahoo.com)
- ۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (mlotfalian@sanru.ac.ir)
- ۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (m.nasiri@sanru.ac.ir)
- ۴- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر، ایران. (m.esmaeilpour@tabrizu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۱

چکیده

برای تقویت و تثبیت لایه‌های خاک‌ریز باید از روش‌های تثبیت مناسب استفاده کرد. هدف این پژوهش ارزیابی اثر خاکستر مازاد مقطوعات در بهبود ویژگی‌های خاک است. برای این کار، ۱۵ نمونه خاک از شیروانی خاک‌ریزی به صورت تصادفی انتخاب و با توجه به طرح اختلاط سه، شش، نه و ۱۲ درصد وزنی با خاکستر مازاد مقطوعات ترکیب شد. برای بررسی اثر افزودن مواد تثبیت‌کننده بر خاک، آزمایش‌های حدود اتربرگ، نسبت باربری کالیفرنیا و رطوبت و هم‌چنین اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر، نیتروژن، ماده آلی، کربن و بر روی نمونه‌های خاک تیمار شده و شاهد انجام شد. مقایسه کلی داده‌های تیمارها و شاهد برای صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) انجام و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که افزودن خاکستر مازاد مقطوعات به خاک، حد خمیری و نسبت باربری کالیفرنیا را افزایش و حد روانی و شاخص خمیری را کاهش داده است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد اختلاف میانگین در مقدار رطوبت، اسیدیته و نیتروژن معنی‌دار نبود ($P > 0/05$)، این در حالی است که هدایت الکتریکی، فسفر، پتاسیم، ماده آلی و کربن تفاوت‌های معنی‌داری را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: تثبیت خاک، حدود اتربرگ، ظرفیت باربری.

مقدمه

در پروژه‌های عمرانی، علاوه بر اثرهای آن بر محیط-زیست، توجه اقتصادی نیز دارد. خاکستر بادی، خاکستر ته‌کوره، خاکستر پوسته برنج و سرباره‌ی کوره آهن مانند این پسماندها هستند.

در پژوهشی از خاکستر چوب در تثبیت خاک رس استفاده شده است. نمونه‌های خاک با یک تا ۲۵ درصد خاکستر چوب مخلوط شدند. نتایج نشان داد اضافه کردن خاکستر سبب کاهش حد روانی خاک - شده است (Barazesh *et al.*, 2012). در پژوهشی از خاکستر زغال چوب به‌عنوان گزینه‌ای جدید برای تثبیت خواص خاک‌های متورم شونده استفاده شد. نتایج نشان داد که این ماده توانسته گزینه مناسبی برای رفع مشکل تورم‌زایی خاک‌ها باشد (Parsaii *et al.*, 2010). در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن خاکستر چوب به شانه جاده سبب ثبات، پایداری و بهبود شاخص‌های ژئوتکنیکی خاک شده است (Okagbue, 2007). در پژوهشی در منطقه کارناتاکا هند مقادیر مختلف خاکستر بادی ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد را به خاک اضافه و آزمایش‌های مختلف شامل شاخص خمیری، تراکم و نفوذپذیری انجام شد. نتایج نشان داد با استفاده از خاکستر بادی بهبودی در ویژگی‌های خاک حاصل شده است (Mir, 2015). در پژوهشی به تثبیت خاک زیرسطحی با استفاده از انواع مختلفی از مواد محلی مانند خاکستر پوسته برنج، خاکستر باگاس نیشکر و خاکستر سرگین گاو پرداخته شد. نتایج نشان داد پیشرفت قابل توجهی در نسبت باربری کالیفرنیا (CBR: California bearing ratio) و مقاومت فشاری نامحدود (Unconfined compressive strength) به وجود آمده است (Yadav *et al.*, 2017). در پژوهشی تأثیر اختلاط نانورس مونت مریلونیت و خاکستر ساقه نی در تثبیت بستر خاکی راه‌های سری دو طرح

شبکه جاده جنگلی دسترسی آسان به منابع جنگلی برای بهره‌برداری، حفاظت، احیاء و فعالیت‌های تفریح و تفرج را فراهم می‌کند. در سال‌های اخیر، فعالیت ساخت‌وساز و تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی به دلیل افزایش نگرانی‌های عمومی در مورد اثرهای کوتاه‌مدت و بلندمدتی که جاده جنگلی روی محیط می‌گذارد، مورد بحث قرار گرفته است (Akay *et al.*, 2008). جاده فواید بسیاری را برای صاحبان جنگل و مردم فراهم می‌کند ولی در صورت برنامه‌ریزی نامناسب، می‌تواند اثرهای نامطلوبی بر محیط داشته باشد. ساختمان جاده جنگلی شامل شیروانی خاک-برداری که در اثر برش دامنه طبیعی ایجاد شده و خاک آن به علت به هم خوردن وضعیت طبیعی، سست و شیب آن دارای شیب تندتری نسبت به شیب طبیعی دامنه بوده و معمولاً در سال‌های نخست از نظر پوشش گیاهی بسیار فقیر است و شیروانی خاک‌ریزی که در اثر خاک‌ریزی ایجاد می‌شود و شیب آن کمتر از شیروانی خاک‌برداری است (Lotfalian *et al.*, 2019). در دامنه خاک‌ریزی جاده‌های جنگلی، خاک دچار به-هم‌خوردگی و جابه‌جایی می‌شود و مقدار اکسیژن و نور بیشتری را نسبت به دامنه خاک‌برداری دریافت می‌کند (Olander *et al.*, 1998). روش‌های مختلفی برای تثبیت خاک ارائه شده است که شامل روش‌های مکانیکی، شیمیایی (Mousavi and Abdi, 2015)، مدیریتی و زیستی است و هرکدام از این روش‌ها دارای یک سری محدودیت‌های ویژه‌ای هستند (Zomorodian and Ghafari, 2017). در سال‌های اخیر، استفاده از پسماندهای صنعتی در تثبیت خاک-های مسئله‌دار افزایش چشم‌گیری (Roohbakhshan, Yusuf, Yadav *et al.*, 2017, and Kalantari, 2016 and Aper, 2019) داشته است. به‌کارگیری این مواد

وجود دارد تا سبب کاهش هزینه تثبیت جاده شود و از طرفی کار با مواد محلی برای تثبیت جاده در کشورهای فقیر و توسعه‌نیافته می‌تواند بسیار جذاب باشد (Yusuf and Aper, 2019). هم‌چنین، استفاده از سیمان برای تثبیت خاک‌های ریزدانه با دامنه خمیری زیاد توصیه نمی‌شود (Taherkhani, 2016). در پروژه-های جاده‌های جنگلی معمولاً کمبود بودجه سبب عدم اجرای عملیات تعمیر و نگهداری می‌شود. هم‌چنین به-کارگیری مواد تثبیت‌کننده که سبب ناهمگنی در طبیعت می‌شود نمی‌تواند توجه دستداران محیط-زیست را به خود جلب کند. از آنجایی که به‌کارگیری خاکستر مازاد مقطوعات به‌عنوان یک ماده تثبیت‌کننده برای تثبیت شیروانی‌های جاده جنگلی به‌ندرت گزارش شده و نیز دارای کمترین هزینه و تغییر در شرایط طبیعی منطقه است، بنابراین در این پژوهش به ارزیابی اثر خاکستر مازاد مقطوعات به‌عنوان تثبیت-کننده خاک شیروانی‌های جاده‌های جنگلی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان مازندران، شهرستان کلاردشت، واقع در حوزه آبخیز شماره ۳۶ (رودخانه کاظم‌رود-آزارود)، جنگل سری یک کلاردشت و پارسل ۱۱۰ گردسر با طول جغرافیایی $51^{\circ}9'$ تا $51^{\circ}5'$ و عرض جغرافیایی $37^{\circ}37'$ تا $37^{\circ}33'$ انجام شده است. حداقل ارتفاع آن از سطح دریا ۳۵۰ متر و حداکثر حدود ۱۳۰۰ متر است. بافت خاک منطقه از نوع لومی-رسی (طبق سیستم یونیفاید، خاک لای با حد روانی پایین ML و رس با حد روانی پایین CL) است. برای انجام این پژوهش، شیروانی خاکریزی با میانگین شیب ۲۵ درصد در دامنه شمالی انتخاب شد. برای تهیه نمونه خاک تعداد ۱۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۰ سانتی-

جنگلداری دکتر بهرام‌نیا واقع در استان گلستان بررسی شد. در این پژوهش، افزایش زمان عمل‌آوری سبب کاهش شاخص خمیری، افزایش حداکثر تراکم خشک و مقاومت خاک شد. تیمار شش درصد خاکستر و ۱/۵ درصد نانورس با زمان عمل‌آوری ۲۸ روز برای تثبیت خاک رس منطقه مورد بررسی پیشنهاد شد (Parsakhoo and Rezaee Motlaq, 2018). پژوهشی برای بررسی مناسب بودن خاکستر پوسته نارگیل، به‌عنوان یک تثبیت‌کننده خاک جاده انجام شد. خاکستر پوسته نارگیل، با هدف ارزیابی پتانسیل آن به-عنوان یک پوزولان، انتخاب شد. سپس این خاکستر با خاک لاتریت با نسبت‌های مختلف مخلوط شد. نتایج نشان داد که با افزایش محتوای خاکستر پوسته نارگیل، درصد رطوبت بهینه افزایش و حداکثر چگالی خشک خاک کاهش یافته است. با افزایش محتوای خاکستر پوسته نارگیل تا ۸ درصد، نسبت باربری کالیفرنیا و مقاومت فشاری نامحدود مخلوط افزایش، اما با افزایش محتوای خاکستر پوسته نارگیل، مقدار آن‌ها کاهش یافت. در این پژوهش پیشنهاد شد که از این مخلوط برای تثبیت خاک بستر راه استفاده شود (Yusuf and Aper, 2019).

در فنلاند سالانه ۵۰۰ هزار تن خاکستر چوب تولید می‌شود که می‌تواند به‌عنوان مصالح و هم‌چنین به‌عنوان یک چسب برای تثبیت خاک استفاده شود. در جاده‌های جنگلی خاکستر چوب می‌تواند در جاده‌های بدون روسازی اضافه شود (Vanhanen et al., 2014). عوامل مؤثر در خواص خاکستر چوب به عوامل مختلفی مانند نوع گیاه، بخشی از گیاهی که می‌سوزد (مانند پوست، چوب و برگ)، نوع خاک، آب‌وهوا و شرایط احتراق بستگی دارد (Demeyer et al., 2001). نیاز فوری برای یافتن جایگزین‌های ارزان‌تر برای تثبیت‌کننده‌های سنتی مانند سیمان پرتلند و آهک

الک نمره ۴۰ استفاده شد. برخی از ویژگی‌های شیمیایی و عناصر موجود در خاکستر تهیه شده در جدول ۱ و ۲ آمده است. نمونه‌های خاک پس از مخلوط شدن با درصدهای مختلف خاکستر مازاد مقطوعات (درصد وزنی مطابق جدول ۳) در کیسه‌های پلاستیکی به مدت ۲۸ روز نگهداری و سپس نمونه‌های تهیه شده (هرکدام سه تکرار) به آزمایشگاه منتقل شدند.

متر در قالب طرح کاملاً تصادفی برداشت شد که بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد خاک (USDA) در طبقه Clay loam قرار می‌گیرد. در این پژوهش، ترکیبی از گونه‌های موجود در جنگل، ۷۰ درصد راش، ۲۰ درصد ممرز و ۱۰ درصد وزنی دیگر گونه‌ها (مازاد مقطوعات با قطر کمتر از ۱۰ سانتی‌متر) جمع-آوری و برای تبدیل شدن آن به خاکستر، در هوای آزاد سوزانده شد. برای خروج ناخالصی‌ها از خاکستر از

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاکستر مازاد مقطوعات

Table 1. Chemical properties of logging residual ash

ماده آلی (درصد)	کربن (درصد)	نیتروژن (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)
Organic Matter (%)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Potassium (%)	Phosphorus (%)
6.7	12	0.8	1.4	0.8

جدول ۲- عناصر موجود در خاکستر مازاد مقطوعات

Table 2. Elements in logging residual ash

آهن (پی‌پی‌ام)	روی (پی‌پی‌ام)	منگنز (پی‌پی‌ام)	مس (پی‌پی‌ام)	کلسیم (درصد)	منیزیم (درصد)	سیلیسیم (درصد)
Iron (ppm)	Zinc (ppm)	Manganese (ppm)	Copper (ppm)	Calcium (%)	Magnesium (%)	Silicon (%)
2788	292	1261	22	8.08	0.72	73.8

استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) انجام و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج

تأثیر خاکستر مازاد مقطوعات بر شاخص‌های مکانیکی خاک

تأثیر مخلوط خاکستر مازاد مقطوعات و خاک بر حد روانی، حد خمیری، شاخص خمیری و نسبت باربری کالیفرنیا در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد با اضافه کردن خاکستر مازاد مقطوعات تا ۱۲ درصد، حد روانی کاهش یافته است. این مقدار خاکستر مازاد مقطوعات بهترین عملکرد را

برای بررسی اثر خاکستر مازاد مقطوعات بر شاخص‌های مکانیکی خاک، حدود اتربرگ (Atterberg Limits) و نسبت باربری کالیفرنیا (در قالب تراکم) روی نمونه شاهد (خاک بدون مواد افزودنی) و مخلوط‌های خاک با درصدهای مختلف خاکستر مازاد مقطوعات انجام شد. هم‌چنین عواملی مانند هدایت الکتریکی (EC: Electrical conductivity)، اسیدیته، فسفر، نیتروژن، پتاسیم، کربن و ماده آلی در آزمایشگاه خاک اندازه‌گیری شد تا اثر تثبیت بر خواص شیمیایی خاک شناسایی شود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Statistika و SigmaPlot انجام شد. مقایسه کلی داده‌های تیمارها و شاهد برای صفات اندازه‌گیری شده با

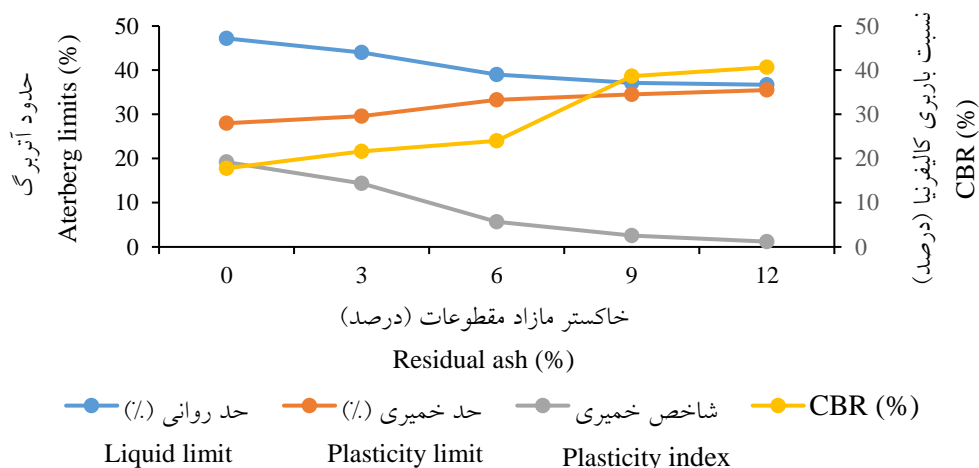
در کاهش حد روانی داشته است. اضافه کردن خاکستر مازاد مقطوعات به خاک سبب افزایش حد خمیری خاک نسبت به شاهد (خاک طبیعی بدون مواد افزودنی) شد. شاخص خمیری نیز با افزودن خاکستر چوب نسبت به نمونه شاهد روند کاهشی داشت. با توجه به نتایج به دست آمده، نسبت باربری کالیفرنیا نمونه خاک طبیعی ۱۷/۸ درصد اندازه گیری شد که پس از اختلاط با خاکستر مازاد مقطوعات نسبت باربری کالیفرنیا افزایش یافته است. بررسی منحنی

نشان داد با افزودن ۹ درصد خاکستر مازاد مقطوعات به خاک، نسبت باربری کالیفرنیا با شدت زیادی افزایش یافته و پس از آن با افزودن ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات، مقدار آن تقریباً ثابت شده است (شکل ۱). مقدار درصد وزنی رطوبت نیز در خاک شاهد ۲۷/۲۵ درصد ثبت شد. در مجموع با افزایش خاکستر مازاد مقطوعات، درصد رطوبت خاک اندکی افزایش پیدا کرده است (شکل ۲).

جدول ۳- طرح اختلاط مصالح شامل درصدهای مختلف ترکیب خاک و خاکستر مازاد مقطوعات

Table 3. Mix design include different percent of soil composition and logging residual ash

واژه‌های اختصاری	درصد اختلاط	شماره تیمار
Abbreviations	Mix design	Treatment number
S	خاک (نمونه شاهد) Soil (Control sample)	1
S+3% LRA	خاک + ۳ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+3% Residual ash	2
S+6% LRA	خاک + ۶ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+6% Residual ash	3
S+9% LRA	خاک + ۹ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+9% Residual ash	4
S+12% LRA	خاک + ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+12% Residual ash	5



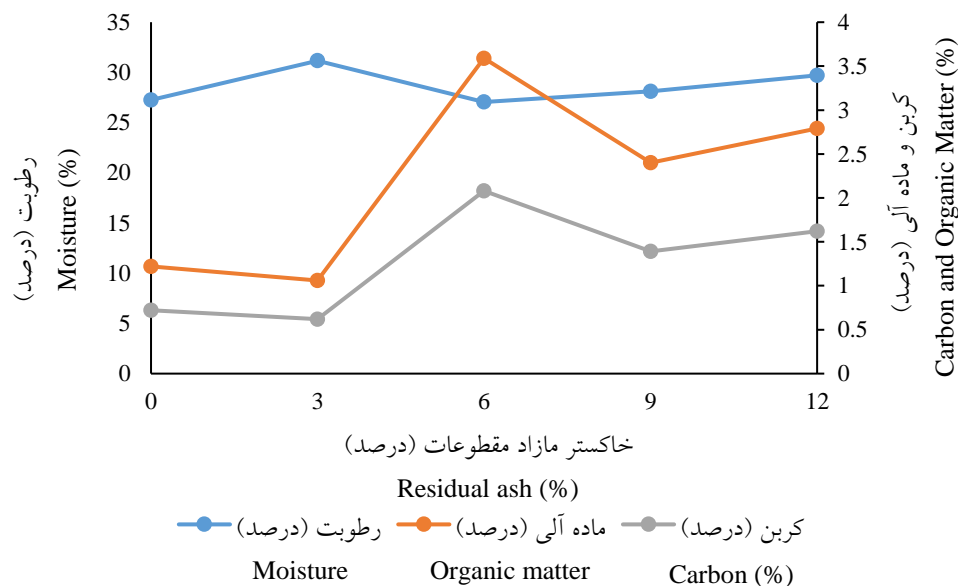
شکل ۱ - تغییرات حد روانی (LL)، حد خمیری (PL)، شاخص خمیری (PI) و نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) با توجه به افزودن خاکستر مازاد مقطوعات

Figure 1. Changes in liquid limit (LL), plasticity limit (PL), plasticity index (PI) and CBR due to addition of logging residual ash

تأثیر خاکستر مازاد مقطوعات بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

با توجه به شکل ۲ با افزودن خاکستر مازاد مقطوعات به خاک، مقدار ماده آلی نسبت به نقطه شاهد افزایش یافته است. نقطه اوج افزایش آن زمانی است که با افزودن ۶ درصد خاکستر، مقدار ماده آلی از ۱/۲۲ درصد در نمونه شاهد به مقدار ۳/۵۹ درصد رسیده و پس از آن روند کاهشی پیدا کرده و در مجموع مقدار ماده آلی نسبت به نقطه شاهد بیشتر است. با افزودن

خاکستر چوب به خاک مقدار کربن نسبت به نقطه شاهد یعنی زمانی که هیچ خاکستری به خاک اضافه نشده افزایش یافته است. نقطه اوج افزایش کربن (۲/۰۸ درصد) زمانی است که خاکستر چوب ۶ درصد است و پس از آن روند کاهشی پیدا کرده و در مجموع مقدار کربن نسبت به نقطه شاهد بیشتر است (شکل ۲).

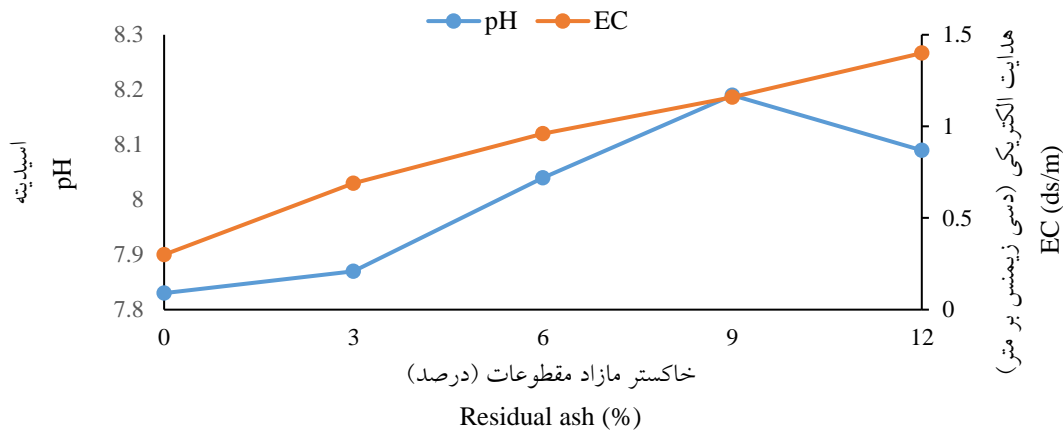


شکل ۲- تغییرات رطوبت، ماده آلی و کربن خاک با توجه به افزودن خاکستر مازاد مقطوعات

Figure 2. Changes in soil moisture, organic matter and carbon due to addition of logging residual ash

تغییرات خاکستر مازاد مقطوعات نشان داد که با افزودن خاکستر مازاد مقطوعات به خاک مقدار هدایت الکتریکی افزایش یافته و نقطه اوج زمانی است که مقدار خاکستر مازاد مقطوعات ۱۲ درصد باشد (شکل ۳).

بررسی تغییرات اسیدیته با توجه به تغییرات خاکستر مازاد مقطوعات نشان داد که افزودن خاکستر به خاک به طور کلی سبب افزایش اسیدیته شده، به طوری که خاک به سمت قلیایی شدن پیش رفته و نقطه اوج آن زمانی است که خاکستر ۹ درصد باشد (شکل ۳). بررسی تغییرات هدایت الکتریکی با توجه به

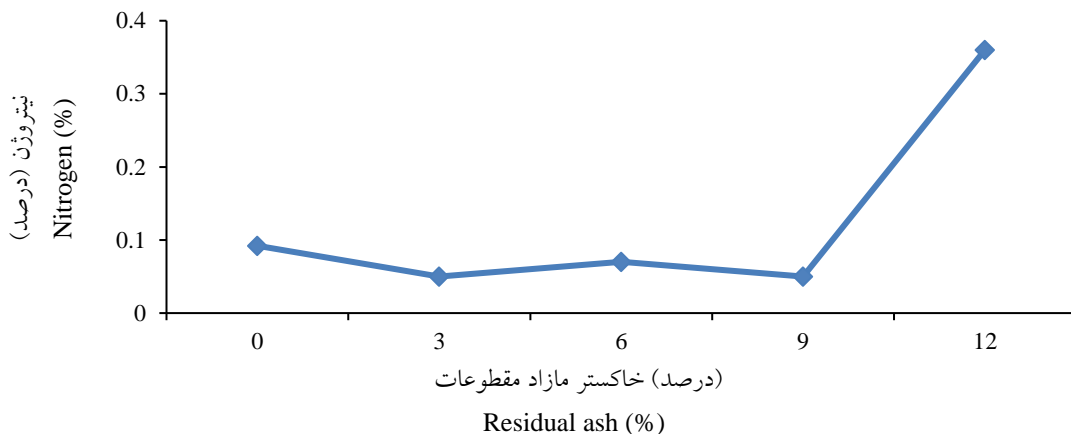


شکل ۳- تغییرات اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک با توجه به افزودن خاکستر مازاد مقطوعات

Figure 3. Changes in soil pH and EC due to addition of logging residual ash

افزایش خاکستر به ۱۲ درصد، روند افزایشی نیتروژن به یک‌باره زیاد شده است. در مجموع با افزایش خاکستر مازاد مقطوعات، درصد نیتروژن افزایش یافته است (شکل ۴).

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش خاکستر مازاد مقطوعات به خاک درصد نیتروژن روند افزایشی داشت و زمانی که مقدار خاکستر به ۹ درصد رسید، درصد نیتروژن به کمترین حد رسیده و پس از آن با



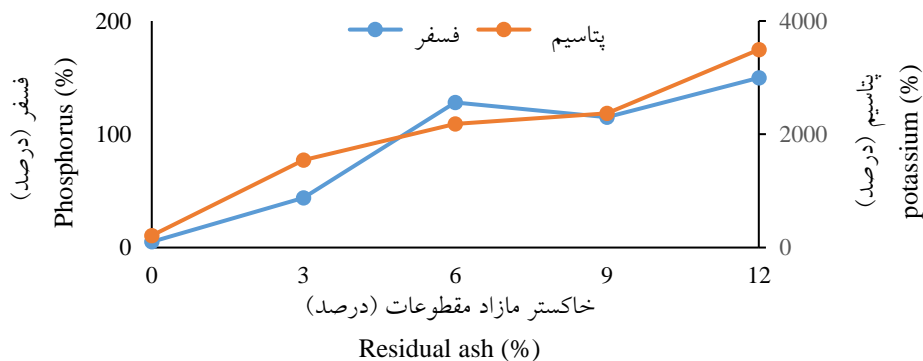
شکل ۴- تغییرات نیتروژن با توجه به افزودن خاکستر مازاد مقطوعات

Figure 4. Changes in nitrogen due to addition of logging residual ash

کرد. در این پژوهش کمترین مقدار پتاسیم در خاک شاهد (۲۱۱/۶۰ درصد) و بیشترین مقدار آن در تیمار خاک دارای ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات (۳۴۹۳/۸۶) مشاهده شد. با افزایش خاکستر مازاد مقطوعات مقدار فسفر افزایش پیدا کرد و در زمانی که خاکستر مازاد مقطوعات شش درصد است، به نقطه اوج رسیده و پس از آن با افزایش خاکستر به ۹ درصد،

نتایج این پژوهش نشان داد با افزودن خاکستر مازاد مقطوعات به خاک شیروانی خاکریزی جاده جنگلی، مقدار پتاسیم روند افزایشی داشته و البته در طول نمودار دارای نوساناتی بود. این روند افزایشی تا زمانی که مقدار خاکستر ۹ درصد است یک روند تقریباً یکنواخت بود و با افزایش خاکستر مازاد مقطوعات به ۱۲ درصد به یک‌باره شدت بیشتری پیدا

مقدار فسفر کاهش یافت و مجدداً با اضافه کردن ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات به خاک مقدار فسفر روند افزایشی داشته است (شکل ۵).



شکل ۵- تغییرات پتاسیم و فسفر با توجه به افزودن خاکستر مازاد مقطوعات

Figure 5. Changes in phosphorus and potassium due to addition of logging residual ash

تیمارها، به‌غیر از تیمار ۳ درصد، نیز با آن اختلاف معنی‌داری نداشتند. برای کربن بیشترین مقدار برای تیمار ۶ درصد به‌دست آمد که با تیمارهای ۹ و ۱۲ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزودن ۶، ۹ و ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات اختلاف معنی‌داری در ماده آلی و کربن مشاهده نشد. نتایج این پژوهش نشان داد خاکستر مازاد مقطوعات در اسیدیته و نیتروژن به‌طور معنی‌داری تأثیر نداشته است. افزودن ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات به خاک سبب افزایش هدایت الکتریکی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد فسفر تیمار ۹ درصد با ۱۲ درصد اختلاف معنی‌دار داشت و بقیه تیمارها نیز با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند. پتاسیم تیمار ۱۲ درصد (بیشترین مقدار) با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد.

نتایج آنالیز آماری شاخص‌های مکانیکی خاک

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود حد روانی تیمار شاهد، با بقیه تیمارها، به‌غیر از تیمار ۳ درصد، تفاوت معنی‌داری داشت. حد خمیری تیمار ۱۲ درصد با بقیه تیمارها، به‌غیر از تیمار ۹ درصد، اختلاف معنی‌داری داشت. شاخص خمیری تیمار شاهد و تیمار ۳ درصد با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشتند. نتایج مقایسه نسبت باربری کالیفرنیا نشان داد که تیمار ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات بیشترین میانگین (۴۰/۶۶ درصد) را داشته و تیمار ۹ درصد نیز با ۳۸/۶۶ درصد اختلاف معنی‌داری با این تیمار نداشت و میانگین‌های دیگر تیمارها به‌طور معنی‌داری کمتر از این دو تیمار بودند. با افزودن ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات به خاک اختلاف معنی‌داری در رطوبت وجود نداشته است.

نتایج آنالیز آماری ویژگی‌های شیمیایی خاک

با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار ماده آلی برای تیمار ۶ درصد به‌دست آمده است و بقیه

جدول ۴- مقایسه آماری شاخص‌های مکانیکی خاک برای درصد‌های مختلف خاکستر مازاد مقطوعات و نمونه شاهد
Table 4. Statistical comparison of soil mechanical parameters for different percentages of logging residual ash

Sig.	Soil (Control sample)	تیمار Treatment				متغیر Variable
		خاک + ۳ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+3% Residual Ash	خاک + ۶ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+6% Residual Ash	خاک + ۹ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+9% Residual Ash	خاک + ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+12% Residual Ash	
0.001	47.30 ^a ±2.16	44.43 ^{ab} ±2.48	40.06 ^{bc} ±2.26	37.80 ^c ±3.04	37.02 ^c ±2.97	حد روانی (درصد) Liquid limit (LL%)
0.001	28 ^c ±3.14	30.60 ^c ±3.08	33.86 ^b ±3.24	35.33 ^{ab} ±2.97	36.50 ^a ±3.01	حد خمیری (درصد) Plastic limit (PL%)
0.001	19 ^a ±1.7	14 ^a ± 1.4	5.7 ^b ±1.1	2.6 ^c ±0.93	1.2 ^c ±0.71	شاخص خمیری (درصد) Plastic index (PI%)
0.001	17.80 ^c ±2.06	21.66 ^{bc} ±2.37	24 ^b ±2.23	38.66 ^a ±1.48	40.66 ^a ±2.09	نسبت باربری کالیفرنیا (درصد) California bearing ratio (CBR%)
0.884	27.25 ^a ±2.14	31.16 ^a ±2.03	27.05 ^a ±1.85	28.10 ^a ±3.06	29.71 ^a ±1.98	رطوبت (درصد) Moisture (M%)

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر سطر در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means with different letters in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

بحث

(Bolouri Bazaz, 2015). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزودن خاکستر مازاد مقطوعات، حد خمیری خاک افزایش یافته است. افزودن خاکستر ساقه نی و نانورس نیز سبب افزایش حد خمیری خاک شده است (Parsakhoo and Rezaee Motlaq, 2018). موضوعی که مشخص است با افزودن خاکستر مازاد مقطوعات، شاخص خمیری همه نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است. این اتفاق در اثر مجتمع شدن ذرات رس و کم شدن بار منفی ذرات رسی است (Ganji et al., 2008). تغییرات شاخص خمیری خاک رس به عوامل مختلفی همچون درصد رطوبت عمل‌آوری اختلاط، زمان عمل‌آوری، نوع و درصد کانی‌های خاک رس و اسیدپته محیط بستگی دارد (Taebi et al., 2015). در این پژوهش افزودن خاکستر مازاد

از راهکارهای مناسب در بهبود خواص خاک جاده استفاده از مواد افزودنی از قبیل خاکستر ساقه نی، پوسته برنج، برگ نخل، باگاس نیشکر، مازاد مقطوعات، پوسته نارگیل و غیره است. در این پژوهش اثر خاکستر مازاد مقطوعات در بهبود ویژگی‌های خاک مورد بررسی قرار گرفت.

در این پژوهش افزودن خاکستر مازاد مقطوعات سبب کاهش حد روانی خاک شد، چون خاکستر دارای ظرفیت جذب رطوبت بالایی است (Serafimova et al., 2011). با اضافه کردن مواد (مانند خاکستر) به خاک، فضاهای خالی پر شده و در نتیجه هوادمی کاهش و ظرفیت نگه‌داری افزایش یافته و بدین‌وسیله خاک تثبیت می‌شود (Maroof and

ظرفیت باربری خاک افزایش یابد. در این پژوهش، افزودن خاکستر مازاد مقطوعات سبب کاهش رطوبت در خاک شد که با نتایج (Ayininuola and Oyedemi, 2013) هم‌خوانی دارد. با افزودن خاکستر، ذرات خاک به هم متصل می‌شوند و این اتصال موجب تشکیل ذرات بزرگ‌تر می‌شود و جذب آب به وسیله ذرات کاهش می‌یابد. خاکستر مازاد مقطوعات نقش مؤثری بر کاهش رطوبت خاک دارد.

مقطوعات به خاک سبب افزایش نسبت باربری کالیفرنیا شد که با نتایج (al- Ucharia et al., 2016, Ayininuola and Swaidani et al., 2016, Okagbue, 2007, Oyedemi, 2013, هم‌خوانی دارد. علت این امر این است که با افزودن خاکستر به خاک به علت خاصیت پوزولانی، کلسیم، سیلیسیم و آلومینیوم با آب واکنش داده و مواد سیمانی تشکیل شده و ذرات خاک به هم متصل می‌شوند. این اتصال موجب تشکیل ذرات بزرگ‌تر شده و در نتیجه سبب ایجاد ساختمانی به هم پیوسته شده و سبب می‌شود

جدول ۵- مقایسه آماری ویژگی‌های شیمیایی خاک برای درصدهای مختلف خاکستر مازاد مقطوعات و نمونه شاهد

Table 5. Statistical comparison of soil chemical properties for different percentages of logging residual ash and control sample

Sig.	تیمار Treatment					متغیر Variable
	خاک (نمونه شاهد) Soil (Control sample)	خاک + ۳ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+3% Residual Ash	خاک + ۶ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+6% Residual Ash	خاک + ۹ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+9% Residual Ash	خاک + ۱۲ درصد خاکستر مازاد مقطوعات Soil+12% Residual Ash	
0.327	7.83 ^a ±0.98	7.87 ^a ±0.36	8.04 ^a ±0.98	8.19 ^a ±0.54	8.09 ^a ±0.98	اسیدیته pH
0.000	0.30 ^d ±0.041	0.69 ^c ±0.06	0.96 ^b ±0.02	1.16 ^b ±0.29	1.40 ^a ±0.09	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) Electric conduction (ds/m)
0.009	5.04 ^d ±0.37	43.82 ^c ±3.77	128.03 ^{ab} ±4.61	115.15 ^b ±8.19	±7.01 149.80 ^a	فسفر (درصد) Phosphorus (%)
0.361	0.09 ^a ±0.008	0.05 ^a ±0.009	0.07 ^a ±0.009	0.05 ^a ±0.009	0.36 ^a ±0.86	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)
0.001	211.60 ^d ±7.11	1542.59 ^c ±45.11	2183.76 ^b ±29.67	2369.60 ^b ±46.21	3493.86 ^a ±79.86	پتاسیم (درصد) Potassium (%)
0.049	1.22 ^{ab} ±0.23	1.06 ^b ±0.09	3.59 ^a ±0.23	2.40 ^a ±0.07	2.79 ^a ±0.09	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
0.047	0.72 ^b ±0.29	0.62 ^b ±0.08	2.08 ^a ±0.32	1.39 ^a ±0.05	1.62 ^a ±0.24	کربن (درصد) Carbon (%)

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر سطر در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means with different letters in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

تماس با خاک بستگی دارد. اگر با افزودن مقادیر اولیه خاکستر، زیست توده میکروبی افزایش یابد، ماده آلی خاک افزایش می یابد. اینکه با اضافه کردن خاکستر، روند نمودارهای ویژگی های شیمیایی خاک خطی نمی شود، می تواند به دلیل ناهمگنی و نایکدستی خاکستر و خاک باشد. باید مازاد مقطوعات خیلی خوب سوزانده و به خوبی با خاک مخلوط شده تا نمونه کاملاً یکنواختی تهیه و سپس نمونه برداری از خاکستر همگن انجام شود. به نظر می رسد بخشی از خاکستر در خاک مؤثر می شود. چون ممکن است توسط عوامل فیزیکی، شیمیایی و حتی وجود عوامل زیستی تحت تأثیر قرار گیرد. به نظر می رسد خاکستر مازاد مقطوعات در تأثیرگذاری بر ویژگی های خاک، مقدار بهینه ای داشته باشد، همان طوری که با افزودن خاکستر باگاس نیشکر به خاک رس، ویژگی های شیمیایی (مقدار اسیدیته) به صورت خطی افزایش نیافته است (Karimi et al., 2018).

از آنجایی که خاکستر استفاده شده در این پژوهش یک ماده طبیعی است، استفاده از آن برای محیط زیست سودمند بوده و سبب کاهش استفاده از مواد اولیه غیرقابل تجدید مانند کربنات کلسیم (CaCO_3) می شود (Supancic and Obernberger, 2011). در جاده سازی ممکن است استفاده از دیگر مواد افزودنی مقرون به صرفه نباشد و تثبیت خاک با خاکستر مازاد مقطوعات روشی کم هزینه به نظر می رسد.

لازم به ذکر است درختان بادافتاده و شکسته و درختان حاصل از برش های حمایتی از قبیل قطع درختان به علت جلوگیری از شیوع آفات و بیماری ها می توانند منابعی برای تهیه خاکستر باشند. همچنین، به دلیل نقص در سیستم توزیع سوخت های فسیلی، فقر روستایی و زندگی وابسته به منابع طبیعی تجدیدشونده، عملاً استفاده از چوب های جنگلی به-

خاکستر می تواند سبب تغییرات در خواص شیمیایی به خصوص در لایه های فوقانی خاک شود (Okagbue, 2007). بدین صورت که با افزودن خاکستر خاک، Ca^{2+} خاکستر با یون های فلزی ضعیف تر (K^+ ، Na^+ و Mg^{2+}) در خاک جایگزین شده و در نهایت سبب ایجاد تغییراتی می شود (Ucharia et al., 2016). در این پژوهش ویژگی های شیمیایی خاک در اثر افزودن خاکستر بررسی شد. خاکستر مورد استفاده در این پژوهش ترکیبی از گونه های پهن برگ راش، ممرز و دیگر گونه ها بود که به علت آهکی بودن سبب افزایش اسیدیته خاک (۸/۱۹) شد. اضافه کردن خاکستر شاخه و پوست درختان کاج و اکالیپتوس برای تثبیت خاک نیز سبب افزایش اسیدیته خاک شده است (Rey-Salgueiro et al., 2016). خاکستر در حضور آب، اکسید کلسیم خاک را به هیدروکسید کلسیم تبدیل می کند. هیدروکسید کلسیم با دی اکسید کربن هوا واکنش داده و کربنات کلسیم تشکیل می شود و در نتیجه اثر آهکی را در خاک افزایش داده است (Barazesh et al., 2012). در این پژوهش خاکستر مازاد مقطوعات سبب افزایش هدایت الکتریکی شد که با نتایج (Perucci et al., 2006) همخوانی دارد. نتایج نشان داد مقدار پتاسیم نسبت به خاک شاهد بیش از ۱۶ برابر افزایش یافته است. از این رو می توان دریافت خاکستر مازاد مقطوعات می تواند نقش مهمی در افزایش پتاسیم خاک داشته باشد. در این پژوهش با افزایش خاکستر مازاد مقطوعات به خاک، فسفر خاک افزایش یافته است. خاکستر پهن برگان فسفر و پتاسیم زیادی دارد و با اضافه شدن به خاک سبب افزایش این عناصر شده است (Hakkila Augusto, Karlun et al., 2008 and Kalaja, 1983 et al., 2008). این که خاکستر سبب افزایش ماده آلی خاک شود، به چگونگی تهیه خاکستر، مدت و شرایط

زباله بروند، می‌توانند برای تثبیت و اصلاح خاک جاده‌ها در نظر گرفته شوند.
خاکستر مازاد مقطوعات در طول زمان می‌تواند تا حدودی توسط عوامل مختلف مانند موجودات خاکزی جایجا شده و طی سالیان مختلف از طریق آبشویی از جاده خارج شود.

عنوان منبع انرژی کمابیش رایج است (Salem *et al.*, 2015) و بالغ بر دو میلیارد نفر از خانوارهای روستایی در کشورهای درحال توسعه برای آشپزی و گرما از چوب استفاده می‌کنند (Ghanbari *et al.*, 2015) و به-جای اینکه این حجم از خاکستر به محل‌های دفن

References

- Akay, E. A., O. Erdas, M. Reis & A. Yuksel, 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques, *Building and Environment*, 43(5): 687-695.
- al-Swaidani, A., I. Hammoud & A. Meziab, 2016. Effect of adding natural pozzolana on geotechnical properties of lime-stabilized clayey soil, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(5): 714-725.
- Augusto, L., M. R. Bakker & C. Meredieu, 2008. Wood ash applications to temperate forest ecosystems, potential benefits and drawbacks, *Plant and Soil*, 306(1-2): 181-198.
- Ayininuola, G. M. & O. P. Oyedemi, 2013. Impact of hardwood and softwood ashes on soil geotechnical properties, *Translational Journal of Science and Technology*, 3(10): 1-7.
- Barazesh, A., H. Saba, M. Y. Rad & M. Gharib, 2012. Effect of Wood Ash Admixture on Clay Soils in Atterberg Test, *International Journal of Basic Sciences & Applied Research*, 1(4): 83-89. (In Persian)
- Demeyer, A., J. C. Voundi Nkana & M. G. Verloo, 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview, *Bioresource technology*, 77(3): 287-295.
- Ganji, B., M. Siavash Nia & S. M. F. Astaneh, 2008. An Investigation on the effect of lime rice husk ash mixture on physical and mechanical properties of clay with low plasticity index. Proceedings of Congress on Geology and Environment, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, Islamshahr, Iran, pp. 12-19. (In Persian)
- Ghanbari, S., M. Jafari & V. Nasiri, 2015. Effects of conservation programs in changing the pattern of fuel consumption of villagers in the Arasbaran forest, *Forest Research and Development*, 1(1): 67-83.
- Hakkila, P. & H. Kalaja, 1983. The technique of recycling wood and bark ash, *Folia Forestalia Polonica*, 552: 1- 37.
- Karimi A., N. Abbasi & M. Siavoshnia, 2018. Stabilization of clayey soils using Bagasse fly ash and lime, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(1): 1-12.
- Karlun, E., A. Saarsalmi, M. Ingerslev, M. Mandre, S. Andersson, T. Gaitnieks & I. Varnagiryte-Kabasinskiene, 2008. Wood ash recycling—possibilities and risks, *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy*, 4: 79-108.
- Lotfalian, M., T. Yousefi Babadi & H. Akbari, 2019. Impacts of soil stabilization treatments on reducing soil loss and runoff in cutslope of forest roads in Hyrcanian forests, *CATENA*, 172: 158-162.
- Maroof, M. & J. Bolouri Bazaz, 2015. Modification and improvement of collapsible soils, *Journal of Engineering Geology*, 8(4): 2513-2536.
- Mir, B. A., 2015. Some studies on the effect of fly ash and lime on physical and mechanical properties of expansive clay, *International Journal of Civil Engineering*, 13(3): 203-212.
- Mousavi, F. & E. Abdi, 2015. Effect of time on the performance of Road Packer Plus (RPP) matter in the swelling control of forest roads soil (Case study: Kheyrood Forest), *Forest Research and Development*, 1(2): 145-153.
- Okagbue, C. O., 2007. Stabilization of clay using wood ash, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(1): 14-18.
- Olander, L. P., F. N. Scatena & W. L. Silver, 1998. Impacts of disturbance initiated by road construction in a subtropical cloud forest in the liquidly experimental forest, Puerto Rico, *Forest Ecology and Management*, 109(1-3): 33-49.

- Parsaii, B., A. Raisie stabragh & M. R. Soltanian, 2010. Inflation Stabilized Soil Using Charcoal Ash. Proceedings of 2th national Congress on Geotechnical Problems of Irrigation and Drainage Networks. Karaj, Iran, pp. 17-26. (In Persian)
- Parsakhoo A. & A. Rezaee Motlaq, 2018. Investigating the effect of the combination of nano-clay and reed ash (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) on stabilization of the fine aggregate earthy bed of forest roads, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 26(3): 320-330. (In Persian)
- Perucci, P., E. Monaci, C. Casucci & C. Vischetti, 2006. Effect of recycling wood ash on microbiological and biochemical properties of soils, *Agronomy for sustainable development*, 26(3): 157-165.
- Rey-Salgueiro, L., B. Omil, A. Merino, E. Martínez-Carballo & J. Simal-Gándara, 2016. Organic pollutants profiling of wood ashes from biomass power plants linked to the ash characteristics, *Science of the Total Environment*, 544: 535-543.
- Roohbakhshan, A. & B. Kalantari, 2016. Stabilization of clay soil with lime and waste stone powder, *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 4(48): 429-438.
- Salem, A. A., M. A. Hemmat & S. M. Heshmatol Vaezin, 2015. Elasticity estimation of fuelwood demand in rural areas of the Caspian forest, northern Iran, based on Almost Ideal Demand System, *Iranian Journal of Forest*, 7(1): 67-85.
- Serafimova, E., M. Mladenov, I. Mihailova & Y. Pelovski, 2011. Study on the characteristics of waste wood ash, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 46(1): 31-34.
- Supancic K. & I. Obernberger, 2011. Wood ash utilization as a stabilizer in road construction—first results of large-scale tests. Proceedings of 19th European Biomass Conference & Exhibition. Berlin, Germany. pp. 22-31.
- Taebi, V., A. Mahboubi, M. Hajisotoudeh & M. Nikzad, 2015. Plastic Limit Variations of Lime Stabilized Clay Soil, *Experimental research in civil engineering*, 1: 1-14.
- Taherkhani, H., 2016. Investigation of compressive strength of clay soils stabilized by cement, lime and CBR PLUS nano-polymer, *Modares Civil Engineering Journal*, 16(4):161-173 (In Persian).
- Uchariya, G. S., R. Arya & M. K. Trivedi, 2016. Stabilization of Clay by using Wood Ash and Fly Ash, *Journal for Scientific Research & Development*, 4(4): 2321- 0613.
- Vanhanen, H., O. Dahl & S. Joensuu, 2014. Utilization of wood ash as a road construction Material-Sustainable use of wood ashes, *Sustainable Environment Research*, 24(6): 457-465.
- Yadav, A. K., K. Gaurav, R. Kishor & S. K. Suman, 2017. Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(3): 254-261.
- Yusuf, I. T. & E. Z. Aper, 2019. Investigating the suitability of coconut husk ash as a road soil stabilizer, *International Journal of Technology*, 10(1): 27-35.
- Zomorodian, S. M. A. & H. Ghafari, 2017. Evaluation of Shear Strength of Soil Stabilized by Microbiological Method, *Iranian journal of soil and water research*, 48: 737-748.

Evaluation of the effects of logging residual ash for improving some soil properties of forest road fill slope

D. Alghosi¹, M. Lotfalian², M. Nasiri³ and M. Esmaeilpour^{*4}

1- M.Sc. of Forest Engineering, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, I. R. Iran. (donya_alghosii@yahoo.com)

2- Professor, Department of Forestry, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari, Sari, I. R. Iran. (mlotfalian@sanru.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Forestry, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari, Sari, I. R. Iran. (m.nasiri@sanru.ac.ir)

4- Assistant Professor, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, I. R. Iran. (m.esmaeilpour@tabrizu.ac.ir)

Received: 01.03.2020

Accepted: 03.07.2020

Abstract

In order to strengthen and stabilize the soil masses in the range of soil till optimum, it should be used appropriate stabilization methods. The purpose of this study was to evaluate the effect of excess ash as an additive to soil and improve soil properties. To do this, 15 soil samples from the forest road fill slope were randomly selected combined with 3, 6, 9 and 12 weight percent logging residual ash. In order to investigate the effect of addition of stabilizing agents on the chemical and mechanical parameters of soil in the studied area, the experiments Atterberg limits, California bearing ratio, moisture as well as acidity, electrical conductivity, phosphorus, nitrogen, organic matter and carbon were carried out on control and treated soil samples. Data were analyzed using one-way ANOVA and Tukey tests were used to compare the averages. The results of the experiment show that the addition of logging residual ash increased plastic limit and California bearing ratio and reduced liquid limit and plasticity index. Also, the results of one-way ANOVA showed that the mean difference in moisture, acidity and nitrogen were not significant ($P>5\%$) while electrical conductivity, phosphorus, potassium, organic matter and carbon showed significant differences.

Keywords: Soil stabilization, Atterberg limits, Bearing capacity.

* Corresponding author

Tel: +989116566479