

## بازیابی رطوبت خاک در مسیرهای چوبکشی ۲۰ سال بعد از عملیات چوبکشی

هادی سهرابی<sup>۱</sup>، مقداد جورغلامی<sup>۲\*</sup>، باریس مجنونیان<sup>۳</sup> و قوام‌الدین زاهدی امیری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۸)

### چکیده

حفظ خاک‌های جنگلی به‌عنوان پایه تولید در هنگام عملیات بهره‌برداری و چوبکشی، با هدف به حداقل رساندن تخریب و مدت زمان بازیابی آن بعد از عملیات بهره‌برداری، امری ضروری است. این تحقیق در دو بخش پاتم و نم‌خانه جنگل خیرود به‌منظور ارزیابی محیط زیستی اثر شیب، ترافیک و جهت رد چرخ بر رطوبت خاک و بازیابی آن با گذشت ۲۰ سال در مقایسه با منطقه شاهد انجام گرفت. چهار مسیر چوبکشی ره‌اشده با جهت رو به پایین و سنین مختلف انتخاب و در هر یک از این مسیرها سه کلاسه ترافیک و در هر کلاسه ترافیک دو طبقه شیب مشخص شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک، پلات‌هایی با ابعاد ۱۰×۴ متر تعیین شد و در هر پلات، نمونه‌برداری در مسیرهای چوبکشی و منطقه شاهد انجام گرفت. نتایج نشان داد در مسیر چوبکشی ۲۰-۱۵ ساله وزن رطوبت خاک در شیب، ترافیک و جهت‌های مختلف رد چرخ با منطقه شاهد تفاوت معنی‌داری ندارد. با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی، رطوبت خاک، ۹/۷ درصد کمتر از منطقه شاهد بوده که این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نیست. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سن رها شدن، درصد رطوبت خاک تمایل به بازیابی بیشتر (نزدیکی به رطوبت خاک منطقه شاهد) دارد.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی محیط زیستی، بازیابی خاک جنگل، رطوبت خاک، مسیر چوبکشی.

## مقدمه و هدف

عملیات بهره‌برداری جنگل در چند دهه اخیر به دلایلی از جمله زیاد بودن حجم چوب‌آلات قطع‌شده، وجود گونه‌های صنعتی و دارای ارزش افزوده زیاد، شیب‌دار بودن قسمت اعظم این جنگل‌ها، کاهش هزینه حمل‌ونقل اولیه، کوتاه کردن مدت زمان چوبکشی و توسعه مکانیزاسیون بهره‌برداری جنگل، در حال حرکت به سوی استفاده از ماشین‌آلات سنگین و پر قدرت برای قطع و خارج کردن محصولات چوبی از جنگل بوده است (Ampoorter *et al.*, 2007). با توجه به اینکه عملیات بهره‌برداری جنگل با احداث مسیر چوبکشی و تردد ماشین‌آلات برای خروج محصولات جنگلی در این مسیرها همراه است، ممکن است به‌طور متوسط حدود ۱۶ تا ۲۵ درصد (McMahon, 1995; Rab, 1996; Murphy, 2004) از کل منطقه را در بر گیرد، که هر ساله سبب صدمات گسترده و تغییر خصوصیات فیزیکی خاک شده و در نهایت از توان تولیدی آن کاسته می‌شود. که این تغییرات به صورت کوبیدگی (Buckley *et al.*, 2003; Eisenbies *et al.*, 2007)، افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک (Dykster and Curran, 2006)، افزایش مقاومت به نفوذ (Ampoorter *et al.*, 2007)، جابه‌جایی لایه لاشبرگ (Block *et al.*, 2002; Rab *et al.*, 2005; Demir *et al.*, 2007)، لاشبرگ با خاک سطحی (Makineci *et al.*, 2007)، کاهش تهویه و نفوذپذیری آب‌وهوا در خاک (Kolka and Smidt, 2005)، شیاری شدن مسیر هدر رفت خاک سطحی (Arvidsson *et al.*, 2001; Tan *et al.*, 2005)، کاهش ریشه‌دوانی گیاهان (Barzegar *et al.*, 2006)، فرسایش و تغییرات هیدرولوژی عرصه (Rab, 1994; McCurdy *et al.*, 2004) و اختلال در تبادل گازها (Gaertig *et al.*, 2002) است. یک خاک با ساختار خوب برای موجودات خاک‌زی (Jordan *et al.*, 1999)،

ریشه درختان (Greacen and Sands, 1980) و گیاهان (Buckley *et al.*, 2003) بسیار حائز اهمیت است. (Arshad *et al.*, 1996) اظهار داشتند که وزن مخصوص ظاهری، وقتی که مقدار آن در خاک رس، لای و لوم و شن به ترتیب بیشتر از ۱/۴۷، ۱/۷۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد، محدودکننده رشد است. انجمن خاک آمریکا (USDA) برآورد کرد که افزایش وزن مخصوص ظاهری بیش از ۱۵ درصد به طور کلی برای اکوسیستم خاک مضر است (Powers *et al.*, 1998). (Whalley *et al.*, 1995) این نتیجه رسیدند که رشد ریشه در مقاومت به نفوذ ۲ مگاپاسکال کاهش می‌یابد و هنگامی که مقدار آن به ۳ مگاپاسکال می‌رسد، رشد متوقف می‌شود. رشد ریشه نهال هم هنگامی که غلظت گاز اکسیژن کمتر از محدوده ۶ تا ۱۰ درصد باشد کاهش می‌یابد، بنابراین باید تخلخل به‌منظور حفظ انتشار هوای خوب، فعالیت‌های میکروبی و توسعه ریشه، دست کم ۱۰ درصد باشد (Koorevaar *et al.*, 1983).

تداوم کوبیدگی و بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک، بسته به درجه تراکم، عمق لایه‌های خاک، نوع خاک، پوشش گیاهی و آب‌وهوا متفاوت است (Rab, 2004). بازیابی خاک‌های کوبیده جنگلی در نبود تیمارهای اصلاحی، تحت تأثیر شرایط اقلیمی، فعالیت ریشه‌ها و جانوران خاک آهسته است و به زمان طولانی نیاز دارد. سریع‌ترین نرخ بازیابی گزارش شده، یک سال پس از عملیات چوبکشی با اسکیدر چرخ لاستیکی در شرایط خشک روی خاک درشت‌بافت در مینه‌سوتای آمریکا بوده است (Mace, 1971). براساس یافته‌های (Tiarks *et al.*, 1997) و (Croke *et al.*, 2001) رسیدن به بازیابی کامل خصوصیات فیزیکی بعد از یک دوره ۲۰ تا ۳۰ سال محقق می‌شود، البته به شرطی که هیچ اختلالی در آنجا صورت نگیرد. (Thorud and Fissel, 1976) نشان دادند که برای بازیابی عمق ۸-۱۰ سانتی‌متر کوبیده‌شده، در تردد ماشین‌آلات در خاک‌های لومی تا شنی ممکن است ۵

بهره‌برداری جنگل با احداث مسیر چوبکشی و تردد ماشین‌آلات برای خروج محصولات جنگلی در این مسیرها همراه است، هر ساله سبب صدمات گسترده‌ای در خاک شده و سطح وسیعی از توان تولیدی آن کاسته می‌شود؛ بنابراین حفاظت خاک که یکی از مهم‌ترین اصول در جنگلداری و مدیریت جنگل است باید به‌طور مداوم تکرار شود و مهندسان بهره‌بردار باید سعی در توسعه فنونی داشته باشند که ضمن کاربرد ماشین‌آلات، حاصلخیزی خاک کم نشود. در خصوص بررسی زمان لازم برای بازیابی خاک تخریب‌شده در اثر عملیات بهره‌برداری در جنگل‌های کوهستانی شمال ایران تاکنون در داخل کشور مطالعات کمی صورت گرفته است و هنوز جنبه‌های زیادی از آن در علم جنگل باقی مانده است که نیازمند تحقیق بیشتر است. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی بازیابی رطوبت خاک بعد از عملیات چوبکشی در دوره‌های ۱۰ تا ۲۰ ساله با اهداف و فرضیه‌های مطرح‌شده در بالا در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود می‌پردازد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه تحقیق

این تحقیق در جنگل آموزشی پژوهشی خیرود و به‌ترتیب در پارسل‌های ۱۱۸ و ۲۱۲، ۲۱۴، ۲۱۷ دو بخش پاتم و نم‌خانه انجام گرفته است. مساحت پارسل در بخش پاتم ۵۸/۴ هکتار است که دارای جهت عمومی شمال غربی است. پارسل‌های بخش نم‌خانه به‌ترتیب ۲۵/۲، ۳۸ و ۵۰/۲ هکتار وسعت دارند که جهت عمومی در این سه پارسل به‌ترتیب غربی، جنوبی و شمال تا شمال غربی است که ارتفاع آنها پایین‌تر از ۱۱۱۰ متر از سطح دریا است. خاک عرصه در این دو بخش اغلب روی سنگ مادری آهکی مربوط به دوره ژوراسیک علیا از دوران دوم است و دارای اقلیم نیمه مرطوب تا مرطوب با متوسط بارندگی ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر است. تیپ پوشش

تا ۹ سال زمان لازم باشد. (Ezzati et al., 2012) جنگل‌های شمال نشان دادند که وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و نفوذپذیری خاک، ۲۰ سال پس از عملیات چوبکشی، با منطقه شاهد اختلاف معنی‌داری دارد. (Anderson et al., 1992) و (Jakobsen, 1983) نشان دادند که مقدار وزن مخصوص ظاهری روی مسیرهای چوبکشی، ۲۵ تا ۳۲ سال پس از عملیات چوبکشی، با منطقه دست‌نخورده تفاوت زیادی دارد. بازیابی کوبیدگی لایه‌های سطحی خاک (۱۰-۰ سانتی‌متر)، ممکن است ۱۰ تا ۲۰ سال یا بیشتر زمان لازم داشته باشد (Dickerson, 1976; Froehlich, 1979; Jakobsen, 1983; Rab, 2004; Suvinon, 2007; Zenner et al., 2007; Goutal et al., 2013) و لایه‌های فشرده عمیق‌تر خاک، برای بازیابی به ۵۰ تا ۱۰۰ سال نیاز دارد (Greacen and Sands, 1980; Page-Dumroese et al., 2006). با این حال برای تسریع بازیابی تنها در موارد استثنایی که خاک جنگل به‌شدت کوبیده شده است، می‌توان از ماشین‌های سست‌کننده مانند خراش‌دهنده‌های سطحی (Sinnat et al., 2008; Hartmann et al., 2014) استفاده کرد که این روش ممکن است سبب آسیب‌دیدگی شدید ریشه درختان و جانوران، اختلال در استقرار بذرها، نابودی لایه گیاهی حاضر و تغییر ترکیب لایه علفی شود. بنابراین برای حفظ تنوع و عملکرد اکوسیستم جنگل، این روش باید در شدت آسیب و کوبیدگی خاک زیاد یا هنگامی که سرعت بازیابی طبیعی ناکافی است، استفاده شود. در همه خاک‌های جنگلی دیگر، بازیابی خاک وابسته به فرایند طبیعی است که تحریک این فرایندها، سبب بهبود شرایط خاک و افزایش سرعت بازیابی می‌شود.

جنگل‌های شمال به‌دلیل نقش تولیدی به‌همراه سایر نقش‌های خدماتی، منحصربه‌فرد بودن این جنگل‌ها به‌لحاظ تنوع اکوسیستمی و کاهش روزافزون سطح آن، لزوم توجه اصولی را به متولیان منابع طبیعی یادآور می‌شود. با توجه به اینکه عملیات

(Suvinon, 2007; Zenner *et al.*, 2007). 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 تعیین محل برداشت نمونه در داخل جنگل نیز، در مجاورت هر پلات و به‌ازای هر خط داخل مسیر در فاصله ۲۰ تا ۳۰ متری از مسیر چوبکشی، یک نقطه برداشت شد. رطوبت خاک را اصولاً به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌کنند (Leonard *et al.*, 2007). روش غیرمستقیم به صورت‌هایی از جمله نوترومتر، بلوک گچی، تانسیومتر، پرتو گاما و TDR انجام می‌گیرد. در روش مستقیم که در این تحقیق استفاده شد، رطوبت خاک به روش وزنی و از طریق خشک کردن نمونه در دستگاه آون با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد، به طوری که وزن تر نمونه‌ها بلافاصله پس از نمونه‌گیری مشخص شد و بعد از قرار دادن نمونه‌ها در آون، نمونه‌های خشک‌شده دوباره وزن شدند. در نهایت درصد رطوبت با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد.

#### رابطه ۱

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

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزار Excel به عنوان بانک اطلاعاتی ذخیره و سپس داده‌ها به محیط نرم‌افزار SPSS وارد شد تا آنالیز و تحلیل آماری توسط آن صورت گیرد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. سپس به منظور بررسی اثر شدت ترافیک، دو طبقه شیب و چهار مسیر چوبکشی با فاصله زمانی معین بر مقدار رطوبت خاک، از تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر یک از عوامل در تجزیه و تحلیل واریانس

گیاهی غالب در این دو بخش و پارسل‌های مورد مطالعه راش-ممرزستان به همراه گونه‌های افراپلت، شیردار، ملج، نمدار، بلندمازو و توسکا است (شکل ۱).

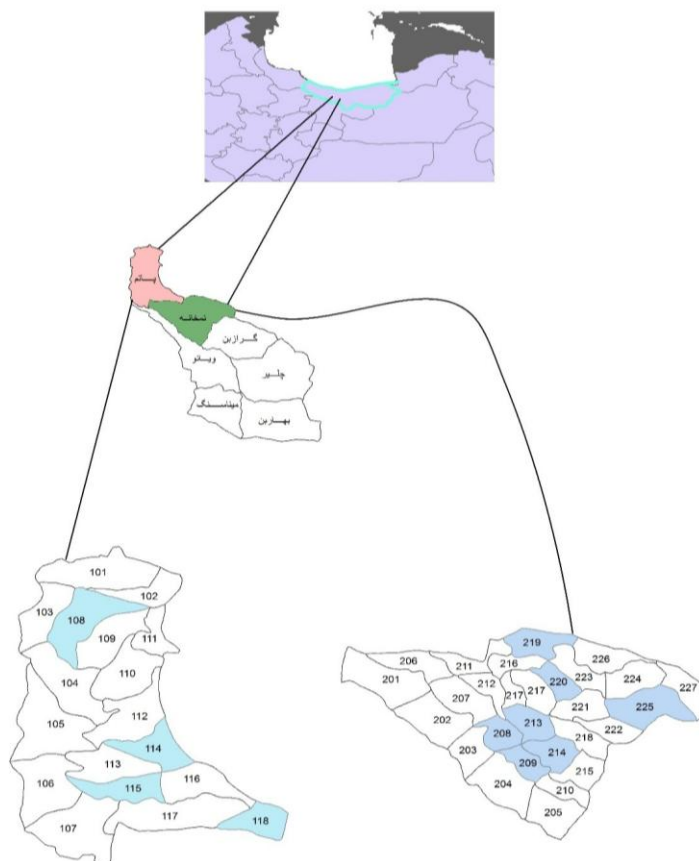
#### روش تحقیق

برای رسیدن به اهداف مورد نظر، چهار مسیر چوبکشی ره‌اشده با جهت چوبکشی رو به پایین و فواصل سنی معین از زمان چوبکشی با دامنه و تنوع شیب طولی زیاد، بدون در نظر گرفتن شیب عرضی (به علت اینکه در مسیرهای با شیب عرضی، شناسایی دقیق محل عبور با مشکلاتی همراه بوده است)، انتخاب شد. در هر یک از مسیرهای چوبکشی بر اساس فاصله از دپو، سه شدت تردد (کم، متوسط و زیاد) شناسایی و بر اساس شیب طولی در هر کلاسه ترافیک، دو کلاسه شیب (۲۰-۰ و بیشتر از ۲۰ درصد) جدا شد (Ezzati *et al.*, 2012). بنابراین مطالعه در قالب آزمایش طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی<sup>۱</sup> با سه فاکتور شدت ترافیک (کم، متوسط و زیاد)، دو طبقه شیب (۲۰-۰ و بیشتر از ۲۰ درصد) و چهار سن مسیر چوبکشی (۵-۰، ۱۰-۵، ۱۵-۱۰ و ۲۰-۱۵ سال) و در سه تکرار انجام گرفت (Suvinon, 2007; Zenner *et al.*, 2007; Goutal *et al.*, 2013). شدت ترافیک به صورت تقریبی و با توجه به معیار دوری و نزدیکی به دپو و جاده‌های جنگلی محاسبه شد به طوری که مناطق مجاور دپو به عنوان ترافیک شدید و سرشاخه‌های مسیر به عنوان ترافیک سبک و مناطق بینابین به عنوان ترافیک متوسط ارزیابی شدند. در هر کلاسه ترافیک، در مجموع با توجه به تأثیر دو طبقه شیب شش پلات با ابعاد ۴×۱۰ متر پیاده شد (Zenner *et al.*, 2007; Ezzati *et al.*, 2012). در هر پلات پنج خط با فاصله ۲ متر از همدیگر طراحی شد که سه تا از این خطوط به تصادف انتخاب شد

<sup>1</sup> Randomized completely block design

رطوبت خاک در سه شدت ترافیک و دو کلاسه شیب، از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه استفاده شد.

دو طرفه از آزمون‌های مقایسه‌ای چندگانه دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد برای گروه‌بندی مقدار بازیابی رطوبت خاک استفاده شد. برای مقایسه



شکل ۱- موقعیت منطقه تحقیق در بخش پاتم و نم‌خانه جنگل خیرود

سال، درصد رطوبت در منطقه شاهد با مسیر چوبکشی در شیب ۲۰-۰ درصد تفاوت معنی‌داری ندارد، ولی با مسیر چوبکشی در شیب بالای ۲۰ درصد تفاوت معنی‌داری دارد که در این مسیرها درصد رطوبت در هر دو کلاسه شیب کمتر از منطقه شاهد است. در مسیرهای ۱۵-۱۰ و ۲۰-۱۵ سال، مسیر چوبکشی در هر دو کلاسه شیب، فاقد اختلاف معنی‌دار با منطقه شاهد است، به طوری که درصد رطوبت حتی در مسیر ۲۰-۱۵ سال در دو کلاسه شیب بیشتر از منطقه شاهد به دست آمد.

## نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل اثر سن مسیر چوبکشی، کلاسه ترافیک، شیب طولی مسیر چوبکشی، جهت رد چرخ و اثر متقابل آنها بر درصد رطوبت خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

### اثر شیب بر تغییرات درصد رطوبت

تجزیه و تحلیل داده‌های درصد رطوبت خاک در دو کلاسه شیب مختلف در جدول ۲ نشان داد که با افزایش شیب (شیب بالای ۲۰ درصد) مسیر چوبکشی درصد رطوبت کاهش می‌یابد. در مسیر ۵-۰ و ۱۰-۵

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس درصد رطوبت خاک در مسیرهای چوبکشی

Sig	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
۰/۰۰۰	۲۰/۴۱۸**	۳۸۴۲/۶۶۰	۳	۱۱۵۲۷/۹۸۱	سن مسیر چوبکشی
۰/۲۰۹	۱/۵۶۹ <sup>ns</sup>	۲۹۵/۲۳۵	۲	۵۹۰/۴۷۰	ترافیک
۰/۰۰۰	۵۶/۸۸۴**	۱۰۷۰۵/۴۳۰	۱	۱۰۷۰۵/۴۳۰	شیب
۰/۹۴۸	۰/۰۵۴ <sup>ns</sup>	۱۰/۱۲۱	۲	۲۰/۲۴۱	جهت رد چرخ
۰/۰۹۹	۱/۷۸۷ <sup>ns</sup>	۳۳۶/۳۰۴	۶	۲۰۱۷/۸۲۶	مسیر×ترافیک
۰/۰۰۰	۶/۲۱۵**	۱۱۶۹/۶۸۳	۳	۳۵۰۹/۰۵۰	مسیر×شیب
۰/۴۱۹	۱/۰۰۸ <sup>ns</sup>	۱۸۹/۶۶۷	۶	۱۱۳۸/۰۰۳	مسیر×جهت رد چرخ
۰/۲۷۷	۱/۲۸۴ <sup>ns</sup>	۲۴۱/۶۹۰	۲	۴۸۳/۳۷۹	ترافیک×شیب
۰/۷۷۹	۰/۴۴۱ <sup>ns</sup>	۸۲/۹۲۹	۴	۳۳۱/۷۱۷	ترافیک×جهت رد چرخ
۰/۸۲۴	۰/۱۹۳ <sup>ns</sup>	۳۶/۳۹۶	۲	۷۲/۷۹۲	شیب×جهت رد چرخ
۰/۵۳۲	۰/۸۴۹ <sup>ns</sup>	۱۵۹/۷۸۹	۶	۹۵۸/۷۳۶	سن مسیر×ترافیک×شیب
۰/۳۷۳	۱/۰۸۰ <sup>ns</sup>	۲۰۳/۳۱۹	۱۲	۲۴۳۹/۸۲۴	سن مسیر×ترافیک×جهت رد چرخ
۰/۶۷۶	۰/۶۶۸ <sup>ns</sup>	۱۲۵/۶۳۰	۶	۷۵۳/۷۸۲	سن مسیر×شیب×جهت رد چرخ
۰/۸۲۹	۰/۳۷۲ <sup>ns</sup>	۶۹/۹۹۹	۴	۲۷۹/۹۹۷	ترافیک×شیب×جهت رد چرخ
۰/۹۲۴	۰/۴۸۶ <sup>ns</sup>	۹۱/۳۷۴	۱۲	۱۰۹۶/۴۸۲	سن مسیر×ترافیک×شیب×جهت رد چرخ
		۱۸۸/۱۹۸	۷۸۷	۱۴۸۱۱۱/۶۶۳	خطا
			۸۶۳	۱۷۵۱۲۵۰/۶۳۷	کل

\*\* تفاوت معنی دار در سطح ۰/۰۱ درصد، \* تفاوت معنی دار در سطح ۰/۰۵ درصد، ns عدم تفاوت معنی دار

جدول ۲- درصد رطوبت خاک (اشتباه معیار  $\pm$  میانگین) در شیب‌های مختلف مسیر چوبکشی\*

شیب		شاهد	سن مسیر چوبکشی (سال)
بیشتر از ۲۰ درصد	۰ تا ۲۰ درصد		
۲۹/۹۸۱ <sup>b</sup> ±۱/۵۲۴	۴۱/۳۹۰ <sup>a</sup> ±۱/۵۳۵	۳۹/۸۰۷ <sup>a</sup> ±۱/۸۶۷	۰-۵
۳۴/۷۱۶ <sup>b</sup> ±۱/۵۲۴	۴۷/۷۸۰ <sup>a</sup> ±۱/۵۲۴	۵۴/۴۷۶ <sup>a</sup> ±۱/۸۶۷	۵-۱۰
۴۲/۱۴۰ <sup>a</sup> ±۱/۵۲۴	۴۹/۱۸۳ <sup>a</sup> ±۱/۵۲۴	۵۰/۴۰۶ <sup>a</sup> ±۱/۸۶۷	۱۰-۱۵
۴۱/۵۰۱ <sup>a</sup> ±۱/۵۲۴	۴۲/۵۲۹ <sup>a</sup> ±۱/۵۲۴	۴۱/۲۷۰ <sup>a</sup> ±۱/۸۶۷	۱۵-۲۰

\* حروف لاتین نامتشابه، نشانه معنی دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

درصد کاهش رطوبت نسبت به منطقه شاهد در مسیر ۱۰-۵ سال در شیب بالای ۲۰ درصد به مقدار ۳۶/۲۷ درصد بوده است. بیشترین درصد افزایش رطوبت در مسیر ۰-۵ سال با کلاسه شیب ۰-۲۰ درصد با مقدار ۳/۹۷ درصد به دست آمده است. در مسیر ۱۵-۲۰ سال درصد رطوبت حتی بیشتر از منطقه شاهد به دست آمده است.

تغییرات رطوبت در دو کلاسه شیب مسیر چوبکشی در مقایسه با منطقه شاهد در جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات درصد رطوبت در شیب بالای ۲۰ درصد بیشتر از شیب ۰-۲۰ درصد است، به طوری که به جز مسیر ۱۵-۲۰ سال در بقیه مسیرها در شیب بالای ۲۰ درصد، کاهش درصد رطوبت نسبت به منطقه شاهد مشاهده شده است. بیشترین

جدول ۳- درصد تغییرات رطوبت در دو شیب مختلف

سن مسیر (سال)	۰ تا ۲۰ درصد	بیشتر از ۲۰ درصد
۰-۵	+۳/۹۷	-۲۴/۶۸
۵-۱۰	-۱۲/۳۰	-۳۶/۲۷
۱۰-۱۵	-۲/۴۲	-۱۶/۴۰
۱۵-۲۰	+۳/۰۵	+۰/۵۶

+ نشان دهنده بیشتر بودن درصد رطوبت در مسیر چوبکشی نسبت به منطقه شاهد

### اثر ترافیک بر تغییرات درصد رطوبت

نتایج تغییرات درصد رطوبت در شدت ترافیک‌های مختلف مسیر چوبکشی در جدول ۴ نشان می‌دهد که این تغییرات به صورت نامنظم است و از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند. در مسیر ۰-۵ سال بین سه کلاسه ترافیک مسیر چوبکشی و منطقه شاهد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. در مسیر ۵-۱۰ سال درصد رطوبت کمتر از منطقه شاهد است و بین آن‌ها تفاوت

معنی‌داری وجود دارد. در مسیرهای ۱۰-۱۵ و ۱۵-۲۰ ساله، بین مسیر چوبکشی و منطقه شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (به جز ترافیک شدید در مسیر ۱۵-۲۰ ساله). در مسیر چوبکشی ۱۵-۲۰ سال درصد رطوبت حتی در ترافیک شدید بیشتر از منطقه شاهد است.

جدول ۴- درصد رطوبت (اشتباه معیار  $\pm$  میانگین) در ترافیک‌های مختلف مسیر چوبکشی\*

سن مسیر چوبکشی (سال)	ترافیک		
	شاهد	شدید	متوسط
۰-۵	$39/807 \pm 1/850$	$34/744 \pm 1/867$	$36/336 \pm 1/850$
۵-۱۰	$54/476 \pm 1/850$	$41/373 \pm 1/850$	$41/236 \pm 1/850$
۱۰-۱۵	$50/406 \pm 1/850$	$41/210 \pm 1/850$	$49/571 \pm 1/850$
۱۵-۲۰	$41/270 \pm 1/850$	$43/920 \pm 1/850$	$42/820 \pm 1/850$

\* حروف لاتین نامتشابه، نشانه معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

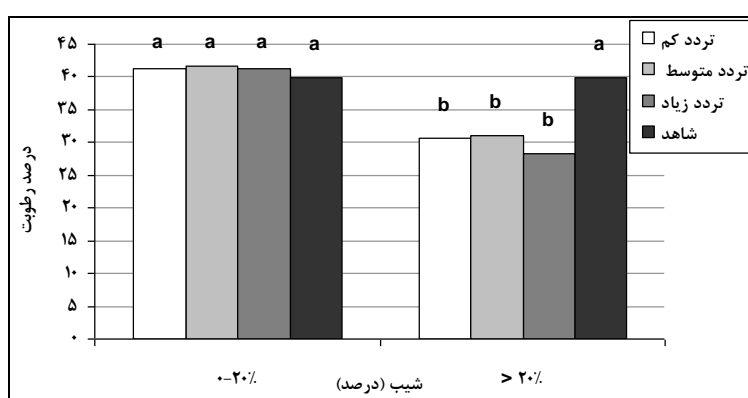
جدول ۵ درصد تغییرات رطوبت را در دو ترافیک شدید و کم در مقایسه با منطقه شاهد نشان می‌دهد. از جدول مشخص است که درصد کاهش در ترافیک‌های شدید بیشتر از ترافیک‌های کم است. بیشترین و کمترین درصد کاهش در مسیرهای ۱۰-۵ سال و ۱۵-۲۰ سال در شدت ترافیک زیاد و کم به مقدار ۲۵/۰۴ و ۴/۷۶ درصد بوده است. در مسیر ۱۵-۲۰

سال در ترافیک شدید درصد رطوبت در مقایسه با منطقه شاهد ۶/۴۲ درصد افزایش داشته است. روند تغییرات درصد رطوبت در شدت ترافیک و شیب‌های مختلف مسیر چوبکشی در مقایسه با منطقه شاهد در شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ حاکی از آن است که با گذشت زمان پس از عملیات چوبکشی درصد رطوبت به اندازه منطقه شاهد بازیابی می‌شود.

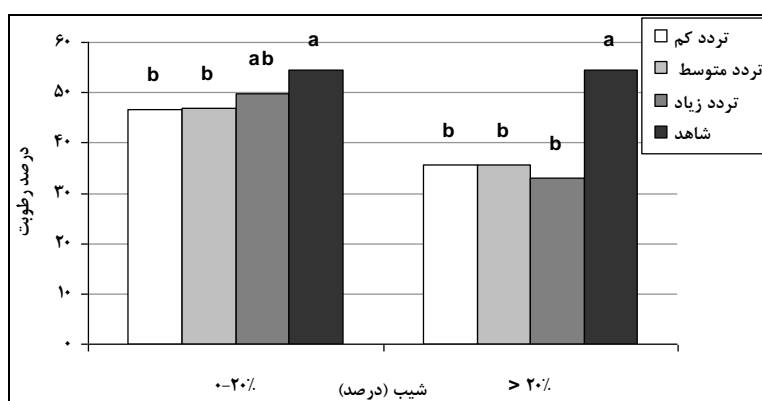
جدول ۵- درصد تغییرات رطوبت در دو ترافیک شدید و کم در مقایسه با منطقه شاهد

سن مسیر چوبکشی (سال)	ترافیک شدید	ترافیک کم
۰-۵	-۱۲/۶۰	-۹/۷۶
۵-۱۰	-۲۵/۰۴	-۲۴/۴۹
۱۰-۱۵	-۱۸/۲۴	-۸/۳۳
۱۵-۲۰	+۶/۴۲	-۴/۷۶

+ نشان‌دهنده بیشتر بودن درصد رطوبت در مسیر چوبکشی نسبت به منطقه شاهد

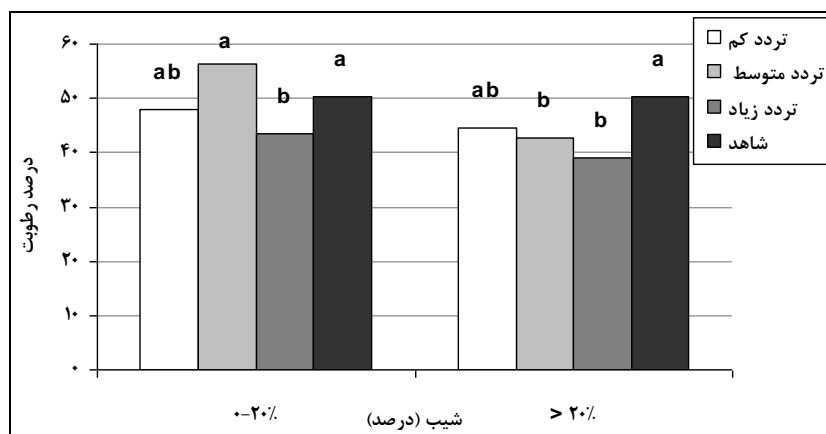


شکل ۲- روند تغییرات درصد رطوبت در شیب و تردهای مختلف در مسیر ۰ تا ۵ سال با آزمون دانکن. حروف لاتین نامتشابه، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

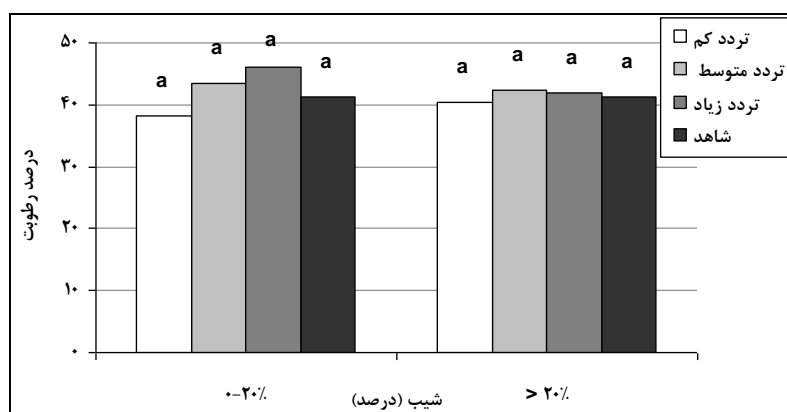


شکل ۳- روند تغییرات درصد رطوبت در شیب و تردهای مختلف در مسیر ۵ تا ۱۰ سال با آزمون دانکن. حروف لاتین نامتشابه، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.





شکل ۴- روند تغییرات درصد رطوبت در شیب و تردد‌های مختلف در مسیر ۱۰ تا ۱۵ سال با آزمون دانکن. حروف لاتین نامتشابه، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.



شکل ۵- روند تغییرات درصد رطوبت در شیب و تردد‌های مختلف در مسیر ۱۵ تا ۲۰ سال با آزمون دانکن. حروف لاتین نامتشابه، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

نشد. همین‌طور در همه مسیرها درصد رطوبت در هر سه جهت رد چرخ کمتر از منطقه شاهد است، ولی در مسیر ۲۰-۱۵ سال در جهت رد چرخ وسط و راست درصد رطوبت حتی بیشتر از منطقه شاهد به‌دست آمد.

نتایج درصد تغییرات رطوبت در جهت‌های مختلف رد چرخ در مقایسه با منطقه شاهد در جدول ۷ نشان داد که درصد کاهش رطوبت با افزایش سن رها شدن روند کاهشی داشته است، به‌طوری که پس از گذشت

### اثر تغییرات جهت رد چرخ در تغییرات درصد رطوبت

نتایج تحلیل درصد رطوبت در جهت‌های مختلف رد چرخ در مسیرهای چوبکشی در جدول ۶ نشان‌دهنده این است که جهت رد چرخ نسبت به شیب و شدت ترافیک‌های مختلف اثر کمتری بر تغییرات درصد رطوبت دارد. به‌جز مسیر ۱۰-۵ سال که در هر سه جهت رد چرخ تفاوت معنی‌دار با منطقه شاهد دارد در بقیه مسیرها تفاوت معنی‌دار مشاهده

۲۰ سال درصد رطوبت بیشتر از منطقه شاهد است. همچنین درصد کاهش در رد چرخ وسط نسبت به رد چرخ‌های چپ و راست کمتر بوده است. بیشترین و کمترین درصد کاهش رطوبت در مسیرهای ۱۰-۵ و ۲۰-۱۵ سال در رد چرخ چپ به مقدار ۲۶/۷۰ و ۱/۸۰ درصد بوده است. در مسیر ۲۰-۱۵ سال درصد رطوبت در مقایسه با منطقه شاهد در رد چرخ وسط و راست به مقدار ۲ و ۵/۲۰ درصد افزایش داشته است.

جدول ۶- درصد رطوبت (میانگین  $\pm$  اشتباه معیار) در جهت‌های مختلف رد چرخ در مسیر چوبکشی\*

سن مسیر چوبکشی (سال)	جهت رد چرخ			
	شاهد	چپ	وسط	راست
۰-۵	۳۹/۸۰۷ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۳۵/۵۶۹ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۸۶	۳۶/۵۲۲ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۳۴/۹۶۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷
۵-۱۰	۵۴/۴۷۶ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۳۹/۹۳۵ <sup>b</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۴۲/۵۹۸ <sup>b</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۴۱/۲۱۱ <sup>b</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷
۱۰-۱۵	۵۰/۴۰۶ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۴۸/۵۴۶ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۴۴/۲۷۶ <sup>ab</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۴۴/۱۶۳ <sup>ab</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷
۱۵-۲۰	۴۱/۲۷۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۴۰/۵۳۱ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۴۲/۰۹۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷	۴۳/۴۲۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۶۷

\* حروف لاتین نامتشابه، نشانه معنی دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

جدول ۷- درصد تغییرات رطوبت در جهت‌های مختلف رد چرخ

سن مسیر (سال)	چپ	وسط	راست
۰-۵	-۱۰/۶۴	-۸/۲۵	-۱۲/۱۶
۵-۱۰	-۲۶/۷۰	-۲۱/۸۰	-۲۴/۳۵
۱۰-۱۵	-۳/۷۰	-۱۲/۱۶	-۱۲/۳۸
۱۵-۲۰	-۱/۸۰	+۲	+۵/۲۰

+ نشان‌دهنده بیشتر بودن درصد رطوبت در مسیر چوبکشی نسبت به منطقه شاهد

سنی معین، فقط مسیر ۰-۵ سال تفاوت معنی‌داری با منطقه شاهد دارد. کمترین درصد رطوبت در مسیر ۰-۵ سال و بیشترین درصد رطوبت در مسیر ۱۰-۱۵ سال به‌دست آمده است. پس از گذشت ۲۰ سال درصد رطوبت تفاوت معنی‌داری با منطقه شاهد ندارد، ولی ۹/۷۰ درصد کمتر بوده است.

### روند بازیابی درصد رطوبت در دوره ۲۰ ساله در مقایسه با منطقه شاهد

روند بازیابی درصد رطوبت در سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری در جدول ۸ نشان‌دهنده بازیابی درصد رطوبت با گذشت ۲۰ سال از عملیات نسبت به منطقه شاهد بعد از عملیات بهره‌برداری است، به طوری که در بین چهار مسیر چوبکشی با بازه

جدول ۸- تغییرات (میانگین  $\pm$  اشتباه معیار) درصد رطوبت در سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری\*

درصد رطوبت	سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری			
	شاهد	۵ تا ۰	۱۰ تا ۵	۱۵ تا ۱۰
۴۶/۴۹۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۹۳۳	۳۵/۹۰۳ <sup>b</sup> $\pm$ ۱/۰۲۹	۴۱/۹۴۴ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۰۲۶	۴۵/۹۱۱ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۰۲۶	۴۱/۹۷۶ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۰۲۶

\* حروف لاتین نامتشابه، نشانه معنی دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

## بحث

تغییر رطوبت خاک در پاسخ به کوبیدگی خاک در اثر فعالیت‌های مدیریتی جنگل از جمله بهره‌برداری جنگل و آماده کردن دیوها در بسیاری از کشورها از جمله آمریکا و کانادا (Greacen and Sands, 1980; Rab, 2004; Ampoorter *et al.*, 2007) به‌وفور گزارش شده است. از طرف دیگر، نتایج نشان داد که بعد از گذشت ۲۰ سال درصد رطوبت خاک تمایل به بازیابی (منظور نزدیکی رطوبت خاک مسیرهای کوبیده‌شده، به رطوبت خاک مناطق شاهد است) دارد که این یافته‌ها با نتایج تحقیقات (Froehlich, 1979; Rab, 2004; Zenner *et al.*, 2007) و Ezzati *et al.* (2012) همخوانی دارد. در مسیر ۵-۰ سال در شیب ۲۰-۰ درصد هر سه شدت ترافیک با منطقه شاهد تفاوت معنی‌دار ندارد، ولی در شیب بالای ۲۰ درصد هر سه شدت ترافیک تفاوت معنی‌داری با منطقه شاهد دارند. در مسیر ۵-۱۰ سال، منطقه شاهد با تمام شدت ترافیک‌ها و هر دو کلاسه شیب به‌جز ترافیک زیاد در شیب ۲۰-۰ درصد تفاوت معنی‌داری دارد. در مسیر ۱۵-۱۰ سال شدت ترافیک‌های کم و متوسط در هر دو کلاسه شیب با منطقه شاهد تفاوت معنی‌دار ندارد، ولی در شدت ترافیک زیاد این اختلاف معنی‌دار است. در مسیر ۲۰-۱۵ سال منطقه شاهد با مسیر چوبکشی با سه کلاسه ترافیک در دو طبقه شیب از لحاظ درصد رطوبت تفاوت معنی‌دار ندارد.

رطوبت نزدیک به اشباع، رطوبت مزرعه و حد روانی خاک مهم‌ترین معیارها برای تعیین قابلیت ترافیک‌پذیری یک خاک است. ظرفیت رطوبتی خاک، لایه لاشبرگ آلی و بزرگی نیروی وارد به خاک سه جزء موثر در هرم کوبیدگی و به‌دنبال آن سرعت بازیابی خاک‌اند (Horn *et al.*, 2004; Rab *et al.*, 2005). رطوبت، میزان باربری و تراکم‌پذیری خاک مهمترین فاکتور تعیین‌کننده شدت و بزرگی وزن مخصوص ظاهری هنگام اعمال بار روی خاک محسوب می‌شود (Terzaghi and Peck, 1967). نتایج تجزیه و تحلیل درصد رطوبت در دو طبقه شیب نشان داد که با

افزایش شیب مسیر چوبکشی درصد رطوبت کاهش بیشتری دارد، به‌طوری که این درصد کاهش در شیب بالای ۲۰ درصد بیشتر از شیب ۲۰-۰ درصد بوده است. چنین نتایجی با یافته‌های Ezzati *et al.* (2012) که اعلام کردند با افزایش شیب، رطوبت در مسیرهای چوبکشی کاهش پیدا کرده است همخوانی دارد. درصد رطوبت در تمام مسیرهای چوبکشی (به‌جز شیب بالای ۲۰ درصد در مسیر ۵-۰ و ۵-۱۰ سال) با منطقه شاهد تفاوت معنی‌داری ندارد و با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی درصد رطوبت در هر دو طبقه شیب حتی بیشتر از منطقه شاهد است که نشان از بازیابی درصد رطوبت را بعد از عملیات چوبکشی می‌دهد. Siegel-Issem *et al.* (2005) گزارش کردند که بین وزن مخصوص ظاهری و ظرفیت رطوبتی خاک همبستگی منفی وجود دارد و این همبستگی نشان‌دهنده کاهش ظرفیت رطوبتی با افزایش وزن مخصوص ظاهری است. در این مطالعه هم مشخص شد که وزن مخصوص ظاهری در شیب بالای ۲۰ درصد بیشتر از شیب ۲۰-۰ درصد است، بنابراین افزایش وزن مخصوص ظاهری در شیب‌های بیشتر سبب کاهش رطوبت خاک شده است. روند تغییرات رطوبت خاک در شدت ترافیک‌های زیاد، متوسط و کم، روند نامنظمی داشته است. در تمام مسیرهای چوبکشی و در هر سه کلاسه ترافیک (به‌جز مسیر ۵-۱۰ سال و شدت ترافیک زیاد مسیر ۱۵-۱۰ سال) رطوبت وزنی خاک در مقایسه با منطقه شاهد بازیابی شده است و با آن تفاوت معنی‌داری ندارد؛ اما در مقایسه کاهش درصد رطوبت در شدت ترافیک زیاد و کم با منطقه شاهد مشخص است که در تمام مسیرهای چوبکشی (به‌جز ترافیک زیاد نسبت ۲۰-۱۵ سال)، درصد رطوبت در ترافیک زیاد نسبت به ترافیک کم کاهش بیشتری دارد. در ترافیک شدید مسیر ۲۰-۱۵ سال، رطوبت به اندازه ۶/۴۲ درصد نسبت به منطقه شاهد افزایش داشته است. خاک‌های تخریب‌شده با وزن مخصوص زیاد به دلیل نزدیک شدن ذرات حین کوبیدگی و جهت‌گیری مجدد ذرات

خاک، عدم بازیابی وزن مخصوص ظاهری خاک و تخلخل خاک باشد. تغییرات رطوبت خاک در جهت‌های مختلف رد چرخ روند نامنظمی دارد و از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند. در تمام مسیرهای چوبکشی به‌جز مسیر ۱۰-۵ سال، رطوبت خاک در تمام جهت‌های رد چرخ در منطقه شاهد بازیابی شد و با آن تفاوت معنی‌داری نداشت. در مسیر ۲۰-۱۵ سال رطوبت خاک در محل رد چرخ‌های وسط و راست نه تنها بازیابی شده، حتی بیشتر به‌دست آمده است. عدم بازیابی رطوبت خاک در مسیر ۱۰-۵ سال ممکن است به‌دلیل بافت خاک مسیر و رطوبت خاک در حین اجرای عملیات باشد. در رطوبت زیاد خاک حین عملیات چوبکشی، عبور ماشین‌ها همراه با بینه سبب ایجاد شیارهای در محل چرخ‌ها و عبور بینه می‌شود. عبور بیشتر ماشین‌ها و بینه در این شیارها سبب شکسته شدن دانه‌بندی خاک به‌دلیل بکسوات چرخ‌ها و در نهایت افزایش وزن مخصوص ظاهری نسبت به حالت عادی تا ۱۳ درصد (Poyry, 1992; Chanasyk et al., 2003) و کاهش رطوبت خاک می‌شود. تغییرات رطوبت خاک در سال‌های مختلف پس از عملیات بهره‌برداری نشان داد که رطوبت خاک از مسیر ۵-۰ سال تا مسیر ۲۰-۱۵ سال از ۳۵/۹۰۳ درصد به ۴۱/۹۷۶ درصد رسیده است که نشان از بازیابی رطوبت با گذشت زمان دارد. رطوبت خاک در بین تمام مسیرهای چوبکشی فقط در مسیر ۵-۰ سال با منطقه شاهد تفاوت معنی‌دار دارد. با گذشت ۲۰ سال از عملیات بهره‌برداری، رطوبت خاک در مسیرهای چوبکشی با منطقه شاهد تفاوت معنی‌داری ندارد، ولی به اندازه ۹/۷۰ درصد کمتر از منطقه شاهد است. با توجه به این نتایج می‌توان استنباط کرد که فاکتور رطوبت وزنی خاک به نسبت وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ در مدت زمان کمتری بازیابی می‌شود (Ezzati et al., 2012).

به‌طوری کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بیشترین تغییرات در خصوصیات فیزیکی خاک در شیب بیش از

خاک، دارای کمترین حجم آب است (Horn et al., 2004). همان‌طور که پیشتر اشاره شد با افزایش تردد، کوبیدگی خاک سبب کاهش حجم منافذ خاک می‌شود که این کاهش حجم افزایش وزن مخصوص و کاهش رطوبت خاک را در پی دارد که افزایش بیشتر وزن مخصوص ظاهری و کاهش درصد رطوبت در ترافیک زیاد در این مطالعه این مطلب را تأیید می‌کند. بازیابی رطوبت خاک در هر سه شدت ترافیک مسیر ۵-۰ سال شاید به‌دلیل کوبیدگی خاک در سال‌های اولیه بعد از بهره‌برداری و سفت شدن خاک بوده باشد که این سفت شدن مانع از دست دادن رطوبت و افزایش رطوبت نسبت به سایر مسیرهای چوبکشی بوده باشد. در خاک‌های جنگلی وجود و ضخامت لایه لاشبرگ در قابلیت کوبیده شدن خاک بسیار اهمیت دارد، به‌طوری که این لایه از یک‌طرف موجب حفظ رطوبت خاک و افزایش تخلخل و نفوذپذیری، و از طرف دیگر سبب افزایش قابلیت تحمل خاک در اثر تنش وارد به آن و جلوگیری از کوبیده شدن خاک می‌شود (Greacen and Sands, 1980). بازیابی رطوبت خاک با گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی ممکن است به دلایلی از جمله رطوبت کم حین عملیات، وجود لایه لاشبرگ و از همه مهم‌تر گذشت ۲۰ سال از عملیات چوبکشی باشد. تغییرات رطوبت خاک تحت اثر متقابل شیب و ترافیک نشان می‌دهد که در شیب و شدت ترافیک‌های زیاد رطوبت خاک کاهش بیشتری دارد. تغییرات رطوبتی خاک ممکن است بسته به نوع بافت خاک متغیر باشد، به‌طوری که خاک‌های رسی تا رسی لومی به‌دلیل سهم زیاد تخلخل‌های ریز، ظرفیت نگهداری یادی دارند و در اثر تردد به‌راحتی دچار کوبیدگی می‌شوند. در عوض در خاک‌های ماسه‌ای به‌دلیل سهم بیشتر تخلخل‌های درشت نسبت به تخلخل‌های ریز ظرفیت نگهداری رطوبت کم است که سبب می‌شود کوبیدگی کمتر و سرعت بازیابی بیشتر شود (Ampoorter et al., 2007). در این مطالعه هم کمتر بودن رطوبت خاک و عدم بازیابی آن در مسیر ۱۰-۵ سال ممکن است به‌دلیل عواملی از جمله بافت

Anderson, H., D. Boddington, and H. Van Rees, 1992. The long-term effects of saw log-only harvesting on some soil physical and chemical properties in East Gippsland. Department of Conservation and Environment, Victoria, Australia, 29 pp.

Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman, 1996. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran JW, AJ Jones (Eds.) Methods for assessing soil quality, *Soil Science Society of America Journal*, 49: 123-143.

Arvidsson, J., A. Trautner, J.J.H. Van den Akker, and P. Schjonning, 2001. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden. II. Soil displacement during wheeling and model computations of compaction, *Soil and Tillage Research*, 60(1-2): 79-89.

Ballard, T.M., 2000. Impacts of forest management on northern forest soils, *Forest Ecology and Management*, 133: 37-42.

Barzegar, A.R., H. Nadian, F. Heidari, S.J. Herbert, and A.M. Hashemi, 2006. Interaction of soil compaction, phosphorus and zinc on clover growth and accumulation of phosphorus, *Soil and Tillage Research*, 87: 155-162.

Block, R., K.C.J. Van Rees and D.J. Pennock, 2002. Quantifying harvesting impacts using soil compaction and disturbance regimes at a landscape scale, *Soil Science Society American Journal*, 66: 1669-1676.

Buckley, D.M., T.R. Crow, E.A. Nauertz, and K.E. Schulz, 2003. Influence of skid and roads on understory plant richness and composition in managed forest landscape in Upper Michigan, USA, *Forest Ecology and Management*, 175: 509-520.

Chanasyk, D.S., I.R. Whitson, E. Mapfuma, J.M. Burke, and E.E. Prepas, 2003. The wildfire on soils and hydrology in temperate forests: A baseline to develop hypotheses for the BorealPlain, *Journal of Environmental Engineering*, 2: 51-62.

Croke, J., P. Hairsine, and P. Fogarty, 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.

۲۰ درصد، شدت ترافیک زیاد و محل عبور لاستیک‌های ماشین اتفاق افتاده و بازیابی خصوصیات خاک در این شرایط کمتر بوده است. رطوبت خاک، اگرچه با گذشت ۲۰ سال کمتر از منطقه شاهد است، از نتایج مشخص است که با آن تفاوت معنی‌داری ندارد. به‌طور کلی می‌توان گفت برای بازیابی کامل خصوصیات فیزیکی خاک، زمان بیشتر از ۲۰ سال لازم است، هرچند که نتایج نشان داد بازیابی رطوبت خاک روند طولانی‌تری را احتیاج دارد. بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک، فرایندی طولانی است که برای اظهار نظر قطعی در مورد بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک باید به مطالعات بیشتر در مدت زمان‌های طولانی‌تر پرداخته شود. چیزی که مشخص است این است که برای بازیابی کامل باید مدت زمان بیشتری از عملیات چوبکشی سپری شود. برای کاهش تخریب و تغییرات در خصوصیات فیزیکی خاک بهتر است اقداماتی از جمله طراحی مسیره‌های چوبکشی دائمی، و انجام ندادن عملیات چوبکشی تا حد امکان در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد صورت گیرد.

به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که اقدامات مهم برای محدود کردن تأثیرات منفی ورود ماشین‌آلات چوبکشی به خاک‌های حساس جنگل‌های شمال عبارتند از: ۱- باقی نگه‌داشتن مازاد مقطوعات چوبی بر روی زمین برای تقویت خاک سطحی؛ ۲- کاهش فشار بین ماشین‌آلات و خاک تا حد ممکن؛ ۳- منتظر ماندن برای شروع عملیات چوبکشی برای شرایط خشک خاک، هنگامی که ظرفیت تحمل بار خاک بیشتر است؛ ۴- برنامه‌ریزی و طراحی مناسب عملیات چوبکشی.

## منابع

Ampoorter, E., R. Goris, W.M. Cornelis, and K. Verheyen, 2007. Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils, *Forest Ecology and Management*, 241: 162-174.

- Demir, M., E. Makineci, and E. Yilmaz, 2007. Investigation of timber harvesting impacts on herbaceous cover, forest floor and surface soil properties on skid road in an oak (*Quercus petrea* L.) stand, *Building and Environment*, 42: 1194-1199.
- Dickerson, B.P., 1976. Soil compaction after tree-length skidding in Northern Mississippi, *Soil Science Society of America Journal*, 40: 965-966.
- Dykstra, P.R. and M.P. Curran, 2006. Tree Growth on Rehabilitated Skid Roads in Southeast British Columbia, *Forest Ecology and Management*, 133: 145-156.
- Eisenbies, M., H. Aust, J.A. Burger, and M.B. Adams, 2007. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians- a review, *Forest Ecology and Management*, 242: 77-98.
- Ezzati, S., A. Najafi, M.A. Rab, and E. 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*, 45(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.
- Froehlich, H.A., D.W.R. Milers and R.W. Robbins, 1985. Soil bulk density recovery on compacted skid trails in central Idaho, *Soil Science Society of America Journal*, 49: 1015-1017.
- Gaertig, T., H. Schack-Kirchner, E.E. Hildebrand and K. Van Wilpert, 2002. The impact of soil aeration on oak decline in southwestern Germany, *Forest Ecology and Management*, 159: 15-25.
- Goutal, N., P. Renault, and J. Ranger, 2013. Forwarder traffic impacted over at least four years soil air composition of two forest soils in northeast France, *Geoderma*, 193-194: 29-40.
- Greacen, E.L., and R. Sands, 1980. Compaction of forest soils: a review, *Australian Journal of Soil Research*, 18: 163-189.
- Hartmann, M., P. Niklaus, S. Zimmermann, S. Schmutz, J. Kremer, K. Abarenkov, P. Lüscher, F. Widmer, and B. Frey, 2014. Resistance and resilience of the forest soil microbiome to logging-associated compaction, *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 8: 226-244.
- Horn R., J. Vossbrink, and S. Becker, 2004. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties, *Soil and Tillage Research*, 79: 207-219.
- Jakobsen, B.F., 1983. Persistence of compaction effects in a forest Kraznozom, *Australian Journal of Forest Research*, 13: 305-308.
- Jordan, D., F. Li, F.J. Ponder, E.C. Berry, V.C. Hubbard, and K.Y. Kim, 1999. The effects of forest practices on earthworm populations and soil microbial biomass in a hardwood forest in Missouri, *Applied Soil Ecology*, 13: 31-38.
- Kolka, R.K., and M.F. Smidt, 2005. Effects of forest road amelioration techniques on soil bulk density, surface runoff, sediment transport, soil moisture and seedling growth, *Forest Ecology and Management*, 202: 313-323.
- Koorevaar, P., G. Menelik, and C. Dirksen, 1983. Elements of soil physics," Elsevier, Amsterdam.
- Krage, R., B.K. Higgings, and R. Rottwell, 1986. Logging and soil disturbance in southeast British Columbia, *Canadian Journal of Forest Research*, 16: 1345-1354.
- Leonard, R., J. Debbie Page, and H.S., Han, 2007. Effects of machine traffic on the physical properties of Ash-cap soils, USDA Forest Service Proceedings RMRS. 69-82.
- Mace, A.C., 1971. Recovery of forest soils from compaction by rubber-tired skidders, Minnesota Forestry Research Notes No. 266. University of Minnesota, St. Paul.
- Makineci, E., M. Demir, and E. Yilmaz 2007. Long-term harvesting effects on skid road in a fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.) plantation forest, *Building and Environment*, 42: 1538-1543.

- McCurdy, D., B. Stewart, P. Neily, E. Quigley, and K. Keys. 2004. Post-harvest soil disturbance and permanent structure survey," Ecosystem Management Group Forest Management Planning. Nova Scotia Department of Natural Resources, 17 pp.
- McMahon, S.D., 1995. Accuracy of two ground survey methods for assessing site disturbance, *Journal of Forest Engineering*, 6: 27-34.
- Murphy, G., 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.
- Page-Dumroese, D.S., M.F. Jurgensen, A.E. Tiarks, F. Ponder Jr., F.G. Sanchez, R.L. Fleming, J.M. Kranabetter, R.F. Powers, D.M. Stone, J.D. Elioff, and D.A. Scott, 2006. Soil physical property changes at the North American, long-term soil productivity study sites: 1 and 5 years after compaction. *Candaian Journal of Forest Research*, 36: 551-564.
- Powers, R.F., A.E. Tiarks, and J.R. Boyle, 1998. Assessing soil quality: practicable standards for sustainable forest productivity in the United States. In: Davidson EA et al. (ed), the contribution of soil science to the development of an implementation of criteria and indicators of sustainable forest management," SSSA Spec. Publ. 53, SSSA, Madison, WI, 52-80.
- Pöyry, J. 1992. Forest Soils, A technical paper for a generic environmental impact statement on timber harvesting and forest management in Minnesota. Minnesota Environmental Quality Board, 658 Cedar Street, Paul, Minnesota 55155, 199 pp.
- Rab, A., J. Bradshaw, R. Campbell, and S. Murphy, 2005. Review of factors affecting disturbance, compaction and traffic ability of soils with particular reference to timber harvesting in the forests of south-west Australia, Department of Conservation and Land Management SFM Technical Report, 2. 160 pp.
- Rab, M.A., 1994. Changes in physical properties of a soil associated with logging of Eucalyptus regnans forest in southeastern Australia, *Forest Ecology and Management*, 70: 215-229.
- Rab, M.A., 1996. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the Eucalyptus regnans forest of southeastern Australia, *Forest Ecology and Management*, 84 (1-3): 159-176.
- 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.
- Siegel-Issem, C.M., J.A. Burger, R.F. Powers, F. Ponder, and S.C. Patterson, 2005. Seedling root growth as a function of soil density and water content, *Soil Science Society American Journal*, 69: 215-226.
- Sinnett, D., J. Poole, and T.R. Hutchings, 2008. A comparison of cultivation techniques for successful tree establishment on compacted soil, *Forestry*, 81: 663-679.
- Suvinon, A., 2007. Economic comparison of the use of tyre wheel chains and bogie tracks for timber extraction, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27: 81-102.
- Tan, X., X.C. Scott, and R. Kabzems, 2005. Effects of soil compaction and forest floor removal on soil microbial properties and N transformations in a boreal forest long-term soil productivity study, *Forest Ecology and Management*, 217: 158-170.
- Terzaghi, K., and R.B. Peck, 1967. Soil mechanics in engineering practice, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York. 250 pp.
- Thorud, D.B., and J.R. Frissel, 1976. Time changes in soil density following compaction under an oak forest, Minnesota Forestry Notes No. 257. University of Minnesota, St. Paul, MN.
- Tiarks, A.E., M.A. Buford, R.F. Powers, J.F. Ragus, D.S. Page-Dumroese, F.J. Ponder, and D.M. Stone, 1997. North-American long-term soil productivity research program, In: Proceedings of the National Silviculture Workshop, Warren, Pennsylvania, 140-147.
- Whalley, W.R., E. Dumitru, and A.R. Dexter, 1995. Biological effects of soil compaction, *Soil and Tillage Research*, 35: 53-68.
- Zenner, E.K., J.T. Fauskee, A.L. Berger, and K.J. Puettmann, 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.

## Soil moisture recovery after timber harvest cessation on abandoned skid trails after 20 years

H. Sohrabi<sup>1</sup>, M. Jourgholami<sup>2\*</sup>, B. Majnounian<sup>3</sup>, and G. Zahedi Amiri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>2</sup>Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>3</sup>Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 16 May 2015; Accepted: 8 March 2016)

### Abstract

Forest soil conservation as a production base during the harvesting and skidding operations is necessary, until the amounts of damage and recovery time of soil characteristics after the operation are minimized. This research was carried out in two districts; Patom and Namkhaneh of Forest Kheyrud in order to assess the environmental impact of slope, traffic and rutting location on soil physical properties and recovery them over 20 years compared with the controls. Four abandoned skid trails were selected in downward direction and different ages and in each of these skid trails, three traffic classes and in each traffic class, two slope classes were specified. For measuring the soil moisture, sample plots of 10×4 m were located in the treatments. The results showed that in 15-20 year skid trail, soil moisture in slope, traffic and rutting location were not significantly different with control area, but the values were still higher than the control area. Over 20 years of skidding operations, soil moisture was 9.7% lower than control area. However, these differences were not statistically significant. The results indicated that with increasing abandoned age of skid trails, the soil moisture tend to have more recovery rate.

**Keywords:** Environmental assessment, Forest soil recovery, Skid trail, Soil moisture.