

## مقایسه روش‌های اصلاح کوبیدگی خاک در مسیرهای چوبکشی

مجید لطفعلیان\*<sup>۱</sup>، آیدین پارساخو<sup>۲</sup>، مریم صادقی<sup>۳</sup> و نسترن نظریانی<sup>۴</sup>

۱- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۴- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۰۷

### چکیده

مسیرهای چوبکشی در این پژوهش مسیرهایی است که دوره بهره‌برداری در آنها پایان یافته است. از این‌رو، این مسیرها پس از استفاده باید بتوانند آب را در خود نفوذ دهند تا از فرسایش خاک و برهم‌خوردن چرخه هیدرولوژی جلوگیری به عمل آید. به منظور اصلاح کوبیدگی خاک در مسیرهای چوبکشی مذکور در جنگل‌های دارابکلا، چهار تیمار اصلاح کوبیدگی شامل مالچ پاشی با مازاد مقطوعات، ایجاد بانکت‌های مورب و قائم بر مسیر و تیمار مختلط (مالچ پاشی با مازاد مقطوعات در مجاورت بانکت قائم) و دو تیمار شاهد شامل داخل توده و داخل مسیر قبل از اصلاح مورد بررسی قرار گرفت. در کل ۶۱ نمونه خاک، قبل و بعد از انجام عملیات اصلاح کوبیدگی از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری برداشته شد و برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج نشان داد که تنها تیمار مختلط (بانکت قائم و مازاد مقطوعات) سبب شد تا کوبیدگی خاک مسیر چوبکشی به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کند، اما هنوز با گذشت ۱۸ ماه از انجام این تیمار، مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک با مقدار منطقه شاهد (۱/۰۶ گرم در سانتی‌متر مکعب) تفاوت معنی‌دار داشت. روند کاهش کوبیدگی در داخل رد چرخ‌ها سریع‌تر از محور میانی بود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح کوبیدگی، بانکت، مازاد مقطوعات، مسیر چوبکشی.

## مقدمه

پلات روی کناره‌ها، دو پلات روی مرکز و دو پلات روی سطوح چوبکشی نشده (کنترل) و با هفت تکرار، یک مسیر ۴۰ ساله و یک مسیر یک‌ساله مقایسه شد. نتایج نشان داد که مقاومت به نفوذ در مسیر ۴۰ ساله به‌طور معنی‌داری در لبه و مرکز مسیر چوبکشی در مقایسه با تیمار شاهد بالاتر بود و در مسیر چوبکشی یک‌ساله، نفوذ تنها در لبه نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. در جنگل‌های مرکز ایالت آیداهو آمریکا، کوبیدگی لایه زیرین خاک مسیرهای چوبکشی در شرایط طبیعی تا ۲۳ سال اصلاح نشده بود. در ایالت ارگن آمریکا، بوم‌سازگان جنگل تا ۳۲ سال نتوانست وزن مخصوص ظاهری خاک مسیرهای چوبکشی را اصلاح کند (Webb, 2002). در مقابل، Mace Jr (1971) پس از گذشت یک سال از اعمال روش‌های مکانیکی اصلاح کوبیدگی روی خاک‌های به‌نسبت خشک و درشت‌دانه مسیرهای چوبکشی در جنگل‌های ایالت مینه‌سوتا آمریکا، توانست اثرهای مثبت تیمارهای اصلاحی را مشاهده کند. یکی از عواملی که در تخریب خاک مؤثر است، رطوبت وزنی خاک است. اثر ماشین‌آلات چوبکشی بر روی خاک خشک به‌صورت کوبیدگی و در خاک مرطوب به‌صورت به‌هم‌خوردگی شدید افق‌های خاک ظاهر می‌شود (Bigvardi, 2004). لایه سطحی خاک و همچنین مسیرهایی که تعداد تردد ماشین‌آلات در آنها کمتر است به مدت‌زمان کمتری برای اصلاح وزن مخصوص ظاهری خود (از بین رفتن کوبیدگی) نیاز دارند. عامل‌های زیستی نقش مهمی در اصلاح طبیعی کوبیدگی خاک دارند. گیاهانی که دارای ریشه‌های عمیق هستند نرخ پراکنش خاکدانه‌ها را در کل پروفیل خاک افزایش می‌دهند. همچنین فعالیت کرم‌های خاکی و ریشه گیاهان علفی منجر به اصلاح ساختمان خاک و شکستن کلوخه‌ها می‌شود (Demir et al., 2008).

کوبیدگی خاک جنگل یکی از مهم‌ترین عوارض عملیات چوبکشی زمینی است. خاک تخریب‌نیافته جنگل معمولاً دارای تخلخل زیاد و وزن مخصوص ظاهری کم است، از این‌رو در اثر تردد ماشین‌آلات چوبکشی به سهولت کوبیده می‌شود. درجه و شدت کوبیدگی خاک جنگل در سیستم چوبکشی زمینی به ویژگی‌های خاک، شیب و توپوگرافی دامنه، مشخصات ماشین چوبکشی، نحوه طراحی مسیر چوبکشی، تجربه و مهارت راننده، فصل کار و روش بهره‌برداری بستگی دارد (Rafatnia et al., 2008). صدمات واردشده به خاک مسیرهای چوبکشی و دپوی چوب‌آلات شامل حذف لایه سطحی و آلی خاک، کوبیدگی و فرسایش است. خاک آسیب‌دیده سبب به‌وجود آمدن اختلال در جریان‌ات سطحی و زیرسطحی، قابلیت نفوذپذیری و زهکشی دامنه‌ها می‌شود. این مسئله زمینه را برای تشدید فرسایش آبی و هدررفت عناصر غذایی خاک از مسیرهای چوبکشی فراهم می‌سازد (Mace Jr, 1971). علاوه بر این، رویش قطری و ارتفاعی درختان اطراف مسیرهای چوبکشی تا حدودی متأثر از شدت کوبیدگی خاک، نوع گونه درختی، تعداد تردد ماشین‌آلات چوبکشی و جنس خاک است. همچنین کوبیدگی خاک مسیرهای چوبکشی، کاهش رویش حجمی درختان مجاور را به دنبال دارد (Froehlich, Dykstra and Curran, 2000). نتایج پژوهش Ezzati و همکاران (2014) در کشور ایران نشان داد حتی ده سال پس از عملیات بهره‌برداری وزن مخصوص خاک مسیرهای چوبکشی به‌طور طبیعی کاهش نیافته است. (Alexander 2012) تأثیرات چوبکشی روی فشردگی خاک در جنگل‌های مرطوب همیشه‌سبز کشور غنا در شش بخش از مسیرهای چوبکشی را اندازه‌گیری کرد. با برداشت دو

عمق شیار بزرگ‌تر ۲۱-۱۳ سانتی‌متر، تخلخل کل ۲۷-۲۳ درصد، تخلخل بزرگ‌تر ۳۵-۲۸ درصد که نسبت به مناطق آسیب‌دیده کمتر بود. درحالی‌که عمق شیار و مقدار رطوبت بازیابی شد، مشخص شد که ۲۰ سال دیگر برای دیگر خواص فیزیکی خاک به‌ویژه در مناطق شیب‌دار کافی نبود. برای به حداقل رساندن چوبکشی در مناطق با شیب ملایم باید روش‌های خروج جایگزین مانند کابل هوایی مورد استفاده قرار گیرد که در آن شیب بیش از ۲۰ درصد محدود شده است. Ezzati و همکاران (2014) همچنین طی پژوهشی دیگر به بررسی کوبیدگی خاک و زادآوری استقرار یافته در یک مسیر چوبکشی که حدود ۲۰ سال پیش، عملیات چوبکشی زمینی در آن متوقف شده بود، پرداختند. نتایج نشان داد که در مسیرهای پرتراфик با شیب طولی بیشتر از ۲۰ درصد، وزن مخصوص ظاهری در مقایسه با ناحیه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا نکرده، به‌طوری‌که این عامل در شیب زیر ۲۰ و بالای ۲۰ درصد در سه طبقه ترافیک کم، متوسط و شدید به‌ترتیب ۶/۱۲، ۱۱/۸۳ و ۴۰/۳۸ درصد و ۳۷/۷۵، ۱۷/۳۴ و ۴۵/۹۰ درصد هنوز باقی‌مانده بود. پژوهش Sohrabi و همکاران (2015) در ارزیابی بازیابی وزن مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ خاک‌های کوبیده شده در مسیرهای چوبکشی رها شده بعد از یک دوره ۲۰ ساله در جنگل خیرود نشان داد که بیشترین مقدار وزن مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ خاک و کمترین مقدار تخلخل در شدت تردد زیاد و شیب بیشتر از ۲۰ درصد است. وزن مخصوص ظاهری و تخلخل در محل‌های مختلف رد چرخ در مسیرهای چوبکشی با گذشت ۲۰ سال، بیشتر و کمتر از منطقه شاهد بود، اما اختلاف آنها معنی‌دار نبود، درحالی‌که این اختلاف در مورد مقاومت به نفوذ معنی‌دار بود. با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی،

لازم به‌ذکر است که عامل‌های زیستی یادشده برای اصلاح طبیعی کوبیدگی خاک به زمان طولانی نیاز دارند. ضمن آنکه با نهالکاری روی مسیرهای چوبکشی، تنها می‌توان کوبیدگی خاک را به‌صورت موضعی اصلاح کرد. پوشش علفی نیز تنها در لایه‌های سطحی، ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. Perry (1964) طی پژوهش خود در جنگل سوزنی-برگ دست‌کاشت ۲۶ ساله درهام کانتی به این نتیجه دست یافت که بازده هر یک از درختان کاشته‌شده در درون رد چرخ‌های مسیر چوبکشی در فرآیند اصلاح کوبیدگی خاک فقط ۴۶ درصد بیشتر از درختان مجاور بود. پژوهش Jorgholami و همکاران (2013) با هدف اندازه‌گیری به‌هم‌خوردگی خاک، در بررسی اثر شدت ترافیک ماشین و محل نمونه بر وزن مخصوص ظاهری خاک و مقاومت به نفوذ در عمق‌های مختلف خاک و اثر متقابل به‌هم‌خوردگی ظاهری خاک و مقاومت به نفوذ در شدت ترافیک مختلف نشان داد که درصد افزایش وزن مخصوص از حد مضر در نظر گرفته‌شده، بیشتر است. اندازه‌گیری سطح به‌هم‌خوردگی خاک توده، بعد از عملیات بهره‌برداری نیز، نشان داد مقدار به‌هم‌خوردگی از حد مجاز سطح مضر (زیان‌آور) بیشتر نشده است. نتایج بررسی Ezzati و همکاران (2012) در ارزیابی تراکم، تخلخل و ریزش توده خاک را طی یک دوره ۲۰ ساله پس از برداشت چوب در جنگل‌های شمال ایران نشان داد که در طول دوره بازیابی ۲۰ ساله، در مسیرهای با شیب-های ملایم اولیه مقادیر میانگین به‌ترتیب برای چگالی ظاهری ۴۲-۳۵ درصد، مقدار رطوبت خاک ۷-۳ درصد، عمق شیار بزرگ‌تر ۱۹-۱۳ سانتی‌متر، تخلخل کل ۲۴-۱۸ درصد، تخلخل بزرگ‌تر ۲۸-۱۹ درصد و در مسیرهای شیب‌دار اولیه مقادیر برای چگالی ظاهری ۴۶-۴۰ درصد، مقدار رطوبت خاک ۱۳-۲ درصد،

مسیرها به دلایل گوناگون اعم از طراحی نامناسب، قرق، ممنوعیت برداشت (که به هر حال فعلاً ممنوع شده است) و ... کاربری خود را از دست داده و لازم است که اصلاح و به طبیعت بازگردانده شوند. برای نیل به این مقصود از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود. بهترین فعالیت‌های مدیریتی برای اصلاح کویدگی مناطق به شدت تخریب یافته شامل شخم‌زنی، ایجاد خراش سطحی، هم‌تراز سازی مسیر با خط شیب، بذرپاشی، کود دهی، آهک پاشی، دور کردن رواناب سطحی از خاک معدنی فاقد پوشش (لخت) و ایجاد محدودیت ترافیک است (Dvorak and Novak, 1994). همچنین در طراحی مسیرهای چوبکشی باید قابلیت ترافیک‌پذیری خاک عرصه جنگلی در نظر گرفته شود. در جنگل‌های با بافت خاک سنگین به منظور کاهش دادن سطح مناطق آسیب‌دیده، می‌توان عملیات چوبکشی را بر روی حداقل تعداد ممکن مسیرهای چوبکشی متمرکز کرد. روش دیگر، استفاده از ماشین‌آلات چوبکشی نیرومندی است که در عین حال بتوانند فشار وارد بر سطح مسیرهای چوبکشی و در نتیجه کویدگی خاک را کاهش دهند. همچنین خاک‌های با جورشدگی (Sorting) ضعیف مخصوصاً آنهایی که بافت شنی لومی دارند بیشتر در معرض کویدگی قرار می‌گیرند (Webb, 2002).

هدف از انجام این پژوهش مقایسه وزن مخصوص ظاهری خاک مسیرهای چوبکشی قبل و بعد از انجام عملیات اصلاح کویدگی و همچنین مقایسه با شرایط داخل توده است. این پژوهش بلافاصله پس از اتمام کار چوبکشی در مسیرها به انجام رسید و بنابراین سن مسیرهای چوبکشی یکسان و کمتر از یک سال بود. این پژوهش نظر به اهمیت پیشگیری از جاری شدن رواناب و افزایش نفوذپذیری خاک و نیز ریزدانه و حساس بودن خاک‌های جنگلی

ویژگی‌های فیزیکی خاک در حال بازیابی هستند، به طوری که وزن مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ به اندازه ۱۲/۵۷ و ۲۳/۳۰ درصد بیشتر و تخلخل به مقدار ۹/۷۴ درصد کمتر از منطقه شاهد بود. این اختلاف برای وزن مخصوص ظاهری و تخلخل معنی‌دار نبود، اما برای مقاومت به نفوذ معنی‌دار بود. نتایج به دست آمده نشان داد که برای بازیابی کامل وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ، مدت‌زمان بیشتر از ۲۰ سال نیاز است. بر اساس برآوردهای انجام شده، ۴۰ سال زمان لازم است تا ظرفیت نفوذپذیری خاک رد چرخ‌های به شدت کوید شده به حالت نرمال و طبیعی برسد (Demir et al., 2008). اینکه خاک مسیرهای چوبکشی با توجه به تغییرات قابل توجه که در آنها رخ می‌دهد، بعد از گذشت زمان کوتاه به طور طبیعی از نظر هیدرولیکی و خاک‌شناسی به وضعیت و شرایطی برسند که توده‌های زادآوری روی آنها مستقر شوند دور از انتظار خواهد بود، بنابراین استفاده از روش‌های اصلاحی مکانیکی و بیولوژیکی ضرورت می‌یابد. در جنگل‌های شمال ایران بیشتر مسیرهای چوبکشی ۱۰ سال بعد مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرند و به شبکه ریزبافت حمل و نقل جنگل بر می‌گردند (البته با فرض تداوم طرح‌های جنگلداری و بدون در نظر گرفتن توقف موقت بهره‌برداری در قالب تنفس جنگل‌ها). از این رو اصلاح کویدگی خاک این مسیرها به نحوی که انتظار بازگشت آنها به عرصه تولیدی جنگل باشد، ضرورتی ندارد. گرچه به منظور حفاظت فیزیکی خاک از فرسایش و کمک به نفوذپذیری خاک و پیشگیری از افزایش رواناب، لازم است از این تیمارها استفاده شود. در این بین برخی از مسیرها نیز وجود دارند که از رده خارج می‌شوند. مسیرهای چوبکشی از رده خارج آنهایی هستند که دیگر مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. این

در شمال کشور انجام گرفته و امید است مورد استفاده قرار گیرد.

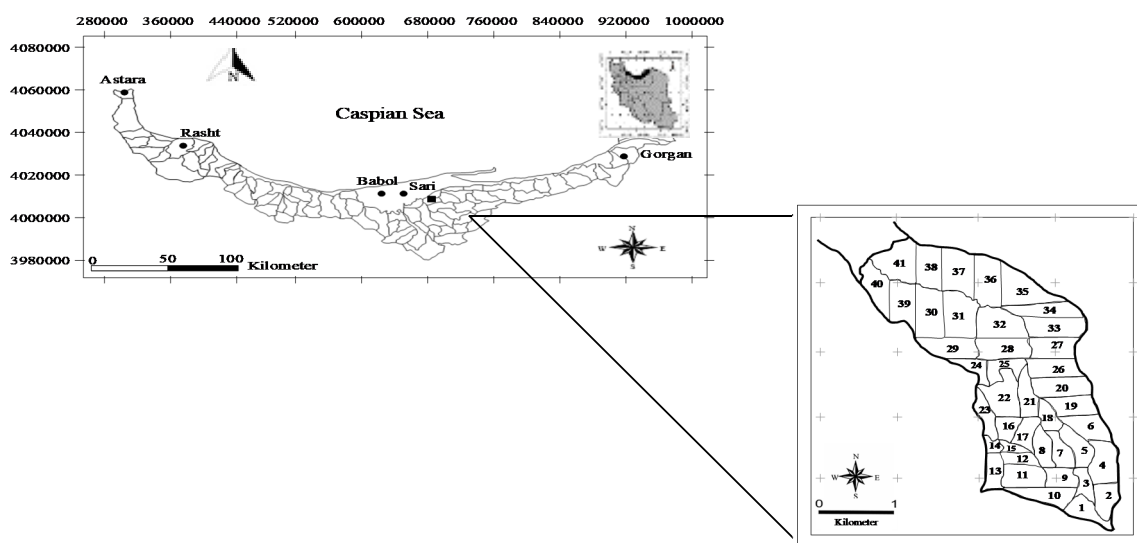
## مواد و روش‌ها

### مشخصات منطقه مورد بررسی

جنگل‌های سری یک دارابکلا با مساحت ۲۶۱۲ هکتار، در حوزه آبخیز شماره ۷۴ و بین عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 33' 30''$  و  $36^{\circ} 33' 20''$  شمالی و طول جغرافیایی  $52^{\circ} 31' 05''$  شرقی قرار دارد. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۶۰ متر و حداکثر آن ۸۷۰ متر است. برای عمومی پارسل‌های سری دارابکلا شمالی است. خاک راندزین تکامل نیافته، اغلب لومی، رسی لومی و نوع سنگ مادر مارن، ماسه‌سنگ آهکی، آهک مارنی و آهک است. تیپ جنگل در ارتفاعات پایین ممرز-انجیلی و ممرز-راش و در ارتفاعات بالا

راش-ممرز یا راش است. روش فعلی جنگلداری منطقه، دانه‌زاد ناهمسال آمیخته و شیوه جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت (تک‌گزینی) است. همچنین چهار دهه از زمان اجرای طرح جنگلداری در سری یک دارابکلا می‌گذرد و سری مذکور در حال حاضر در دهه پنجم اجرای طرح قرار دارد (شکل ۱).

به‌منظور انجام تیمارهای اصلاح کوبیدگی خاک، ابتدا مسیرهای چوبکشی استفاده‌شده در سال (۲۰۱۱ میلادی، ۱۳۹۰ هجری شمسی) در جنگل‌های سری یک دارابکلا در تاریخ ۲۵ خرداد ۱۳۹۰ مورد بازدید قرار گرفت. این مسیرها در قطعه ۸ سری یک دارابکلا ساخته‌شده بودند. مساحت کلی این قطعه ۳۹ هکتار و مساحت قابل بهره‌برداری آن ۳۵ هکتار است.



شکل ۱- نقشه UTM سری یک جنگل دارابکلا

Figure 1. UTM map of series No. 1 Darabkola forest

افراد محلی از آن صرف‌نظر شد. مسیر ۱۰۰۰ متری از نظر جامعه آماری، طرح هندسی و دور بودن از دسترس افراد محلی، شرایط لازم برای انجام این پژوهش را داشت و از این‌رو برای پیاده‌سازی

در قطعه هشت، دو مسیر چوبکشی با طول ۳۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر برای خارج کردن مقطوعات (۱۳۹۰ شمسی) از جنگل مورد استفاده قرار گرفت که اولی به چشمه منتهی می‌شد و از این‌رو به‌دلیل تردد بالایی

زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور مرکزی مسیر و با ارتفاع و پهنای ۳۰ سانتی‌متر در انتهای پلات به نحوی تعبیه شد که بتواند آب ورودی از جنگل و مسیر را به سهولت به خارج از مسیر منحرف سازد. بانکت قائم به صورت کاملاً عمود بر مسیر چوبکشی با ارتفاع، عمق و پهنای ۳۰ سانتی‌متر احداث شد. برای اصلاح کوبیدگی خاک توسط مازاد مقطوعات از سرشاخه-هایی به قطر حداکثر ۳ سانتی‌متر و طول حداکثر ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. به‌طور میانگین حدود دو کیلوگرم سرشاخه و لاشبرگ به ضخامت ۱۵-۱۰ سانتی‌متر بر روی هر مترمربع از پلات پاشیده شد. تیمار مرکب شامل یک بانکت قائم به‌همراه یک پلات مازاد مقطوعات بلافاصله پس از آن بود. محل دو پلات قائم با کدهای 1B و 2B، پلات‌های مورب با کدهای 1A و 2A، پلات‌های مازاد مقطوعات با کدهای 1C و 2C، پلات‌های مرکب با کدهای 1H و 2H و پلات‌های شاهد با کد Sh روی درختان علامت-گذاری شد. در نمونه‌برداری مقدماتی از هر پلات سه نمونه از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک به کمک سیلندر فولادی (با ارتفاع حدود ۱۰ سانتی‌متر و قطر هشت سانتی‌متر) و پُتک برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری (Coder, 2000; Webb, 2002) رطوبت و بافت خاک برداشت و سپس به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شد. پس از محاسبه انحراف معیار در آماربرداری مقدماتی، به کمک فرمول کوکران تعداد مناسب نمونه برای هر پلات معین شد. تعداد مناسب نمونه با در نظر گرفتن  $t = 2$  و  $E$  در سطح ۹۵ درصد برابر با  $8 \pm$  است.

$$n = \frac{t^2 \times (S_x \%)^2}{(E\%)^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقدار  $S_x$  یا انحراف معیار با آماربرداری اولیه از سه نمونه خاک در هر پلات به‌دست آمد. با توجه به

تیمارهای اصلاح کوبیدگی خاک موردتوجه قرار گرفت. در گام اول نسبت به انتخاب قسمت‌هایی از مسیر که به‌شدت در معرض فرسایش آبی قرار داشتند، اقدام شد (همراهی چند شاخص از قبیل وجود شیب زیاد، بدون تاج پوشش در بالا، طولانی بودن دامنه و امکان تجمع رواناب). بدین ترتیب، از قسمت‌های با شیب کمتر از ۱۰ درصد صرف‌نظر شد، زیرا اولاً شدت فرسایش آبی خاک (کم بودن سرعت جریان آب روی مسیر) در این شیب‌ها کم بوده و ثانیاً پستی‌وبلندی‌های مسیر، شرایط خوبی را برای خروج و یا نفوذ آب فراهم آورده بود. علاوه بر این، به‌دلیل کم بودن طول شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد، جریان یافتن یا کانالیزه شدن آب روی مسیر و همچنین پیاده‌سازی پلات‌های اصلاحی ممکن نبود. با توجه به شیب عمومی منطقه و همچنین دستورالعمل سازمان جنگل‌ها، قسمت‌های با شیب بیشتر از ۲۰ درصد به‌ندرت در طول مسیر چوبکشی قابل‌مشاهده بود. از انتخاب قسمت‌هایی از مسیر که فاقد تاج‌پوشش بودند به‌دلیل استقرار زودهنگام تمشک، پرهیز شد. سرانجام، قسمت‌هایی از مسیر چوبکشی با شیب طولی ۱۰ تا ۲۰ درصد برای انجام این پژوهش مشخص شد. در مرحله انتخاب سایت مورد بررسی، وضعیت جریان‌ات آب سطح الارض جنگل در طرفین مسیر مورد توجه قرار گرفت، به‌گونه‌ای که جریان آب در سطح مسیر حاصل بارندگی در همان سطح باشد و حاصل ورود آب سطح الارضی از کناره‌های مسیر نباشد.

#### پیاده‌سازی تیمارهای اصلاحی و نمونه‌برداری مقدماتی

برای هر تیمار اصلاحی شامل مازاد مقطوعات، بانکت مورب، بانکت قائم و مرکب (بانکت قائم + مازاد مقطوعات) دو پلات به عرض ۲/۵ و طول ۵ متر به صورت تصادفی بر روی مسیر چوبکشی با شیب طولی ۱۰ تا ۲۰ درصد پیاده شد. بانکت مورب با

عنوان مالچ گیاهی، ۳- بانکت‌های عرضی قائم بر مسیر چوبکشی به صورتی که موجب توقف آب و سپس نفوذ آن شود و ۴- تیمار مرکب شامل بانکت قائم + مالچ گیاهی. قبل از انجام تیمارهای اصلاحی، از طریق نمونه‌برداری و آزمایش از یکسان بودن بافت خاک این مسیرها اطمینان حاصل شد.

تجزیه و تحلیل آماری در نرم‌افزار SAS به اجرا درآمد. برای مقایسه اثر تیمارها بر وزن مخصوص ظاهری خاک از آزمون آنالیز واریانس و آزمون SNK استفاده شد.

### نتایج

تعداد تردد اسکیدر تیمبرجک 450C و تراکتور کشاورزی بر روی مسیر چوبکشی مورد پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج آزمایش‌های هیدرومتری نشان داد که مقدار رس و سیلت موجود در خاک شاهد، به طور معنی‌داری کمتر از مقدار رس و سیلت موجود در خاک کوبیده شده (مورب، قائم، مازاد مقطوعات و مختلط) مسیرهای چوبکشی بود ( $P < 0/05$ ). علاوه بر این، مقدار ماسه موجود در خاک مسیرهای چوبکشی کمتر از خاک جنگلی بود (جدول ۲).

خطای آماری  $\pm 8$  درصد تعداد شش نمونه خاک برای این پژوهش کافی بود. در مجموع ۶۱ نمونه خاک توسط سیلندر قبل و بعد از اعمال تیمارهای اصلاحی برداشت شد. ۱۸ ماه بعد با مراجعه به منطقه مورد پژوهش، نسبت به نمونه‌برداری مجدد خاک توسط سیلندر اقدام شد تا اثر تیمارهای اصلاحی روی وزن مخصوص ظاهری خاک مورد ارزیابی قرار گیرد.

### آنالیز خاک

نمونه‌های مرطوب پس از توزین، در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و دوباره وزن آنها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

شش نوع تیمار هر یک در دو نوبت به منظور بررسی کارکرد روش‌های اصلاح کوبیدگی خاک، مورد پژوهش قرار گرفت. این تیمارها عبارت‌اند از تیمارهای کنترل شامل: ۱- شرایط داخل توده و ۲- کوبیدگی در مسیرهای چوبکشی قبل از اصلاح. همچنین تیمارهای اصلاحی شامل: ۱- روش جاری که طی آن بانکت‌های عرضی مورب و با فواصل زیاد اقدام به خروج آب از مسیرها می‌کنند ۲- استفاده از مازاد مقطوعات موجود در منطقه شامل مخلوطی از سرشاخه‌ها و لاشبرگ به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به-

جدول ۱- حجم محصولات خارج شده توسط اسکیدر تیمبرجک C450 و تراکتور

Table 1. The volume of woods extracted by a skidder 450C and a farm tractor

کل Total	تعداد تردد با بار The number of traffic load	تعداد تردد بدون بار The number of without load traffic	حجم بار (مترمکعب) Load (m <sup>3</sup> )	نوع ماشین Type of machine
164	82	82	413.0	اسکیدر تیمبرجک Skidder 450C
188	94	94	222.4	تراکتور کشاورزی Farm tractors

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک در پلات‌های آزمایشی قبل از انجام تیمارها

Table 2. Physical Properties of Soil in plots before treatments

رطوبت (درصد) Moisture (%)	ماسه (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	تیمارها Treatments
33.4 <sup>A</sup> ±5.8	27.6 <sup>B</sup> ±7.7	39.5 <sup>A</sup> ±4.4	32.0 <sup>A</sup> ±3.2	مورب Diagonal
30.5 <sup>A</sup> ±6.2	29.6 <sup>B</sup> ±6.6	33.2 <sup>A</sup> ±4.4	37.1 <sup>A</sup> ±9.4	قائم Perpendecular
33.6 <sup>A</sup> ±6.6	36.9 <sup>B</sup> ±5.0	32.3 <sup>A</sup> ±9.4	30.7 <sup>A</sup> ±13.8	مازاد مقطوعات Residuals
34.3 <sup>A</sup> ±7.6	33.5 <sup>B</sup> ±3.4	38.3 <sup>A</sup> ±8.1	28.0 <sup>A</sup> ±4.1	مختلط (قائم + مازاد مقطوعات) Mixed (perpendecular + residuals)
23.5 <sup>B</sup> ±1.8	54.8 <sup>A</sup> ±3.0	27.6 <sup>B</sup> ±2.0	17.5 <sup>B</sup> ±3.1	شاهد (خاک طبیعی جنگل) Control (forest natural soil)

Different letters show significant differences between means. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

نتایج نشان داد که در تمامی موارد، وزن مسیره‌های چوبکشی (قبل و بعد از انجام تیمارها) بود مخصوصاً ظاهری خاک کوبیده نشده جنگلی به‌طور معنی‌داری کمتر از وزن مخصوص ظاهری خاک

جدول ۳- وزن مخصوص ظاهری خاک قبل و بعد از انجام تیمارها و مقایسه آن با شاهد

Table 3. Soil bulk density before and after treatments compared with the control reform and compaction

F	خاک طبیعی جنگل (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Forest natural soil (gcm <sup>-3</sup> )	۱۸ ماه بعد از تیمار (گرم بر سانتی‌متر مکعب) 18 months after treatment (gcm <sup>-3</sup> )	قبل از تیمار (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Before treatment (gcm <sup>-3</sup> )	تیمارها Treatments
5.6*	1.0 <sup>B</sup>	1.3 <sup>A</sup>	1.3 <sup>A</sup>	مورب Diagonal
8.8**	1.0 <sup>B</sup>	1.3 <sup>A</sup>	1.3 <sup>A</sup>	قائم Perpendecular
5.6*	1.0 <sup>B</sup>	1.3 <sup>A</sup>	1.3 <sup>A</sup>	مازاد مقطوعات Residuals
5.8*	1.0 <sup>B</sup>	1.1 <sup>AB</sup>	1.3 <sup>A</sup>	مختلط Mixed

\* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، \*\* معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد، حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

\* Significant at the level of 95%, \*\* Significant at the level of 99%, Different letters shows significant difference between means.

با توجه به جدول ۴ مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک در محدوده محور میانی مسیر چوبکشی بیشتر از مقدار آن در داخل رد چرخ‌ها بود. بعد از گذشت ۱۸ ماه از انجام تیمارهای مختلف مشخص شد که روند کاهش کوبیدگی در داخل رد چرخ‌ها سریع‌تر از محور میانی بود، هرچند که هنوز مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک داخل رد چرخ‌ها به محدوده طبیعی نرسیده است.



جدول ۴- وزن مخصوص ظاهری خاک رد چرخ‌ها و محور وسط مسیر چوبکشی قبل و بعد از تیمارها

Table 4. Soil bulk density at the rutting and middle of skid trail, before and after treatments.

F	خاک کوبیده نشده جنگل (گرم بر سانتی متر مکعب) Not compacted forest soil (gcm <sup>-3</sup> )	۱۸ ماه بعد از تیمار (گرم بر سانتی متر مکعب) treatment 18 months after (gcm <sup>-3</sup> )	قبل از تیمار (گرم بر سانتی متر مکعب) Before treatment (gcm <sup>-3</sup> )	مسیر چوبکشی skid Trail
6.2**	1.0 <sup>B</sup>	1.2 <sup>A</sup>	1.3 <sup>A</sup>	رد چرخ Rutting
5.7**	1.0 <sup>B</sup>	1.3 <sup>A</sup>	1.3 <sup>A</sup>	وسط Middle

\*\* معنی دار در سطح ۹۹ درصد. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار بین میانگین‌هاست.

\*Significant at the level of 95%. \*\*Significant at the level of 99%. Different letters show significant difference between means.

## بحث

سنگین بر ساختار سطحی خاک است. در شرایط طبیعی، خواص فیزیکی خاک مسیرهای چوبکشی به-ویژه وزن مخصوص ظاهری و قابلیت نفوذپذیری به-کندی و با تغییرات درجه رطوبت (مرطوب و خشک شدن)، یخبندان، فعالیت جانداران و رشد ریشه درختان اصلاح می‌شود. در واقع وفور مواد آلی در لایه سطحی خاک دست‌نخورده جنگل سبب افزایش درصد خاکدانه‌های درشت شده است. ذرات درشت خاکدانه از طریق خاصیت سیمانی مواد مترشحه گیاهی و آلی (ناشی از تجزیه بقایای گیاهان و لاشبرگ) که سبب چسبیدن ذرات ریز به یکدیگر می-شود، به وجود می‌آیند و همین امر سبب تهیه مناسب-تر خاک و وزن مخصوص کمتر نسبت به مسیرهای چوبکشی است. مقدار رطوبت موجود در خاک مسیرهای چوبکشی به علت کانالیزه شدن و تجمع آب در داخل رد چرخ‌ها و هدایت هیدرولیکی ضعیف به-طور معنی‌داری بیشتر از رطوبت خاک شاهد بود ( $P < 0.05$ ) (جدول ۲).

وجود ماده آلی در خاک موجب افزایش تخلخل شده و از این رو با افزایش ماده آلی وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. تنها تیمار مختلط (بانکت قائم و مازاد مقطوعات) سبب شد تا کوبیدگی خاک

مسیرهای چوبکشی تکمیل‌کننده شبکه حمل‌ونقل چوب محسوب می‌شوند و ارتباط تنگاتنگی با وضعیت شبکه جاده، شیوه‌های جنگل‌شناسی، روش-های بهره‌برداری، وضعیت توپوگرافی، شیب، قابلیت-های مکانیکی خاک و عوامل دیگر دارند. از طرفی ماشین‌آلات چوبکشی طوری طراحی و ساخته می-شوند که بتوانند بارهای سنگین را در شرایط خارج از جاده جابه‌جا کنند؛ بنابراین خاک جنگل به عنوان دریافت‌کننده نیروهای استاتیک و دینامیک حاصل از ترانسپورت ماشین‌آلات عمل می‌کند؛ از این رو شدیدترین تخریب خاک در اثر عملیات بهره‌برداری روی مسیرهای اسکیدرو و دپوها اتفاق می‌افتد (Heninger et al., 2002).

نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار ماسه موجود در خاک مسیرهای چوبکشی کمتر از مقدار موجود در خاک شاهد بود (جدول ۲). (Webb 2002) نیز اظهار داشت خاک‌های با بافت شنی-لومی بیشتر در معرض کوبیدگی قرار می‌گیرند. در پژوهش ایشان، در مقایسه بین دو مسیر چوبکشی، نرخ احیای کوبیدگی خاک سطحی در کل دوره تفاوت معنی‌داری نداشت که این بیانگر اثر مداوم فشردگی ماشین‌آلات

و جانداران درشت (مثل کرم‌های خاکی-موریانه‌ها- حشرات و ...) را تحریک کرده که نتیجه آن افزایش پایداری خاکدانه‌هاست (Blanco-canqui and Lal, 2009). این موجودات همگی در اثر فعالیت، مواد آلی در خاک ایجاد می‌کنند. به‌عنوان مثال باکتری‌ها و قارچ-ها سبب تجزیه بقایای گیاهان در خاک شده، مواد آلی ریزی به نام هوموس (گیاخاک) تولید می‌کنند. هوموس مانند رس دارای خاصیت کلوئیدی است و ضمن جذب آب و نگهداری مواد غذایی، ذرات معدنی خاک را به هم می‌چسباند. همچنین حضور مواد آلی (بقایای گیاهی) می‌تواند از شکل‌گیری سله بر سطح خاک جلوگیری کند. سله خاک خلل و فرج خاک را مسدود و تهویه خاک را دچار مشکل می‌کند (Blanco-canqui and Lal, 2009). به‌طورکلی می‌توان گفت ماده آلی موجود در خاک موجب پایداری خاکدانه‌ها (Emadi et al., 2009)، افزایش نفوذپذیری خاک (Arnau-rosalen et al., 2008)، بهبود ساختمان خاک و بسیاری عوامل دیگر خواهد شد که نتیجه نهایی آنها در خاک کاهش فرسایش است (Hedley et al., Yousefifard et al., 2007). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان چنین استنباط شود که تیمار مختلط نسبت به دیگر تیمارها، در روند اصلاح خاک عملکرد بهتری داشته است.

با ارزیابی عملکرد هر یک از روش‌های رایج اصلاح کوبیدگی خاک می‌توان در انتخاب کارآمدترین شیوه، مؤثرتر عمل شود. نتایج این پژوهش مجریان را قادر می‌سازد تا مسیرهای چوبکشی را (که دیگر قرار نیست مورد استفاده قرار گیرند) هرچه سریع‌تر از نظر کوبیدگی اصلاح کرده و به‌منظور از سرگیری فعالیت-های زیستی و زادآوری به دامان جنگل بازگردانند. البته اصلاح کوبیدگی برای مسیرهای ثابت هم می‌تواند انجام شود چراکه در فاصله متوسط ۱۰ ساله عدم

مسیر چوبکشی به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کند، اما هنوز با گذشت ۱۸ ماه از انجام این تیمار، مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک با مقدار شاهد (۱/۰۶ گرم در سانتی‌متر مکعب) تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۳). مقدار وزن مخصوص در قسمت‌های میانی مسیر چوبکشی بیشتر از مقدار کوبیدگی در داخل رد چرخ‌ها بود. همچنین این نتیجه با پژوهش Tavankar و همکاران (2009) هم‌خوانی دارد. در پژوهش آنها وزن مخصوص ظاهری خاک جنگل در عمق ۱۰ سانتی‌متری سطحی در مناطق بهره‌برداری شده ۱۵/۷۴ درصد و در مسیرهای چوبکشی ۳۵/۶۱ درصد نسبت به مناطق شاهد افزایش داشت. این امر می‌تواند به‌دلیل فشار بالای ناشی از وزن تنه‌ها باشد که در قسمت میانی مسیر موجب تراکم بیشتر خاک و بالاتر بودن وزن مخصوص خاک شده است. در نتیجه بعد از گذشت ۱۸ ماه از انجام تیمارهای اصلاحی روند کاهش کوبیدگی در داخل رد چرخ‌ها سریع‌تر از محور میانی بود، هرچند که هنوز مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک داخل رد چرخ‌ها به محدوده طبیعی (تیمار شاهد) نرسیده است. نتایج بعد از انجام تیمارهای اصلاح کوبیدگی نشان داد که تیمار مختلط (مازاد مقطوعات و بانکت قائم) سبب شد وزن مخصوص خاک طی ۱۸ ماه به‌طور معنی‌داری کاهش یابد. همچنین در تیمار مازاد مقطوعات نتیجه کاهش وزن مخصوص نسبت به دو تیمار دیگر (بانکت قائم و مورب) وضعیت بهتری داشت، هرچند تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد؛ که می‌توان تأثیر بقایای گیاهی و مواد آلی روی خاک را این‌گونه بیان شود که تجزیه بقایای گیاهی و مواد آلی، موجب آزاد شدن پلی‌ساکاریدها و موسیلاژها می‌شود که در پیوستگی ذرات خاک به یکدیگر نقش مثبتی دارند. حضور مواد آلی فعالیت موجودات ریز (مثل قارچ‌ها-باکتری‌ها-جلبک‌ها و ...)

کوبیدگی خاک جاده‌های جنگلی و مسیرهای چوبکشی انجام شده است، اما متأسفانه در کشور ما به دلیل زیاد بودن هزینه‌های اجرایی این قبیل عملیات، وقت‌گیر و دشوار بودن کار جمع‌آوری اطلاعات تاکنون چنین پژوهشی صورت نگرفته است.

استفاده از مسیرها، آنها باید قادر به نفوذ آب باشند تا از این طریق نه تنها از فرسایش آبی خاک، بلکه از برهم خوردن تنظیم چرخه آب نیز جلوگیری شود. در برخی کشورها خصوصاً ایالات متحده آمریکا، از دیرباز پژوهش‌های بسیاری پیرامون اثر عملیات اصلاح

## References

- Alexander, A. B., 2012. Soil compaction on skid trails after selective logging in moist evergreen forest of Ghana, *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3(6): 262-264.
- Arnau-rosalen, E., A. Calvo-cases, C. Bioxfayos, H. Lavee & P. Sarah, 2008. Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hill slopes in Alicante (Spain), *Geomorphology*, 101(4): 595-606.
- Bigvardi. M., 2004. Soil moisture threshold for entry machines using the software operation pathways. MSc thesis. Forestry group. Faculty of Natural Resources Karaj. Karaj, Iran, 115 p (In Persian).
- Blanco-canqui, H. & R. Lal, 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(3): 139-163.
- Coder, K. D., 2000. Trees and Soil Compaction: A Selected Bibliography a, Warnell School of Forest Resources.
- Demir, M., E. Makineci & B. S. Gungor, 2008. Plant species recovery on a compacted skid Road, *Sensors*, 8(5): 3123-3133.
- Dvorak, J. & L. Novak, 1994. Soil conservation and silviculture, First Edition. Elsevier Science Press, 399 p.
- Dykstra, P. R. & M. P. Curran, 2000. Tree growth on rehabilitated skid roads in southeast British Columbia, *Forest Ecology and Management*, 133(1): 145-156.
- Emadi, M., M. Baghernejad & H. R. Memarian, 2009. Effect of land use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in northern Iran, *Land Use Policy*, 26(2): 452-457. (In Persian)
- Ezzati, S., A. Najafi & V. Hosseini, 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. (In Persian)
- Ezzati, S., A. Najafi, M. A. Rab & E. K. Zenner, 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.
- Froehlich, H. A., 1979. Soil compaction from logging equipment: effects on growth of young ponderosa pine, *Journal of Soil and Water Conservation*, 34: 276-278.
- Hedley, M. J., S. Saggar & G. S. Francis, 2004. Chemical fractionation to characterize changes in sulphur and carbon in soil caused by management, *European journal of soil science*, 55(1): 79-90.
- Heninger, R., W. Scott, A. Dobkowski, R. Miller, H. Anderson & S. Duke, 2002. Soil disturbance and 10-year growth response of coast Douglas-Fir on non-tilled Skid Trails in the Oregon Cascades, *Canadian Journal of Forest Research*, 32(2): 233-246.
- Mace Jr. A. C., 1971. Recovery of forest soils from compaction by rubber-tired skidders, Minnesota for Res, 226: 5-16.
- Perry. T. O., 1964. Soil compaction and loblolly pine growth, *Tree Planters Note*, 67(9): 9-11.
- Rafatnia, N. A., D. Jeger & M. Tabari, 2008. Effects of ground-based skidding system on soil compaction under different slope of skid trails, *Iranian Journal of Natural Resources*, 61(1): 73-84.
- Sohrabi, H., M. Jourgholami, B. Majnounian, Gh. Z. Amiri & S. Ezzati, 2015. Soil bulk density, porosity and penetration resistance recovery following timber harvest cessation on abandoned skid trails after 20 years, Kheyroud forest, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3): 536-547 (In Persian).
- Tavankar, F., B. Majnounian & A. Eslam Bonyad, 2009. Investigating the effects of exploitation on the regeneration and compaction of forest soils in the

- 
- groundbreaking system (Islam forest case study of Guilan province), *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 13(48): 449-156 (In Persian).
- Webb. R. H., 2002. Recovery of Severely Compacted Soils in the Mojave Desert, *Arid Land Research and management*, 16(3): 291-305.
- Yousefifard, M., A. Jalalian & H. Khadami, 2007. Estimating Nutrient and Soil Loss from Pasture Land Use Change Using Rainfall Simulator, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 40: 93-106. (In Persian)

## Comparison of soil compaction recovery methods on Skid Trails

M. Lotfalian<sup>\*1</sup>, A. Parsakhoo<sup>2</sup>, M. Sadeghi<sup>3</sup> and N. Nazariani<sup>4</sup>

1- Associate Professor, Department of Forestry, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, I.R. Iran.

2- Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

3- MSc of Forestry, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, I.R. Iran.

4- PhD student of Forestry, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari, Sari, I.R. Iran.

Received: 29.07.2017

Accepted: 28.12.2017

### Abstract

The skid trails in this study are the routes that logging has been finished. These routes should be able to infiltrate water to decrease soil erosion and hydrological cycle disturbance. In this study four treated samples were selected in order to soil recovery. The treatments were: mulching with residual slash, diagonal water bar to skid trails axis, perpendicular water bar and finally mixed treatment (includes perpendicular water bar plus residual slash). Of course there were two control samples including soil bulk density in stand and skid trail. Totally 61 soil samples were taken before and after treatments from 0 to 10 cm depth. The results showed that, only the mixed treatment causes to decrease compaction in skid trail significantly, although there was a difference between in treatments and control samples ( $1.06 \text{ gr/cm}^3$ ) after 18 months. Also the results show that, the recovery on ruttings was more than log trace in the middle of skid trail.

**Keywords:** Soil recovery, Water bar, Residual slash, Skid trail.

---

\* Corresponding author:

Email: Mlotfalian@sanru.ac.ir