



بررسی عملکرد برخی تیمارهای اصلاحی در بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک مسیرهای چوبکشی (مطالعه موردی: جنگل دارابکلای ساری)

پژمان ایمانی^{۱*}، مجید لطفعلیان^۲، آیدین پارساخو^۳ و رامین نقدی^۴

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی جنگل دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
^۲ دانشیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
^۳ استادیار گروه جنگلداری دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
^۴ استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳)

چکیده

خروج چوب توسط اسکیدر ممکن است سبب کوبیدگی، ایجاد شیارهای عمیق و فرسایش خاک شود. از این رو برای احیا و بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک مسیرهای چوبکشی، باید تیمارهای اصلاحی انجام گیرد. در این تحقیق عملکرد چهار نوع تیمار اصلاح کوبیدگی خاک روی مسیرهای چوبکشی یکساله، در دو کلاسه شیب کم (۲۰-۰) و شیب زیاد (بیش از ۲۰) با پنج تکرار مطالعه شد. ۳۶۰ نمونه خاک که نیمی از آنها پیش از اعمال تیمارها و نیمی دیگر یک سال بعد از اعمال تیمارها جمع‌آوری شده بود تجزیه و تحلیل شد تا اثر اصلاحی تیمارها سنجیده شود. نتایج نشان داد که در کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد، وزن مخصوص ظاهری و درصد پوکی خاک در قطعات نمونه با تیمار اصلاحی در مقایسه با تیمار شاهد عرصه جنگل اختلاف معنی‌داری داشت. تیمارهای شیار قائم، شیار مورب و مازاد مقطوعات با تیمار شاهد مسیر چوبکشی اختلاف معنی‌داری نداشت و فقط استفاده از تیمار مرکب، سبب کاهش معنی‌دار وزن مخصوص ظاهری و افزایش درصد پوکی خاک نسبت به تیمار شاهد مسیر چوبکشی شد. در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد، همه تیمارهای اصلاحی خاک با تیمار شاهد عرصه جنگل اختلاف معنی‌دار داشتند، اما در مقایسه با تیمار شاهد مسیر چوبکشی هیچ کدام از تیمارهای نامبرده نتوانست اختلاف معنی‌داری ایجاد کند. از بین تیمارهای بررسی شده در تحقیق حاضر، تیمار مرکب بهترین کارایی را در بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک در دو کلاسه شیب کمتر و بیشتر از ۲۰ درصد نشان داد.

واژه‌های کلیدی: درصد پوکی، شیار قائم، مازاد مقطوعات، مسیر چوبکشی، وزن مخصوص ظاهری.

مقدمه

تعداد اکوسیستم می‌شود. در این میان، خاک که مبدأ همه تحولات اساسی در جنگل است، اهمیت خاصی دارد. به راه‌های خروج چوب از عرصه جنگل تا دپوی کنار جاده‌های جنگلی، مسیر چوبکشی گفته می‌شود. این مسیرها ممکن است به‌منظور خروج

امروزه این موضوع که بهره‌برداری از سرمایه، مستلزم نگهداری و نگهداری از آن است، به استدلال نیاز ندارد. باید اذعان کرد که دخالت غیراصولی و نامعقول در اکوسیستم جنگل، سبب برهم خوردن

شدن ممکن است سبب ایجاد گالی یا خندق شود. کوبیدگی و فشردگی خاک به‌عنوان یکی از انواع اساسی آسیب ناشی از بهره‌برداری، موجب محدود شدن رویش ریشه، کاهش نفوذپذیری آب در خاک و کاهش قابلیت تولید می‌شود. شاید بتوان گفت یکی از مهم‌ترین اثرهای بهره‌برداری در جنگل‌ها، کوبیدگی و تغییر شرایط خاک است. نوع ماشین، بافت خاک، نوع بهره‌برداری، تعداد تردد و... هر کدام به‌صورت جداگانه اثرهای متفاوتی بر خاک خواهد داشت (Lotfalian, 2012). در اثر متراکم شدن خاک، رشد و نفوذ ریشه کاهش می‌یابد که سبب جذب کمتر عناصر غذایی و آب و در نتیجه کاهش رشد درختان می‌شود (Jordán-López et al., 2009). فشردگی خاک نخستین پیامد تردد اسکیدرهاست که به‌واسطه وزن ماشین با بار، لرزش موتور و بکسوات چرخ‌ها، خاک مسیرهای چوبکشی متراکم می‌شود که کاهش نفوذپذیری آب و هوا در خاک و افزایش رواناب را در پی دارد (Pinard et al., 2000). کوبیدگی خاک در بلندمدت بر بهره‌وری خاک، توده جنگل و تغییرات هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد (Ozturk, 2016). شیب طولی مسیر از دیگر عوامل تأثیرگذار بر روند تخریب خاک است؛ به‌طوری که با افزایش شیب طولی مسیر، وسعت و شدت تخریب خاک افزایش می‌یابد و صدمه به خاک در ترددهای کمتری اتفاق می‌افتد (Najafi et al., 2009). عبور ماشین‌آلات چوبکشی، سبب تراکم خاک مسیر چوبکشی و تغییراتی در ساختمان خاک و رطوبت آن می‌شود (Macri et al., 2017). جاده‌ها و مسیرهای چوبکشی، بیشترین مقدار رسوب را از زمین‌های جنگلی به آبراهه‌ها تولید می‌کنند. کاهش تولید رسوب، مستلزم کاربرد روش‌های حفاظتی مانند انحراف‌دهنده‌های آب، زهکش‌های عرضی، پوشاندن سطح و غیره است (Akay et al., 2008).

مهم‌ترین راهکار حفاظت مسیرها پس از پایان کار، ایجاد کانال‌های قائم در مسیرها به‌منظور توقف و نفوذ

توسط ماشین‌آلات چوبکشی زمینی احداث شده باشند که به آنها مسیرهای اسکیدررو گفته می‌شود (Lotfalian, 2011). در کشورهای که بیشتر جنگل‌ها، کوهستانی و شیبدارند، چوبکشی زمینی رایج‌ترین شیوه خارج کردن چوب‌آلات و مقطوعات است. در این نواحی، مسیرهای چوبکشی ممکن است به‌طور متوسط حدود ۱۶ تا ۲۵ درصد از کل منطقه را در بر گیرد، که بسته به نوع ماشین به‌کاررفته، شرایط توپوگرافی عرصه و نحوه طراحی عملیات چوبکشی، این اعداد متفاوت‌اند (Murphy, 2004). عبور و مرور ماشین‌آلات چوبکشی نه تنها بر رشد توده جنگلی باقی‌مانده تأثیرگذار است، بلکه بیشترین تأثیر آنها متوجه خاک عرصه و به‌ویژه مسیرهای چوبکشی است (Ezzati et al., 2014). در متون زیادی، حفاظت و حمایت از منابع طبیعی در حین عملیات مدیریتی جنگل توصیه شده است؛ به این صورت که حفاظت و نگهداری منابع آبی و خاکی، مهم‌ترین اصل برای حاصلخیزی جنگل و مدیریت پایدار عنوان شده است (McCurdy et al., 2007). از آنجا که بازیابی شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و عرصه جنگلی در اثر عملیات بهره‌برداری، در درازمدت سخت، پرهزینه، کند و زمان‌بر است، باید در پی راه‌حلهایی برای کاهش این اثرها بود (Rab, 2004). خاک جنگل، از عوامل اصلی در اکوسیستم‌های جنگلی است که در تعامل با دیگر عوامل زیستی و غیرزیستی، محیط مساعدی را برای رشد و پراکندگی رستنی‌ها ایجاد می‌کند. خاک و پوشش گیاهی جنگل تحت تأثیر یکدیگر قرار دارند و به‌عبارتی دارای اثرهای متقابل‌اند. خروج مقطوعات، از مهم‌ترین بخش‌های عملیات بهره‌برداری است. خروج چوب با اسکیدر ممکن است سبب کوبیدگی خاک، ایجاد شیارهای عمیق و فرسایش مسیرهای چوبکشی شود (Wood et al., 2003). با افزایش عبور اسکیدر، کوبیدگی خاک مسیر چوبکشی بیشتر می‌شود که به شیار شدن مسیرها می‌انجامد (Lotfalian & Parsakhoo, 2009).

منطقه، مارن، ماسه‌سنگ آهکی و آهک ماسه‌ای است. خاک منطقه قهوه‌ای شسته‌شده با افق کلسیک است. بافت خاک منطقه، نیمه‌سنگین (لومی-رسی) تا سنگین (رسی-سیلنتی) و نفوذپذیری آب در خاک، متوسط تا ضعیف است. ریشه‌دوانی، اغلب متوسط تا ضعیف است که علت آن، وجود لایه سنگین رس در عمق زیرین است. تیپ جنگل راش-ممرز و گیاهان همراه اسپرولا، سیکلامن، ویولا، کارکس و گرامینه است. در فصل‌های مختلف سال درجه حرارت متغیر است؛ در روزهای گرم سال حداکثر مطلق درجه حرارت به ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. میانگین بارندگی ۷۲۵ میلی‌متر در سال برآورد شده که گاهی این ریزش در ارتفاعات به‌صورت برف دیده می‌شود (Anonymous, 2004).

روش پژوهش

نخست قسمت‌هایی از مسیرهای چوبکشی به‌نحوی انتخاب شد که ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، تاریخ ساخت، بافت خاک، نوع ماشین چوبکشی و حجم چوب انتقال‌یافته از روی آنها مشابه باشد. تاریخ ساخت مسیر چوبکشی تحت مطالعه اسفند ۱۳۹۳ است. طول مسیر چوبکشی ۱۲۰۰ متر، با جهت شمال-شمال غربی و حدود ارتفاعی مسیر ۶۵۰-۷۱۰ متر است. جهت چوبکشی رو به بالا بود و با اسکیدر تیمبرجک 450C عملیات چوبکشی صورت گرفت. سپس دو تیمار شاهد و چهار تیمار اصلاحی به‌منظور بررسی کارکرد روش‌های اصلاح کوبیدگی خاک بررسی شد. این تیمارها عبارت‌اند از:

تیمارهای شاهد شامل:

۱. شرایط داخل توده جنگل؛
 ۲. کوبیدگی در مسیرهای چوبکشی قبل از اعمال تیمارهای اصلاحی.
- تیمارهای اصلاحی شامل:
۱. روش جاری که طی آن شیارهای مورب و با فواصل زیاد، آب را از مسیرها خارج می‌کنند؛

آب در آنها و کانال‌های مورب به‌منظور خروج آب از مسیر است، درحالی که خروج آب از مسیرها در بسیاری از اوقات موجب بازگشت در بخش دیگری از پارسل به مسیر می‌شود و فقط رواناب سطحی را افزایش می‌دهد (Lotfalian, 2011). با استفاده از نتایج پژوهش حاضر می‌توان مسیرهای چوبکشی را که دیگر قرار نیست از آنها استفاده شود، هرچه سریع‌تر از نظر کوبیدگی اصلاح کرد و به‌منظور ازسرگیری فعالیت‌های بیولوژیکی و تجدید حیات به دامان جنگل بازگرداند؛ مسیرهایی که به‌دلیل پاره‌ای از مسائل زیست‌محیطی و اجرایی، دیگر کاربردی ندارند و باید از نظر ادافیکی و هیدرولوژیکی به شرایط طبیعی جنگل برسد. بازیابی خاک‌های کوبیده جنگلی در نبود تیمارهای اصلاحی، تحت تأثیر شرایط اقلیمی، فعالیت ریشه‌ها و جانوران خاک آهسته و زمان‌بر است (Sohrabi et al., 2016). این کار با اعمال تیمارهای بازگرداننده، سریع‌تر صورت می‌گیرد. انتخاب روش کار موضوع تحقیق حاضر است. در برخی کشورها به‌ویژه ایالات متحده آمریکا، از دیرباز پژوهش‌های بسیاری مانند تحقیق یادشده درباره اثر عملیات اصلاح کوبیدگی خاک انجام گرفته است، اما متأسفانه به‌دلیل زیاد بودن هزینه‌های اجرایی این‌گونه عملیات، و وقتگیر و دشوار بودن کار در ایران، تحقیقات خیلی کمی در این زمینه صورت گرفته است. ضرورت تحقیق حاضر، انتخاب بهترین تیمار اصلاحی خاک از بین تیمارهای معرفی شده است و اینکه کدام تیمار می‌تواند مشکل کوبیدگی خاک را بهبود بیشتری بخشد.

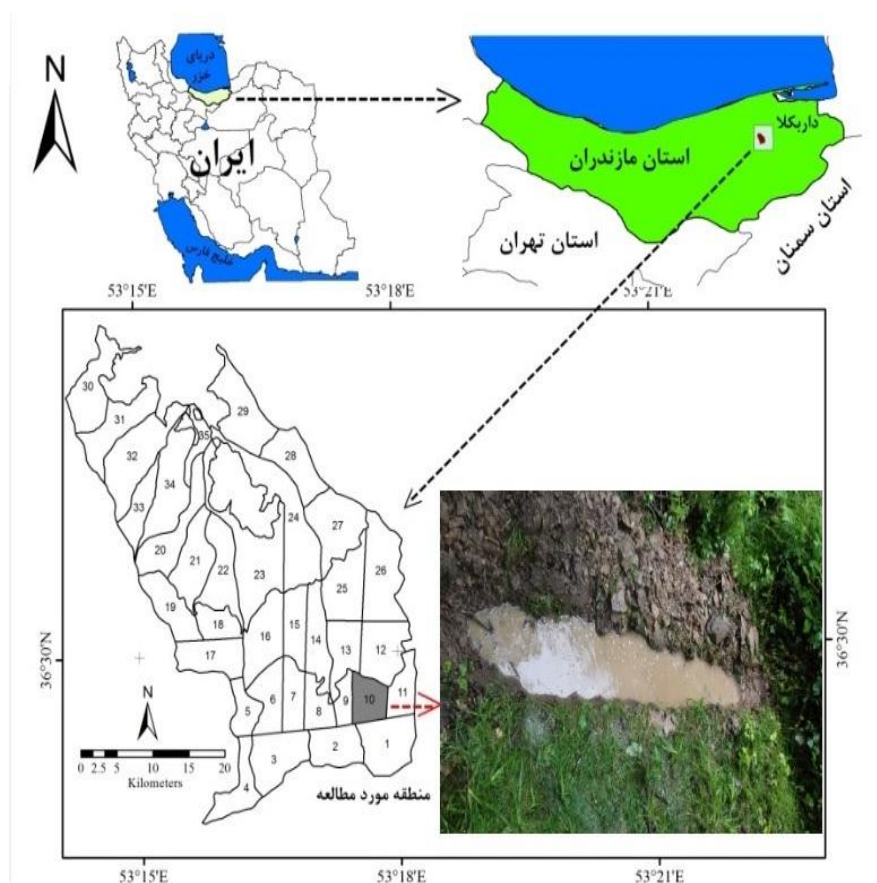
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در جنگل‌های سری دو دارابکلا به مساحت ۲۶۱۲ هکتار و پارسل شماره ۱۰ به مساحت ۳۹/۳ هکتار انجام گرفت. سری مذکور در حوضه آبخیز شماره ۷۷ واقع شده است (شکل ۱). جهت عمومی این پارسل، شمال غربی است. نوع سنگ مادر

۳. شیارهای قائم بر مسیر چوبکشی به صورتی که موجب توقف آب و سپس نفوذ آن شود؛
 ۴. ترکیب شیار قائم با مازاد مقطوعات.

۲. استفاده از مازاد مقطوعات موجود در منطقه شامل مخلوطی از لاشبرگ و سرشاخه‌ها به ضخامت ۱۰-۱۵ سانتی‌متر به‌عنوان مازاد مقطوعات؛



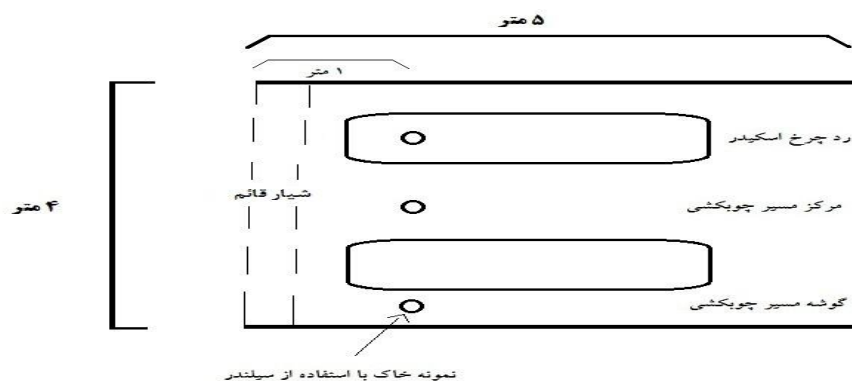
شکل ۱- موقعیت منطقه تحقیق در سری دو دارابکلا، پارسل ده

گرفت. در تیمار مازاد مقطوعات از سرشاخه‌هایی به قطر حداکثر ۳ سانتی‌متر و طول حداکثر ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. به‌طور میانگین حدود ۲ کیلوگرم لاشبرگ و سرشاخه به ضخامت ۱۰-۱۵ سانتی‌متر بر روی هر متر مربع از قطعات نمونه پخش شد. شیار قائم به صورت کاملاً عمود بر مسیر چوبکشی با عمق و پهنای ۳۰ سانتی‌متر احداث شد. شیار مورب با زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور مرکزی مسیر و با عمق و پهنای ۳۰ سانتی‌متر در انتهای پلات به‌نحوی تعبیه شد که بتواند آب ورودی از جنگل و مسیر را به‌سهولت به خارج از مسیر منحرف کند. تیمار مرکب شامل یک

برای هر تیمار اصلاحی، یک قطعه نمونه به عرض ۴ متر و طول ۵ متر بر روی مسیرهای چوبکشی انتخابی پیاده شد. این تحقیق در مسیرهایی با دو کلاسه شیب کم (۲۰-۰) و زیاد (بالای ۲۰) با پنج تکرار صورت گرفت (شکل ۲). در هر کلاسه شیب، ۳۰ قطعه نمونه اعمال شد که ده قطعه نمونه تیمار شاهد (پنج تیمار شاهد عرصه جنگل و پنج تیمار شاهد مسیر چوبکشی) و ۲۰ قطعه نمونه تیمار اصلاحی بود که در مجموع در دو کلاسه شیب ۶۰ قطعه نمونه اعمال شد. در مرحله بعد، تیمار مازاد مقطوعات و ایجاد شیارهای قائم و مورب بر مسیر به کمک کارگران و ابزار دستی انجام

نمونه خاک و یک سال بعد نیز ۱۸۰ نمونه خاک دیگر از محل تیمارها برداشت شد تا اثر اصلاحی تیمارها سنجیده شود. نمونه‌های خاک به کمک سیلندر فولادی با وزن ۷۲۳/۲۸ گرم، به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و قطر ۸ سانتی‌متر برداشت شد (Kolka & Smidt, 2004).

شیار قائم به‌همراه مازاد مقطوعات بود. قبل و بعد از اجرای عملیات اصلاح کوبیدگی خاک (بیستم اردیبهشت سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶)، مقدار رطوبت و وزن مخصوص ظاهری خاک در داخل هر تیمار در درون رد چرخ‌ها، مرکز مسیر چوبکشی و یک نقطه در گوشه مسیر اندازه‌گیری شد. در ابتدای دوره تحت مطالعه، ۱۸۰



شکل ۲- نمایی شماتیک از یک نمونه پلات از تیمار شیار قائم در تحقیق حاضر

خاک در داخل استوانه قرار گرفت. با اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع استوانه مدرج، حجم سنگ و ریشه به‌دست آمد.

درصد رطوبت وزنی خاک: رطوبت وزنی خاک‌های جمع‌آوری شده از رابطه ۲ محاسبه شد:

رابطه ۲

$$\text{درصد رطوبت} = \frac{(\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک مرطوب})}{\text{وزن خاک خشک}} \times 100$$

درصد پوکی خاک: درصد پوکی خاک یا Porosity

خاک متغیری است که پس از محاسبه وزن مخصوص ظاهری می‌توان آن را از طریق رابطه ۳ به‌دست آورد:

رابطه ۳

$$100 - \frac{\text{وزن مخصوص ظاهری}}{\text{وزن مخصوص حقیقی}} = 100 - \text{درصد پوکی خاک}$$

پس از انتقال نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه، وزن مرطوب هر نمونه خاک توسط ترازوی دیجیتال با دقت میلی‌گرم به‌دست آمد. در مرحله بعد، نمونه‌ها در کوره الکتریکی خشک شده و سپس وزن خشک آنها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. وزن مخصوص ظاهری هر نمونه خاک به کمک رابطه ۱ محاسبه شد:

رابطه ۱

$$\text{وزن سنگ و ریشه} = \frac{(\text{وزن کل خاک خشک}) - (\text{وزن سنگ و ریشه} - \text{حجم استوانه})}{\text{وزن مخصوص ظاهری}}$$

برای محاسبه حجم سنگ و ریشه خاک در هر نمونه به روش زیر عمل شد:

مقدار وزن سنگ و ریشه موجود در نمونه‌های خاک با استفاده از ترازوی دیجیتالی تا سه رقم اعشار اندازه‌گیری شد سپس برای به‌دست آوردن حجم، استوانه مدرج تا حجم مشخصی از آب پر شد. در مرحله بعد، مقدار سنگ و ریشه موجود در هر نمونه

نتایج

بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک در ابتدای دوره
تحقیق بعد از اعمال تیمارها

نتایج بررسی وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت خاک در ابتدای دوره تحت مطالعه (سال ۱۳۹۵)، برای کلاسه‌های شیب بیشتر و کمتر از ۲۰ درصد برای همه تیمارهای تحت مطالعه نسبت به تیمار شاهد مسیر چوبکشی اختلاف معنی‌داری نداشتند؛ در صورتی که نسبت به تیمار عرصه جنگل، به‌طور معنی‌داری بیشتر بودند. همچنین درصد پوکی خاک نیز برای همه تیمارهای تحت مطالعه با تیمار شاهد مسیر چوبکشی اختلاف معنی‌داری نشان نداد، ولی به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد عرصه جنگل بود (جدول ۱).

همچنین شایان ذکر است که وزن مخصوص حقیقی خاک با روش پیکنومتری در آزمایشگاه خاک‌شناسی اندازه‌گیری شد.

روش تحلیل

بعد از وارد کردن داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف از نرمال بودن توزیع داده‌های موجود در هر قسمت اطمینان حاصل شد. تجزیه و تحلیل آماری در قالب طرح پایه بلوک کاملاً تصادفی با چهار تیمار اصلاحی کوبیدگی خاک، دو تیمار کنترل و پنج تکرار صورت پذیرفت. پس از معنی‌دار شدن اثر تیمارها برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون SNK استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک در تیمارهای مختلف در ابتدای دوره تحت مطالعه (اردیبهشت ۱۳۹۵)

تیمارها		تیمارها		تیمارها		تیمارها	
کلاسه شیب	متغیرها	شاهد مسیر چوبکشی	شاهد عرصه جنگل	شیار مورب	شیار قائم	مازاد مقطوعات	تیمار مرکب
وزن مخصوص ظاهری	۱/۲۰±۰/۰۲ a	۱/۰۰±۰/۰۷b	۱/۱۸±۰/۰۲ a	۱/۱۹±۰/۰۱ a	۱/۲۰±۰/۰۳ a	۱/۲۰±۰/۰۲ a	۱/۲۰±۰/۰۲ a
درصد رطوبت	۳۵/۹۰±۲/۲۰ a	۲۶/۰۳±۶/۸۶b	۳۵/۶۰±۱/۳۹ a	۳۴/۰۰±۱/۶۵ a	۳۵/۴۳±۱/۷۱ a	۳۴/۵۸±۱/۹۳ a	۳۴/۵۸±۱/۹۳ a
درصد پوکی	۴۷/۷۳±۳/۴۰ b	۵۵/۷۵±۱/۶۲ a	۴۷/۱۸±۱/۹۷b	۴۵/۹۳±۲/۰۴ b	۴۷/۰۴±۲/۶۸b	۴۶/۴۱±۱/۵۰ b	۴۶/۴۱±۱/۵۰ b
وزن مخصوص ظاهری	۱/۲۵±۰/۰۱ a	۱/۰۲±۰/۰۵ b	۱/۲۴±۰/۰۱ a	۱/۲۴±۰/۰۲ a	۱/۲۵±۰/۰۱ a	۱/۲۳±۰/۰۲ a	۱/۲۳±۰/۰۲ a
درصد رطوبت	۳۲/۶۳±۲/۶ a	۲۳/۳۵±۱/۸۰ b	۳۲/۱۸±۲/۵۹ a	۳۲/۵۴±۲/۵۲ a	۳۱/۷۷±۲/۲۶ a	۳۲/۲۰±۲/۱۹ a	۳۲/۲۰±۲/۱۹ a
درصد پوکی	۴۵/۵۲±۵/۹۰ b	۵۴/۶۰±۱/۶۹ a	۴۵/۱۷±۳/۰۵ b	۴۶/۲۸±۲/۴۸ b	۴۶/۲۲±۲/۷۲ b	۴۶/۱۹±۲/۳۸ b	۴۶/۱۹±۲/۳۸ b

وزن مخصوص ظاهری

نتایج بررسی وزن مخصوص ظاهری خاک نشان داد که در کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد، همه تیمارهای اصلاحی خاک با تیمار شاهد عرصه جنگل اختلاف معنی‌داری داشت و تیمارهای شیار قائم، شیار مورب و مازاد مقطوعات با شاهد مسیر چوبکشی اختلاف معنی‌داری نداشت و فقط استفاده از تیمار مرکب (مازاد مقطوعات و شیار قائم) سبب ایجاد کاهش معنی‌دار وزن مخصوص ظاهری نسبت به تیمار شاهد مسیر چوبکشی شد. برای کلاسه شیب

بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک در پایان دوره

تحقیق

مشخصات فیزیکی خاک در تیمارهای اصلاحی خاک نسبت به تیمارهای شاهد در انتهای دوره تحت مطالعه (اردیبهشت ۱۳۹۶)، از نظر آماری بررسی شد (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس در انتهای دوره تحت مطالعه نشان داد که در کلاسه‌های شیب کمتر و بیشتر از ۲۰ درصد بین تیمارهای مختلف مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد (جدول ۳).

تیمار شاهد مسیر چوبکشی ایجاد نکرد (شکل ۳). ستون‌ها در شکل ۳ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین تیمارهای اصلاحی است.

بیشتر از ۲۰ درصد، همه تیمارهای اصلاحی خاک با تیمار شاهد عرصه اختلاف معنی‌دار داشت؛ بین تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و هیچ‌کدام از تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری نسبت به

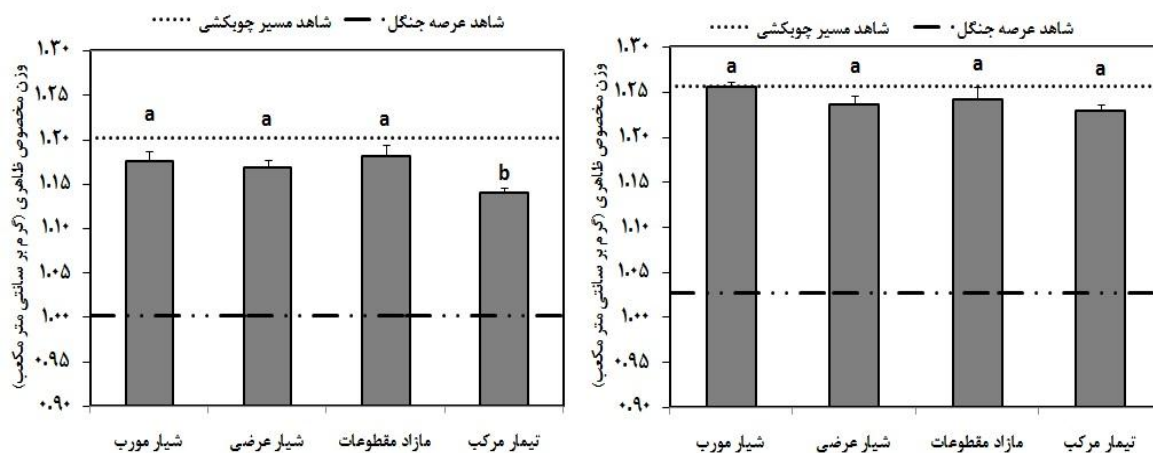
جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک در تیمارهای مختلف در انتهای دوره تحت مطالعه (اردیبهشت ۱۳۹۶)

تیمارها		تیمارها		تیمارها		تیمارها	
کلاس شیب	متغیرها	شاهد مسیر چوبکشی	شاهد عرصه جنگل	شیار مورب	شیار قائم	مازاد مقطوعات	تیمار مرکب
۲۰٪ ≤ شیب	وزن مخصوص ظاهری	۱/۲۰±۰/۰۲ a	۱/۰۰±۰/۰۷b	۱/۱۷±۰/۰۱ a	۱/۱۶±۰/۰۱ a	۱/۱۸±۰/۰۲ a	۱/۱۳±۰/۰۲ b
	درصد رطوبت	۳۵/۹۰±۲/۲۰ a	۲۶/۰۳±۶/۸۶ c	۲۹/۷۲±۲/۲۸ b	۲۸/۵۵±۱/۰۰ b	۲۸/۹۸±۱/۴۱ b	۳۰/۴۷±۱/۷۵ b
	درصد پوکی	۴۷/۷۳±۳/۴۰ c	۵۵/۷۵±۱/۶۲ a	۴۸/۲۶±۲/۰۶ c	۴۹/۳۰±۲/۰۵ bc	۴۸/۹۹±۲/۴۶ bc	۵۰/۶۴±۲/۰۸ b
۲۰٪ > شیب	وزن مخصوص ظاهری	۱/۲۵±۰/۰۱ a	۱/۰۲±۰/۰۵ b	۱/۲۵±۰/۰۱ a	۱/۲۳±۰/۰۳ a	۱/۲۴±۰/۰۲ a	۱/۲۲±۰/۰۱ a
	درصد رطوبت	۳۲/۶۳±۲/۶ a	۲۳/۳۵±۱/۸۰ d	۲۹/۴۷±۱/۵۴ b	۲۷/۰۰±۲/۰۹ c	۲۹/۴۷±۱/۵۴ b	۲۷/۱۰±۱/۹۹ c
	درصد پوکی	۴۵/۵۲±۵/۹۰ b	۵۴/۶۰±۱/۶۹ a	۴۶/۳۹±۱/۸۳ b	۴۷/۹۳±۱/۵۵ b	۴۷/۸۶±۱/۳۷ b	۴۷/۸۵±۱/۵۵ b

جدول ۳- تجزیه واریانس متغیرها بر وزن مخصوص ظاهری، درصد پوکی و درصد رطوبت خاک (اردیبهشت ۱۳۹۶)

مقدار P Value	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	متغیرها	کلاس شیب
۰/۰۰۱	۶۱/۰۶**	۰/۰۸	۵	۰/۳۹	وزن مخصوص ظاهری	۲۰٪ ≤ شیب
۰/۰۰۲	۱۷/۹۸**	۱۶۲/۰۵	۵	۸۱۰/۲۸	درصد رطوبت	
۰/۰۰۱	۲۳/۵۳**	۱۲۹/۴۱	۵	۶۴۷/۰۵	درصد پوکی	
۰/۰۰۱	۱۲۶/۳۷**	۰/۱۲	۵	۰/۵۹	وزن مخصوص ظاهری	۲۰٪ > شیب
۰/۰۰۲	۳۵/۴۸**	۱۴۴/۸۸	۵	۷۲۴/۴۱	درصد رطوبت	
۰/۰۰۲	۱۹/۵۲**	۱۵۴/۸۷	۵	۷۷۴/۳۸	درصد پوکی	

** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد.



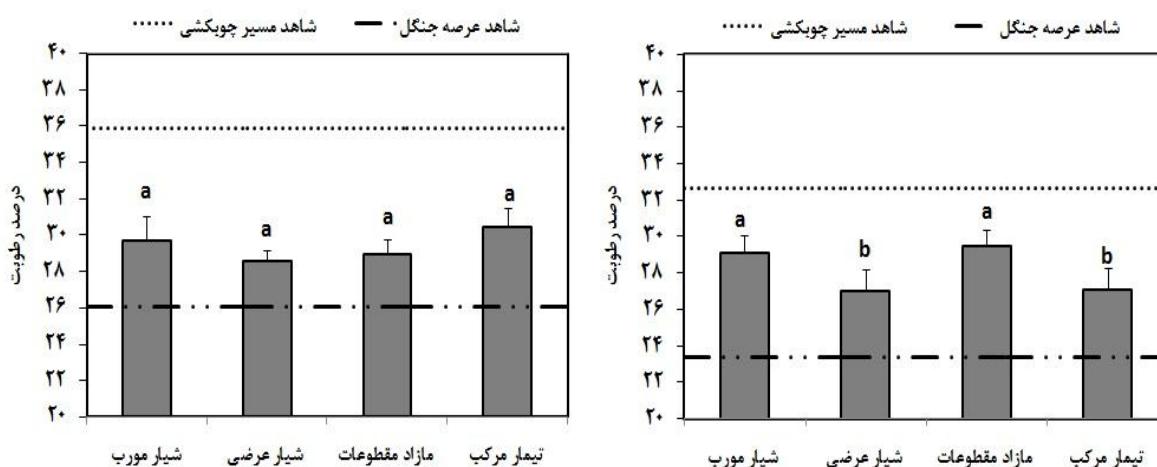
شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر وزن مخصوص ظاهری خاک

(شکل سمت چپ طبقه شیب کمتر از ۲۰ و شکل سمت راست طبقه شیب بیشتر از ۲۰ درصد)

معنی‌داری با شاهد مسیر چوبکشی و عرصه داشت. درصد رطوبت در تیمارهای شیار قائم و تیمار مرکب نیز به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای شیار مورب و مازاد مقطوعات بود (شکل ۴). ستون‌ها در شکل ۴ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین تیمارهای اصلاحی است.

رطوبت خاک

درصد رطوبت خاک در کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد در همه تیمارها به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب کمتر از تیمار شاهد مسیر چوبکشی و بیشتر از تیمار شاهد عرصه جنگل بود. بین تیمارهای اصلاحی خاک نیز اختلاف معنی‌داری از نظر این مشخصه مشاهده نشد. در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد، رطوبت خاک همه تیمارهای تحت مطالعه، اختلاف



شکل ۴- تأثیر تیمارهای اصلاحی بر درصد رطوبت خاک

(شکل سمت چپ طبقه شیب کمتر از ۲۰ و شکل سمت راست طبقه شیب بیشتر از ۲۰ درصد)

چوبکشی مشاهده نشد (شکل ۵). ستون‌ها در شکل ۵، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین تیمارهای اصلاحی است.

درصد پوکی خاک

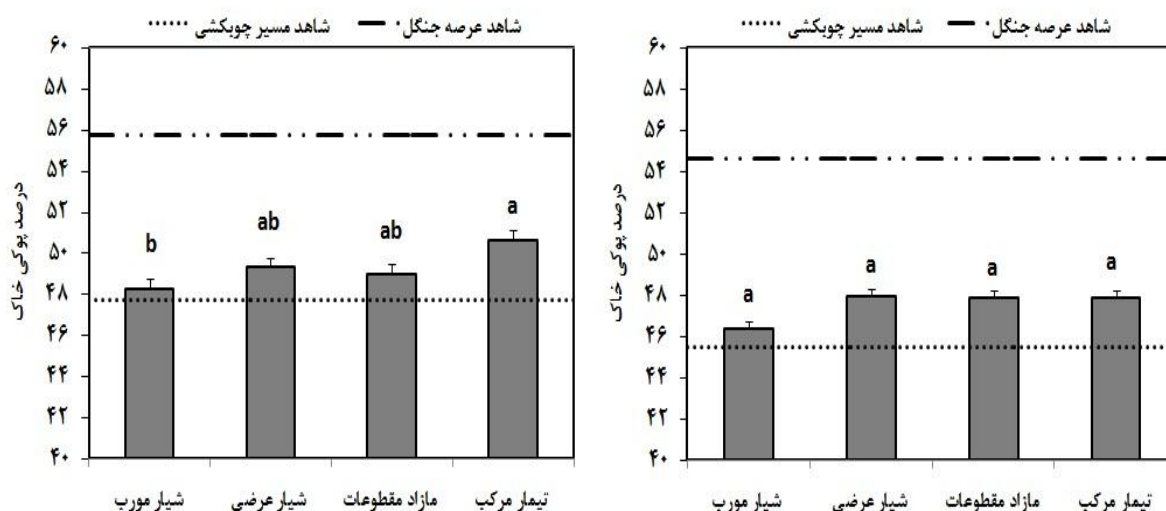
نتایج درصد پوکی خاک در کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد نشان داد که همه تیمارهای اصلاحی خاک نسبت به تیمار شاهد عرصه به‌طور معنی‌داری کمتر بود. از بین تیمارهای اصلاحی خاک فقط تیمار مرکب سبب افزایش معنی‌دار درصد پوکی نسبت به تیمار شاهد مسیر چوبکشی شد. همچنین درصد پوکی در تیمار مرکب به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شیار قائم بود. در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد، درصد پوکی خاک تیمارهای اصلاحی به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد عرصه بود. همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای اصلاحی با یکدیگر و شاهد مسیر

مقایسه اثر تیمارهای اصلاحی خاک پس از گذشت یک سال

نتایج آزمون t جفتی در کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک بین تیمارهای اصلاحی شیار مورب، شیار قائم و مازاد مقطوعات در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ اختلاف معنی‌داری ندارند؛ ولی تیمار مرکب در سال ۱۳۹۶ به‌طور معنی‌داری وزن مخصوص ظاهری خاک را نسبت به سال ۱۳۹۵ کاهش داد. درصد رطوبت در

ظاهری خاک در همه تیمارهای اصلاحی خاک در دو سال اختلاف معنی‌داری نداشت؛ اما در مورد درصد رطوبت خاک در کلاسه شیب بیش از ۲۰ درصد، همه تیمارهای اصلاحی در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۵ اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین در مورد درصد پوکی خاک در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد، هیچ‌کدام از تیمارهای اصلاحی نتوانست در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۵ اختلاف معنی‌داری ایجاد کند (جدول ۴).

کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد در همه تیمارهای اصلاحی خاک در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۵ اختلاف معنی‌داری داشتند. علاوه بر این، درصد پوکی خاک در کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد در تیمارهای شیار مورب، شیار قائم و مازاد مقطوعات بین دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۵ اختلاف معنی‌داری نشان ندادند؛ اما در تیمار مرکب درصد پوکی خاک در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۵ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد وزن مخصوص



شکل ۵- تأثیر تیمارهای اصلاحی بر درصد پوکی خاک

(شکل سمت چپ طبقه شیب کمتر از ۲۰ و شکل سمت راست طبقه شیب بیشتر از ۲۰ درصد)

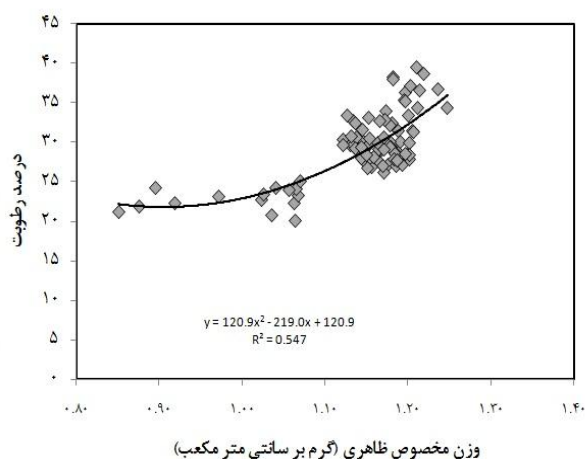
جدول ۴- نتایج آزمون t جفتی خصوصیات خاک برای تیمارهای اصلاحی بین سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۵

تیمارها				متغیرها	کلاسه شیب
تیمار مرکب	مازاد مقطوعات	شیار قائم	شیار مورب		
۱۰/۱۳**	۱/۸۲ ^{ns}	۱/۴۵ ^{ns}	۱/۳۰ ^{ns}	وزن مخصوص ظاهری	≤ ۲۰٪ شیب
۸/۸۸**	۱۱/۳۸**	۱۰/۱۵**	۸/۰۷**	درصد رطوبت	
۷/۳۸**	۲/۰۰ ^{ns}	۱/۰۶ ^{ns}	۱/۸۵ ^{ns}	درصد پوکی	
۱/۱۰ ^{ns}	۱/۸۶ ^{ns}	۰/۵۸ ^{ns}	۱/۹۰ ^{ns}	وزن مخصوص ظاهری	> ۲۰٪ شیب
۵/۶۵**	۲/۹۵**	۶/۳۲**	۴/۳۷**	درصد رطوبت	
۱/۳۳ ^{ns}	۱/۹۶ ^{ns}	۱/۸۳ ^{ns}	۱/۴۲ ^{ns}	درصد پوکی	

** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد.

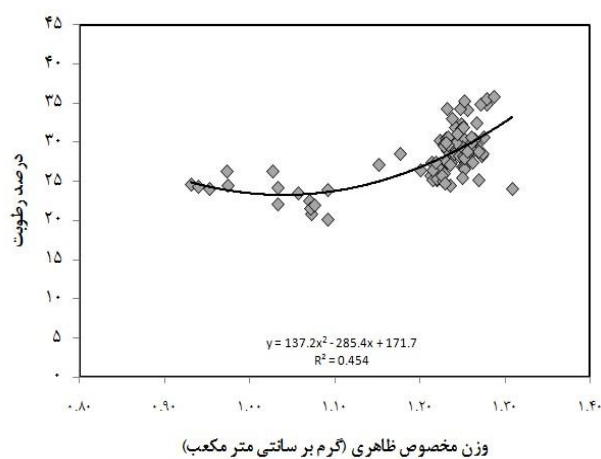
^{ns} اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

شیب کمتر از ۲۰ درصد بود. همچنین با افزایش وزن مخصوص ظاهری، مقدار رطوبت خاک مسیر چوبکشی نسبت به عرصه جنگل بیشتر شد (شکل ۶).



شیب کمتر از ۲۰ درصد

رابطه بین درصد رطوبت و وزن مخصوص ظاهری خاک در دو کلاسه شیب کمتر و بیشتر از ۲۰ درصد نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میزان کوبیدگی در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد بیشتر از کلاسه



شیب بیشتر از ۲۰ درصد

شکل ۶- رابطه درصد رطوبت و وزن مخصوص ظاهری خاک در دو کلاسه شیب

بقایای گیاهی موجب تولید مواد آلی و افزایش فعالیت جانداران موجود در خاک، بهتر شدن وضعیت نفوذپذیری و زهکشی می شود که این امر خود به بهبود درصد پوکی خاک و سیستم تهویه ای آن کمک می کند. در نهایت همه این عوامل موجب استقرار بهتر سیستم ریشه ای گیاهان می شود. همچنین از طرفی ایجاد شیار قائم در تیمار مرکب سبب نفوذ بیشتر آب به داخل پلات شد و شرایط را برای رشد پوشش علفی مساعد کرد. در نتیجه تا حدودی این تیمار توانست کوبیدگی خاک را بهبود بخشد. نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که وزن مخصوص ظاهری خاک در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد، بعد از عملیات چوبکشی با اسکیدر به طور معنی داری افزایش یافت. از آنجا که نیروی وارد شده به خاک سبب تغییر مکان ذرات خاک و کوبیدگی و تنش های برشی ناشی از آن شده است، این امر سبب نزدیک شدن و به هم

بحث

کوبیدگی خاک مقدمه ای برای کاهش مشخصه هایی مانند خلل و فرج خاک، هدایت هیدرولیکی آب، نفوذپذیری، تهویه و تبادلات گازی است (Salehi et al., 2012). بین تیمارهای اصلاحی خاک تنها تیمار مرکب توانست وزن مخصوص ظاهری خاک را به طور معنی داری کاهش دهد که دلیل آن را می توان ایجاد فرصت برای نفوذ آب و تجزیه بقایای گیاهی و مواد آلی، آزاد شدن پلی ساکاریدها و موسیلاژها عنوان کرد که در پیوستگی ذرات خاک به یکدیگر تأثیر مثبتی دارند. مواد آلی، فعالیت موجودات ریز (قارچ ها، باکتری ها، جلبک ها و ...) و جانداران درشت (کرم های خاکی، مورانه ها، حشرات و ...) را تحریک می کنند که نتیجه آن افزایش پایداری خاکدانه هاست (Blanco-canqui & Lal, 2009). می توان این طور بیان کرد که در تیمار مرکب، وجود

اعمال شده ناشی از تردد، ساختمان متخلخل خاک تخریب می‌شود و ذرات خاک در شبکه تخلخلی جدید و نزدیک به هم قرار می‌گیرد و حفره‌های بزرگ خاک کاهش می‌یابد (Horn et al., 2007). با ادامه تردد، هوای محبوس شده در حفره‌های ریز خاک مانع کاهش حجم خاک می‌شود (Xu et al., 1992). کاهش درصد پوکی خاک بیشتر در ارتباط با وزن مخصوص ظاهری خاک است. در اثر چوبکشی زمینی و اعمال فشار بیش از ظرفیت باربری، خاک در معرض فشار قرار می‌گیرد و حجم منافذ خاک کاهش می‌یابد. این تنش بیشتر بر تخلخل‌های درشت (ماکروپورها) به نسبت تخلخل‌های ریز تأثیرگذار است. در طی کوبیدگی و تخریب ساختارهای درشت، بر سهم منافذ ریز (میکروپورها) افزوده می‌شود (Fernández., 2002). Webb (2002) در مطالعه کوبیدگی خاک بیان کرد که مهم‌ترین عامل کاهش درصد پوکی خاک، کاهش وزن مخصوص حقیقی خاک به دلیل شرایط اقلیمی و انبساط و انقباض رس‌ها، رخ دادن فرایندهای یخبندان و کاهش تردد و حوش در مسیر چوبکشی پس از رها کردن آن بوده است. برای توسعه ریشه‌دوانی گیاهان و گونه‌های درختی، وجود اکسیژن، منافذ به ضخامت ۵۰-۳۰ میکرومتر و تخلخل‌های درشت که بیش از ۲۰-۱۰ درصد حجم خاک را تشکیل داده باشند، ضروری است. رسیدن جریان اکسیژن و تخلخل‌های هوایی به کمتر از ۱۰ درصد خاک، سبب ایجاد شرایط بحرانی برای تهویه خاک می‌شود. این مهم برای رشد گیاهان شرایط نامناسبی را مهیا می‌کند. تجزیه و تحلیل مجموع درصد پوکی خاک در مسیر چوبکشی در دو شیب کمتر از ۲۰ درصد و بیشتر از ۲۰ درصد، تأثیر کوبیدگی خاک در مسیرهای چوبکشی را به خوبی در این مناطق نشان می‌دهد. به طوری که در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد، کاهش درصد پوکی خاک همواره بیشتر از شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد بوده است. این نتایج با یافته‌های Najafi et al. (2009) در مطالعه تخریب خاک در

پیوستن ذرات خاک و در پی آن، افزایش وزن مخصوص می‌شود. این یافته با یافته‌های محققانی مانند (Horn et al. (2007); Jamshidi et al. (2008) همخوانی دارد.

درصد رطوبت خاک در کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد در همه تیمارها به طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد مسیر چوبکشی و بیشتر از تیمار شاهد عرصه جنگل بود. در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد، رطوبت خاک همه تیمارها، اختلاف معنی‌داری با شاهد مسیر چوبکشی و عرصه داشت. ظرفیت رطوبتی خاک، لایه لاشبرگ آلی و بزرگی نیروی وارد شده به خاک سه جزء مؤثر در هرم کوبیدگی و در پی آن سرعت بازیابی خاک‌اند (Rab et al, 2004). فاکتور رطوبت وزنی خاک به نسبت وزن مخصوص ظاهری و درصد پوکی خاک در مدت زمان کمتری بازیابی می‌شود. در سال‌های بعد از عملیات بهره‌برداری نسبت به سال‌های ابتدایی، وزن مخصوص با درصد کمتری افزایش پیدا می‌کند. این مسئله شاید به دلیل کوبیدگی شدید در سال‌های اولیه بعد از بهره‌برداری و سفت شدن خاک بوده باشد که این سفت شدن خاک مانع از دست دادن رطوبت و افزایش رطوبت به نسبت سایر مسیرهای چوبکشی شده است (Gomez et al, 2002). یافته‌ها نشان داد که در کلاسه شیب کمتر از ۲۰ درصد، درصد پوکی خاک در همه تیمارهای اصلاحی خاک نسبت به تیمار شاهد عرصه به طور معنی‌داری کمتر است. از بین تیمارهای اصلاحی خاک فقط تیمار مرکب سبب افزایش معنی‌دار درصد پوکی نسبت به تیمار شاهد مسیر چوبکشی شد. در کلاسه شیب بیشتر از ۲۰ درصد، درصد پوکی خاک تیمارهای اصلاحی به طور معنی‌داری کمتر از شاهد عرصه بود. در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد، به دلیل کاهش سرعت اسکیدر، مدت زمان ویبره خاک بیشتر از مناطق دارای شیب کمتر است. که این وضعیت سبب تشدید کوبیدگی مسیر چوبکشی و افزایش زمان بازیابی مؤلفه‌های خاکی می‌شود. بر اثر فشار مکانیکی

مهم‌ترین عامل مؤثر در تخریب خاک عنوان کردند. نتایج تحقیق حاضر نیز مؤثر بودن نقش شیب را در فرایند بازیابی خاک اثبات کرد و نشان داد که با افزایش شیب، کوبیدگی خاک بیشتر و درصد پوکی کمتر می‌شود.

نتیجه‌گیری

از بین تیمارهای بررسی‌شده در تحقیق حاضر، تیمار مرکب (شیار قائم و مازاد مقطوعات)، بهترین کارایی را در بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک در دو کلاس شیب کمتر و بیشتر از ۲۰ درصد نشان داد. در تیمار مرکب، وجود بقایای گیاهی، موجب افزایش فعالیت جانداران و میکروارگانیسم‌ها، کاهش تراکم خاک و افزایش عناصر غذایی می‌شود. از طرفی با وجود شیار قائم هنگام بارندگی، مقداری آب داخل بانکت باقی می‌ماند و این میزان آب موجب ایجاد رطوبت کافی و در دسترس گیاه برای انحلال مواد غذایی خواهد بود. همه این موارد سبب می‌شود که در این پلات وضعیت بهتری از نظر تهویه، حرارت، گردش عناصر غذایی و ارتباط بین گیاه و آب برقرار باشد و در واقع پلات تیمار مرکب از دیگر تیمارها حاصلخیزتر باشد. در تیمار بانکت مورب این وضعیت وجود نداشت و آب توسط بانکت از مسیر خارج می‌شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان استنباط کرد که تیمار مرکب در کلاس شیب کمتر از ۲۰ درصد نسبت به تیمارهای دیگر، در روند اصلاح خاک عملکرد بهتری داشته است.

نواحی شیب‌دار همخوانی دارد. همچنین McNabb et al. (2001) در تحقیقات خود در آلبرتا کانادا به این نتیجه رسیدند که یک سال بعد از عملیات بهره‌برداری، میزان نفوذپذیری آب در خاک تغییرات معنی‌داری یافت؛ آنها این افزایش سرعت نفوذ آب را به افزایش سهم تخلخل‌های درشت خاک نسبت دادند. آنها اعلام کردند که برای بازگشت مؤلفه‌های خاکی در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد در مسیرهای چوبکشی، بیشتر از سه سال زمان لازم است.

رابطه بین درصد رطوبت و وزن مخصوص ظاهری خاک در دو کلاس شیب کمتر و بیشتر از ۲۰ درصد نشان داد که کوبیدگی در کلاس شیب بیشتر از ۲۰ درصد، بیش از کلاس شیب کمتر از ۲۰ درصد است. دلیل این موضوع را می‌توان بیان کرد که بیشتر گرانیگاه وزن ماشین به قسمت عقب جابه‌جا می‌شود و بنابراین در این قسمت از ماشین فشار بیشتری بر خاک اعمال و در نتیجه کوبیدگی خاک در طول مسیر شیب‌دار تشدید می‌شود (Agherkakli et al., 2010). همچنین با افزایش وزن مخصوص ظاهری، رطوبت خاک مسیر چوبکشی نسبت به عرصه جنگل بیشتر شده است. اگرچه با کوبیدگی بیشتر خاک، نفوذ آب به داخل آن کاهش می‌یابد، این کوبیدگی سبب می‌شود که سرعت نفوذ مقدار آب راه‌یافته به مسیرها کمتر باشد. از طرفی دلیل بیشتر شدن رطوبت در مسیرهای چوبکشی نسبت به عرصه جنگل نفوذ رواناب جاری‌شده بر سطح مسیر به داخل خاک توسط تیمارهای اصلاحی خاک است. مطالعات Šušnjar et al. (2006) در جنگل‌های کرواسی و Najafi et al. (2009) در شمال ایران، شیب را

References

Agherkakli, B., Najafi, A., & Sadeghi, S.H. (2010). Ground based operation effects on soil disturbance by steel tracked skidder in a steep slope of forest. *Journal of forest science*, 56(6), 278-284.

- Akay, A.E., Erdas, O., Reis, M., & Yuksel, A. (2008). Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. *Building and environment*, 43(4), 687-695.
- Anonymous. (2004). Scheme *Forestry Booklet Serie 2 Darabkola (Sari)*. Forests and Rangelands Office, 182 pp.
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2009). Corn stover removal for expanded uses reduces soil fertility and structural stability. *Soil Science Society of America Journal*, 73(2), 418-426.
- Ezzati, S., Najafi, A. & Hosseini, V. (2014). Assessment of soil recovery and establishment of natural regeneration 20 years after stopping from ground-based skidding. *Iranian Journal of Forest*, 6(1), 99-112.
- Ezzati, S., Najafi, A., Rab, M.A., & Zenner, E.K. (2012). Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. *Silva Fennica*, 46(4), 521-538.
- Fernández, R., MacDonagh, P., Lupi, A., Martiarena, R., & Cortez, P. (2002, July). Relations between soil compaction and plantation growth of a 8 yearsold Lobolly pine second rotation, in Misiones, Argentine. *In Proceedings of the ASAE Annual Meeting*. ASAE.
- Gomez, A., Powers, R.F., Singer, M.J., & Horwath, W.R. (2002). Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4), 1334-1343.
- Horn, R., Vossbrink, J., Peth, S., & Becker, S. (2007). Impact of modern forest vehicles on soil physical properties. *Forest ecology and management*, 248(1), 56-63.
- Jamshidi, R., Jaeger, D., Raafatnia, N., & Tabari, M. (2008). Influence of two ground-based skidding systems on soil compaction under different slope and gradient conditions. *International journal of forest engineering*, 19(1), 9-16.
- Jordán-López, A., Martínez-Zavala, L., & Bellinfante, N. (2009). Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. *Science of the total environment*, 407(2), 937-944.
- Kolka, R.K., & Smidt, M.F. (2004). Effects of forest road amelioration techniques on soil bulk density, surface runoff, sediment transport, soil moisture and seedling growth. *Forest Ecology and Management*, 202(1), 313-323.
- Lotfalian, M. (2011). *wood transportation*. AEEIZH Publishing, 342 pp.
- Lotfalian, M. (2012). *Logging*. AEEIZH Publishing, 467 pp.
- Lotfalian, M., & Parsakhoo, A. (2009). Investigation of forest soil disturbance caused by rubber-tired skidder traffic. *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 3(1), 01-04.
- Macrì, G., Rossi, A.D., Papandrea, S., Micalizzi, F., Russo, D., & Settineri, G. (2017). Evaluation of soil compaction caused by passages of farm tractor in a forest in southern Italy. *Agronomy Research*, 15(2), 478-489.
- McCurdy, D., Stewart, B., Neily, P., Quigley, E. & Keys, K. (2007). Post-harvest soil disturbance and permanent structure survey. *Ecosystem Management Group Forest Management Planning*. Nova Scotia Department of Natural Resources. 17 pp.
- McNabb, D.H., Startsev, A.D., & Nguyen, H. (2001). Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4), 1238-1247.

- Murphy, G., Firth, J.G., & Skinner, M.F. (2004). Long-term impacts of forest harvesting related soil disturbance on log product yields and economic potential in a New Zealand forest. *Silva Fennica*, 38(3), 279-289.
- Najafi, A., Solgi, A., & Sadeghi, S.H. (2009). Soil disturbance following four wheel rubber skidder logging on the steep trail in the north mountainous forest of Iran. *Soil and Tillage Research*, 103(1), 165-169.
- OZTurk, T. (2016). The effects on soil compaction of timber skidding by tractor on skid road in plantation forest in Northern Turkey. *Šumarski list*, 140(9-10), 485-490.
- Pinard, M.A., Barker, M.G., & Tay, J. (2000). Soil disturbance and post-logging forest recovery on bulldozer paths in Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 130(1), 213-225.
- Rab, M.A. (2004). Recovery of soil physical properties from compaction and soil profile disturbance caused by logging of native forest in Victorian Central Highlands, Australia. *Forest Ecology and Management*, 191(1), 329-340.
- Salehi, A., Taheri Abkenar, K., & Basiri, R. (2012). Study of the recovery soil physical properties and establishment of natural regeneration in skid trails (case study: Nav-e Asalem forests). *Iranian Journal of Forest*, 3(4), 317-329.
- Sohrabi, H., Jourgholami, M., Majnounian, B., & Zahedi Amiri, G. (2016). Soil moisture recovery after timber harvest cessation on abandoned skid trails after 20 years. *Iranian Journal of Forest*, 8(2), 179-194.
- Šušnjar, M., Horvat, D., & Šešelj, J. (2006). Soil compaction in timber skidding in winter conditions. *Croatian journal of forest engineering*, 27(1), 3-15.
- Webb, R. H. (2002). Recovery of severely compacted soils in the Mojave Desert, California, USA. *Arid Land Research and Management*, 16(3), 291-305.
- Wood, M.J., Carling, P.A., & Moffat, A.J. (2003). Reduced ground disturbance during mechanized forest harvesting on sensitive forest soils in the UK. *Forestry*, 76(3), 345-361.
- Xu, X., Nieber, J.L., & Gupta, S.C. (1992). Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 56(6), 1743-1750.



Investigating the performance of some improvement treatments in restoring soil physical properties of skid trails (Case Study: Darabkola Forest, Sari)

P. Imani^{1*}, M. Lotfalian², A. Parsakhoo³, and R. Naghdi⁴

¹Ph.D. student of forest engineering, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. I. R. Iran

²Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. I. R. Iran

³Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

⁴ Professor, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, I. R. Iran

(Received: 30 December 2017, Accepted: 12 February 2018)

Abstract

Logging operation by skidders can lead to soil compaction, rutting and erosion of skid trails. Therefore, in order to restore the soil physical properties of skid trails, it is necessary to perform improvement treatments. In this study, four compaction improvement treatments were investigated on one-year-old skid trails with two slope classes of low slope (0-20) and high slope (over 20) and 5 replications. 360 soil samples were taken, half of them before applying the treatments and the other half a year after the treatments application, and were analyzed to evaluate the improvement effect of the treatments. Results of low slope class showed that there was a significant difference between soil bulk density and porosity percentage in improvement treatment plots and control plots of forested area. Treatments of orthogonal groove, diagonal groove and logging residuals showed no significant difference with the control skid trail, and only the use of the combined treatment was able to significantly reduce bulk density and increase porosity percentage compared to the control skid trail. For high slope class, all soil improvement treatments showed a significant difference with control plots; however, compared to the control skid trail, none of the mentioned treatments could cause significant differences. Among the studied treatments, the combined treatment had the best performance in restoring soil physical properties in both low and high slope classes.

Keywords: Bulk Density, Logging Residuals, Orthogonal Groove, Porosity Percentage, Skid Trail.

