

ارزیابی بازیابی بلندمدت وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ خاک ۲۰ سال پس از عملیات چوبکشی در جنگل خیرود

هادی سهرابی^۱، مقداد جورغلامی^{۲*}، باریس مجنونیان^۳، قوام‌الدین زاهدی امیری^۳ و ستار عزتی^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

پست الکترونیک: mjgholami@ut.ac.ir

۳- استاد، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۴

چکیده

تخریب جنگل به‌طور هم‌زمان با تخریب خاک شروع می‌شود. حفاظت و نگهداری خاک باعث حفاظت و نگهداری جنگل می‌شود، بنابراین مهندسی جنگل باید سعی در توسعه فزونی داشته باشد که میزان تخریب خاک کمتر و زمان بازیابی آن کوتاه‌تر باشد. پژوهش پیش‌رو به‌منظور 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 انجام شد. چهار مسیر چوبکشی انتخاب شد و در هر یک از آنها سه طبقه شدت تردد و دو طبقه شیب مشخص شد تا نمونه‌گیری در محل رد چرخ‌ها در قطعه‌نمونه‌های ۴۰ مترمربعی انجام شود. برای نمونه‌گیری در داخل جنگل، به فاصله ۲۰ تا ۳۰ متر از مسیرهای چوبکشی، قطعه‌نمونه‌های شاهد مستقر شدند تا روند بازیابی خاک در مسیرهای چوبکشی با منطقه شاهد با استفاده از آزمون چندگانه دانکن مقایسه شود. نتایج 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، در حالی که این اختلاف در مورد مقاومت به نفوذ معنی‌دار بود. با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی، ویژگی‌های فیزیکی خاک در حال بازیابی هستند، به‌طوری‌که وزن مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ به‌اندازه ۱۲/۷۵ 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 به‌دست آمده نشان داد که برای بازیابی کامل وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ، مدت زمان بیشتر از ۲۰ سال نیاز است.

واژه‌های کلیدی: بازیابی ویژگی‌های خاک، تخلخل، مسیر چوبکشی، مقاومت به نفوذ، وزن مخصوص ظاهری.

مقدمه

به‌کارگیری ماشین‌آلات در عملیات بهره‌برداری جنگل و اثرات بالقوه آنها بر خاک به‌دلیل فشردگی در دهه‌های گذشته بیشتر مورد توجه بوده است. این امر ممکن است به‌طور کلی منجر به کاهش تنوع اکوسیستم‌ها، کاهش حاصلخیزی و کاهش عملکرد در کوتاه‌مدت و بلندمدت شده و مانع ارائه مستمر خدمات اکوسیستم جنگل شود. تخریب و فشردگی خاک ممکن است منجر به تغییر و تبدیل در ترکیب لایه‌های علفی (Roberts & Zhu, 2002; Zenner & Berger, 2008)، زنده‌مانی نهال‌ها (Simcock *et al.*, 2006) و جانوران خاک‌زی (Boström, 1986) به‌دلیل تغییر در ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری (Aust *et al.*, 2010)، مقاومت به نفوذ (Aust *et al.*, 2003; Nugent *et al.*, 1998)، تخلخل، هوادهی (Nugent *et al.*, 2003) و ویژگی‌های هیدرولوژیکی (Benthaus & *et al.*, 2003) شود. (Matthies, 1993; Ballard, 2000)

وزن مخصوص ظاهری خاک بیشتر به‌عنوان شاخص کویدگی و فشردگی خاک استفاده می‌شود و به‌صورت جرم خاک خشک در واحد حجم آن تعریف می‌شود (Ampoorter *et al.*, 2010). طبق نظر Bolding و همکاران (۲۰۰۹)، افزایش ۲۰ درصدی وزن مخصوص ظاهری خاک به‌عنوان حد مضر خسارت به خاک در نظر گرفته می‌شود. افزایش وزن مخصوص ظاهری از یک سو منجر به کاهش تخلخل (Ballard, 2000) و سهم تخلخل‌های درشت‌دانه و افزایش سهم تخلخل‌های ریزدانه و از سوی دیگر موجب کاهش نفوذپذیری و هدایت اشباع هیدرولیکی آب در خاک می‌شود. شاخص مقاومت به نفوذ در اثر افزایش کویدگی خاک، به‌دلیل افزایش وزن مخصوص ظاهری، افزایش منافذ ریز و کاهش تخلخل، افزایش می‌یابد (Alban *et al.*, 1994). ریشه درختان برای غلبه بر مقاومت خاک، باید قادر به نفوذ در داخل خاک باشد. علاوه‌براین، ریشه‌ها نیاز به منافذ دارند، زیرا در خاک‌های با فشردگی زیاد به‌دلیل کاهش تخلخل و محدود شدن اکسیژن، توانایی نفوذ کم و رشد ریشه مختل می‌شود

(Greacen & Sands, 1980; Heilman, 1981) و به‌دلیل کم شدن فضاهای خالی خاک، کاهش اکسیژن و مقاومت زیاد خاک، جذب مواد مغذی و آب کاهش می‌یابد (Heilman, 1981; Kozlowski, 1999; Jordan *et al.*, 2003).

افزایش مقاومت به نفوذ خاک به‌عنوان شاخصی برای بهم‌خوردگی خسارت‌آور در نظر گرفته می‌شود (Greacen & Sands, 1980; Bolding *et al.*, 2009). مقدار مقاومت حدود ۳۰۰۰ کیلوپاسکال به‌عنوان آستانه زیستی بالقوه یاد شده است که در این حد، رویش درخت به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد (Simcock *et al.*, 2006)، بنابراین به‌منظور انتشار مناسب هوا در خاک، فعالیت‌های میکروبی و توسعه ریشه، تخلخل باید حداقل ۱۰ درصد باشد (Aust *et al.*, 1998). درجه کویدگی و بازیابی خاک‌های فشرده به عامل‌هایی از جمله ویژگی‌های رویشگاه یا توده جنگلی (تیپ و بافت خاک، محتوای آب یا رطوبت خاک، مقدار ماده آلی، پوشش گیاهی، شرایط پستی و بلندی، فعالیت فون و فلور خاک، ریشه دوانی گیاهان، دوره ذوب و انجماد یخ‌ها و انقباض و انبساط خاک) و فعالیت‌های برداشت (شدت یا تعداد تردد، روش‌های بهره‌برداری، نوع و وزن ماشین‌آلات، جهت چوبکشی و فصل بهره‌برداری) بستگی دارد (Ampoorter *et al.*, 2010). فرآیند بازیابی ویژگی‌های فیزیکی خاک طولانی است و تراکم خاک ممکن است تحت تأثیر فرآیندهای طبیعی در غیاب کویدگی اضافی ناپدید شود.

Ezzati و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که با گذشت ۲۰ سال از چوبکشی زمینی در تردد شدید، وزن مخصوص ظاهری ۴۲ درصد بیشتر و تخلخل ۲۵ درصد کمتر از ناحیه شاهد بوده است و با افزایش مدت رها شدن، ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی خاک تخریب شده به‌مرور زمان به‌ویژه در تردد کم تمایل به بازیابی دارند. Aust و همکاران (۱۹۹۸) و Nugent و همکاران (۲۰۰۳) افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی مقاومت به نفوذ را در اثر عبور ماشین‌آلات و به‌دلیل

جهت رو به پایین و با فاصله‌های سنی پنج سال از زمان چوبکشی (صفر تا پنج، پنج تا ۱۰، ۱۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۲۰ سال) و بدون در نظر گرفتن شیب عرضی انتخاب شدند (Ezzati et al., 2012)، تا میزان بازیابی ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ در هر یک از این مسیرها اندازه‌گیری و با منطقه شاهد مقایسه شود. از موارد مهم و تأثیرگذار بر نتایج پژوهش پیش‌رو، نوع ماشین چوبکشی، روش چوبکشی و گرده‌بینه کوتاه (حداکثر شش متر) است که در پارسل‌های مورد مطالعه یکسان بود. خلاصه داده‌های محل نمونه‌گیری در جدول ۱ ارائه شده است. در هر یک از مسیرهای چوبکشی بر اساس فاصله از دپو، سه شدت تردد (زیاد، متوسط و کم) شناسایی شد و در هر یک به وسیله شیب‌سنج سونتو دو طبقه شیب (صفر تا ۲۰ و بیشتر از ۲۰ درصد) جدا شد. در مجموع در هر تیمار شش قطعه نمونه با مساحت ۴۰ مترمربع (Ezzati et al., 2012) مستقر شد. در هر قطعه نمونه، پنج خط اندازه‌گیری با فاصله دو متر (Ampoorter et al., 2010) از یکدیگر جدا شدند که سه خط به طور تصادفی برای نمونه‌گیری انتخاب شد (Ezzati et al., 2012). روی هر خط سه محل برای نمونه‌گیری در نظر گرفته شد، به طوری که یک نمونه در مرکز شیار سمت چپ و راست و نمونه دیگر در مرکز شیار وسط چرخ‌ها قرار گرفت. برای برداشت نمونه در منطقه شاهد (جنگل) به موازات هر خط قطعه نمونه در فاصله ۲۰ تا ۳۰ متری (Aust et al., 1998; Nugent et al., 2003) از مسیرهای چوبکشی یک نمونه برداشت شد (شکل ۱).

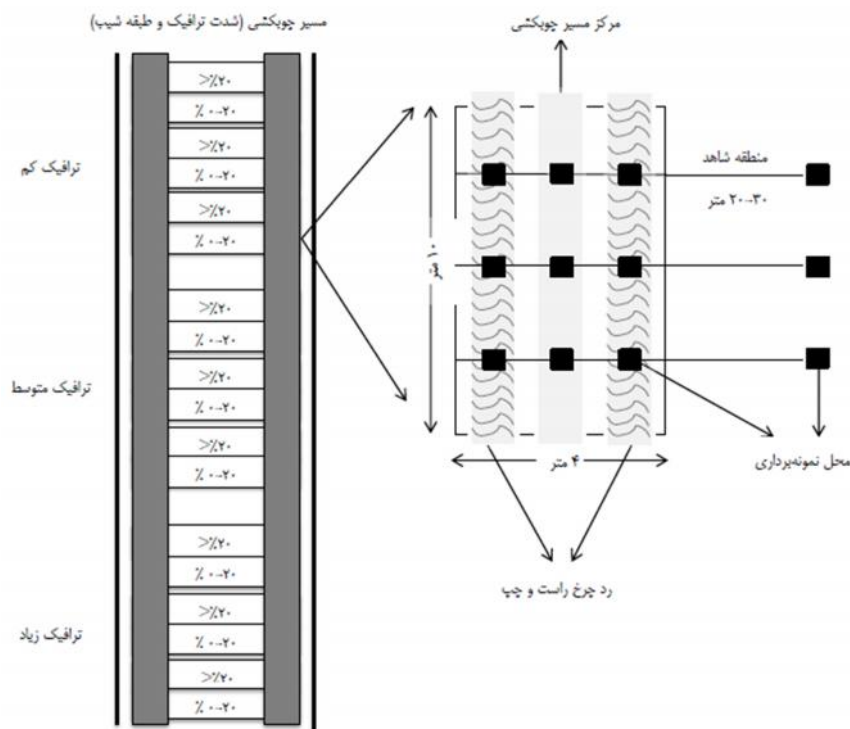
کویدگی یادآور شدند. Ampoorter و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه خود در جنگل‌های بلژیک دریافتند که افزایش تعداد رفت و آمد ماشین افزایش کمی را در وزن مخصوص خاک نشان می‌دهد، اما مقاومت به نفوذ در رفت و آمد زیاد در زیر مسیر چرخ‌ها نسبت به مناطق دست نخورده و بین مسیر چرخ‌ها بیشتر است. در خصوص بازیابی وزن مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ خاک در مطالعه Mohammadi و همکاران (۲۰۱۲) در جنگل‌های اسالم مشخص شد که ۲۰ سال بعد از زمان چوبکشی، وزن مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ در حال بازیابی بوده است و با مقادیر شاهد تفاوت معنی‌دار داشته است. هدف از پژوهش پیش‌رو ارزیابی بازیابی وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ خاک با تأثیر شیب، شدت تردد و جهت‌های مختلف رد چرخ در جنگل خیرود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش پیش‌رو در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر انجام شد. مسیرهای چوبکشی مورد مطالعه در پارسل‌های ۱۱۸، ۲۱۲، ۲۱۴ و ۲۱۷ از دو بخش پاتم و نم‌خانه با مساحت‌های به ترتیب ۵۸/۴، ۲۵/۲، ۳۸ و ۵۰/۲ هکتار با ارتفاع کمتر از ۱۱۰۰ متر از سطح دریا انتخاب شدند. خاک عرصه در این دو بخش بیشتر روی سنگ مادری آهکی مربوط به دوره ژوراسیک علیا از دوران دوم بود. اقلیم منطقه نیمه مرطوب تا مرطوب با متوسط بارندگی ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر است. برای انجام این پژوهش پس از جنگل‌گردشی دقیق، چهار مسیر چوبکشی رهاشده با

جدول ۱- خلاصه مشخصات منطقه مورد مطالعه

سری	پارسل	سن مسیر چوبکشی (سال)	طول مسیر چوبکشی (متر)
پاتم	۱۱۸	۰-۵	۸۵۰
نم‌خانه	۲۱۴	۵-۱۰	۱۱۰۰
نم‌خانه	۲۱۲	۱۰-۱۵	۹۰۰
نم‌خانه	۲۱۷	۱۵-۲۰	۱۰۵۰



شکل ۱- طرح شماتیک نمونه‌گیری از مسیرهای چوبکشی و منطقه شاهد

تحلیل آنها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-سمیرنوف، به منظور بررسی اثر سن مسیر چوبکشی، شدت تردد، شیب و جهت رد چرخ بر مقدار وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ از تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر یک از عواملها، از آزمون چندگانه دانکن برای گروه‌بندی مقدار بازیابی ویژگی‌های فیزیکی خاک استفاده شد.

نتایج

بافت خاک

نتایج بافت خاک در تیمارهای مسیرهای چوبکشی در جدول ۲ ارائه شده است.

وزن مخصوص ظاهری

نتایج تجزیه و تحلیل اثر سن مسیر چوبکشی، شدت تردد، شیب طولی مسیر چوبکشی، جهت رد چرخ و اثرات متقابل آنها بر وزن مخصوص ظاهری خاک نشان داد که اثر سن مسیر چوبکشی، تردد و شیب معنی‌دار بوده است.

نمونه‌برداری برای تعیین وزن مخصوص ظاهری با استفاده از سیلندره‌های فلزی با ابعاد 5×5 سانتی‌متر در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری (Ezzati et al., 2012) انجام شد. برای تعیین مقاومت به نفوذ خاک از پنترومتر نوک مخروطی استفاده شد تا مقاومت به نفوذ در عمق ۱۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شود. نفوذسنج مخروطی تی شکل با زاویه ۳۰ درجه و سطح یک سانتی‌متر مربع با دقت ۱۰۰ گرم همراه با میله‌های مندرج و ضریب کالیبره و وزن حدود پنج کیلوگرم از رایجترین وسیله‌ها برای اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ است. نمونه‌های خاک در پلاستیک گذاشته شدند و وزن‌تر آنها به سرعت توزین و سپس در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت (Bolding et al., 2009) قرار داده شدند تا درصد رطوبت و وزن خشک نمونه‌ها به دست آید و براساس آن وزن مخصوص ظاهری محاسبه شود. برای تعیین بافت نمونه‌های خاک از روش هیدرومتری استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

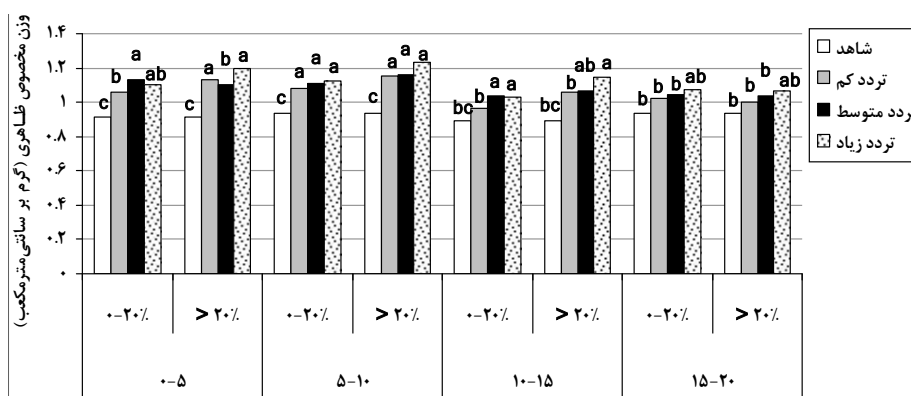
داده‌ها در نرم‌افزار Excel ذخیره شدند و برای تجزیه و

جدول ۲- نتایج آزمایش تعیین بافت خاک در مسیرهای چوبکشی

محل نمونه‌گیری				سن مسیر چوبکشی (سال)
شاهد	تردد کم	تردد متوسط	تردد شدید	
رسی	رسی - لومی	رسی - لومی	رسی - لومی	صفر تا ۵
رسی - لومی	سیلت - رسی - لومی	رسی - سیلتی	رسی	پنج تا ۱۰
سیلت - لومی	لومی	لومی	لومی	۱۰ تا ۱۵
رسی - سیلتی	سیلت - لومی	رسی - لومی	لومی	۱۵ تا ۲۰

طبقه شیب بیشتر از ۲۰ درصد بیشتر از شیب صفر تا ۲۰ درصد بوده است (به‌جز مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال). بیشترین مقدار وزن مخصوص ظاهری در مسیر چوبکشی پنج تا ۱۰ سال در تردد شدید و شیب بیشتر از ۲۰ درصد قرار داشت.

تغییرات وزن مخصوص ظاهری در شیب و شدت‌های مختلف تردد در هر چهار مسیر چوبکشی در شکل ۲ نشان داد که در تمام مسیرهای چوبکشی (به‌جز مسیر صفر تا پنج سال) با افزایش شدت تردد از کم به زیاد، وزن مخصوص ظاهری افزایش یافته است. همچنین مقادیر وزن مخصوص ظاهری در



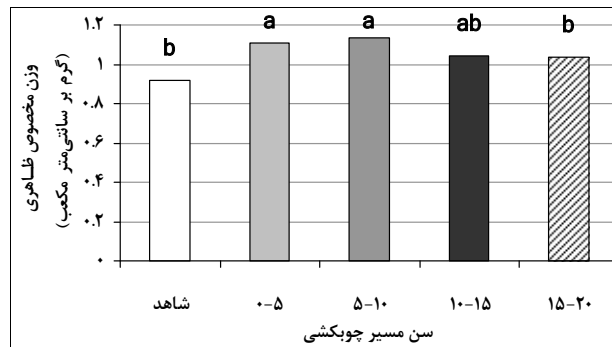
شکل ۲- تغییرات وزن مخصوص ظاهری در شیب و تردد مختلف در مسیرهای چوبکشی

نشان می‌دهد که وزن مخصوص ظاهری خاک با گذشت سال‌های مختلف تمایل به بازیابی داشته است، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار وزن مخصوص ظاهری را مسیرهای پنج تا ۱۰ و ۱۵ تا ۲۰ سال داشته‌اند. در مسیرهای چوبکشی صفر تا پنج و پنج تا ۱۰ سال، وزن مخصوص ظاهری بیشتر از منطقه شاهد بود و با آن تفاوت معنی‌داری داشت، اما با گذشت ۲۰ سال از عملیات بهره‌برداری (مسیر چوبکشی ۱۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۲۰ سال)، اگرچه مقدار وزن مخصوص ظاهری بیشتر از منطقه شاهد بود، اما تفاوت آنها معنی‌دار نبود.

در جدول ۳ تغییرات وزن مخصوص ظاهری در جهت‌های مختلف رد چرخ مسیرهای چوبکشی در مقایسه با منطقه شاهد نشان داد که جهت‌های مختلف رد چرخ اثر کمتری بر تغییرات وزن مخصوص ظاهری گذاشته است. در مسیر ۱۰ تا ۱۵ سال، محل رد چرخ چپ با منطقه شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت و محل رد چرخ‌های وسط و راست تفاوت معنی‌داری با منطقه شاهد داشتند. در مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال اگرچه مقدار وزن مخصوص ظاهری در هر سه محل رد چرخ بیشتر از منطقه شاهد بود، اما بین آنها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. شکل ۳

جدول ۳- وزن مخصوص ظاهری (اشتباه معیار \pm میانگین) در جهت‌های مختلف رد چرخ در مسیر چوبکشی

جهت رد چرخ				سن مسیر چوبکشی (سال)
راست	محل عبور گرده بینه	چپ	شاهد	
$1/133^a \pm 0/018$	$1/116^{ab} \pm 0/018$	$1/116^{ab} \pm 0/018$	$0/911^c \pm 0/018$	صفر تا پنج
$1/129^a \pm 0/018$	$1/148^{ab} \pm 0/018$	$1/155^{ab} \pm 0/018$	$0/934^c \pm 0/018$	پنج تا ۱۰
$1/077^a \pm 0/018$	$1/060^{ab} \pm 0/018$	$1/012^b \pm 0/018$	$0/893^b \pm 0/018$	۱۰ تا ۱۵
$1/047^a \pm 0/018$	$1/037^a \pm 0/018$	$1/037^a \pm 0/018$	$0/933^a \pm 0/018$	۲۰ تا ۱۵

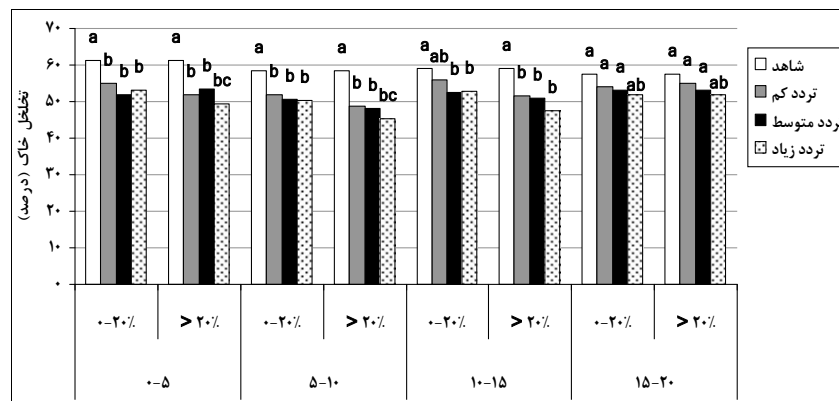


شکل ۳- روند تغییرات وزن مخصوص ظاهری در سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری در مقایسه با منطقه شاهد. حروف انگلیسی مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار متغیر وزن مخصوص ظاهری در تیمارهای سن مسیرهای چوبکشی با یکدیگر و با منطقه شاهد هستند.

تخلخل خاک

نتایج تجزیه و تحلیل اثر سن مسیر چوبکشی، شدت تردد، شیب طولی مسیر چوبکشی، جهت رد چرخ و اثرات متقابل آن‌ها بر مقدار تخلخل خاک نشان داد که اثر سن مسیر چوبکشی، تردد و شیب معنی‌دار بود. روند تغییرات تخلخل در شیب و ترددهای مختلف در شکل ۴ نشان داد که میزان تخلخل از تردد کم به زیاد در هر دو طبقه شیب کاهش یافته است. در مسیرهای چوبکشی صفر تا پنج و پنج

تا ۱۰ سال و در هر سه طبقه تردد و دو طبقه شیب، تخلخل کمتر از منطقه شاهد بود و با آن تفاوت معنی‌داری داشت. در مسیر چوبکشی ۱۰ تا ۱۵ سال به جز تردد کم در شیب صفر تا ۲۰ درصد، در تمامی طبقه‌های تردد و دو طبقه شیب، اختلاف معنی‌دار بین منطقه شاهد و مسیر چوبکشی وجود داشت. با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی، تخلخل کل در مسیرهای چوبکشی در شیب و ترددهای مختلف با منطقه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت.



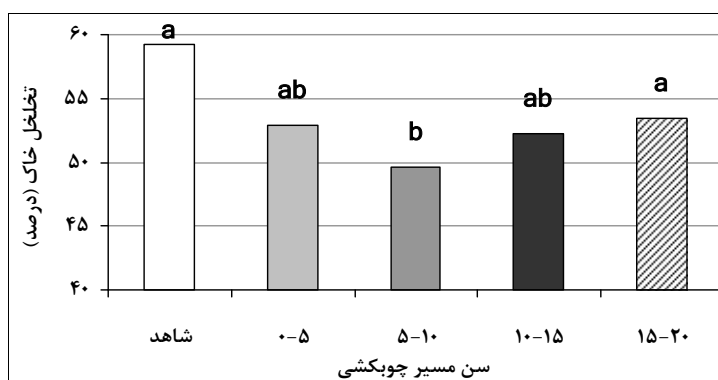
شکل ۴- تغییرات تخلخل خاک در شیب و تردد مختلف در مسیرهای چوبکشی

تخلخل خاک در هر دو محل رد چرخ و محل عبور گرده‌بینه کمتر از منطقه شاهد بود، اما بین آنها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. روند بازیابی تخلخل خاک در سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری در شکل ۵ نشان داد که با افزایش سن رها شدن، تخلخل خاک افزایش یافته است. کمترین میزان تخلخل در مقایسه با منطقه شاهد در مسیر پنج تا ۱۰ سال بود که دارای اختلاف معنی‌دار با منطقه شاهد بود. بیشترین میزان تخلخل در مسیر چوبکشی ۱۵ تا ۲۰ سال بود که فاقد اختلاف معنی‌دار با منطقه شاهد بود.

جدول ۴ نشان می‌دهد که کاهش تخلخل در محل رد چرخ راست نسبت به محل رد چرخ چپ و محل عبور گرده‌بینه (وسط مسیر) بیشتر بوده است (به جز مسیر چوبکشی پنج تا ۱۰ سال). در مسیرهای صفر تا پنج و پنج تا ۱۰ سال، جهت‌های مختلف رد چرخ با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما در مقایسه با منطقه شاهد هر دو جهت رد چرخ و محل عبور گرده‌بینه با آن تفاوت معنی‌دار داشتند. در مسیر ۱۰ تا ۱۵ سال محل رد چرخ چپ با منطقه شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت و محل رد چرخ راست و محل عبور گرده‌بینه تفاوت معنی‌داری با منطقه شاهد داشتند. در مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال اگرچه مقدار

جدول ۴- تخلخل (اشتباه معیار \pm میانگین) در جهت‌های مختلف رد چرخ در مسیر چوبکشی

جهت رد چرخ				سن مسیر چوبکشی (سال)
راست	محل عبور گرده بینه	چپ	شاهد	
۵۱/۹۸۲ ^b ±۰/۷۷۷	۵۲/۶۹۲ ^b ±۰/۷۷۷	۵۲/۷۱۰ ^b ±۰/۷۸۵	۶۱/۳۹۱ ^a ±۰/۷۷۷	صفر تا پنج
۴۹/۸۲۰ ^b ±۰/۷۷۷	۴۸/۹۹۹ ^b ±۰/۷۷۷	۴۸/۶۶۶ ^b ±۰/۷۷۷	۵۸/۴۹۲ ^a ±۰/۷۷۷	پنج تا ۱۰
۵۰/۵۹۱ ^b ±۰/۷۷۷	۵۱/۳۵۴ ^b ±۰/۷۷۷	۵۳/۵۶۶ ^{ab} ±۰/۷۷۷	۵۹/۰۵۰ ^a ±۰/۷۷۷	۱۰ تا ۱۵
۵۲/۸۵۶ ^a ±۰/۷۷۷	۵۳/۲۹۲ ^a ±۰/۷۷۷	۵۳/۲۹۴ ^a ±۰/۷۷۷	۵۷/۹۶۴ ^a ±۰/۷۷۷	۲۰ تا ۱۵



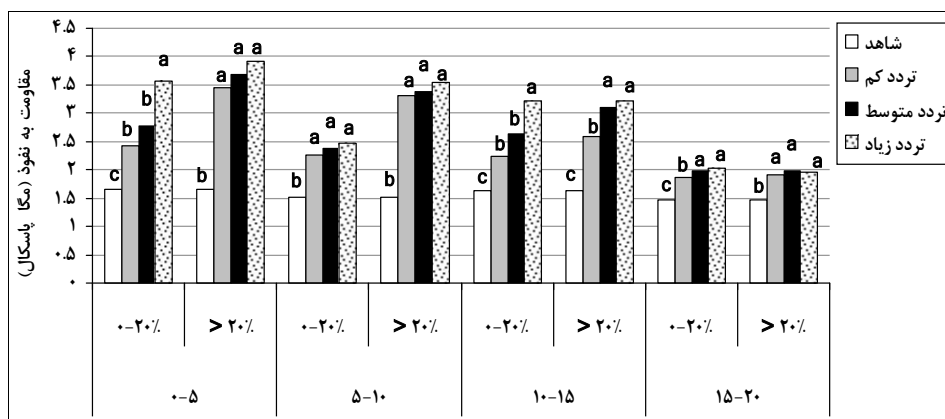
شکل ۵- روند تغییرات تخلخل در سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری در مقایسه با منطقه شاهد. حروف انگلیسی مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار متغیر تخلخل خاک در تیمارهای سن مسیرهای چوبکشی با یکدیگر و با منطقه شاهد هستند.

تردد و جهت رد چرخ بر مقاومت به نفوذ خاک نشان داد که سن مسیر چوبکشی، شیب، تردد و جهت رد چرخ اثر

مقاومت به نفوذ نتایج تجزیه واریانس اثر سن مسیر چوبکشی، شیب،

معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما تفاوت آنها با منطقه شاهد معنی‌دار بود. در تمام مسیرهای چوبکشی مقدار مقاومت به نفوذ در محل عبور گرده‌بینه کمتر از محل رد چرخ‌های چپ و راست بود، به طوری که بیشترین کمترین مقدار مقاومت به نفوذ به ترتیب در مسیر صفر تا پنج سال در محل رد چرخ چپ و مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال در محل رد چرخ وسط قرار داشت. نتایج تغییرات مقاومت به نفوذ در سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار مقاومت به نفوذ را مسیرهای صفر تا پنج و ۱۵ تا ۲۰ سال داشتند. با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی (تمام مسیرهای چوبکشی) مقدار مقاومت به نفوذ بیشتر از منطقه شاهد بود و با آن تفاوت معنی‌داری داشت.

معنی‌داری بر مقاومت به نفوذ داشته‌اند. شکل ۶ تغییرات مقاومت به نفوذ در شیب و تردهای مختلف در چهار مسیر چوبکشی نشان می‌دهد که در تمام مسیرهای چوبکشی (به جز مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال) مقادیر مقاومت به نفوذ با افزایش شدت تردد و شیب افزایش یافته است. بیشترین مقدار مقاومت به نفوذ در مسیر صفر تا پنج سال در تردد زیاد و شیب بیشتر از ۲۰ درصد قرار داشت. تغییرات مقاومت به نفوذ در جهت‌های مختلف رد چرخ در مسیرهای چوبکشی در جدول ۵ نشان می‌دهد که در مسیرهای صفر تا پنج، پنج تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۵ سال، جهت‌های رد چرخ چپ و راست با وسط تفاوت معنی‌داری داشتند و بین منطقه شاهد و دو جهت رد چرخ و محل عبور گرده‌بینه تفاوت معنی‌دار وجود داشت. در مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال، جهت‌های مختلف رد چرخ تفاوت



شکل ۶- تغییرات مقاومت به نفوذ در شیب و تردهای مختلف در مسیرهای چوبکشی

جدول ۵- مقاومت به نفوذ (اشتباه معیار \pm میانگین) در جهت‌های مختلف رد چرخ در مسیر چوبکشی

سن مسیر چوبکشی (سال)	جهت رد چرخ			شاهد
	محل عبور گرده بینه	چپ	راست	
صفر تا پنج	۲/۹۲۰ ^b ±۰/۰۶۴	۳/۵۵۹ ^a ±۰/۰۶۴	۳/۴۲۲ ^a ±۰/۰۶۴	۱/۶۶۷ ^c ±۰/۰۶۴
پنج تا ۱۰	۲/۶۸۵ ^b ±۰/۰۶۴	۲/۹۱۹ ^{ab} ±۰/۰۶۴	۳/۰۵۶ ^a ±۰/۰۶۴	۱/۵۱۱ ^c ±۰/۰۶۴
۱۰ تا ۱۵	۲/۵۳۷ ^b ±۰/۰۶۴	۲/۹۴۸ ^a ±۰/۰۶۴	۳/۰۰۴ ^a ±۰/۰۶۴	۱/۶۲۶ ^c ±۰/۰۶۴
۱۵ تا ۲۰	۱/۹۰۷ ^a ±۰/۰۶۴	۱/۹۸۹ ^a ±۰/۰۶۴	۱/۹۷۸ ^a ±۰/۰۶۴	۱/۴۶۳ ^b ±۰/۰۶۴

بحث

وزن مخصوص ظاهری

نتایج بازیابی خاک‌های کوبیده شده جنگلی در مسیرهای چوبکشی نشان داد که بازیابی این خاک‌ها تحت تأثیر شیب، تردد و جهت‌های مختلف رد چرخ متفاوت بوده است. بیشترین مقدار وزن مخصوص ظاهری در شدت تردد زیاد و شیب بیشتر از ۲۰ درصد قرار دارد و روند بازیابی خاک در شیب‌های تند و با تردد زیاد از سرعت کمتری برخوردار بوده است که این باعث طولانی شدن فرآیند بازیابی ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود (Rab, 2004; Ezzati *et al.*, 2012). بیشتر بودن وزن مخصوص ظاهری و بازیابی کمتر آن در تردد و شیب زیاد نسبت به منطقه شاهد و تردد و شیب‌های کم ممکن است به علت تردد زیاد، رطوبت زیاد در زمان عملیات چوبکشی و لغزش بی‌درپی ماشین در شیب زیاد و ظاهر شدن خاک معدنی زیرین با وزن مخصوص زیاد باشد (Wang *et al.*, 2007). در مسیر چوبکشی ۱۵ تا ۲۰ ساله، جهت رد چرخ راست که بیشترین مقدار وزن مخصوص ظاهری را دارد، به مقدار ۱۲/۲۱ درصد بیشتر از منطقه شاهد بود، اما این تفاوت معنی‌دار نبود و بازیابی وزن مخصوص ظاهری را در این رد چرخ‌ها نشان می‌داد. بازیابی وزن مخصوص ظاهری با گذشت زمان در پژوهش‌های متعددی از جمله Rab (۲۰۰۴)، Zenner و همکاران (۲۰۰۷) و Mohammadi و همکاران (۲۰۱۲) بیان شده است.

تخلخل خاک

در اثر چوبکشی زمینی و اعمال فشار بیشتر از ظرفیت باربری، خاک در معرض فشار قرار می‌گیرد و حجم منافذ خاک کاهش پیدا می‌کند. این تنش بیشتر بر روی تخلخل‌های درشت به نسبت تخلخل‌های ریز تأثیرگذار است که باعث کاهش تخلخل‌های درشت و افزایش تخلخل‌های ریز می‌شود (Zenner *et al.*, 2007). در تمام مسیرهای چوبکشی با افزایش شدت تردد از کم به شدید

میزان تخلخل خاک کم شده است، به طوری که در هر مسیر چوبکشی، تردد شدید دارای کمترین میزان تخلخل بوده است که با نتایج Rab (۲۰۰۴) و Blouin و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد. تغییرات تخلخل خاک در شیب و ترددهای مختلف، ۲۰ سال بعد از عملیات چوبکشی نشان می‌دهد که تخلخل خاک بازیابی شده و با منطقه شاهد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارد، اما مقدار آن پس از گذشت ۲۰ سال بیشتر از منطقه شاهد است. کاهش تخلخل هرچند در شیب صفر تا ۲۰ درصد، کمتر از شیب بیشتر از ۲۰ درصد بوده است، اما این کاهش تخلخل در تردد زیاد نسبت به متوسط و در تردد متوسط نسبت به کم بیشتر بوده است. در مسیر صفر تا پنج، پنج تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۵ سال، عدم بازیابی تخلخل و تفاوت معنی‌دار با منطقه شاهد به دلیل گذشت زمان کم از عملیات چوبکشی بوده است. در مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال مقادیر تخلخل خاک در مقایسه با منطقه شاهد بازیابی شده است و اختلاف معنی‌داری با منطقه شاهد نداشت. در روند بازیابی تخلخل خاک بعد از عملیات چوبکشی، در مسیرهای صفر تا پنج و پنج تا ۱۰ سال، بین مسیر چوبکشی و منطقه شاهد تفاوت معنی‌دار وجود داشت و تخلخل در مسیرهای چوبکشی کمتر از منطقه شاهد بود که عدم بازیابی با گذشت ۱۰ سال از عملیات چوبکشی را نشان می‌دهد. Shoulders و Terry (۱۹۷۸) گزارش دادند که تغییرات تخلخل خاک ناشی از آماده‌سازی رویشگاه تا شش سال ادامه دارد. براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، پس از گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی، تخلخل خاک به مقدار ۹/۷۴ درصد کمتر از منطقه شاهد بود، اما تفاوت آنها معنی‌دار نبود که نشان از بازیابی این ویژگی پس از ۲۰ سال دارد که با نتایج Tiarks و همکاران (۱۹۹۷) و Crock و همکاران (۲۰۰۱) همخوانی ندارد. بازیابی کوبیدگی خاک بسته به تیپ خاک، پوشش گیاهی، شرایط رطوبتی، عمق لایه‌های خاک، درجه کوبیدگی و توپوگرافی منطقه متفاوت است (Rab *et al.*, 1992).

مقاومت به نفوذ

نتایج نشان داد که عملیات چوبکشی دارای اثر قابل توجه و معنی داری بر افزایش مقاومت به نفوذ است که منطبق بر نتایج پژوهشگرانی از جمله Han و همکاران (۲۰۰۹)، Bolding و همکاران (۲۰۰۹) و Ampoorter و همکاران (۲۰۱۰) است. علاوه بر شدت تردد و شیب، جهت رد چرخ اثر معنی داری را بر تغییرات مقاومت به نفوذ داشت. با افزایش شدت تردد و شیب در مسیرهای چوبکشی میزان مقاومت به نفوذ افزایش یافته است و بیشترین مقدار مقاومت به نفوذ در شدت تردد زیاد و و شیب بیشتر از ۲۰ درصد اتفاق افتاده است. افزایش مقاومت به نفوذ در شدت تردد زیاد و شیب بیشتر از ۲۰ درصد در پژوهش Mohammadi و همکاران (۲۰۱۲) بیان شده است که موجب می شود بازیابی مقاومت به نفوذ در زمان طولانی تری انجام شود. براساس نتایج پژوهش پیش رو، جهت های مختلف رد چرخ در تمام مسیرهای چوبکشی باعث شد تا مقاومت به نفوذ در مسیرهای چوبکشی با منطقه شاهد تفاوت معنی دار داشته باشد که نشان دهنده عدم بازیابی در محل های رد چرخ است. مقاومت به نفوذ در مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال در محل عبور گرده بینه (که کمترین مقدار مقاومت به نفوذ را دارد) به دلیل عدم بازیابی ویژگی های فیزیکی خاک هنوز به اندازه ۳۰/۳۴ درصد بیشتر از منطقه شاهد است. با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی، مقاومت به نفوذ خاک به اندازه ۲۳/۳۰ درصد بیشتر از منطقه شاهد است و با آن تفاوت معنی داری دارد که نشان از عدم بازیابی مقاومت به نفوذ خاک است. عدم بازیابی مقاومت به نفوذ در پژوهش پیش رو با نتایج Mohammadi و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد. طبق یافته های Ampoorter و همکاران (۲۰۱۰)، Gomez و همکاران (۲۰۰۲) و Anonymous (۱۹۹۸)، افزایش مقاومت به نفوذ خاک به بیش از دو مگاپاسکال باعث محدودیت و افزایش بیشتر از سه مگاپاسکال باعث توقف نفوذ و رشد ریشه درختان در انواع خاک ها خواهد شد. مقاومت به نفوذ زیاد برای

جانوران خاکزی نامناسب است، چون توانایی حرکت و حفر در خاک را از دست خواهند داد. در پژوهش پیش رو مقدار مقاومت به نفوذ با گذشت ۲۰ سال کمتر از دو مگا پاسکال بود که نشان از کاهش مقاومت و بازیابی آن دارد. همچنین مقاومت به نفوذ در مسیر صفر تا پنج ساله نسبت به مسیر ۱۵ تا ۲۰ ساله، از ۳/۲۲ مگاپاسکال به ۱/۹۳ مگاپاسکال کاهش یافت و بیانگر بازیابی آن در طول زمان است. بنابراین روشن است که برای بازیابی کامل مقاومت به نفوذ مدت زمان بیشتری لازم است.

نتایج پژوهش پیش رو نشان می دهد که شیب طولی مسیر چوبکشی، شدت تردد و جهت های مختلف رد چرخ از عامل های اصلی در بازیابی ویژگی های فیزیکی خاک مسیرهای چوبکشی است، به طوری که مشخص شد بیشترین تغییرات در ویژگی های فیزیکی خاک در شیب بیشتر از ۲۰ درصد، شدت تردد زیاد و محل عبور چرخ های ماشین اتفاق افتاده و بازیابی ویژگی های خاک در این شرایط کمتر بوده است. با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی، وزن مخصوص ظاهری و تخلخل خاک به ترتیب بیشتر و کمتر از منطقه شاهد بودند، اما با آن تفاوت معنی داری نداشتند که نشان دهنده بازیابی ویژگی های مذکور است. مقاومت به نفوذ خاک، ۲۰ سال پس از عملیات چوبکشی هنوز بیشتر از منطقه شاهد بود و با آن تفاوت معنی داری داشت و بازیابی نشده است. به طور کلی می توان گفت که برای بازیابی کامل ویژگی های فیزیکی خاک، مدت زمانی بیشتر از ۲۰ سال لازم است.

References

- Alban, H.D., Host, G.E., Elioff, J.D. and Shadis, D.A., 1994. Soil and vegetation response to soil compaction and forest floor removal after aspen harvesting. USDA Forest Service, Research Paper NC-315, St.Paul, Minnesota, 38p.
- Ampoorter, E., Goris, R., Cornelis, WM. and Verheyen, K., 2007. Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. Forest Ecology and Management, 241: 162-174.

- Johnson, L.R., 2009. Soil compaction associated with cut-to-length and whole-tree harvesting of a coniferous forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 976-989.
- Heilman, P., 1981. Root penetration of Douglas-fir seedlings into compacted soil. *Forest Science*, 27: 660-666.
- Jordan, D., Ponder, F.J. and Hubbard, V.C., 2003. Effects of soil compaction, forest leaf litter and nitrogen fertilizer on two oak species and microbial activity. *Applied Soil Ecology*, 23: 33-41.
- Kozłowski, T.T., 1999. Soil compaction and growth of woody plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14: 596-619.
- Mohammadi, Z., Naghdi, R., Akef, M., Bagheri, I. and Sayadi, A., 2012. Natural recovery assessment of some physical properties of forest soil compacted by ground base skidding. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(3): 472-480 (In Persian).
- Nugent, C., Kanali, C., Owende, P.M.O., Nieuwenhuis, M. and Ward, S., 2003. Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology and Management*, 180: 85-98.
- 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: 329-340.
- Rab, M.A., Anderson, H., Boddington, D. and Van Rees, H., 1992. Soil disturbance and compaction. In: Squire, R.O. (Ed.), *First Interim Report for the Value Adding Utilization System Trial*. Department of Conservation and Environment, Victoria, Australia, pp. 25-31.
- Roberts, M.R. and Zhu, L., 2002. Early response of the herbaceous layer to harvesting in a mixed coniferous-deciduous forest in New Brunswick, Canada. *Forest Ecology and Management*, 155: 17-31.
- Shoulders, E. and Terry, T.A., 1978. Dealing with site Disturbances from Harvesting and Site Preparation in the Lower Coastal Plain. In: *Proceedings of the Symposium on Principles of Maintaining Productivity on Prepared Sites*. Mississippi State University, USA, 126-138.
- Simcock, R.C., Parfitt, R.L., Skinner, M.F., Dando, J. and Graham, J.D., 2006. The effects of soil compaction and fertilizer application on the establishment and growth of *Pinus radiata*. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 1077-
- Ampoorter, E., Van Nevel, L., De Vos, B., Hermy, M. and Verheyen, K., 2010. Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. *Forest Ecology and Management*, 260: 1664-1676.
- Anonymous, 1998. *USDA Forest Service Manual, FSM 2520 (Watershed Protection and Management) R-6. Supplement No. 2500-98-1, Effective August 24, 16p.*
- Aust, W.M., Burger, J.A., Carter, E.A., Preston, D.P. and Patterson, S.C., 1998. Visually determined soil disturbance classes used as indices of forest harvesting disturbance. *Southern Journal of Applied Forestry*, 22: 245-250.
- Ballard, T.M., 2000. Impacts of forest management on northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133: 37-42.
- Benthous, M. and Matthies, D., 1993. Regeneration befahrener Waldböden. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 48: 448-451.
- Blouin, V.M., Schmidt, M., Bulmer, C.E. and Krzic, M., 2005. Mechanical disturbance impacts on soil properties and lodgepole pine growth in British Columbia's central interior. *Canadian Journal of Soil Science*, 85: 681-691.
- 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(2): 47-56.
- Boström, U., 1986. The effect of soil compaction on earthworms (Lumbricidae) in a heavy clay soil. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 16: 137-141.
- Crock, J., Hairsine, P. and Fogarty, P., 2001. Soil recovery from track construction and harvesting changes in surface infiltration, Erosion and Delivery Rates with Time. *Forest Ecology and Management*, 143: 3-12.
- Ezzati, S., Najafi, A., Rab, M.A. and Zenner, E., 2012. Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. *Silva Fennica*, 45(4): 521-538.
- Gomez, A., Powers, R.F., Singer, M.G. and Hrowath, W.R., 2002. Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in Californias Sierra Nevada. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1334-1343.
- Greacen, E.L. and Sands, R., 1980. Compaction of forest soils, A review. *Australian Journal of Soil Research*, 18: 163-189.
- Han, S.K., Han, H.S., Page-Dumroese, D.S. and

- Zenner, E.K., Fauskee, J.T., Berger, A.L. and Puettmann, K.J., 2007. Impacts of skidding traffic intensity on soil disturbance, soil recovery, and aspen regeneration in North Central Minnesota. *Northern Journal of Applied Forestry*, 24(3): 177-183.
- Zenner, E.K. and Berger, A.L., 2008. Influence of skidder traffic and canopy removal intensities on the ground flora in a clearcut-reserves northern hardwood stand in Minnesota, USA. *Forest Ecology and Management*, 256: 1785-1794.
- Tiarks A.E., Buford, M.A., Powers, R.F., Ragus, J.F., Page-Dumroese, D.S., Ponder, F.J. and Stone, D.M., 1997. North-American long-term soil productivity research program. *Proceedings of the National Silviculture Workshop*, Warren, Pennsylvania: 140-147.
- Wang, J., LeDoux, C.B. and Edwards, P., 2007. Changes in soil bulk density resulting from construction and conventional cable skidding using replanned skid trails. *Northern Journal of Applied Forestry*, 24(1): 5-8.

Soil bulk density, porosity and penetration resistance recovery following timber harvest cessation on abandoned skid trails after 20 years, Kheyroud forest

H. Sohrabi¹, M. Jourgholami², B. Majnounian³, Gh. Zahedi Amiri³ and S. Ezzati⁴

1- M.Sc. Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mjgholami@ut.ac.ir

3- Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

4- Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 11.29.2014

Accepted: 06.14.2015

Abstract

Deforestation and soil degradation start simultaneously, thus the conservation of forest and soil mutually affect each other. Therefore, techniques should be developed to reduce the amount of forest damage which in turn shortens the recovery time. This study was conducted in two districts of Patom and Namkhaneh located in Kheyroud experimental forest, with the aim to assess the environmental impact of slope, traffic and rutting location on soil physical properties and its recovery over a 20-year period. Four abandoned, downward skid trails of different ages were selected. In each skid trail, three traffic classes each divided into two slope classes were determined. For measurement of soil bulk density and total porosity, a sample plot of 10×4 m was established on each treatment. The results showed the maximum value of the bulk density and penetration resistance to be associated with high traffic intensity and > 20% slopes. Furthermore, soil bulk densities in different skid trails directions older than 20 years were more than those on the control treatment, yet the difference was not significant. However, the difference in resistance to penetration was significant. Over 20 years of skidding operations, soil physical properties have been retrieved, so that the bulk density and penetration resistance were 12.75 and 23.3% more than those in control area. Whereas this difference was not significant for bulk density, it showed significance for penetration resistance.

Keywords: Soil properties recovery, porosity, skid trail, penetration resistance, soil bulk density.