جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۵، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۱
ص ۹۵-۱۰۵ (پژوهشی)

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2021.329570.1184

تأثیر عملیات چوبکشی بر خصوصیات فیزیکی خاک و وضعیت کربن آلی طی دورهٔ هفت‌ساله در بخش گرازبن جنگل خیرود

علی نصیریان[۱]، مقداد جورغلامی[۲*]، احمد حیدری[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۰

چکیده

ارزیابی تأثیر فعالیت‌های بهره‌برداری جنگل و برنامه‌ریزی برای کاهش این آثار از عواملی اساسی است که اهمیت روزافزونی دارد. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر سیستم چوبکشی زمینی بر روند بازیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طی هفت سال در بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود است. در این پژوهش از طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی استفاده شد و تیمارها شامل مدت زمانِ (سال) گذشته از چوبکشی (یک، دو، پنج و هفت سال)، سه شدت ترافیک (کم، متوسط و زیاد) و عمق خاک (صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) بود. نتایج نشان داد که شدت کوبیدگی در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری بیشتر از عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری است و عامل شدت تردد بر مقدار کوبیدگی تأثیر ندارد. جرم مخصوص ظاهری خاک پس از هفت سال هنوز به حالت اولیه خود برنگشته است و تفاوت معنی‌داری بین منطقهٔ شاهد و مسیر چوبکشی دیده می‌شود. مقدار مادهٔ آلی طی هفت سال، روند بازیابی را نسبت به سال اول پس از چوبکشی نشان داد، به‌طوری که در سال هفتم تفاوت معنی‌داری بین مقدار مادهٔ آلی منطقهٔ شاهد و مسیر چوبکشی مشاهده نشد. درحالی که مقدار مادهٔ آلی در مسیر چوبکشی سال اول بسیار کمتر از مقدار مادهٔ آلی در نقاط شاهد مجاور خود بود. یافته‌های تحقیق نشان داد که بازیابی برخی خصوصیات خاک مانند مادهٔ آلی سریع‌تر از برخی مشخصه‌های فیزیکی دیگر مانند جرم مخصوص ظاهری و تخلخل اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، کوبیدگی خاک، مادهٔ آلی، مسیر چوبکشی.

مقدمه

با افزایش مکانیزاسیون عملیات بهره‌برداری، ماشین‌آلات سنگین‌تر و بیشتری به‌منظور جمع‌آوری گرده‌بینه‌ها و مقطوعات چوبی از طریق مسیرهای چوبکشی به محل دپو به‌کار گرفته می‌شوند که مشکلات زیادی را در این مسیرها پدید می‌آورند [۱، ۲]. ازجمله آسیب‌های این شیوهٔ بهره‌برداری و چوبکشی می‌توان به‌هم‌خوردگی و کوبیدگی خاک، کاهش تخلخل، صدمه به نهرها و آبراهه‌ها، آسیب دیدن تودهٔ باقی‌مانده و کاهش ارزش آن، افزایش رسوب و رواناب، و کاهش زادآوری و تجدید حیات جنگل را نام برد [۳، ۴]. کوبیدگی خاک اغلب در اثر تردد ماشین‌آلات بهره‌برداری با ایجاد رد چرخ و شیاری شدن خاک همراه است. در این حالت فضاهای خالی و خلل‌وفرج خاک و تخلخل و به‌هم‌پیوستگی منافذ

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

خاک کاهش می‌یابد [۳]. تراکم سبب کاهش تخلخل کل می‌شود. این کاهش گذشته از تغییر مورفولوژی منافذ، سبب تغییر اندازهٔ ذرات خاک [۱]، کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک [۲] و کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی خاک می‌شود [۴]. تراکم خاک سبب کاهش ظرفیت نفوذ و نفوذپذیری خاک می‌شود که افزایش رواناب و در نتیجه کاهش رطوبت خاک از طریق تبخیر [۵، ۶] در نتیجهٔ کاهش آب موجود اطراف ریشه و کاهش جذب آب و مواد مغذی را در پی دارد. کاهش تخلخل و تبادلات گازی خاک دارای تأثیر منفی بر میکروارگانیسم‌ها و موجودات زندهٔ خاک است [۵، ۶]. ریشهٔ درختان برای رشد و نفوذ و جذب مواد غذایی به منافذ نیاز دارد و در نتیجه کوبیدگی خاک عاملی برای کاهش تخلخل و رشد ریشهٔ درخت است [۹].

در اثر عبور و مرور ماشین‌آلات چوبکشی روی مسیر چوبکشی و با توجه به وزن سنگین آنها، خاک این مناطق دچار کوبیدگی می‌شود که افزایش جرم مخصوص و سپس خرد شدن خاکدانه‌ها را در پی دارد [۶، ۱۰]. پایداری خاکدانه عامل مهمی در حفظ حاصلخیزی خاک و پاسخ به چالش‌های زیست‌محیطی است. خاکدانه‌ها از طریق حفاظت فیزیکی، سبب ذخیرهٔ مواد آلی می‌شوند و همچنین پایداری خاکدانه، شاخصی بسیار پیچیده و مؤثر بر دامنهٔ گسترده‌ای از ویژگی‌های خاک مانند تثبیت کربن، تخلخل خاک، نفوذ آب، تهویه، تراکم، نگهداشت آب، هدایت هیدرولیکی و مقاومت در برابر فرسایش توسط آب است [۱، ۶]. ساختمان خاک و نیز خاکدانه رابطهٔ مستقیمی با مادهٔ آلی خاک دارد [۱۱]. رابطهٔ ساختمان خاک و مادهٔ آلی دوطرفه است؛ یعنی از یک‌سو با تشکیل ساختمان خاک، کربن آلی درون خاکدانه‌ها محبوس شده و به‌طور فیزیکی از دسترس ریزجانداران و اکسیژن هوا محافظت می‌شود و در نتیجه تجزیهٔ بیولوژیکی و اکسیداسیون کربن آلی کاهش می‌یابد [۱۲] و از سوی دیگر، به‌واسطهٔ پیوستگی میان کربن آلی و ذرات خاک، پایداری خاکدانه‌ها زیاد می‌شود [۱، ۵، ۶]. کربن آلی بر بیشتر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر می‌گذارد [۱۳]. مواد آلی خاک مرکب از بقایای جانوری و گیاهی در مراحل مختلف تجزیه و فساد و موجودات زنده مسئول این تجزیه‌ها هستند. مواد آلی تأثیر انکارناپذیری بر خواص فیزیکی خاک دارد و فراوانی یا کمبود آن در نفوذ آب به خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت و کیفیت آب در خاک و ایجاد خاکدانه‌ها مؤثر است. از تجزیهٔ مواد آلی ترکیباتی حاصل می‌شود که مانند سیمانی ذرات خاک را به یکدیگر می‌چسبانند و مانع پخش شدن ذرات خاک می‌شوند. کوبیدگی یکی از عوامل کاهش ترسیب کربن خاک است [۱۴]. کربن آلی خاک نوعی ترکیب دینامیک در سیستم خاکی شمرده می‌شود که با تغییرات درونی در جهت‌های عمودی و افقی خاک و تغییرات بیرونی در اتمسفر و بیوسفر همراه است [۱۵، ۱۶]. تثبیت کربن و افزایش مواد آلی خاک، بر کیفیت و حاصلخیزی خاک، تخلخل و نفوذپذیری، ذخیرهٔ رطوبت و حفاظت از خاک در برابر فرسایش آبی و بادی تأثیر مثبت دارد [۱۷–۱۹].

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر سیستم چوبکشی زمینی و همچنین روند و مقدار بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، رطوبت، pH خاک، بافت خاک و مقدار کربن آلی خاک‌های جنگلی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مسیرهای چوبکشی طی سال‌های تحقیق است.

با توجه به اینکه در این منطقه، پژوهشی در این زمینه و در مدت هفت سال انجام نگرفته، در این تحقیق تغییرات کربن آلی و خصوصیات فیزیکی خاک در مسیرهای چوبکشی پس از گذشت هفت سال از چوبکشی در سری گرازبن جنگل آموزشی پژوهشی دانشکدهٔ منابع طبیعی (جنگل خیرود) بررسی شد.

مواد و روش کار

منطقهٔ پژوهش

این تحقیق به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی خاک و مقدار کربن آلی در مسیرهای چوبکشی طی گذشت ۱، ۲، ۵ و ۷ سال، به‌ترتیب در چهار پارسل ۳۱۶، ۳۱۸، ۳۱۰ و ۳۰۹ بخش گرازبن جنگل آموزشی- پژوهشی انجام پذیرفت. سنگ مادر این منطقه از نوع آهکی و دارای اقلیم سرد و مرطوب با متوسط بارندگی سالیانه ۱۱۴۶ میلی‌متر و متوسط درجهٔ حرارت سالیانه ۸/۶ درجهٔ سانتی‌گراد است. متوسط ارتفاع از سطح دریا در منطقهٔ نمونه‌برداری‌شده سال اول ۱۲۰۰ متر، سال دوم ۱۲۲۲ متر، سال پنجم ۱۰۶۵ متر و سال هفتم ۱۱۲۶ متر از سطح دریاست. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۰۵۰ متر، حداکثر آن ۱۲۳۸ متر و میانگین آن ۱۱۵۴ متر است. جهت جغرافیایی دامنهٔ مکان‌های نمونه‌برداری جنوب و جنوب غربی است. حداقل و حداکثر شیب مسیرهای چوبکشی نمونه‌برداری به‌ترتیب ۱۵ و ۲۴ درصد و متوسط شیب مسیر چوبکشی نمونه‌برداری در حدود ۱۷ درصد است. تاج‌پوشش در محل‌های نمونه‌برداری از ۷۵ تا ۹۰ درصد متغیر بوده و میانگین تاج‌پوشش محل‌های نمونه‌برداری ۸۰ درصد است. نوع پوشش گیاهی در همهٔ نقاط از گونهٔ غالب راش (۶۰ درصد)، ممرز (۳۰ درصد) و گونه‌های دیگر (حدود ۱۰ درصد) تشکیل شده است. بافت خاک در مسیرهای چوبکشی و منطقهٔ شاهد در بیشتر نقاط لوم رس سیلتی است. بهره‌برداری از این جنگل به‌صورت نشانه‌گذاری درختان خشک‌شده یا بادافتاده است. خروج چوب از پارسل در چند نقطهٔ مشخص از بالاشیب و پایین‌شیب، به‌صورت گرده‌بینه و از سیستم چوبکشی زمینی در مسیرهای دائمی به عرض ۴ تا ۵ متر که از قبل نشانه‌گذاری شده‌اند، به‌وسیلهٔ اسکیدر چرخ‌لاستیکی کابلی تیمبرجک C 450 انجام گرفت. این اسکیدر شش‌سیلندر با وزن ۱۰۲۷۵ کیلوگرم و قدرت موتور ۱۷۷ اسب بخار، دارای کابل سیمی وینچ با قدرت ۶۰ هزار پوند و قدرت کشندگی ۴۰ تن است.

روش تحقیق

ابتدا چهار پارسل با فاصلهٔ زمانی چوبکشی ۱، ۲، ۵ و ۷ سال برای نمونه‌برداری انتخاب شد. با بررسی میدانی و اندازه‌گیری شیب و ارتفاع و مقدار تاج‌پوشش درختان حاشیهٔ مسیرهای چوبکشی (مساحت لکه‌های روشن تاج‌پوشش و مساحت منطقه نمونه‌برداری مشخص شد و درصد تاج پوشش برآورد شد) و همچنین نوع گونهٔ درختان حاشیهٔ محل نمونه‌برداری مشخص شد. نقاط هم‌ارتفاع با شیب یکسان به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری انتخاب و مشخصات نوع گونهٔ درختان، شیب، درصد تاج‌پوشش ثبت شد. مشخصات جغرافیایی هر مکان نیز توسط GPS ثبت شد. در هر پارسل مسیرهای چوبکشی که چوبکشی از بالای شیب انجام گرفته بود، با شدت ترددهای متفاوت تفکیک شد و بررسی در سه منطقه با شدت تردد زیاد، متوسط و کم انجام گرفت. در تعیین شدت‌های تردد، از ابتدای مسیر چوبکشی ورودی به هر پارسل به‌عنوان شدت تردد زیاد استفاده شد و انتهای مسیرهای چوبکشی و در نزدیکی درخت قطع‌شده به‌عنوان شدت تردد کم در نظر گرفته شد. همچنین میانهٔ مسیر چوبکشی از ورودی پارسل تا نزدیک درخت، شدت تردد متوسط در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری این پژوهش در شرایط مساعد آب‌وهوایی و با کنار زدن لایهٔ لاشبرگی سطح خاک و نمونه‌برداری از لایهٔ سطحی و معدنی خاک صورت گرفت، به‌طوری که در هر سال، از سه شدت تردد کم، متوسط و زیاد در هر شدت تردد قسمتی از مسیر به‌طول ۱۰۰-۵۰ متر به پنج قسمت تقسیم شد و از سه منطقه به‌طور تصادفی در رد چرخ‌های چپ و راست اسکیدر و در وسط چرخ‌ها نمونه‌برداری شد. همچنین در هر نمونه‌برداری، نمونه‌ها از دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد و نمونه‌برداری نمونه‌های شاهد با فاصلهٔ ۱۰ متری از مسیرهای چوبکشی

انجام گرفت. در مجموع از هر سال، ۲۸۸ نمونهٔ ۳-۲ کیلوگرمی برای آنالیز فاکتورهای مشخص‌شده از جمله مقدار کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت و ... به آزمایشگاه منتقل و برای خشک کردن نمونه‌ها از روش هواخشک استفاده شد و همچنین در همهٔ نقاط یک نمونه نیز برای بررسی تغییرات وزن مخصوص ظاهری و تخلخل خاک با استفاده از سیلندر فولادی با قطر ۵ و طول ۱۰ سانتی‌متر و حجم ۱۹۶/۲۵سانتی‌متر مکعب انجام گرفت. در مرحلهٔ بعد نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از توزین اولیه به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد در آون خشک شدند. سپس نمونه‌ها دوباره توزین شدند تا جرم مخصوص ظاهری از رابطهٔ ۱ و درصد رطوبت آنها

$$\text{جرم مخصوص ظاهری} = \frac{\text{جرم خاک خشک}}{\text{حجم نمونه دست‌نخورده}} \quad (۱)$$

به‌دست آید. برای اندازه‌گیری تخلخل ابتدا جرم مخصوص ظاهری نمونه‌ها به روش مستقیم (خشک کردن نمونهٔ دست‌نخورده در آون) اندازه‌گیری شد. جرم مخصوص حقیقی برای همهٔ خاک‌ها مقدار ثابت ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد و با استفاده از رابطهٔ ۲ مقدار تخلخل برحسب درصد محاسبه شد. بافت خاک نیز با استفاده از روش هیدرومتری تعیین شد. مادهٔ آلی به روش سوزاندن تر یا والکی- بلک اندازه‌گیری شد [۲۰]. pH در گل اشباع و با استفاده از دستگاه pH سنج JENWAY مدل ۳۵۱۰ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شیب مسیر نیز با استفاده از شیب‌سنج سونتو مدل PM-5/360 انجام گرفت.

$$\text{درصد تخلخل} = \left(1 - \frac{\text{جرم مخصوص ظاهری}}{\text{جرم مخصوص حقیقی}}\right) \times 100 \quad (۲)$$

آنالیز داده‌ها

آزمایش در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی اجرا شد. به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. برای بررسی تأثیر سال، شدت تردد، عمق و اثرهای متقابل آنها بر جرم مخصوص ظاهری، رطوبت طبیعی، درصد مادهٔ آلی، pH و تخلخل خاک از آزمون تجزیهٔ واریانس استفاده شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$) و نرم‌افزار SPSS (ver 22) انجام گرفت. برای بررسی اختلاف بین مناطق شاهد و مسیرهای چوبکشی از آزمون t مستقل و برای ارزیابی همبستگی متغیرهای تحت بررسی از آزمون آماری پیرسون در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. شکل‌ها و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس تأثیر سال، شدت تردد، عمق و اثرهای متقابل آنها بر جرم مخصوص ظاهری، رطوبت طبیعی، درصد مادهٔ آلی، pH و تخلخل خاک نشان داده شده است.

جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین دانکن نشان داد که میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سال‌های اول و دوم اختلاف معنی‌داری ندارند و بین میانگین جرم مخصوص ظاهری سال‌های اول و دوم و هفتم در مسیرهای چوبکشی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با گذشت هفت سال از عملیات چوبکشی، جرم مخصوص ظاهری خاک در حال بازگشت به مقدار اولیهٔ قبل از عملیات چوبکشی است، هرچند بازیابی کامل رخ نداده است (شکل ۱).

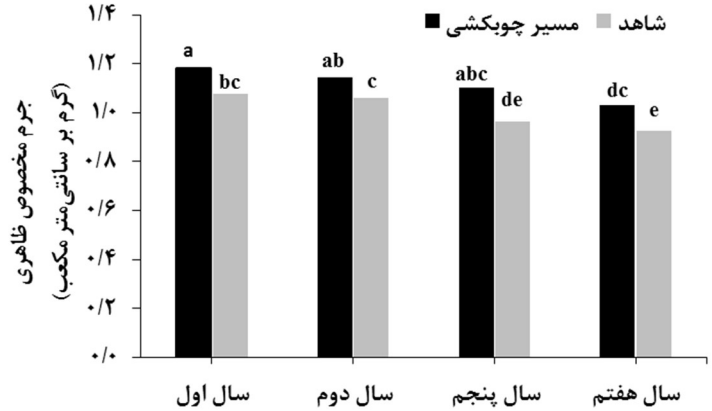
کوبیدگی مقدمه‌ای برای کاهش خلل‌وفرج، کاهش

نفوذپذیری، تهویه و تبادل آب و گاز [۲] و کاهش میکروارگانیسم‌های جانوری و گیاهی است [۱] و عامل اختلال در خاک به‌شمار می‌رود و آستانهٔ مضر برای رشد درختان است [۱۴]. بررسی داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک طی هفت سال در این پژوهش نشان‌دهندهٔ روند بازیابی خوبی است. با وجود بهبودیافتگی ۱۲/۷ درصدی میزان جرم مخصوص ظاهری طی هفت سال، نتایج نشان داد که با گذشت هفت سال از چوبکشی جرم مخصوص ظاهری خاک به مقدار اولیه و طبیعی خود بازنگشته است و در سال هفتم نیز اختلاف‌هایی بین مقدار جرم مخصوص ظاهری در منطقهٔ شاهد و مسیر چوبکشی وجود دارد. درحالی که Ezzati و همکاران نشان دادند که خصوصیات فیزیکی خاک برای بازیابی به زمانی بیش از ۲۰ سال نیاز دارد [۱۴].

جدول ۱. نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیر سال، شدت تردد و عمق بر جرم مخصوص ظاهری، رطوبت زمان نمونه‌برداری، درصد مادهٔ آلی، pH و تخلخل خاک

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	جرم مخصوص ظاهری		رطوبت زمان نمونه‌برداری		درصد مادهٔ آلی		pH		تخلخل خاک	
		F	P_{value}	*F*	P_{value}	*F*	P_{value}	*F*	P_{value}	*F*	P_{value}
مدت زمان	۴	۱۰/۵	**۰/۰۰	۱۳/۸	**۰/۰۰	۳/۲۸	*۰/۰۲	۲/۲۷	^{ns}۰/۰۸	۱۰/۵۷	**۰/۰۰
شدت تردد	۲	۳/۰۵	^{ns}۰/۰۵	۱۸/۳	**۰/۰۰	۱/۶۴	^{ns}۰/۲۰	۱/۶	^{ns}۰/۲۰	۳/۰۵	^{ns}۰/۰۵
عمق	۱	۱۶۹/۶	**۰/۰۰	۸۷/۸	**۰/۰۰	۹۲/۶۸	**۰/۰۰	۴/۱	*۰/۰۴	۱۶۹/۶۶	**۰/۰۰
مدت زمان×شدت تردد	۶	۴/۰۶	*۰/۰۰	۸/۲	**۰/۰۰	۱/۹۳	^{ns}۰/۰۸	۷/۸۷	**۰/۰۰	۴/۰۵	**۰/۰۰
مدت زمان×عمق	۳	۰/۲۲	^{ns}۰/۸۸	۵/۱۶	*۰/۰۰	۱/۴۶	^{ns}۰/۲۳	۰/۷۹	^{ns}۰/۵۰	۰/۲۱	^{ns}۰/۸۸
شدت تردد×عمق	۲	۱/۴۵	^{ns}۰/۲۴	۱/۸۲	^{ns}۰/۱۶	۰/۱	^{ns}۰/۹۰	۰/۱	^{ns}۰/۹۰	۱/۴۴	^{ns}۰/۲۴
مدت زمان×شدت تردد×عمق	۶	۱/۳۲	^{ns}۰/۲۵	۱/۷	^{ns}۰/۱۲	۰/۵۲	^{ns}۰/۷۹	۰/۲۶	^{ns}۰/۹۵	۱/۳۲	^{ns}۰/۲۵

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد؛ *: معنی‌داری در سطح ۵ درصد؛ ^{ns}: معنی‌دار نبودن



شکل ۱. مقایسهٔ جرم مخصوص ظاهری خاک در مسیرهای چوبکشی به تفکیک سال‌های گذشته از چوبکشی و مناطق شاهد با آزمون دانکن. حروف لاتین نامشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

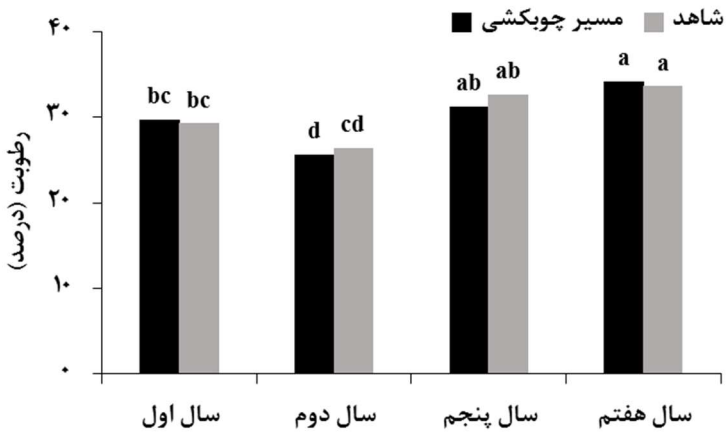
رطوبت طبیعی خاک

براساس نتایج آزمون دانکن، میانگین درصد رطوبت طبیعی خاک در طی هفت سال در مسیرهای چوبکشی دارای اختلاف معنی‌داری است و با گذشت هفت سال از چوبکشی، رطوبت طبیعی خاک افزایش یافته است. نتایج آزمون t مستقل نیز نشان داد که مقدار رطوبت مناطق شاهد و مسیرهای چوبکشی در سال‌های اول و دوم پس از چوبکشی دارای اختلاف معنی‌دارند و در مناطق با

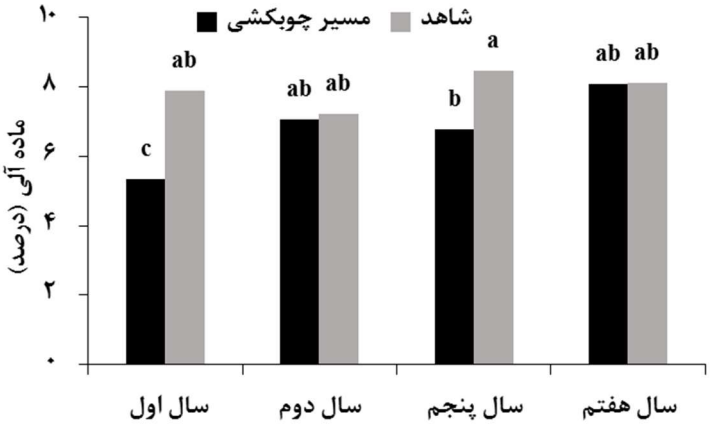
گذشت پنج و هفت سال اختلاف معنی‌داری بین رطوبت مناطق شاهد و مسیرهای چوبکشی دیده نشد که این به‌معنای بهبود شرایط خاک برای نگهداری مقدار آب جذب‌شده توسط خاک است (شکل ۲).

مادهٔ آلی خاک

کمترین مقدار مادهٔ آلی مربوط به سال اول پس از چوبکشی با ۵/۳۳ درصد و بیشترین مقدار آن مربوط به سال هفتم پس از چوبکشی با ۸/۰۸ درصد است. نتایج آزمون دانکن نشان داد که میانگین درصد مادهٔ آلی خاک در طی هفت سال در مسیرهای چوبکشی دارای اختلاف معنی‌داری است و فقط درصد مادهٔ آلی بین سال‌های دوم و پنجم معنی‌دار نیست. مقدار مادهٔ آلی سال هفتم ۲/۷۵ درصد بیشتر از مقدار مادهٔ آلی سال اول است. نتایج آزمون t مستقل همچنین نشان داد که مقدار مادهٔ آلی مناطق شاهد و مسیرهای چوبکشی در سال‌های اول و دوم و پنجم پس از چوبکشی دارای اختلاف معنی‌دارند و در مناطق با گذشت هفت سال اختلاف معنی‌داری بین مقدار مادهٔ آلی مناطق شاهد و مسیرهای چوبکشی وجود ندارد که نشان می‌دهد با گذشت هفت سال از عملیات چوبکشی، درصد مادهٔ آلی خاک در حال بازیابی است (شکل ۳).



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین درصد رطوبت طبیعی مسیرهای چوبکشی به تفکیک سال گذشته از چوبکشی و مناطق شاهد با آزمون دانکن. حروف لاتین نامشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

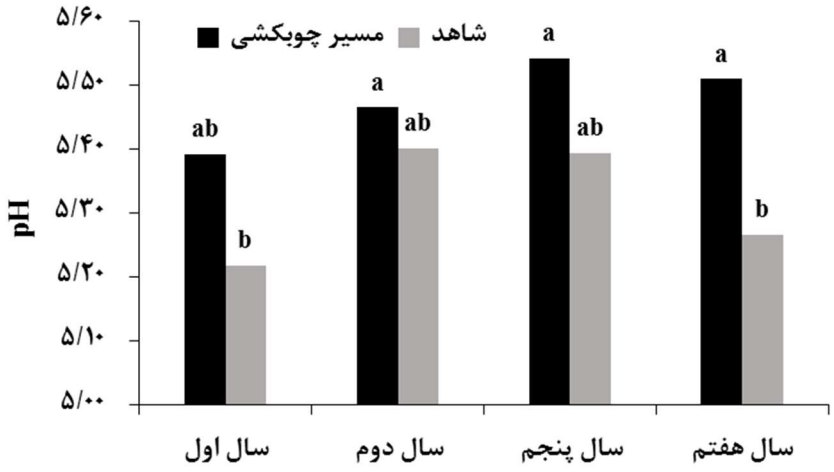


شکل ۳. مقایسهٔ درصد مادهٔ آلی خاک مسیرهای چوبکشی به تفکیک سال گذشته از چوبکشی و مناطق شاهد با آزمون دانکن. حروف لاتین نامشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

تغییرات کربن آلی تحت تأثیر فرایند ذاتی مانند نوع مواد مادری، بافت خاک، آب‌وهوا، pH و توپوگرافی و فرایندهای مدیریتی است [۱۵]. محققان دیگری نیز تغییر در مواد آلی پس از عملیات بهره‌برداری و چوبکشی زمینی را گزارش کرده‌اند [۱۵–۱۷]. ازآنجا که مواد آلی خاک اثر مهمی در دسترسی درختان به مواد مغذی خاک دارند، کاهش مواد آلی ممکن است حاصلخیزی و پایداری خاک را کاهش و پتانسیل فرسایش خاک را افزایش دهد [۱۶] و به تخریب خاک بینجامد. آستانهٔ تخریب خاک و کاهش حاصلخیزی خاک تحت تأثیر عملیات بهره‌برداری، کاهش ۳۰ درصدی مواد آلی عنوان شده است [۱۷]. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در سال اول پس از چوبکشی، مادهٔ آلی ۳۲/۳۶ درصد از مقدار اولیه کاهش داشته است که به‌معنای عبور از آستانهٔ تخریب و کاهش حاصلخیزی خاک است. نتایج این پژوهش نشان داد که در طی هفت سال درصد مادهٔ آلی ۲/۷۵ افزایش پیدا کرده و به مقدار مادهٔ آلی شاهد نزدیک است و بین مادهٔ آلی مسیر چوبکشی و منطقهٔ شاهد در سال هفتم اختلاف معنی‌دار نیست. این موضوع نشان‌دهنده روند بازیابی مادهٔ آلی در این مدت است، که بیش از مقداری است پس از گذشت ده سال گزارش شده است [۱۶]. تفاوت در نتایج به‌دست‌آمده ممکن است به‌دلیل شدت تخریب، حذف مواد آلی در اثر چوبکشی، میزان اختلاط لایه‌های خاک [۱۷] و تفاوت در نوع پوشش گیاهی و غنای فون و فلور باشد [۱، ۶].

pH خاک

کمترین مقدار pH مربوط به سال اول پس از چوبکشی با ۵/۴۹ و بیشترین مقدار مربوط به سال هفتم پس از چوبکشی با ۵/۵۴ است. نتایج آزمون دانکن نشان داد که میانگین pH خاک در طی هفت سال در سطح α=۰/۰۵ در مسیرهای چوبکشی دارای اختلاف معنی‌داری نیست. همچنین نتایج آزمون t مستقل نشان داد که مقدار pH مناطق شاهد و مسیرهای چوبکشی در سال‌های اول و هفتم پس از چوبکشی دارای اختلاف معنی‌دار است و در مناطق با گذشت دو و پنج سال اختلاف معنی‌داری بین مقدار pH مناطق شاهد و مسیرهای چوبکشی وجود ندارد (شکل ۴). نتایج مربوط به مقدار pH خاک در سال‌های بررسی‌شده (اول، دوم، پنجم و هفتم) پس از چوبکشی در مسیرهای چوبکشی و مناطق شاهد در شکل ۹ نشان داده شده است (اعداد نمودار از ۵ شروع شده است).

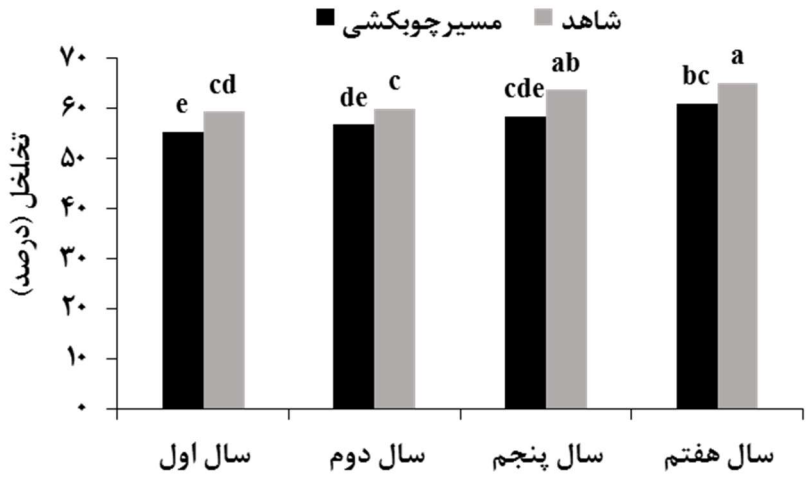


شکل ۴. مقایسهٔ pH در مسیرهای چوبکشی به تفکیک سال گذشته از چوبکشی و مناطق شاهد با آزمون دانکن. حروف لاتین نامشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

کوبیدگی خاک موجب کاهش مقدار کربن آلی، پتاسیم و نیتروژن [۱۸] و افزایش pH خاک [۱۰] و فرسایش بیشتر مواد آلی و مغذی خاک سطحی و افزایش رسوب می‌شود [۱]. در این حالت حاصلخیزی خاک، فعالیت و تکثیر میکروارگانیسم‌های خاک و رشد و گسترش ریشهٔ گیاهان به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد و بازدهی جنگل کاهش می‌یابد [۱۸]. Makineci و همکاران [۱۰] در پژوهشی نشان دادند که مقدار pH خاک مسیرهای چوبکشی بیشتر از مناطق شاهد است، اما اختلاف میزان pH خاک مسیرهای چوبکشی و مناطق شاهد معنی‌دار نبوده است. همچنین Demir و همکاران [۱۹] اظهار کردند که مقدار pH خاک در مسیر چوبکشی بیشتر از مناطق شاهد است که با نتایج این بررسی همخوانی دارد.

درصد تخلخل خاک

نتایج آزمون دانکن نشان داد که میانگین درصد تخلخل خاک در طی هفت سال در مسیرهای چوبکشی دارای اختلاف معنی‌داری است و درصد تخلخل بین سال‌های اول و دوم معنی‌دار نیست که به‌معنای عدم ترمیم تخلخل پس از دو سال از زمان چوبکشی است. مقدار تخلخل سال هفتم ۵/۶۴ درصد بیشتر از مقدار تخلخل سال اول است که نشان می‌دهد با گذشت هفت سال از عملیات چوبکشی، درصد تخلخل خاک در حال بازیابی است (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسهٔ درصد تخلخل خاک مسیرهای چوبکشی به تفکیک مدت زمان گذشته از چوبکشی و مناطق شاهد با آزمون دانکن. حروف لاتین نامشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

کاهش تخلخل ممکن است به‌طور کلی سبب کاهش تنوع اکوسیستم‌ها، کاهش حاصلخیزی و کاهش عملکرد و بازدهی جنگل در کوتاه‌مدت و بلندمدت شود. نتایج این بررسی نشان داد که مقدار تخلخل خاک در مسیرهای چوبکشی نسبت به مناطق شاهد کاهش یافته است که با یافته‌های Demir و همکاران [۱۹] همخوانی دارد. بررسی تخلخل در طی دورهٔ هفت‌ساله پس از چوبکشی، نشان‌دهندهٔ بازیابی تخلخل در طی این مدت زمان و نزدیک شدن تخلخل مسیرهای چوبکشی سال هفتم به مقدار تخلخل منطقه شاهد است، اما هنوز اختلاف معنی‌داری بین منطقهٔ شاهد و مسیر چوبکشی حتی در سال هفتم وجود دارد. بازیابی کوبیدگی خاک بسته به تیپ خاک، پوشش گیاهی، شرایط رطوبتی، عمق لایه‌های خاک، درجهٔ کوبیدگی و توپوگرافی منطقه متفاوت است [۱۷]. بازگشت خصوصیات خاک مانند خلل‌وفرج و جرم مخصوص به حالت اولیه با توجه به شدت و وسعت و

شرایط لایه‌های سطحی [۱] ممکن است تا صد سال در لایه‌های سطحی و تا صدوپنجاه سال در لایه‌های عمیق‌تر طول بکشد [۲، ۳، ۵].

آزمون همبستگی پیرسون بین داده‌های جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، رطوبت طبیعی، رطوبت اشباع، درصد مادهٔ آلی، pH، هدایت الکتریکی، درصد ماسه، درصد رس و درصد لای مسیرهای چوبکشی انجام گرفت که نتایج در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که بین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک و مقدار رس با مقدار مادهٔ آلی خاک همبستگی معکوس معنی‌دار و بین رطوبت طبیعی خاک، رطوبت اشباع، تخلخل و هدایت الکتریکی با مقدار مادهٔ آلی خاک همبستگی معنی‌دار وجود دارد. همچنین بین pH و مقدار لای با مقدار مادهٔ آلی خاک همبستگی معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون ارتباط بین خصوصیات خاک

متغیر	جرم مخصوص ظاهری	تخلخل	رطوبت طبیعی	درصد مادهٔ آلی	pH	ماسه (درصد)	رس (درصد)	لای (درصد)
جرم مخصوص ظاهری	۱							
تخلخل	-۱/۰۰**	۱						
رطوبت طبیعی	-۰/۷۱**	۰/۷۱**	۱					
درصد مادهٔ آلی	-۰/۶۷**	۰/۶۷**	۰/۴۷**	۱				
pH	-۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۲۸*	۱			
ماسه (درصد)	-۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۱۱	-۰/۰۱	۱		
رس (درصد)	۰/۳۴**	-۰/۳۴**	-۰/۲۹*	-۰/۳۲**	-۰/۲۰	-۰/۳۰**	۱	
لای (درصد)	-۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۴*	۰/۱۹	۰/۱۹	-۰/۵۴**	-۰/۶۳**	۱

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد؛ *: معنی‌داری در سطح ۵ درصد

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر عملیات چوبکشی بر خصوصیات فیزیکی خاک و وضعیت کربن آلی در طی یک دورهٔ هفت‌ساله در بخش گرازبن جنگل خیرود انجام گرفت. نتایج نشان داد که جرم مخصوص ظاهری مسیرهای چوبکشی در طی هفت سال در حال بازیابی است، اما بازیابی کامل به بیش از هفت سال زمان نیاز دارد و جرم مخصوص ظاهری مسیر چوبکشی و منطقهٔ شاهد در سال هفتم دارای اختلاف معنی‌دار است. در این بررسی شدت تردد اثر معنی‌داری بر مقدار جرم مخصوص ظاهری نداشت، ولی عمق خاک دارای اثر معنی‌داری بر مقدار جرم مخصوص ظاهری بود. با افزایش عمق خاک بر مقدار جرم مخصوص ظاهری افزوده شد، هرچند شدت کوبیدگی در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری بیشتر از عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری بود. مادهٔ آلی در طی هفت سال روند بازیابی خوبی داشت و با وجود کمتر بودن درصد مادهٔ آلی در مسیرهای چوبکشی نسبت به منطقه شاهد این اختلاف معنی‌دار نبود. همچنین شدت تردد بر مقدار مادهٔ آلی خاک تأثیر معنی‌دار نداشت. در مسیرهای چوبکشی و در مناطق شاهد با افزایش عمق از مقدار مادهٔ آلی کم شد و شدت کاهش مادهٔ آلی در اثر افزایش عمق در مسیرهای چوبکشی بیشتر از شدت کاهش در مناطق شاهد بود. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقدار مادهٔ آلی در طی هفت سال به‌طور تقریبی بازیابی شده، اما جرم مخصوص ظاهری و تخلخل در مدت هفت سال بازیابی نشده است و به زمان بیشتری برای بازیابی نیاز است. به‌طور کلی محدود کردن تعداد تردد ماشین در مسیرهای چوبکشی و همچنین محدودیت تردد در عرصه‌های با شیب بیش از ۳۰ درصد می‌تواند تأثیر مهمی در کاهش کوبیدگی خاک و همچنین فرایند طبیعی بازیابی داشته باشد.

References

[1]. Jourgholami, M., Nasirian, A., and Labelle, E. (2018). Ecological Restoration of Compacted Soil Following the Application of Different Leaf Litter Mulches on the Skid Trail over a Five-Year Period. Sustainability, 10(7):1–16.

[2]. Ampoorter, E., Goris, R., Cornelis, W.M., and Verheyen, K. (2007). Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. Forest Ecologyand Management, 241(1-3):162–174.

[3]. Majnounian, B., and Jourgholami, M. (2013). Effects of Rubber-Tired Cable Skidder on Soil Compaction in Hyrcanian Forest. Croatian Journal of Forest Engineering, 34(1):123–135.

[4]. Ebeling, C., Lang, F., and Gaertig, T. (2016). Structural recovery in three selected forest soils after compaction by forest machines in Lower Saxony, Germany. Forest Ecology and Management, 359:74–82.

[5]. Ilstedt, U., Malmer, A, Nordgren, A., and Liau, P. (2004). Soil rehabilitation following tractor logging: early results on amendments and tilling in a second rotation Acacia mangiumplantation in Sabah, Malaysia. Forest Ecology and Management, 194:215–22.

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

[7]. Ballard, T.M. (2000). Impacts of forest management on northern forest soils. Forest Ecology and Management, 133:37–42.

[8]. Marshall, V.G. (2000). Impacts of forest harvesting on biological processes inNorthern forest soils. Forest Ecology and Management,133:43–60.

[9]. Greacen, E.L., and Sands, R. (1980). Compaction of forest soils, A Review. Australian Journal of Soil Research, 18:163–189.

[10]. Makineci, E., Demit, M., Comez, A., and Yilmaz, E. (2007). Chemical Characteristics of the Surface Soil, Herbaceous Cover and Organic Layer of a Compacted Skid Road in a Fir (AbiesbornmullerianaMattf). Transportation Research; Part D, 12(7):453–459.

[11]. Tisdall, J.M., and Oades, J.M. (1982). Organic-matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Sciences, 33(2):141–163.

[12]. Egnell, G., Jurevics, A., and Peichl, M. (2015). Negative effects of stem and stump harvest and deep soil cultivation on the soil carbon and nitrogen pools are mitigated by enhanced tree growth. Forest Ecology and Management, 338:57–67.

[13]. Wu, C., Wu, J., Luo, Y., Zhang, L., and DeGloria, S.D. (2009). Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. Soil Science Society of America Journal, 73(4):1202–1208.

[14]. Ezzati, S., Najafi, A., Rab, M.A., and Zenner, EK. (2012). Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. Silva Fennica, 46(4):521–38.

[15]. McGrath, D., and Zhang, C., (2003). Spatial distaribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland.Geoderma, 18:1629–163.

[16]. 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.

[17]. 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 Aust. pp. 25–31.

[18]. Williamson, J.R., and Neilsen, W.A. (2003). The effect of soil compaction, profile disturbance and fertilizer application on the growth of eucalyptus seedlings in two glasshouse studies. Soil and Tillage Research. 71:95–107.

[19]. Demir, M., Makineci, E., and Yilmaz, E. (2007). Investigation of timber harvesting Impacts on herbaceous forest and surface soil properties on skid road in an oak (*QuercusPetrea* L.) stand. Building and Environment, 42(3):1194–1199.

[20]. JafariHaghighi, M. (2003). *Methods of Soil Analysis*, NedayeZoha press, Tehran, 236 pp.

Effects of timber extraction on soil physical properties and organic carbon recovery during seven years after trafficking in Gorazbon District in Kheyrud Forest

A. Nasirian; MSc student of forest engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

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

A. Heidari; Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 27 August 2021, Accepted: 01 December 2021)

ABSTRACT

Assessment and management of environmental impacts imposed by forest harvesting activities are one of the key factors that are increasing important. The purpose of this study was to investigate the effect of ground-based system on soil physical and chemical properties and the recovery process of these properties over the course of seven years. Hence, the compartments no. 316, 318, 310, and 309 of the Gorazbon District in the Kheyrud educational and research forest were selected. In this study, a completely randomized factorial design was applied and the treatments included duration (years) from timber extraction (one, two, five, and seven years), three traffic intensities (low, medium, and high) and soil depths (0-10 and 10-20 cm). The soil bulk density after seven years has not yet returned to the original state. There is still a significant difference between the control area and the skid trail. The amount of organic matter after seven years showed a recovery process compared with the first year after timber extraction, so that in the seventh year no significant difference was observed between the amount of organic matter in the control area and timber extraction track, while the amount of organic matter in the first year of timber extraction track is much lower than that of adjacent control areas. The recovery of some soil properties such as organic matter occurs faster than other ones like bulk density and porosity.

Keywords: Machine operating trail, Organic matter, Soil compaction, Bulk density.

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