جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۴، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۰
ص ۱۷۱-۱۸۲ (پژوهشی)

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2020.308586.1128

تأثیر مالچ‌های آلی در بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک‌های فشرده در مسیرهای چوبکشی (مطالعهٔ موردی: جنگل خیرود)

آزاده خرمی‌زاده[۱]، مقداد جورغلامی[۲*]، محمد جعفری[۳]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۵

چکیده

اقدامات مدیریتی متنوعی مانند تیمارهای شیار و پشته، استفاده از انحراف‌دهنده‌های چوبی و مالچ‌پاشی آلی در مسیرهای چوبکشی برای کاهش آثار منفی رواناب‌های سطحی و خطرهای سیل اعمال شده است. با این‌حال، تحقیقات دربارهٔ تأثیر چنین تیمارهایی در بازیابی خصوصیات خاک کمیاب است. در این تحقیق، تأثیر مالچ‌های آلی شامل لاشبرگ، کلش برنج و خاکاره بر بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک کوبیده‌شده مسیرهای چوبکشی (وزن مخصوص ظاهری، تخلخل، مقاومت به نفوذ و بافت خاک)، دو سال بعد از عملیات بهره‌برداری ارزیابی و آزمایش شد. براساس نتایج، تیمار مالچ‌های لاشبرگ، کلش برنج و خاکاره، اثر معنی‌داری بر بازیابی وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ خاک داشت، ولی بر اجزای رس و لای بافت خاک اثر معنی‌داری نداشت. همچنین مالچ لاشبرگ دارای بیشترین تأثیر در بازیابی مشخصه‌های فیزیکی خاک نسبت به دو مالچ کلش و خاکاره بود. همچنین در عمق سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) در مقایسه با عمق ۱۰-۵ سانتی‌متری، تأثیر مالچ بیشتر و معنی‌دار بود. می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد انواع مالچ، سبب بازیابی و بهبود مشخصه‌های فیزیکی خاک پس از عملیات چوبکشی در طی دوره‌ای دوساله نسبت به مسیر چوبکشی بدون تیمار می‌شود. با این‌حال، مقادیر مشخصه‌های فیزیکی خاک هنوز کمتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در منطقهٔ شاهد (دست‌نخورده) بود که نشان می‌دهد دو سال زمان، برای بازگرداندن مشخصه‌های فیزیکی خاک به سطوح قبل از تردد ماشین در منطقهٔ پژوهش کافی نبوده است.

واژه‌های کلیدی: بازیابی خاک، خاکاره، خصوصیات فیزیکی، کلش برنج، کوبیدگی، لاشبرگ.

مقدمه

خاک‌های جنگلی دست‌نخورده، فضاهای خالی زیاد و وزن مخصوص کمی دارند و با ورود ماشین‌آلات به‌راحتی فشرده می‌شوند [۱، ۲]. این خاک‌ها، مجموعه‌ای با حساسیت زیاد بیولوژیکی، شیمیایی و پیچیدگی فیزیکی به شمار می‌روند. این قابلیت تا حد زیادی به سیستم تخلخل خاک که فرایندهای انتقال گاز و آب را تضمین می‌کند بستگی دارد. تبادل گاز بین خاک و جو (هوادهی خاک) اثر مهمی در حفظ محیط مناسب خاک برای رشد ریشه و فعالیت بیولوژیکی دارد [۲]. کوبیدگی خاک سبب کاهش تخلخل موجود در خاک، ظرفیت نفوذ خاک، هوادهی خاک و افزایش مقاومت به نفوذ می‌شود که کاهش توانایی خاک در تأمین اکسیژن، عناصر غذایی، آب و تغییر سیستم ریشه‌دوانی گیاه را در پی دارد که این تغییرات، سبب کاهش

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۲
Email: mjgholami@ut.ac.ir

تجدید حیات و کیفیت رویشگاه می‌شود [۳، ۴]. وقتی وزن مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد و تخلخل تهویه‌ای به زیر ۱۰ درصد می‌رسد، حجم منافذ خاک و فعالیت‌های میکروبی در خاک، به‌شدت کاهش می‌یابد که این تغییرات بر رشد ارتفاعی و قطری تجدید حیات مستقرشده در داخل و اطراف مسیر چوبکشی مؤثر است و در نهایت کاهش حاصلخیزی رویشگاه را در درازمدت در پی دارد [۴]. فرایند بازیابی خاک‌های تخریب‌شده در جنگل طولانی‌مدت است و احیای خاک به‌کندی صورت می‌گیرد، به‌طوری که در نبود فعالیت‌های انسانی، بازیابی خاک‌های تخریب‌شده بسته به عواملی چون شیب طولی، درجهٔ کوبیدگی، بافت خاک، شرایط آب‌وهوایی، شدت و وسعت خسارات و فعالیت فون و فلور خاک ممکن است از یک سال در لایه‌های سطحی تا ۱۰۰ سال در لایه‌های عمیق به طول بینجامد [۵]. کمک به بهبود طبیعی خصوصیات فیزیکی خاک شامل دوره‌های انبساط و انقباض، ترک‌خوردگی خاک، وجود کرم خاکی و نفوذ و پوسیدگی ریشه و چرخهٔ انقباض و انبساط در طول زمستان است [۲]. به‌طور طبیعی، زوال فیزیکی خاک از سطح تا حدود ۵ سانتی‌متر عمق آن، به‌سرعت توسط فعالیت‌های زیرزمینی بی‌مهرگان بزرگ همراه با تجزیهٔ کود حیوانی بهبود می‌یابد [۱].

یکی از راهکارهای مهم برای کاهش تأثیر عملیات بهره‌برداری و چوبکشی در جنگل، ایجاد مالچ[1] در سطح خاک است که پوشش مناسبی به‌منظور جلوگیری از فرسایش در سطح خاک ایجاد می‌کند. مالچ‌پاشی[2] نوعی روش معمول حفاظتی برای تأمین پوشش سطح خاک و حفاظت آن است و مزایای مهمی در زمینهٔ حفاظت و بهره‌وری خاک دارد [۶]. فون خاک که عامل تأثیرگذاری بر تجزیهٔ مواد آلی، کانی‌سازی[3] مواد مغذی و بهبود خواص فیزیکی خاک است، ممکن است تحت تأثیر مالچ قرار گیرد [۷]. از اواخر دههٔ ۱۹۳۰، از مالچ برای اصلاح زیست‌محیطی جنگل‌ها، اراضی کشاورزی و مناظر شهری استفاده شده است [۸]. مالچ‌های دارای کاربرد در عرصه‌های طبیعی به‌طور کلی غیرآلی (سنگ، سنگریزه یا فیلم پلی‌اتیلن) یا آلی (چوب، پوست، برگ، به‌صورت جداگانه یا مخلوط) بوده و همچنین در ترکیب با مواد زنده مانند چمن، گندم و شبدر هستند که کارایی و دوام بیشتری به مالچ می‌بخشند. مالچ‌های مختلف اثرهای متفاوتی بر خواص فیزیکی خاک و رشد گیاه دارند [۸].

در جنگل‌های شمال ایران، تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته است. برای مثال، Imani و همکاران [۹] نشان دادند که بین وزن مخصوص ظاهری و درصد پوکی در تیمارهای شیار قائم، شیار مورب و مازاد مقطوعات با تیمار شاهد مسیر چوبکشی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. Parsakhoo و همکاران [۱۰] نیز بیان کردند که تیمار خاک‌اره بیشتر از تیمار سرشاخه می‌تواند رطوبت خاک مسیرهای چوبکشی را حفظ کند. به‌علاوه، Lotfalian و همکاران [۱۱] با به‌کار بردن چهار تیمار اصلاح کوبیدگی شامل مالچ‌پاشی با مازاد مقطوعات، ایجاد بانکت‌های مورب و قائم بر مسیر و تیمار مختلط (مالچ‌پاشی با مازاد مقطوعات و بانکت قائم) در مسیرهای چوبکشی، نشان دادند که تیمار مختلط (بانکت قائم و مازاد مقطوعات) کوبیدگی خاک مسیر چوبکشی را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. برای تأثیرات منفی رواناب‌های سطحی و جلوگیری از هدررفت خاک در مسیرهای چوبکشی، برخی از راهکارهای مهندسی مانند کاربرد مالچ اجرا شده است، اما آگاهی چندانی از تأثیر این تیمارها در بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک در دست نیست. بنابراین هدف‌های اصلی این پژوهش عبارت است از: ۱.

۱. مالچ یا خاک‌پوش: لایه‌ای از کاه، خاک‌اره، برگ، ورقهٔ پلاستیکی یا خاک سست است که سطح خاک را با آن می‌پوشانند تا از خاک و ریشهٔ گیاهان در برابر اثر قطرات باران، سله‌بندی، یخ‌بندان، فرسایش و تبخیر محافظت شود (فرهنگ واژه‌های مصوب فرهنگستان: ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵).

2. Mulching

3. Mineralization

اندازه‌گیری نرخ بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک در مسیرهای چوبکشی تحت مالچ‌های خاک‌اره، لاشبرگ و کلش برنج، دو سال پس از آخرین عملیات چوبکشی؛ ۲. مقایسهٔ حد بازیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آن در تیمار پلات‌های شاهد مسیر چوبکشی با تیمار پلات‌های شاهد جنگل. تحقیق حاضر این فرضیه را می‌آزماید که بین اثر تیمارهای مالچ خاک‌اره، لاشبرگ و کلش برنج بر بازسازی خصوصیات فیزیکی خاک مسیر چوبکشی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

منطقهٔ پژوهش، پارسل‌های ۲۰۷ و ۲۱۲ بخش نم‌خانهٔ جنگل آموزشی و پژوهشی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران است. براساس گزارش نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه (ایستگاه کلیماتولوژی نوشهر)، مقدار بارندگی سالیانه در بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود ۱۰۸۱ میلی‌متر است. پرباران‌ترین ماه سال، مهر با میانگین ۱۹۵/۴ میلی‌متر و کم‌باران‌ترین ماه سال خرداد با میانگین ۳۷/۳ میلی‌متر است. میانگین دمای هوا سالیانه ۸/۶ درجهٔ سانتی‌گراد است. خاک جنگل در این بخش از نوع قهوه‌ای جنگل است که روی سنگ مادر آهکی قرار گرفته است. برداشت به شیوهٔ تک‌گزینی صورت گرفت. حجم چوب خروجی در پارسل ۲۰۷، ۵۴ اصله درخت به حجم ۳۱۹ متر مکعب و در پارسل ۲۱۲، ۳۲ اصله درخت به حجم ۲۷۰ متر مکعب بود [۱۲]. عرض مسیرهای چوبکشی به‌طور متوسط ۳/۵ متر و طول مسیرهای چوبکشی در پارسل‌های ۲۰۷ و ۲۱۲، به‌ترتیب ۳۲۰ و ۴۶۰ متر است. عملیات چوبکشی در پارسل‌های یادشده در شهریور ۱۳۹۶ با اسکیدر چرخ‌لاستیکی تاف در هر دو جهت رو به پایین و بالا انجام گرفت. هوا در طول دو هفته در طی عملیات چوبکشی گرم و خشک بود.

روش تحقیق

پس از بازدید میدانی، محل‌های نمونه‌برداری شامل چهار مسیر چوبکشی با توجه به شباهت از نظر پوشش گیاهی، توپوگرافی و ویژگی‌های خاک یکسان در دو پارسل مجاور تعیین و با توجه به شیب غالبِ مسیرهای چوبکشی (۲۰ تا ۲۵ درصد)، محل نصب قطعه‌های نمونه به‌صورت تصادفی انتخاب شد. بلافاصله بعد از عملیات چوبکشی، مالچ‌پاشی در قطعه نمونه‌ها انجام گرفت. در این پژوهش از سه نوع مالچ آلی به‌عنوان تیمار مالچ شامل خاک‌اره، کلش برنج و لاشبرگ با سه نرخ کاربرد متفاوت در سه تکرار (براساس عمق لاشبرگ در منطقهٔ شاهد) استفاده شد. مالچ خاک‌اره با سه سطح ۲/۲۲، ۴/۴۴ و ۶/۶۶ کیلوگرم در متر مربع، مالچ لاشبرگ با سه سطح ۰/۶۲، ۱/۲۲ و ۱/۸۶ کیلوگرم در متر مربع و مالچ کلش برنج با سه سطح ۰/۳۸، ۰/۷۶ و ۱/۱۴ کیلوگرم در متر مربع استفاده شد. همچنین به‌منظور مقایسهٔ نرخ بازیابی خصوصیات خاک، در این تحقیق دو تیمار شامل مسیر چوبکشی (بدون مالچ) و قطعه نمونهٔ شاهد (جنگل دست‌نخورده) در سه تکرار پیاده شد (شکل ۱). خاک‌اره استفاده‌شده در این پژوهش از تبدیل درختان گونهٔ راش در فرایند الوارگیری، به طول ۴ سانتی‌متر و ضخامت ۱ سانتی‌متر به‌دست آمد. لاشبرگ استفاده‌شده که از گونه‌های راش و ممرز بود، از کف جنگل و در نزدیک مسیرهای چوبکشی جمع‌آوری شد. کلش استفاده‌شده به طول ۱۵ سانتی‌متر از شالی‌کارها تهیه شد که سعی شد عاری از بذور علف‌های هرز باشد. در مجموع ۳۳ قطعه نمونهٔ ۶ متر مربعی به ابعاد ۶×۱ متر در طول مسیر چوبکشی پیاده شد [۱۲].

دو سال پس از پیاده‌سازی قطعه‌نمونه‌ها و مالچ‌پاشی، به‌منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف، برای تعیین خصوصیات فیزیکی (بافت، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ خاک) در هر پلات در سه محل ابتدا، وسط و انتهای پلات (به‌ازای هر دو متر طول

یک نمونه) و در دو عمق ۵-۰ و ۱۰-۵ سانتی‌متر نمونه‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. در مجموع ۱۹۸ نمونه خاک (۳۳ قطعه نمونه × دو عمق × سه تکرار) برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. برای پیشگیری از آلودگی، قبل از نمونه‌گیری خاک، مواد آلی سطحی از محل نمونه‌برداری حذف شدند. نمونه‌ها از خاک معدنی و سطحی با استفاده از سیلندرهای فولادی نمونه‌گیری (طول ۵ سانتی‌متر و قطر داخلی ۵ سانتی‌متر) جمع‌آوری شدند. در مرحلهٔ بعد این نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافتند و در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت در داخل آون خشک شدند و توزین نمونه‌ها دوباره صورت گرفت تا وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت آنها به‌دست آید. در محل نمونه‌برداری، ۲ کیلوگرم خاک نیز برای آزمایش‌های دیگر برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه مقادیر رس، سیلت و ماسه (بافت خاک)، با روش هیدرومتری، و وزن مخصوص حقیقی به روش استوانهٔ مدرج اندازه‌گیری شد. همچنین درصد تخلخل با استفاده از مقادیر وزن مخصوص حقیقی و ظاهری به‌دست آمد. مقاومت به نفوذ خاک با استفاده از نفوذسنج دستی (مدل Eijkelkamp 06.01.SA) با مخروط ۶۰ درجه و حداکثر عمق نفوذ ۱ متر که به‌صورت عمودی در خاک فرو می‌رود اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ خاک در قطعه نمونه‌های تیمارشده، مسیر بدون تیمار و منطقهٔ شاهد در محل هر نقطه نمونه در دو عمق ۵-۰ و ۱۰-۵ سانتی‌متر انجام گرفت.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها، ابتدا با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. برای مقایسهٔ مشخصه‌های فیزیکی خاک در تیمارهای مالچ شامل لاشبرگ، کلش، خاک‌اره، مسیر چوبکشی بدون تیمار و منطقهٔ شاهد از آزمون تجزیهٔ واریانس دوطرفه استفاده شد. در تجزیهٔ واریانس، اثر هر یک از تیمارها و اثرهای متقابل آنها بر متغیرها بررسی می‌شود. همبستگی واریانس بین تیمارها با آزمون لون[1] در سطح ۰/۰۱ انجام گرفت. پس از اثبات نرمال بودن توزیع داده‌ها و معنی‌داری اثر هر یک از عوامل در تجزیه‌وتحلیل واریانس، از آزمون‌های مقایسه‌ای چندگانهٔ توکی[2] برای گروه‌بندی مقدار بازیابی مشخصه‌های فیزیکی خاک استفاده شد. از همبستگی پیرسون برای آزمون ارتباط بین تیمار، عمق خاک و مشخصه‌های فیزیکی خاک بهره گرفته شد. تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 صورت گرفت و نمودارها با Excell رسم شد.

شکل ۱. قطعه نمونه‌های مربوط به تیمار مالچ لاشبرگ (الف)، کلش (ب) و خاک‌اره (ج)

1. Levene test
2. Tukey's test

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیهٔ واریانس، تیمار نوع مالچ، اثر معنی‌داری بر مشخصه‌های فیزیکی خاک شامل وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ داشت، اما فاقد اثر معنی‌دار بر اجزای بافت خاک (لای، رس و ماسه) بود (جدول ۱). عمق خاک به‌جز مقاومت به نفوذ خاک، دارای اثر معنی‌داری بر دیگر مشخصه‌های فیزیکی خاک شامل وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و اجزای بافت خاک (لای، رس و ماسه) نبود. همچنین، تأثیر متقابل تیمار و عمق خاک، دارای اثر معنی‌داری بر هیچ‌کدام از مشخصه‌های فیزیکی خاک بررسی‌شده نبود (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس اثر تیمار، عمق و اثر متقابل تیمار×عمق بر مشخصه‌های فیزیکی خاک

منبع تغییرات	متغیر وابسته	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	*F*	*P* value
تیمار	وزن مخصوص ظاهری	۲/۹۹	۱۰	۰/۳۰	۲۷/۸۱	۰/۰۰**
	تخلخل	۳۷۰۸/۷۶	۱۰	۳۷۰/۸۸	۲۲/۴۸	۰/۰۰**
	مقاومت به نفوذ	۳۳/۱۵	۱۰	۳/۳۲	۶۲/۱۹	۰/۰۰**
	لای	۴۴۱/۸۳	۱۰	۴۴/۱۸	۰/۷۴	۰/۶۹ns
	رس	۴۲۵/۴۶	۱۰	۴۲/۵۵	۱/۳۰	۰/۲۳ns
	ماسه	۴۶۰/۵۳	۱۰	۷۶/۰۵	۰/۵۹	۰/۸۳ns
عمق	وزن مخصوص ظاهری	۰/۰۵	۱	۰/۰۵	۴/۸۶	۰/۰۳*
	تخلخل	۶۴/۹۵	۱	۶۴/۹۵	۳/۹۴	۰/۰۴*
	مقاومت به نفوذ	۰/۱۸	۱	۰/۱۸	۳/۳۵	۰/۰۷ns
	لای	۱۵۸۱/۵۸	۱	۱۵۸۱/۵۸	۲۶/۳۴	۰/۰۰**
	رس	۲۵۹/۷۹	۱	۲۵۹/۷۹	۷/۹۱	۰/۰۰**
	ماسه	۳۱۲۳/۳۶	۱	۳۱۲۳/۳۶	۲۴/۴۲	۰/۰۰**
تیمار×عمق	وزن مخصوص ظاهری	۰/۰۱	۱۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۱/۰۰ns
	تخلخل	۱۶/۸۱	۱۰	۱/۶۸	۰/۱۰	۱/۰۰ns
	مقاومت به نفوذ	۰/۰۳	۱۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۱/۰۰ns
	لای	۲۹۳/۷۱	۱۰	۲۹/۳۷	۰/۴۹	۰/۸۹ns
	رس	۲۰۵/۸۸	۱۰	۲۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۷۸ns
	ماسه	۷۲۳/۸۰	۱۰	۷۲/۳۸	۰/۵۷	۰/۸۴ns

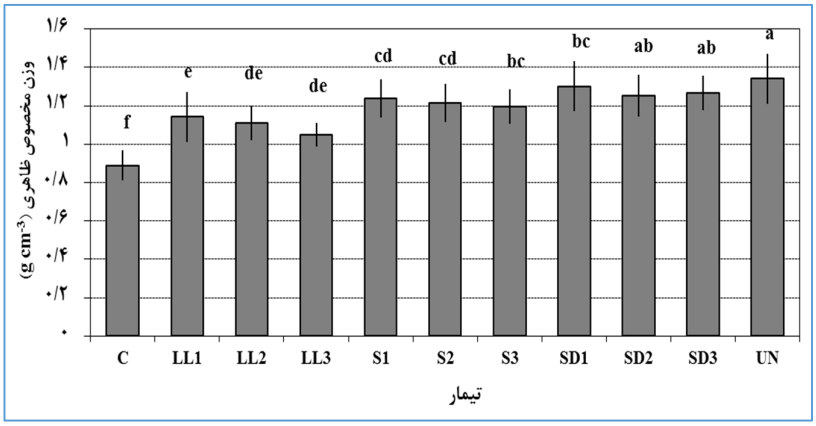
* $P<0.05$؛ ** $P<0.01$؛ ns: نبود تفاوت معنی‌دار

مقایسهٔ وزن مخصوص ظاهری خاک در مسیر چوبکشی بدون تیمار با منطقهٔ شاهد نشان داد که بعد از تردد ماشین، وزن مخصوص ظاهری همچنان تفاوت معنی‌داری با منطقهٔ شاهد داشت و بعد از دو سال، ۵۱ درصد بیشتر از منطقهٔ شاهد بود (شکل ۲). خاک‌های جنگلی با وزن مخصوص ظاهری کم، تخلخل زیاد و محتوای زیاد مادهٔ آلی [۱۳، ۱۴]، مستعد و در معرض استرس مکانیکی هستند [۱۵، ۱۶]. تراکم خاک به‌دلیل تردد ماشین‌های چوبکشی بر خاک جنگل، تأثیرات منفی بر دانه‌بندی خاک از جمله افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک [۱۷]، کاهش تخلخل کل و تخلخل درشت [۱۴]، افزایش مقاومت به نفوذ [۱۸] و کاهش نفوذپذیری هوا [۱۹، ۲۰] دارد.

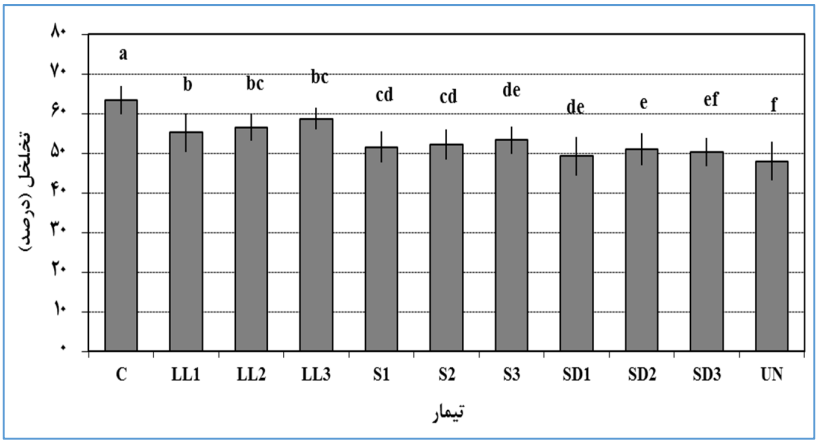
وزن مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای لاشبرگ، کلش و خاکاره به‌ترتیب دارای بیشترین مقدار بازیابی بود، ولی همچنان اختلاف معنی‌داری با منطقه شاهد داشت. همچنین، در هر سه تیمار لاشبرگ، کلش و خاکاره، با افزایش نرخ کاربرد مالچ در واحد سطح، مقدار وزن مخصوص ظاهری بهبود یافت، اما در تیمارهای لاشبرگ و خاکاره، وزن مخصوص ظاهری در نرخ‌های دوم و سوم، اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). به‌طور

کلی، از مالچ‌های آلی می‌توان برای تأمین پوشش و محافظت از خاک‌های جنگلی، روی سطح خاک استفاده کرد [۱۱-۹]. مالچ انرژی خورشیدی را جذب و دمای خاک و تغییرات آب را تنظیم می‌کند [۲۰، ۲۱] و نوسان‌های هوا بین جو و خاک را تعادل می‌بخشد [۶]. در نتیجهٔ این تأثیرات، استفاده از مالچ سبب کاهش رواناب سطح و فرسایش خاک می‌شود [۶، ۲۰].

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار تخلخل خاک (۶۳/۴۲ درصد) مربوط به منطقهٔ شاهد (جنگل دست‌نخورده) و کمترین مقدار تخلخل، مربوط به مسیر بدون تیمار با مقدار ۴۸/۰۳ درصد بود. در بین تیمارهای مالچ، تیمار لاشبرگ دارای بیشترین مقدار تخلخل و تیمار خاکاره دارای کمترین مقدار تخلخل بود. نتایج نشان داد که در دو تیمار لاشبرگ و کلش، با افزایش نرخ کاربرد مالچ، مقدار تخلخل خاک افزایش یافت (شکل ۳). در همین زمینه، Flores Fernández و همکاران [۲۱] نتیجه گرفتند که افزودن مالچ روی سطح خاک فشرده‌شده در مسیر چوبکشی، به‌طور چشمگیری بازیابی ساختار خاک را تسریع می‌کند.



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین و انحراف معیار (دامنهٔ نشان داده‌شده) وزن مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مختلف با آزمون توکی (ب). حروف لاتین ناهمسان، نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است. شاهد (دست‌نخورده) (C)، لاشبرگ با نرخ اول (LL1)، لاشبرگ با نرخ دوم (LL2)، لاشبرگ با نرخ سوم (LL3)، کلش با نرخ اول (S1)، کلش با نرخ دوم (S2)، کلش با نرخ سوم (S3)، خاکاره با نرخ اول (SD1)، خاکاره با نرخ دوم (SD2)، خاکاره با نرخ سوم (SD3) و مسیر بدون تیمار (UN).



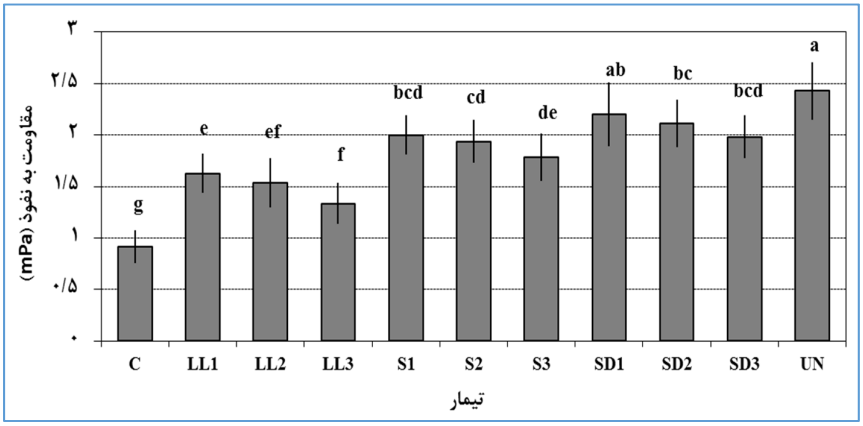
شکل ۳. مقایسهٔ میانگین و انحراف معیار (دامنهٔ نشان داده‌شده) تخلخل خاک در تیمارهای مختلف با آزمون توکی (ب). حروف لاتین ناهمسان، نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

نتایج مقاومت به نفوذ نشان داد که منطقهٔ شاهد (دست‌نخورده) دارای کمترین مقاومت به نفوذ (۰/۹۲ مگاپاسکال) بود، درحالی که مسیر چوبکشی بدون تیمار با وجود گذشت دو سال از عملیات چوبکشی همچنان دارای بیشترین مقاومت به نفوذ بود (۲/۴۳ مگاپاسکال) که ۱/۶۴ برابر منطقهٔ شاهد بود (شکل ۴). نتایج اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ دو سال بعد از عملیات چوبکشی و مالچ‌پاشی نشان داد که مقاومت به نفوذ از نظر بازیابی در تیمارهای مالچ‌های لاشبرگ، کلش و خاکاره، تفاوت معنی‌داری با مسیر چوبکشی بدون تیمار داشت، ولی همچنان با منطقهٔ شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بود (شکل ۴).

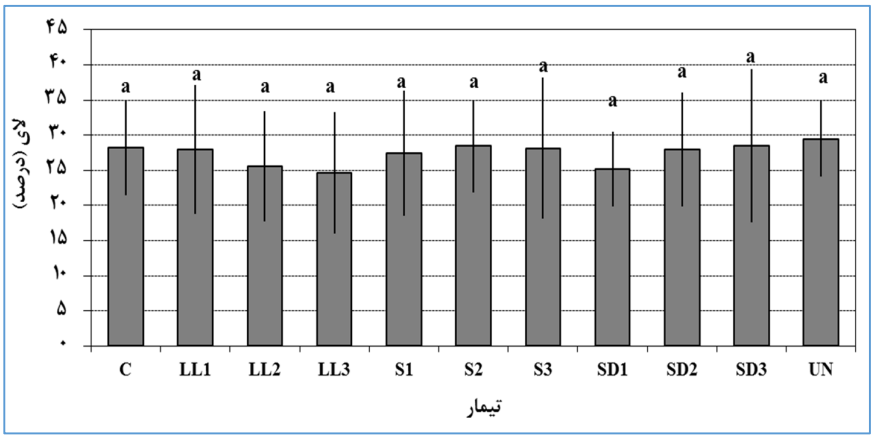
افزودن مالچ‌های آلی در مسیرهای چوبکشی سبب افزایش زبری سطح، افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک، کاهش سرعت قطرات باران، افزایش ظرفیت جذب آب و بهبود نفوذ می‌شود که در نهایت به کاهش جدا شدن ذرات خاک و رواناب سطحی و کاهش از بین رفتن خاک می‌انجامد [۱۹]. همسو با نتایج پژوهش حاضر، Jordán و همکاران [۶] دریافتند که استفاده از مواد مالچی، ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک را اصلاح می‌کند و سبب افزایش مادهٔ آلی خاک، افزایش پایداری خاک و تقویت هوادهی خاک، تخلخل، ساختار و رطوبت خاک می‌شود که بهبود مقاومت به نفوذ خاک و شرایط فیزیکی را در پی دارد. مالچ‌های آلی با کاهش تبخیر، رطوبت خاک را حفظ می‌کنند [۱]. در پژوهش‌های پیشین گزارش شده که رطوبت خاک، تحت تیمارهای مختلف مالچ بیشتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده در خاک لخت (بدون مالچ) بود [۶]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزایش میزان مواد مالچی از سطح اول تا سوم، سبب افزایش ظرفیت رطوبت خاک در مقایسه با خاک لخت در مسیر بدون تیمار می‌شود.

نتایج نشان داد که نوع و مقدار مالچ دارای اثر معنی‌داری بر درصد لای و رس خاک نبود. این نتایج در مورد درصد ماسه نیز صدق می‌کند. در واقع نتایج نشان داد که دو سال بعد از عملیات چوبکشی و مالچ‌پاشی، نوع و مقدار مالچ تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات بافت خاک نداشت (شکل‌های ۵ تا ۷). در این تحقیق اثر مالچ بر تغییر بافت خاک به‌طور معنی‌داری اثبات نشد. دلیل این موضوع ممکن است زمان‌بر بودن تغییرات بافت خاک باشد و دو سال بی‌گمان زمان زیادی برای تغییر بافت خاک نیست.

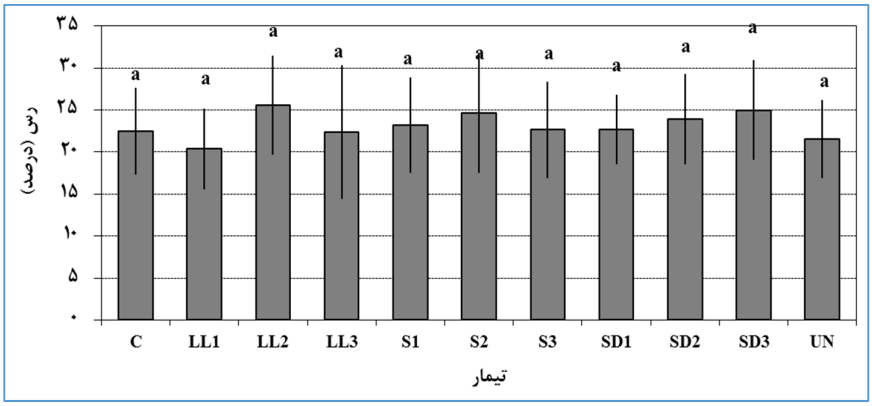
جدول ۲ نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین تیمار و مشخصه‌های فیزیکی خاک را نشان می‌دهد. بر این اساس، بین تیمار و مشخصه‌های وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد.



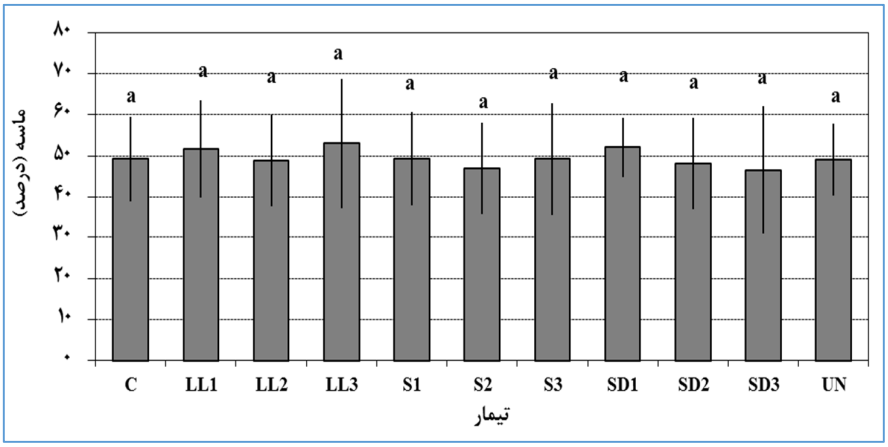
شکل ۴. مقایسهٔ میانگین و انحراف معیار (دامنهٔ نشان داده‌شده) مقاومت به نفوذ در تیمارهای مختلف با آزمون توکی (ب). حروف لاتین ناهمسان، نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.



شکل ۵. مقایسهٔ میانگین و انحراف معیار (دامنهٔ نشان داده‌شده) درصد لای در تیمارهای مختلف با آزمون توکی (ب). حروف لاتین ناهمسان، نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.



شکل ۶. مقایسهٔ میانگین و انحراف معیار (دامنهٔ نشان داده‌شده) درصد رس در تیمارهای مختلف با آزمون توکی (ب). حروف لاتین ناهمسان، نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.



شکل ۷. مقایسهٔ میانگین و انحراف معیار (دامنهٔ نشان داده‌شده) درصد ماسه در تیمارهای مختلف با آزمون توکی (ب). حروف لاتین ناهمسان، نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

جدول ۲. نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین تیمار و مشخصه‌های خصوصیات فیزیکی خاک

متغیر	تیمار	عمق	وزن مخصوص ظاهری	تخلخل	مقاومت به نفوذ	لای	رس	ماسه
تیمار	۱	۰/۰۰^{ns}	۰/۶۶**	۰/۶۴**	۰/۷۶**	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۴^{ns}	−۰/۰۶^{ns}
عمق		۱	۰/۱۰^{ns}	−۰/۰۹^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۳۵**	۰/۱۹**	−۰/۳۴**
وزن مخصوص ظاهری			۱	−۰/۹۹**	۰/۷۲**	۰/۰۹^{ns}	۰/۰۳^{ns}	−۰/۰۷^{ns}
تخلخل				۱	−۰/۶۹**	−۰/۰۸^{ns}	−۰/۰۴^{ns}	۰/۰۷^{ns}
مقاومت به نفوذ					۱	۰/۱۱^{ns}	۰/۰۸^{ns}	−۰/۱۱^{ns}
لای						۱	۰/۴۱**	−۰/۸۹**
رس							۱	−۰/۷۸**
ماسه								۱

* $P<0.05$؛ ** $P<0.01$؛ ^{ns}: نبود تفاوت معنی‌دار

نتایج تحقیق حاضر، بر سودمند بودن استفاده از مالچ‌های آلی شامل لاشبرگ، کلش و خاکاره دلالت دارد و نشان می‌دهد که این کار، سبب نگهداری رطوبت خاک و در نتیجه اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود. فرضیهٔ تحقیق حاضر که بیان می‌کند بین اثر تیمارهای مالچ خاکاره، لاشبرگ و کلش برنج بر بازسازی خصوصیات فیزیکی خاک مسیر چوبکشی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد، توسط داده‌های تحقیق در بازیابی مشخص‌های فیزیکی شامل وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ در مقایسه با مسیر چوبکشی بدون تیمار پشتیبانی می‌شود؛ ولی در این تحقیق، اثر مالچ بر بافت خاک معنی‌دار نبود. هرچند بازیابی کامل مشخصه‌های فیزیکی خاک مسیرهای تیمارشده با مالچ‌های آلی به زمانی بیش از دو سال نیاز دارد.

در این تحقیق به جنبه‌های اقتصادی استفاده از مالچ‌های مختلف و ارزیابی مالی اقدامات مدیریتی برای احیا و بازیابی و حفاظت خاک در مسیرهای چوبکشی پرداخته نشد. هرچند بعد از اینکه از نظر فنی، نوعی مالچ به‌عنوان گزینهٔ بهینه انتخاب شد، باید در ترازوی ارزیابی مالی قرار گیرد تا گزینهٔ نهایی برای توصیه در جنگل انتخاب شود. با این‌حال، استفاده از مالچ لاشبرگ، به‌دلیل ارزان بودن و هزینهٔ حمل‌ونقل کم، گزینهٔ مناسبی نسبت به دو مالچ خاکاره و کلش برنج است. همچنین در مورد کلش برنج، احتمال انتقال بذور علف‌های هرز و همچنین آفات و بیماری‌ها به عرصه‌های جنگلی وجود دارد که باید در کاربرد این نوع مالچ در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، افزودن سطوح مختلف مالچ‌های آلی شامل لاشبرگ، کلش و خاکاره، از نظر توانایی آن برای بازیابی مشخصه‌های فیزیکی خاک در روی مسیرهای چوبکشی، طی دوره‌ای دوساله پس از تردد ماشین و مالچ‌پاشی روی خاک، در مقایسه با مسیر بدون تیمار (بدون مالچ) و منطقهٔ شاهد (دست‌نخورده) ارزیابی شد. یافته‌های این تحقیق، بعد از تردد ماشین و افزودن مالچ‌های آلی با نرخ‌های متفاوت به شرح زیر خلاصه می‌شود: ۱. مشخصه‌های فیزیکی خاک به غیر از بافت خاک در تیمارهای لاشبرگ، کلش و خاکاره و سطوح مختلف مالچ به‌طور چشمگیری بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در مسیر بدون تیمار بود، اما هنوز هم کمتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در منطقهٔ شاهد (دست‌نخورده) بود؛ ۲. با توجه به نتایج، دورهٔ زمانی دوساله برای بازگشت مشخصه‌های فیزیکی خاک به سطوح قبل از تردد ماشین و کوبیدگی خاک کافی نیست تا خصوصیات خاک را به سطوح قبل از برداشت (با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در منطقهٔ شاهد یا

دست‌نخورده به‌عنوان نقطهٔ مرجع برگردد؛ ۳. به‌طور کلی، با توجه به نتایج تحقیق، می‌توان از مالچ لاشبرگ با سطوح کاربرد ۰/۶۲ تا ۱/۲۲، مالچ کلش برنج با سطوح کاربرد ۰/۳۸ تا ۰/۷۶ و مالچ خاک‌اره با سطوح کاربرد ۲/۲۲ تا ۴/۴۴ کیلوگرم در متر مربع، به‌عنوان مقدار بهینه برای پخش مالچ در مسیرهای چوبکشی استفاده کرد.

References

[1]. Ampoorter, E., De Schrijver, A., De Frenne, P., Hermy, M., and Verheyen, K. (2011). Experimental assessment of ecological restoration options for compacted forest soils. Ecological Engineering, 37(11): 1734-1746.

[2]. Jourgholami, M., Nasirian, A., and Labelle, E.R. (2018). Ecological restoration of compacted soil following the application of different leaf litter mulches on the skid trail over a five-year period. Sustainability, 10, 2148.

[3]. Picchio, R., Venanzi, R., Tavankar, F., Luchenti, I., Iranparast Bodaghi, A., Latterini, F., Nikooy, M., Di Marzio, N., and Naghdi, R. (2019). Changes in soil parameters of forests after windstorms and timber extraction. European Journal of Forest Research, 138: 875-888.

[4]. Kozlowski, T.T. (1999). Soil compaction and growth of woody plants. Scandinavian Journal of Forest Research, 14(6): 596-619.

[5]. 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(1–3): 329-340.

[6]. Jordán, A., Zavala, L.M., and Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. Catena, 81: 77-85.

[7]. Merlim, A.D.O., Guerra, J.G.M., Junqueira, R.M., and Aquino, A.M.D. (2005). Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. Scientia Agricola, 62(1): 57-61.

[8]. Ni, X., Song, W., Zhang, H., Yang, X., Wang, L. (2016). Effects of Mulching on Soil Properties and Growth of Tea Olive (*Osmanthus fragrans*). PLoS ONE, 11(8): e0158228.doi:10.1371.

[9]. Imani, P., Lotfalian, M., Parsakhoo, A., and Naghdi, R. (2018). Investigating the performance of some improvement treatments in restoring soil physical properties of skid trails (Case Study: Darabkola Forest, Sari). Iranian Journal of Forest, 10(2): 181-195.

[10]. Parsakhoo, A., Mostafa, M., and Pourmalekshah, A.A.M.A. (2017). The effects of slash and sawdust on reducing soil compaction on skid trails. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25(1): 172-183.

[11]. Lotfalian, M., Parsakhoo, A., Sadeghi, M., and Nazariani, N. (2018). Comparison of soil compaction recovery methods on skid trails. Journal of Forest Research and Development, 4(1): 59-71.

[12]. Ahmadi, M., Jourgholami, M., Majnounian, B., and Khalighi-Sigaroodi, S. (2020). The effect of organic mulches on the sediment reduction of the skid trails in the Kheyrud forest, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 28(1): 73-84.

[13]. Meyer, C., Luscher, P., and Schulin, R. (2014). Enhancing the regeneration of compacted forest soils by planting black alder in skid lane tracks. European Journal of Forest Research, 133: 53-465.

[14]. Cambi, M., Certini, G., Neri, F., and Marchi, E. (2015). The impact of heavy traffic on forest soils: a review. Forest Ecology and Management, 338: 124-138.

[15]. Horn, R., Vossbrink, J., Peth, S., and Becker, S. (2007). Impact of modern forest vehicles on soil physical properties. Forest Ecology and Management, 248: 56-63.

[16]. Mulumba, L.N., and Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. Soil and Tillage Research, 98: 106-111.

[17]. Labelle, E.R., Poltorak, B.J., and Jaeger, D. (2019). The role of brush mats in mitigating machine-induced soil disturbances: an assessment using absolute and relative soil bulk density and penetration resistance. Canadian Journal of Forest Research, 49: 164-178.

[18]. Bolding, M.C., Kellogg, L.D., and Davis, C.T. (2009). Soil compaction and visual disturbance following an integrated mechanical forest fuel reduction operation in Southwest Oregon. International Journal of Forest Engineering, 20: 47-56.

[19]. Goutal, N., Renault, P., and Ranger, J. (2013). Forwarder traffic impacted over at least four years soil air composition of two forest soils in northeast France. Geoderma, 193-194: 29-40.

[20]. Fründ, H.C., and Averdiek, A. (2016). Soil aeration and soil water tension in skidding trails during three years after trafficking. Forest Ecology and Management, 380: 224-231.

[21]. Flores Fernández, J.L., Hartmann, P., Schäffer, J., Pulhmann, H., and von Wilpert, K. (2017). Initial recovery of compacted soil-planting and technical treatments decrease CO_2 concentrations in soil and promote root growth. Annals of Forest Science, 74: 73.

The effects of organic mulches on recovery process in soil physical properties in the compacted soil in the skid trails (Case study: Kheyrud forest)

A. Khoramizadeh; Ph.D. student of forest engineering, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

M. Jourgholami*; Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

M. Jafari; Prof., Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 20 August 2020, Accepted: 16 October 2020)

ABSTRACT

Various engineering measures, such as mulching, have been applied to skid trails to suppress the negative effects of surface runoff and flood hazards. However, study on the effectiveness of such treatments to restore soil properties is scarce. In this study, the effect of organic mulches including leaf litter, rice straw and sawdust on the recovery of physical properties of compacted soil of skid trails (i.e., soil bulk density, porosity, resistance to penetration and soil texture) was evaluated and tested two years after skidding operations compared to untreated trails and undisturbed (control) area. The results showed that the treatment of leaf litter mulch, rice straw and sawdust had a significant effect on the recovery of soil bulk density, porosity and soil penetration resistance, but had no significant effect on soil texture. The results showed that litter mulch has the greatest effect on the recovery of soil physical characteristics compared to straw and sawdust mulch. However, for two years, the soil texture was not affected by the type and amount of mulch. Also, in the surface depth, the effects of mulch are more significant. We can conclude that the applying different organic mulches increased levels of each mulch moderately ameliorated soil physical properties, after mechanized operations over a two-year period, compared to the untreated treatment; however, the values of soil properties were still lower than those in the undisturbed (control) area, indicating that two years is not long enough to restore the soil properties to pre-harvest levels in the study area.

Keywords: Soil recovery, Soil compaction, Physical properties, Leaf litter, Rice straw, Sawdust.

* Corresponding Author: Email: mjgholami@ut.ac.ir, Tel: +98 26 32249312