پژوهش‌های محیط‌زیست، سال 4، شماره 8، پاییز و زمستان 1392، از صفحه 55 تا 64

آثار محیط‌زیستی عملیات چوب‌کشی بر به هم‌خوردگی ظاهری و نفوذپذیری خاک در جنگل خیرود

مقداد جورغلامی*[1]، مصطفی گلیج[2]

1 استادیار گروه جنگلداری دانشکده منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
2 دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی جنگل دانشکده منابع‌طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: 1390/7/3؛ تاریخ پذیرش: 1392/11/21)

چکیده

در سال‌های اخیر، نگرانی‌ها در ارتباط با کوبیدگی خاک، جابه‌جایی، به هم‌خوردگی ظاهری و حاصل‌خیزی بلند مدت رویشگاه، گسترش یافته است. ورود ماشین‌آلات مکانیزه بهره‌برداری به توده‌های جنگلی، سبب کوبیده شدن خاک‌ها به سطحی می‌شود که ممکن است مانع از رویش درختان شود. این مطالعه، به‌منظور ارزیابی سیستم تلفیقی چوب‌کشی با اسکیدرهای چرخ لاستیکی و سیستم سنتی حمل در یک توده در پارسل 223 بخش نمخانه جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود انجام شد. اهداف این تحقیق، عبارت از اندازه‌گیری به هم‌خوردگی، بررسی معنی‌داری اثر سیستم تلفیقی بهره‌برداری بر مقاومت به نفوذ در عمق‌های مختلف خاک و ارتباط بین به هم‌خوردگی ظاهری خاک و مقاومت به نفوذ می‌باشد. مقدار مقاومت به نفوذ در پنج سطح به هم‌خوردگی ظاهری خاک و چهار عمق خاک (در 5، 10، 15 و 20 سانتی‌متری از سطح خاک) اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که نوع به هم‌خوردگی و عمق خاک و اثر متقابل آن‌ها به لحاظ آماری دارای اثر معنی‌داری بر مقدار مقاومت به نفوذ خاک هستند. این نتیجه دلالت دارد که تفاوت‌ها در مقادیر مقاومت به نفوذ بین کلاسه‌های به هم‌خوردگی به عمق خاک از سطح زمین بستگی دارد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، اثر مستقل کلاسه عمق از نظر آماری معنی‌داری است و می‌توان از آن نتیجه گرفت که مقاومت به نفوذ با افزایش عمق خاک تغییر می‌یابد. همچنین با افزایش عمق در هر پنج کلاسه به هم‌خوردگی خاک، مقاومت به نفوذ افزایش می‌یابد. براساس نتایج به‌دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که کلاسه‌بندی به هم‌خوردگی ظاهری خاک از نظر آماری برای پیش‌بینی مقاومت به نفوذ معنی‌دار بوده و کاربرد دارد.

کلید واژه‌ها: آثار محیط‌زیستی، خروج چوب، به هم‌خوردگی خاک، استحکام خاک، مقاومت به نفوذ

* نویسنده مسوول: mjgholami@ut.ac.ir Email:

سرآغاز

اهداف بهره‌برداری جنگل در واقع انجام طرح‌ها و عملیاتی است که به‌طور عملی و فنی قابل انجام بوده، از لحاظ اقتصادی قابل قبول و از لحاظ محیط‌زیستی سالم و بی‌خطر باشد. جهت دست‌یابی به این اهداف، لازم است که بهترین برنامه‌ریزی‌ها صورت گرفته و به‌طور پیوسته بهبود یابد (جورغلامی و همکاران، 1392). بهره‌برداری جنگل شامل مراحل فنی و اجرایی است که برای برداشت چوب، فراهم‌سازی عرصه برای زادآوری و برقراری ثبات و بهبود اکوسیستم جنگل در محدوده وسیعی به لحاظ زمانی و مکانی صورت می‌گیرد (Heinemann, 2004). بهره‌برداری یک فعالیت ضروری در مدیریت جنگل است و شامل تمام فعالیت‌ها از قطع درخت تا تحویل چوب به کارخانه می‌باشد که اگر به درستی برنامه‌ریزی و اجرا شود، سود پیش‌بینی شده را محقق خواهد ساخت. در مقابل، طراحی و اجرای ضعیف برنامه‌ها پرهزینه خواهد بود و منجر به صدمات محیط‌زیستی، همچنین افت زیاد چوب، استفاده محدود از منابع موجود و صدمه به نیروی کار می‌شود (Sessions et al., 2007) .

نگرانی‌ها در ارتباط با کوبیدگی خاک، جابه‌جایی، به هم‌خوردگی ظاهری و حاصل‌خیزی بلندمدت رویشگاه در سال‌های اخیر گسترش یافته است. ورود ماشین‌آلات مکانیزه بهره‌برداری به توده‌های جنگلی، سبب کوبیده شدن خاک‌ها به سطحی می‌شود که ممکن است مانع از رویش درختان شود (Miller & Anderson, 2002; Landsberg et al., 2003). هرچند نقصان رویش، با توجه به نوع گونه‌های درختی، نوع خاک، بافت خاک، عمق خاک و رطوبت خاک متفاوت است. در جنگل‌های ملی ایالات متحده، محدودیت‌هایی به‌منظور برقراری مقدار قابل قبول به هم‌خوردگی خاک بر اثر ورود ماشین‌های بهره‌برداری وضع شده است (USFS, 1998). این محدودیت، افزایش 20 درصدی وزن مخصوص ظاهری در بیش از 20 درصد سطح مورد عمل را به‌عنوان سطح خسارت‌آور به هم‌خوردگی در نظر می‌گیرد. سایر محققان، افزایش مقاومت خاک را به‌عنوان شاخصی برای به هم‌خوردگی خسارت‌آور در نظر می‌گیرند. مقدار مقاومت حدود 3000 کیلوپاسکال (kPa) یا 3 مگاپاسکال (mPa) به‌عنوان آستانه زیستی بالقوه ذکر شده است که در این حد، رویش درخت به مقدار قابل توجه کاهش می‌یابد (Powers & Avers, 1995; Powers et al., 1998). یکی از راه‌کارها عبارت از تعیین یک آستانه براساس رطوبت خاک به‌ویژه در خاک‌های حساس (Nugent et al., 2003) است. راه‌کار بهینه به‌منظور تعیین آثار به هم‌خوردگی خاک در توده‌های جنگلی، پایش رویش درخت و تولید محصول به‌عنوان وسیله اعتبارسنجی برآوردها، استفاده از شاخص افزایش مقاومت خاک یا وزن مخصوص و نیز به هم‌خوردگی ظاهری است (Gomez et al., 2002; Murphy et al., 2004). Froelich (1979)، در یافته است که آثار به هم‌خوردگی خاک بر رویش درخت، پس از بهره‌برداری می‌تواند سال‌ها باقی بماند. پاسخ حاصل‌خیزی جنگل به به هم‌خوردگی خاک نه تنها به ویژگی‌های فیزیکی خاک، بلکه به رقابت پوشش کف جنگل هم بستگی دارد.

استفاده از تجهیزات مکانیزه برای قطع و خروج چوب‌آلات در عملیات بهره‌برداری جنگل، سبب تأثیر بر روی شرایط خاک جنگل می‌شود (Cromack et al., 1978; Greacen & Sands, 1980; Froehlich & McNabb, 1984). درجه و مقدار به هم‌خوردگی خاک‌های جنگلی به‌طور مستقیم با رویش آینده درختان (Miller et al., 1996; Parker et al., 2007) و پایداری اقتصادی مدیریت جنگل (Murphy et al., 2004)، مرتبط است. کوبیدگی خاک و کاهش رویش درخت در اغلب بررسی‌های انجام شده، بیشترین آثار منفی بر اثر تردد ماشین است. عواملی که روی استعداد توده‌های جنگلی در مقابل کوبیدگی اثر می‌گذارند، شامل وزن ماشین، وزن بار، نوع چرخ ماشین؛ زنجیری یا چرخ‌لاستیکی (Seixas & McDonald, 1997)، شرایط و عرض لاستیک (Aust et al., 1993)، الگوی اجرایی، سرعت حرکت، شدت و تعداد رفت و آمد، مقدار مواد آلی خاک، مقدار مازاد مقطوعات در سطح خاک (Wood et al., 2003)، بافت خاک و مقدار آب خاک (Gomez et al., 2002) هستند.

بررسی‌های زیادی به‌منظور تعیین مقدار به هم‌خوردگی خاک بر اثر سیستم‌ها و روش‌های مختلف بهره‌برداری انجام شده است. برای مثال، (Han et al., 2009) سیستم تمام تنه و گرده‌بینه کوتاه را مقایسه نموده و نتیجه گرفتند که هر دو سیستم به‌طور معنی‌داری مقاومت به نفوذ را در سطوح بالای رطوبت خاک افزایش می‌دهند. (Dodson et al., 2006) نتیجه گرفتند که

تفاوت معنی‌داری بین کوبیدگی خاک در دو توده بهره‌برداری‌شده و نشده وجود دارد. سیستم تلفیقی بهره‌برداری مکانیزه و سنتی، به‌طور بالقوه به دلایلی سبب به هم‌خوردگی گسترده در توده‌های جنگلی می‌شود. این سیستم تلفیقی نیازمند تردد بیشتر ماشین و حیوان در توده جنگلی است. بررسی‌های پیشین نشان دادند که کوبیدگی خاک به مقدار قابل توجهی در اولین ترددها افزایش می‌یابد. (Gent et al., 1984; Froehlich, 1979) تعیین کردند که کوبیدگی کامل خاک پس از 10 بار عبور روی می‌دهد. (Han et al., 2005) در بررسی سیستم گرده‌بینه کوتاه یافتند که مقاومت به نفوذ، به‌طور معنی‌داری بعد از تردد دوم ماشین فوروارد[1] افزایش نمی‌یابد. هرچند سیستم تلفیقی ممکن است دارای آثار بیشتری بر روی به هم‌خوردگی خاک جنگل باشد، زیرا نیازمند آن است که به تمام جنگل دسترسی داشته باشد و بر روی یک مسیر متمرکز نمی‌باشد. (McMohan, 1995) در تحقیق خود به‌منظور ارائه روش نمونه‌برداری مناسب برای به هم‌خوردگی ظاهری، روش ترانسکت نقطه‌ای با فاصله 30 متر را مناسب دانسته است.

مخدوم و خراسانی (1363)، آثار محیط‌زیستی برداشت چوب و تفرج در اکوسیستم‌های رسیده شمال ایران را مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که اثر بهره‌برداری بر روی خواص فیزیکی خاک بیش از اثر تفرج است، ولی اثر تفرج بر روی گیاهان بیشتر از اثر بهره‌برداری می‌باشد. در این راستا، پیشنهاد نمودند که راه‌حل اساسی برای حفاظت خاک در طول عملیات بهره‌برداری، استفاده از مسیرهای چوب‌کشی از پیش طراحی شده و ثابت در جنگل است. بیک‌وردی و همکاران (1383)، آستانه رطوبتی خاک را برای ورود ماشین‌آلات بهره‌برداری به مسیرهای چوب‌کشی با استفاده از نرم‌افزار For-Pro در جنگل خیرود تعیین نمودند و مشخص کردند که اثر ماشین چوب‌کشی بر روی خاک خشک به‌صورت کوبیدگی ظاهر شده و در خاک با رطوبت زیاد به‌صورت به‌هم‌خوردگی شدید افق‌های خاک ظاهر می‌شود. استفاده از سیستم سنتی حمل چوب آلات الواری، کاتینی و هیزمی که به‌صورت پراکنده در سطح پارسل برداشت شده وجود دارند، نیازمند ترددهای اضافی دارد که ممکن است سبب افزایش به هم‌خوردگی خاک شوند. بنابراین، انجام مطالعه برای تعیین سطح به هم‌خوردگی خاک در سیستم‌های تلفیقی که شامل چوب‌کشی با اسکیدرهای چرخ‌لاستیکی و سیستم سنتی حمل است، لازم و ضروری می‌باشد. اکثر تحقیق‌های پیشین بر روی سیستم‌های بهره‌برداری مکانیزه تمرکز یافته است. اما، روش سنتی که به همراه سیستم مکانیزه انجام می‌شود، نیاز به تعداد ترددهای بیشتری دارد که منتج به آثار بیشتری به خاک جنگل می‌شود. بنابراین، ارزیابی این سیستم تلفیقی بسیار مهم است. این تحقیق به هم‌خوردگی خاک را در سیستم تلفیقی مکانیزه و سنتی عملیات بهره‌برداری بررسی کرده است. اهداف این تحقیق عبارت از: اندازه‌گیری به هم‌خوردگی، بررسی معنی‌داری اثر سیستم تلفیقی بهره‌برداری بر مقاومت به نفوذ در عمق‌های مختلف خاک و ارتباط بین به هم‌خوردگی ظاهری خاک و مقاومت به نفوذ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

این تحقیق در پارسل 223 بخش نم‌خانه جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود انجام شد. مساحت این پارسل برابر 35 هکتار است. ارتفاع از سطح دریا 1055 تا 1135 متر و میزان بارندگی منطقه 1532 میلی‌متر است. شیوه بهره‌برداری و جنگل‌شناسی در پارسل مورد مطالعه به‌صورت تک‌گزینی بوده و جهت عمومی در منطقه شمال‌غربی است که دارای شیب کلی 30 درصد می‌باشد. گونه غالب منطقه راش (*Fagus orientalis* Lipskey.) است که با گونه‌های ممرز (*Carpinus betulus* L.)، افرا (*Acer velutinum* Bioss.) و توسکا (*Alnus subcordata* L.) همراه است. عملیات جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در خرداد و تیرماه 1390 انجام شد. سنگ مادری آهکی و خاک قهوه‌ای جنگلی با زه‌کشی مناسب و با بافت لومی‌رسی تا لومی و به خوبی زه‌کشی شده و دارای بافت لومی تا لومی‌رسی با عمق زیاد است. سطح خاک به‌طور معمول از لایه لاشبرگی با عمق 3 تا 8 سانتی‌متر پوشیده شده است. تعداد و موجودی حجمی در هکتار به‌ترتیب برابر با 242 اصله و 458 سیلو[2] است. در پارسل 223 در مجموع 316 اصله درخت (9 اصله در هکتار) از گونه‌های راش، ممرز، افرا و توسکا در سال 1389 نشانه‌گذاری شده است و حجم نشانه‌گذاری برابر 1142 متر مکعب (32 مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

روش پژوهش

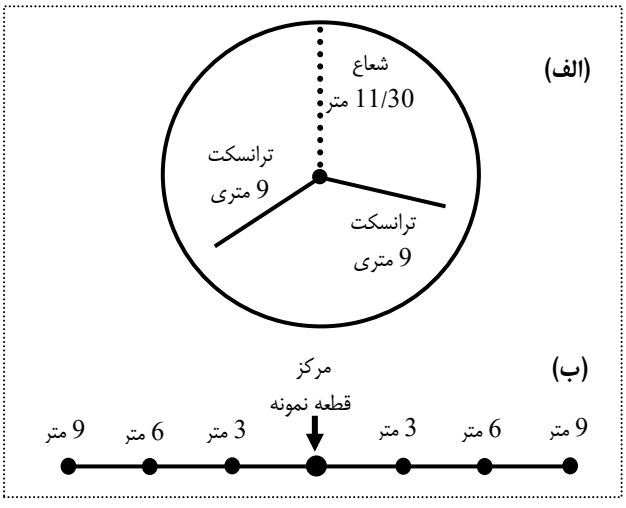
در منطقه‌ای به وسعت 10 هکتار، 18 مرکز قطعه نمونه در یک شبکه منظم تصادفی مربعی با اندازه 75×75 متر پیاده شدند تا نماینده‌ای از کل منطقه باشند. در مراکز شبکه، قطعه نمونه دایره‌ای شکل با مساحت 0/04 هکتار (شعاع ثابت برابر است با 11/30 متر) اندازه‌گیری شد (Bolding et al., 2009). در هر قطعه نمونه دو ترانسکت با طول 9 متر به‌صورت تصادفی با آزیموت‌های احتمالی °20 تا °360 (18 جهت ممکن با فاصله °۲۰) از مرکز استخراج شدند (شکل 1 الف). سپس در این قطعه نمونه‌ها قبل (نمونه شاهد) و پس از عملیات داده‌های به هم‌خوردگی ظاهری، مقاومت به نفوذ و رطوبت اندازه‌گیری شدند. به هم‌خوردگی ظاهری قبل و پس از عملیات با استفاده از 12 طبقه برآورد شد (جدول 1). همچنین، نمونه‌های خاک با استفاده از سیلندرهای فولادی نمونه‌گیری (طول 10 سانتی‌متر و قطر داخلی 5 سانتی‌متر) در هر قطعه نمونه جمع‌آوری شدند. در مرحله بعد، این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و در دمای 110 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت در داخل اون خشک شدند و دوباره عمل توزین نمونه‌ها انجام شد تا وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت آن‌ها به‌دست آید. در دو ترانسکت در هر قطعه نمونه، با استفاده از روش ترانسکت نقطه‌ای (McMahon, 1995) سه پروفیل برای مقاومت به نفوذ و سه مشاهده برای به هم‌خوردگی ظاهری در فواصل 3، 6 و 9 متری از مرکز قطعه نمونه در طول ترانسکت تصادفی ثبت شدند (شکل 1 ب). مقاومت به نفوذ و تغییرات آن با استفاده از پنترومتر دستی[3] در عمق 5 تا 20 سانتی‌متر (هر 5 سانتی‌متر یک نمونه) از سطح خاک اندازه‌گیری شد (شکل 1 ج).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

این آزمایش‌ها در قالب طرح فاکتوریل کاملا تصادفی اجرا شد تا به‌وسیله آن اثر نوع به هم‌خوردگی و عمق خاک بر روی تغییرات مقاومت به نفوذ ارزیابی و کمی شود. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا با آزمون کولموگراف- اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. در صورتی‌که اثر هر یک از عوامل در آنالیز واریانس یک طرفه و دو طرفه معنی‌دار باشد، از آزمون مقایسه‌ای چندگانه توکی[4] برای گروه‌بندی استفاده می‌شود. منبع تغییرات در داده‌های جمع‌آوری شده شامل تغییر پروفیل به پروفیل (108 پروفیل قبل و 108 پروفیل بعد از عملیات)، تغییر عمق به عمق (4 کلاسه عمق)، تغییر طبقه به هم‌خوردگی ظاهری (2 طبقه قبل از عملیات و 3 طبقه پس از عملیات) هستند. قبل از آغاز عملیات، تنها دو طبقه بدون به هم‌خوردگی و مسیر چوب‌کشی مشاهده شدند. پس از پایان عملیات، طبقه‌های بدون به هم‌خوردگی، به هم‌خوردگی سطحی، به هم‌خوردگی عمیق و مسیرهای چوب‌کشی و مسیرهای حمل سنتی مشاهده شدند.

یافته‌ها

به منظور تسهیل تجزیه و تحلیل‌ها، کدهای به هم‌خوردگی ظاهری خاک به 4 طبقه بدون به هم‌خوردگی (کد 1)، به هم‌خوردگی سطحی (کد 2 تا 5)، به هم‌خوردگی عمیق



شکل (1): (الف)قطعه نمونه دایره‌ای شکل برای نمونه‌برداری، (ب) مثالی از مرکز قطعه نمونه و دو ترانسکت برای نمونه‌برداری به هم‌خوردگی و مقاومت به نفوذ (Bolding et al., 2009) و (ج) اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ با استفاده از پنترومتر دستی

جدول (1): کدهای به هم‌خوردگی ظاهری خاک استفاده شده در طول جمع‌آوری داده‌ها (McMahon, 1995)

کد	نوع به هم‌خوردگی
	بدون به هم‌خوردگی
1	هیچ شواهدی از عبور گرده‌بینه و ماشین، عدم تماس با لاشبرگ و کف جنگل
	به هم‌خوردگی سطحی و کم عمق
2	بدون جابجایی لاشبرگ، شواهد به هم‌خوردگی حداقل
3	حذف لایه لاشبرگی، نمایان شدن لایه بالایی خاک
4	آمیختگی لایه لاشبرگی و لایه بالایی خاک
5	شاهد عبور چرخ ماشین یا گرده‌بینه (رد با عمق کمتر از 10/2 سانتی‌متر)
	به هم‌خوردگی عمیق
6	حذف لایه سطحی، ظاهر شدن لایه معدنی
7	ایجاد ساختار فرسایشی (شیار، گالی و ...)
8	شیاری شدن، شواهد عبور چرخ و گرده‌بینه (رد با عمق 10/2 تا 20/4 سانتی‌متر)
9	رد چرخ با عمق 10/2 تا 20/4 سانتی‌متر
	موارد مشخص و بدیهی
10	مسیرهای چوب‌کشی
11	جاده‌های حمل و نقل
12	عدم وجود خاک (کنده‌های درخت، سنگ‌ها)

شکل (2): (الف) به هم‌خوردگی ظاهری خاک در مسیر چوب‌کشی، (ب) مسیر حمل سنتی و (ج) نوارهای کشیدن گرده‌بینه

(کد 6 تا 9) و مسیر چوب‌کشی و مسیر حمل سنتی (کد 10) تقسیم شدند (شکل‌های 2 و 3). قبل از انجام عملیات، 93 درصد منطقه بدون به هم‌خوردگی و 7 درصد تحت پوشش مسیرهای چوب‌کشی و دپوها بودند. پس از عملیات چوب‌کشی با اسکیدر و سیستم سنتی حمل، 108 اندازه‌گیری به هم‌خوردگی ظاهری خاک نشان داد که 28 نمونه، که 26 درصد کل را شامل می‌شود، مربوط به مسیرهای چوب‌کشی، دپوها (20 درصد) و مسیرهای حمل سنتی (6 درصد) است. 38 نمونه دارای به هم‌خوردگی سطحی بودند که 35 درصد از کل نمونه‌ها را شامل می‌شوند و 42 درصد (39 نمونه) بدون هیچ به هم‌خوردگی بودند. پس از خشک کردن و توزین نمونه‌ها، میانگین رطوبت نمونه‌ها قبل و پس از عملیات به ترتیب 26/2 و 28/9 درصد بود. آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین این دو رطوبت از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($F=2/29$ ،$p=0/139$).

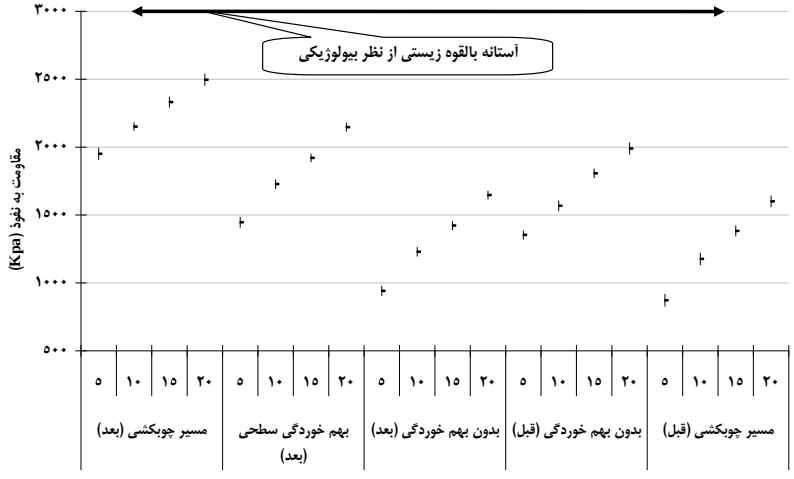
جدول (2)، آنالیز واریانس اثر نوع به هم‌خوردگی و عمق خاک بر مقدار مقاومت به نفوذ خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که نوع به هم‌خوردگی و عمق خاک و اثر متقابل آن‌ها، از نظر

آماری دارای اثر معنی‌داری بر مقدار مقاومت به نفوذ خاک هستند ($P<0/05$). این نتیجه دلالت دارد که تفاوت‌ها در مقادیر مقاومت به نفوذ بین کلاسه‌های به هم‌خوردگی، به عمق خاک بستگی دارد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، اثر مستقل کلاسه عمق، از نظر آماری معنی‌داری است و می‌توان از آن نتیجه گرفت که مقاومت به نفوذ با افزایش عمق خاک تغییر می‌یابد.

جدول (2): آنالیز واریانس اثر تعداد تردد و شیب بر وزن مخصوص ظاهری

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P_{value}
نوع به هم‌خوردگی	105185185/1	4	26296296/3	19406/3	0/00
عمق	27297038/6	3	9099012/8	6714/9	0/00
عمق× نوع به هم‌خوردگی	421629/1	12	35135/8	25/9	0/00

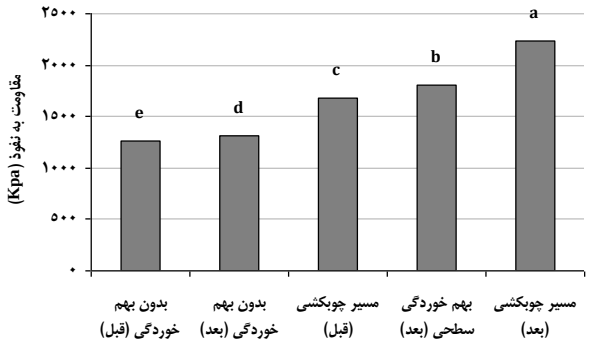
حدود اعتماد بین کلاسه‌های عمق خاک برای 5 طبقه به هم‌خوردگی ظاهری، دلالت بر این دارد که از نظر آماری بین کلاسه به هم‌خوردگی و عمق خاک تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل 3). مقدار مقاومت به نفوذ در هر کلاسه به هم‌خوردگی ظاهری خاک با افزایش عمق، افزایش می‌یابد. در این مطالعه، براساس مرور منابع، حد تعیین شده 3000 کیلوپاسکال برای مقاومت به نفوذ، از نظر بیولوژیکی، دارای اثر قابل توجه بر روی حاصل‌خیزی توده در آینده است. هر چند این حد، مقدار مطلق برای کاهش حاصل‌خیزی خاک نیست و ممکن است در مقادیر کمتر از این نیز، حاصل‌خیزی خاک کاهش یابد. براساس شکل (3)، هیچ کدام از تیمارهای به هم‌خوردگی، در قبل و پس از عملیات چوب‌کشی و حمل سنتی، دارای مقادیر بیش از 3000 کیلوپاسکال (به‌عنوان حد آستانه کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی) نیستند. این نتایج دلالت دارد بر این که نوع عملیات چوب‌کشی با اسکیدر و سیستم سنتی حمل، تغییرات قابل توجهی بر روی آستانه بیولوژیکی مقاومت به نفوذ خاک در کلاسه‌های عمق ندارد.



شکل (3): میانگین مقاومت به نفوذ (PR) به کیلوپاسکال با حدود اعتماد 95 درصد برای 5 طبقه به هم‌خوردگی ظاهری در هر کلاسه عمق

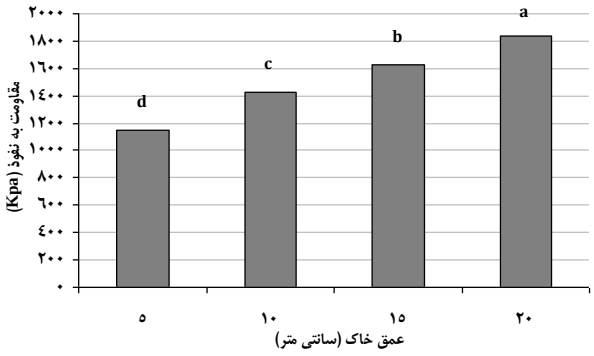
شکل (4)، اثر مستقل نوع کلاسه به هم‌خوردگی ظاهری خاک را بر روی مقادیر مقاومت به نفوذ نشان می‌دهد. گروه‌بندی براساس آزمون توکی نشان داد که بین 5 کلاسه به هم‌خوردگی ظاهری خاک از نظر میزان مقاومت به نفوذ، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود دارد. میانگین مقدار مقاومت به نفوذ در کلاسه به هم‌خوردگی مسیر چوب‌کشی پس از عملیات چوب‌کشی با 2232 کیلوپاسکال، دارای بالاترین مقدار است و پس از آن کلاسه‌های به هم‌خوردگی سطحی، مسیر چوب‌کشی قبل از

عملیات، بدون به هم‌خوردگی پس از عملیات و بدون به هم‌خوردگی قبل از عملیات به‌ترتیب با 1810، 1680، 1310 و 1258 کیلوپاسکال قرار دارند.



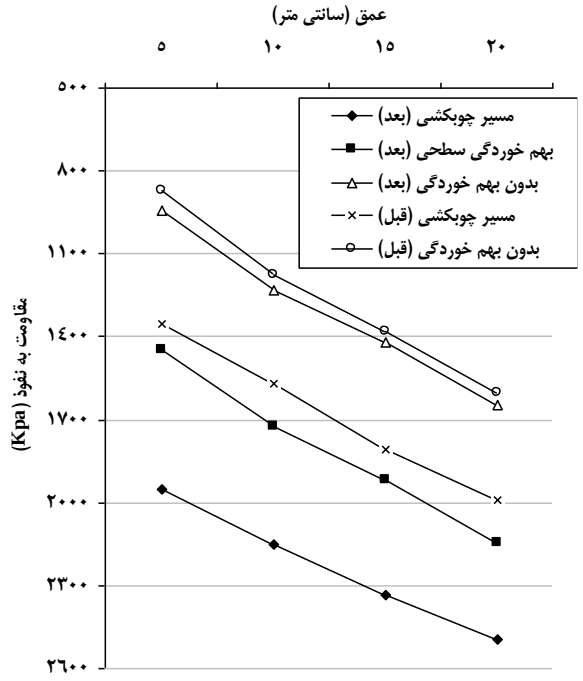
شکل (4): مقایسه میانگین افزایش مقاومت به نفوذ در اثر عملیات چوب‌کشی در پنج کلاسه به هم‌خوردگی ظاهری خاک. حروف لاتین نامتشابه نشان‌گر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال 95 درصد است

شکل (5)، اثر مستقل کلاسه عمق خاک را بر روی افزایش مقاومت به نفوذ نشان می‌دهد. آزمون توکی نشان داد که کلاسه عمق 20 سانتی‌متری از سطح خاک با مقدار 1836 کیلوپاسکال، بیشترین میزان میانگین مقاومت به نفوذ را نشان داده است و پس از آن کلاسه‌های عمق 15، 10 و 5 سانتی‌متری از سطح خاک به‌ترتیب با 1624، 1424 و 1144 کیلوپاسکال قرار دارند.



شکل (5): مقایسه میانگین افزایش مقاومت به نفوذ بر اثر عملیات چوب‌کشی در چهار کلاسه عمق خاک. حروف لاتین نامتشابه نشان‌گر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال 95 درصد است

شکل (6)، نشان می‌دهد که با افزایش عمق در هر 5 کلاسه به هم‌خوردگی خاک، مقاومت به نفوذ افزایش می‌یابد. در کلاسه بدون به هم‌خوردگی، مقاومت به نفوذ در عمق 20 سانتی‌متری خاک 1600 کیلوپاسکال و در عمق 5 سانتی‌متری 870 کیلوپاسکال است. در کلاسه بدون به هم‌خوردگی (پس از عملیات بهره‌برداری)، مقاومت به نفوذ در عمق 5، 10، 15 و 20 سانتی‌متری از سطح خاک به‌ترتیب 941، 1230، 1420 و 1646، کیلوپاسکال است. در کلاسه به هم‌خوردگی سطحی که بیشتر مربوط به عرصه‌های حمل چوب به روش سنتی است، افزایش مقاومت به نفوذ قابل توجه است و بیشترین مقدار مقاومت به نفوذ یعنی 2147 کیلوپاسکال در عمق 20 سانتی‌متری از سطح خاک مشاهده شده است. نکته بسیار مهم، افزایش معنی‌دار مقاومت به نفوذ در عمق 20 سانتی‌متری در مسیر چوب‌کشی (پس از عملیات) است که مقدار آن 2496 کیلوپاسکال می‌باشد. در عمق‌های 15، 10 و 5 سانتی‌متری، به‌ترتیب مقدار مقاومت به نفوذ برابر با 2331، 2150 و 1950 کیلوپاسکال است.



شکل (6): تغییرات مقاومت به نفوذ در عمق‌های مختلف با توجه به 5 کلاسه به هم‌خوردگی ظاهری خاک

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داده است که عملیات چوب‌کشی با اسکیدر چرخ لاستیکی و حمل چوب به روش سنتی، دارای اثر قابل توجه و معنی‌داری بر روی بهم‌خوررگی ظاهری خاک و افزایش مقاومت به نفوذ است که منطبق بر نتایج سایر محققان (Cromack et al., 1978; Greacen & Sands, 1980; Froehlich & McNabb, 1984; Gomez et al., 2002; Murphy et al., 2004) می‌باشد. این نتایج، به دلیل استفاده از سیستم سنتی حمل چوب آلات الواری، کاتینی و هیزمی که به‌صورت پراکنده در سطح پارسل برداشت شده وجود دارند، است که نیاز به ترددهای اضافی دارد که سبب افزایش به هم‌خوردگی خاک می‌شوند. بنابراین، سیستم‌های تلفیقی که شامل چوب‌کشی با اسکیدرهای چرخ‌لاستیکی و سیستم سنتی حمل است، منتج به آثار بیشتری به خاک جنگل می‌شود (مخدوم و خراسانی، 1363). هر چند از نظر بیولوژیکی با فرض در نظر گرفتن حد 3000 کیلوپاسکال به‌عنوان آستانه فعالیت بیولوژیکی خاک، آثار معنی‌داری یافت نشده است (Bolding et al., 2009). بسیار مهم است که توجه شود حد آستانه بیولوژیکی در یک توده جنگلی نسبت به توده دیگر تغییر کرده و مقدار 3000 کیلوپاسکال بیان شده در این تحقیق، بیشتر برای مقایسه یک حد است. بررسی‌های دیگری، بسته به نوع خاک و گونه‌های درختی، یافتند که رشد درخت در مقادیر قبل از 3000 کیلوپاسکال شروع به کاهش می‌کند (Sands et al., 1979; Parker et al., 2007). همچنین (Bolding et al., 2009)، بیان می‌دارند که بدون اندازه‌گیری و بررسی واکنش پوشش گیاهی به عملیات چوب‌کشی، نمی‌توان به نتیجه‌گیری معتبر در مورد ارتباط بین مقاومت به نفوذ و کاهش رویش توده دست یافت.

براساس نتایج به‌دست آمده، سطح تحت پوشش مسیرهای چوب‌کشی 4 برابر شده و 38 درصد از کل منطقه درجاتی از به هم‌خوردگی سطحی را تجربه کردند ولی هیچ‌گونه به هم‌خوردگی عمیق مشاهده نشده است. هر چند مسیرهای چوب‌کشی در بیشتر قسمت‌ها دارای به هم‌خوردگی و جابه‌جایی شدید خاک هستند. افزایش سطح مسیرهایی چوب‌کشی به این دلیل است که نخست مسیرهای طراحی‌شده اولیه، پوشش مناسب و کافی به کل سطح مورد بهره‌برداری را نمی‌دهد و بنابراین طراحی مسیرهای جدید الزامی است. دوم، حمل چوب‌آلات الواری، کاتینی و هیزمی پس از عملیات چوب‌کشی، سبب تردد بدون برنامه‌ریزی سیستم حمل سنتی در تمام سطح جنگل شده و به هم‌خوردگی خاک را افزایش می‌دهد.

نتایج نشان داد که کلاسه‌بندی به هم‌خوردگی ظاهری خاک، برای پیش‌بینی مقاومت به نفوذ از نظر آماری معنی‌دار بوده و کاربرد دارد. بنابراین، یک عامل برآوردکننده برای تعیین آثار عملیات بهره‌برداری و چوب‌کشی بر توده‌های جنگلی است. هر چند نتایج این تحقیق برای شرایط توده‌های مشابه و عملیات چوب‌کشی با سیستم تلفیقی کاربرد دارد. شرایط خاک به‌ویژه میزان رطوبت خاک به مقدار زیادی بر روی ویژگی‌ها و وسعت به هم‌خوردگی ظاهری خاک و تغییرات مقاومت به نفوذ تأثیرگذار است و قبل از عملیات چوب‌کشی باید این موارد ارزیابی شود. به‌علاوه، یک راهکار مهم این است که عبور ماشین هنگامی که خاک جنگل مرطوب است و رطوبت خاک به حد روانی نزدیک است، اجتناب شود. طراحی مسیرهای چوب‌کشی و همچنین محدود کردن ماشین به تردد در این مسیرها، راهکار دیگری در کاهش بهم‌خوردگی و کوبیدگی خاک است. پیشنهاد می‌شود، مطالعه بلند مدتی برای ارزیابی آثار به هم‌خوردگی خاک بر روی حاصل‌خیزی خاک جنگل و تغییرات رویش توده‌های جنگلی انجام شود. طراحی مسیرهای چوب‌کشی و همچنین محدود کردن ماشین به تردد در این مسیرها، راهکار دیگری در کاهش بهم‌خوردگی و کوبیدگی خاک است (مخدوم و خراسانی، 1363). زیرا، بازیابی خاک‌های جنگلی کوبیده شده تحت تأثیر آب و هوا و فعالیت فون و ریشه‌های درختان بسیار کند است. بازیابی خاک پس از کوبیدگی سطحی ممکن است حدود 10-20 سال یا بیشتر طول بکشد (Froehlich, 1979). وقتی که کوبیدگی عمیق‌تر باشد، روند بازیابی ویژگی‌های فیزیکی خاک حدود 50 تا 100 سال طول خواهد کشید (Greacen & Sands, 1980). برنامه ریزی و زمان‌بندی به‌عنوان راه‌حلی مناسب برای کاهش درجه و وسعت آثار بهم‌خوردگی خاک است، چون روشی آسان‌تر و ارزان‌تر برای کاهش آثار مرتبط با بهم‌خوردگی خاک قبل از عملیات بهره‌برداری جنگل می‌باشد.

یادداشت‌ها

1. Forwarder

2. سیلو (Silve) عبارت است از واحد حجم برای جداول حجم یک کلیده یا تاریف درخت و مقدار آن حدود 0/8 تا 0/9 مترمکعب است.

3. Hand-Held Penetrometer
4. Thukey's test

فهرست منابع

بیک‌وردی، م. 1383. تعیین آستانهٔ رطوبتی خاک برای ورود ماشین‌آلات بهره‌برداری به مسیرهای کار با استفاده از نرم‌افزار For-Pro (مطالعه موردی در جنگل خیرود)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران. 115 ص.

جورغلامی، م.؛ ریزوندی، و. و مجنونیان، ب. 1392. ارزیابی اثرات محیط‌زیستی بهره‌برداری حاصل از قطع درختان بر روی توده باقیمانده (مطالعه موردی: جنگل خیرود)، پژوهش‌های محیط‌زیست، 4(7): 115-124.

مخدوم، م. و خراسانی، ن. 1363. مقایسه اثرات محیط‌زیستی برداشت چوب و تفرج در اکوسیستم‌های رسیده شمال ایران. جهاد دانشگاهی دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران. کرج. 95 ص.

Aust, W. M.; Reisinger, T. W. Burger, J. A. & Stokes, B. J. 1993. Soil physical and hydrological changes associated with logging a wet pine flat with wide-tired skidders. Southern Journal of Applied Forestry, 17(1): 22-25.

Bolding, M. C.; Kellogg, L. D. & 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.

Cromack, K.; Swanson, F. J. & Grier, C. C. 1978. A comparison of harvesting methods and their impact on soils and environment in the Pacific Northwest. In: Forest Soils and Land Use. Proc. of the 5th North American Forest Soils Conf., C.T. Youngberg, Ed. Colorado State Univ., Dept. of Forest and Wood Sciences, Fort Collins, CO. pp. 449-476.

Dodson, E. M.; Deboodt, T. & Hudspeth, G. 2006. Production, cost, and soil compaction estimates for two western juniper extraction systems. Western Journal of Applied Forestry, 21(4): 185-194.

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. & McNabb, D. H. 1984. Minimizing soil compaction in Pacific Northwest forests. In: Forest Soils and Treatment Impacts. Proc. of the 6th North American Forest Soils Conf., E.L. Stone, Ed. Univ. of Tennessee, Knoxville, TN. pp. 159-192.

Gent, J. A.; Ballard, R.; Hassan, A. E. & Cassel, D.K. 1984. Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soils. Soil Science Society of America Journal, 48: 173-177.

Gomez, A.; Powers, R. F.; Singer, M. J. & Horwath, W. R. 2002. Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada. Soil Science Society of America Journal, 66: 1334-1343.

Greacen, E. L. & Sands, R. 1980. Compaction of forest soils, A Review. Australian Journal of Soil Research, 18: 163-189.

Han, H-S.; Page-Dumroese, D.; Han, S. K. & Tirocke, J. 2005. Effect of slash, machine passes, and soil wetness on soil strength in a cut-to-length harvesting. In: Proc. of the 28th Annual Council on Forest Engineering Meeting, Fortuna, CA. pp. 144-155.

Han, S. K.; Han, H. S.; Page-Dumroese, D. S. & 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.

Heinemann, H. R. 2004. Forest operation under mountainous conditions. In Encyclopedia of Forest Sciences, J. Burley, J. Evans, and J. Youngquist, Editors. Elsevier Academic Press: Amsterdam, etc. pp: 279-285.

Landsberg, J. D.; Miller, R. E.; Anderson, H. W. & Tepp, J. S. 2003. Bulk density and soil resistance to penetration as affected by commercial thinning in northeastern Washington. Res. Pap. PNW-RP-551. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, OR. 35 pp.

McMahon, S. 1995. Accuracy of two ground survey methods for assessing site disturbance. Journal of Forest Engineering, 6(2): 27-33.

Miller, D., & Anderson, H. 2002. Soil compaction: concerns, claims, and evidence. In: Proc. Small Diameter Timber: Resource Management, Manufacturing, and Markets. February 25-27, 2002; Spokane, Washington. Washington State University Cooperative Extension. p. 97-106.

Miller, R. E.; Scott, W. & Hazard, J. W. 1996. Soil compaction and conifer growth after tractor yarding at three coastal Washington locations. Canadian Journal of Forest Research, 26: 225-236.

Murphy, G.; Firth, J. G. & Skinner, M. F. 2004. Long-term impacts of forest harvesting related soil disturbance on log product yields and economic potential in a New Zealand forest. Silva Fennica, 38(3): 279-289.

Nugent, C.; Kanali, C.; Owende, P. M. O.; Nieuwenhuis, M. & 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.

Parker, R. T.; Maguire, D. A.; Marshall, D. D. & Cochran, P. 2007. Ponderosa pine growth response to soil strength in the volcanic ash soils of central Oregon. Western Journal of Applied Forestry, 22(2): 134-141.

Powers, R. F. & Avers, P. E. 1995. Sustaining forest productivity through soil quality standards: A coordinated U.S. effort. p. 147-190. In C.B. Powter et al. (ed.) Environmental soil science: Anthropogenic chemicals and soil quality criteria. Canadian Soc. Soil Sci., Brandon, Manitoba.

Powers, R. F.; Tiarks, A. E. & Boyle, J. R. 1998. Assessing soil quality: practicable standards for sustainable forest productivity in the United States. Soil Science Society of America. The contribution of soil science to the development of an implementation of criteria and indicators of sustainable forest management. SSSA special publication no. 53. pp. 53-80.

Seixas, F. & McDonald, T. 1997. Soil compaction effects of forwarding and its relationship with 6- and 8-wheel drive machines. Forest Product Journal, 47(11/12): 46-52.

Sessions, J.; Boston, K.; Murphy, G.; Wing, M.G.; Kellogg, L.; Pilkerton, S.; Zweede, J.C. & Heinrich, R. 2007. Harvesting operation in the Tropics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 170 pp.

USFS. 1998. USDA Forest Service Manual, FSM 2520 (Watershed Protection and Management) R-6 Supplement No. 2500-98-1, Effective August 24, 16 pp.

Wood, M. J.; Moffat, A. J. & Carling, P. A. 2003. Improving the design of slash roads used to reduce soil disturbance during mechanized harvesting of coniferous forest plantations in the UK. International Journal of Forest Engineering, 14(1): 11-23.