

## ارزیابی اثرات حمل چوب با تراکتور مسی فرگوسن بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: جنگل کوهمیان، آزادشهر)

مصطفی مقدمی راد<sup>۱</sup> و وحید ریزوندی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان (نویسنده مسوول: moghadami.mostafa@yahoo.com)

۲- کارشناس، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۶

صفحه: تا

### چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** چوبکشی زمینی به دلیل تماس مستقیم چوب با خاک جنگل همواره با دامنه اثرات تخریبی وسیع به اکوسیستم جنگلی همراه بوده است، تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از مهم‌ترین اثرات ناشی از عملیات بهره‌برداری و خروج چوب بر روی توده جنگلی است. بررسی‌های متعدد بازگوکننده بازیابی طولانی‌مدت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است. هدف این پژوهش شناسایی میزان اثرات استفاده از تراکتورهای کشاورزی در حمل چوب روی خصوصیات خاک جنگل به منظور ارائه راهکارهایی در جهت کاهش این اثرات بود.

**مواد و روش‌ها:** این تحقیق در بارسل ۲۷ طرح جنگلداری کوهمیان آزادشهر واقع در گلستان ایران انجام شد. به منظور بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر چوبکشی با تراکتورهای کشاورزی، نمونه‌برداری خاک در دو منطقه شاهد و روی مسیرهای عبوری توسط سیلندرهای فلزی در سه عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در قالب طرح (آزمایش) کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. سپس خصوصیات فیزیکی خاک از جمله فشردگی، وزن مخصوص ظاهری، رطوبت، بافت و خصوصیات شیمیایی از جمله ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز، مس و اسیدیت خاک مورد مطالعه قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که خصوصیات فیزیکی خاک در هر سه عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری نسبت به منطقه شاهد داشت به طوری که فشردگی خاک در منطقه مورد تردد در این سه عمق از سطح خاک به ترتیب ۳۶/۴۶ و ۳/۲۰۴ و ۱/۷۳ برابر منطقه شاهد بود، افزایش وزن مخصوص خاک نیز در این سه عمق نسبت به منطقه شاهد، به ترتیب ۲۷ و ۲۰ درصد بود. ماده آلی در هر دو عمق ذکر شده حدود ۶۴ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد داشت. همچنین خصوصیات شیمیایی از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی و غلظت عناصری نظیر فسفر، نیتروژن و آهن در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک به ترتیب ۳۷/۶۲، ۶۳/۹۱ و ۱۰/۲ درصد کاهش نشان داد و در عمق ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری این عناصر تغییر معنی‌داری نداشتند.

**نتیجه‌گیری:** باتوجه به این نکته که ورود تراکتور به جنگل به دلیل نداشتن ویچ و همچنین به دلیل یکسان نبودن سطح تماس لاستیک‌های آن، موجب آسیب بیشتر به خاک جنگل از طریق اثر روی خصوصیات فیزیکی نظیر: فشردگی خاک، افزایش وزن مخصوص ظاهری و بافت خاک و همچنین تأثیر بر خصوصیات شیمیایی خاک از جمله کاهش عناصری مانند ازت، فسفر، آهن، کاهش ماده آلی و ظرفیت تبادل شود که باتوجه به ماندگاری زیاد این اثرات جا دارد تا تمهیداتی نظیر استفاده از ماشین‌آلات تخصصی چوبکشی نظیر اسکیدر چنگ‌دار به جای تراکتورهای کشاورزی، خراش سطحی در مسیرهای چوبکشی، برای کاهش این تأثیرات منفی اندیشیده شود.

**واژه‌های کلیدی:** خروج چوب، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، طرح جنگلداری کوهمیان، مسیر چوبکشی

### مقدمه

بهره‌برداری مجموعه عملیاتی است که از مرحله نشانه‌گذاری شروع و با خروج گرده‌بینه از جنگل و حمل به کارخانه و تخلیه بار به اتمام می‌رسد (Eghtesadi, 2008). درختان پس از بهره‌برداری توسط حیوانات (مانند قاطر) و یا ماشین‌آلات مخصوص جنگلی مانند اسکیدر چرخ لاستیکی و چرخ زنجیری، جمس و گاهی تراکتورهای کشاورزی از محیط جنگل خارج می‌شوند (Sarikhani, 2001). چوبکشی به وسیله ماشین‌آلات بهره‌برداری پتانسیل تخریب رویشگاه و خاک به ویژه فشردگی خاک، ایجاد شیار در کف جنگل، به هم خوردگی خاک و کاهش مواد غذایی را دارد (Greacen & sands, 1980; Corns, 1999; Jurgensen et al., 1997; Kozlowski, 1999). عملیات بهره‌برداری در اکوسیستم‌های جنگلی موجب کاهش فعالیت‌های خاک توسط موجودات خاکزی و تغییر در میکروکلیم می‌شود (Buckley et al., 2003). همچنین بهره‌برداری می‌تواند اثر منفی بر خاک از قبیل: حذف، آمیختگی و فشردگی لایه‌های مختلف خاک داشته باشد (Kozlowski, 1999). تردد چوبکش‌ها و حمل گرده‌بینه منجر به شکسته شدن خاکدانه‌ها به قطعات کوچک می‌شود، فضای بین خاکدانه‌ای کاهش یافته و به این ترتیب حجم

حفره‌های خاک کاهش می‌یابد که خود بر روی خصوصیات شیمیایی خاک و در نتیجه کاهش کارکرد مناسب اکوسیستم اثر دارد (Saeedifar & Asgari, 2014). از طرفی کوبیدگی خاک و فشردگی لایه‌های خاک در طولانی‌مدت بر روی بهره‌وری خاک و توده جنگل اثرات منفی داشته و موجب ایجاد تغییرات هیدرولوژیکی شود (Kazemi et al., 2015). بهره‌برداری تأثیر منفی بر مواد مغذی و خواص فیزیکی خاک دارد (Ballard, 2000; Williamson & Neilsen, 2003). مغذی موجود در خاک تأثیر زیادی روی گیاهان و جانورانی که در خاک زندگی می‌کنند دارد (Ponder & Mahasin, 2002). از طرفی بهره‌برداری جنگل که به منظور برداشت چوب، فراهم‌سازی عرصه برای زادآوری و برقراری ثبات و بهبود اکوسیستم جنگل در محدوده وسیعی به لحاظ زمانی و مکانی صورت می‌گیرد برای تداوم پایداری چرخه تولید در جنگل‌های تولیدی ضرورتی انکارناپذیر است (Majnounian & Jourgholami, 2013). از مهم‌ترین اهداف مدیریتی در بحث بهره‌برداری جنگل، لزوم به حداقل رساندن اثرات تردد وسایل نقلیه روی خاک جنگل است چرا که این تأثیرات منفی در درازمدت می‌تواند معنی‌دار باشد (Cambi et al., 2015). مطالعه دیگر نشان داد مواد مغذی خاک از جمله نیتروژن، فسفر

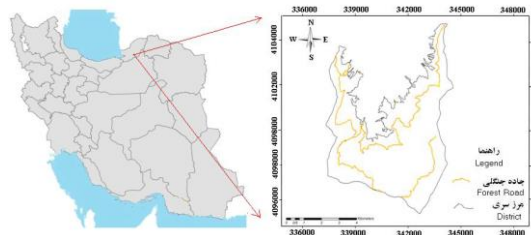
مسیرهای چوبکشی باقی مانده و باتوجه به شیب طولی زیاد این مسیرها موجب فرسایش و لغزش و ریزش خاکها شود. باتوجه به این نکته که کمتر پژوهشی در رابطه با اثر بهره برداری توسط تراکتورهای کشاورزی روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک جنگل انجام شده و بیشتر روی اسکیدر متمرکز شده اند، لذا انجام این مطالعه به منظور مقایسه اثرات چوبکشی حمل چوب با تراکتور روی خاک ضروری به نظر می رسد. قابل ذکر است که تراکتورهای کشاورزی به دلیل نداشتن وینچ گاهی در منطقه از مسیرها خارج و وارد عرصه جنگل می شوند. هدف از این تحقیق، مطالعه اثر چوبکشی زمینی با استفاده از تراکتورهای کشاورزی بر روی خواص فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری، فشردگی و بافت خاک و همچنین خصوصیات شیمیایی خاک از نقطه نظر عناصر خاک، ماده آلی و pH خاک در دو منطقه شاهد و بهره برداری شده است.

## مواد و روش ها

### مشخصات منطقه مورد بررسی

طرح جنگلداری کوهمیان با مساحتی بالغ بر ۳۶۷۱ هکتار در حوزه آبخیز ۸۹ از تقسیمات جنگل های شمال کشور در حوزه اداره کل منابع طبیعی استان گلستان - گرگان واقع شده است. سری کوهمیان در حد شمالی حوزه آبخیز ۸۹ قرار گرفته است. این سری از شمال به روستاهای کوهمیان، مرزبن، فاضل آباد، خاندوز سادات و سرکهریزا از جنوب و غرب به طرح جنگلداری نعیم آباد و شرق به طرح جنگلداری وطن محدود است. طول جغرافیائی منطقه مورد مطالعه بین ۵۵ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۹ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیائی آن بین ۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۳۷ درجه شمالی واقع است. متوسط میزان بارندگی منطقه از ۵۰۰ تا ۹۰۰ میلی متر در سال متغیر است. جنگل های این منطقه تقریباً از جلگه شروع شده و تا ارتفاع ۱۶۰۰ متری امتداد دارد. نوع خاک منطقه قهوه ای جنگلی با PH اسیدی و با بافت متوسط تا سنگین است که متعلق به دوران سوم زمین شناسی است. طول دوره رویش گیاهی بیش از ۶ ماه از سال و جنگل منطقه از نوع طبیعی با گونه های غالب بلوط، ممرز و انجیلی است (Anonymous, 1995). این تحقیق در پارسل ۲۷ طرح جنگلداری کوهمیان اجرا شد. در پارسل مورد مطالعه روش جنگل شناسی اعمال شده تک گزینی و شیب پارسل در جایی که تراکتور کار می کرد به طور میانگین پنج درصد بود که با دستگاه سونتو اندازه گیری شد. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

و پتاسیم موجود در خاک طی تردد ماشین آلات سنگین بهره برداری و در اثر بهم خوردگی خاک کاهش چشمگیری می یابد (Wang, 1997). بهره برداری موجب افزایش فشردگی، وزن مخصوص ظاهری، کاهش مواد آلی و تخلخل خاک شد (Rab, 2004). بهره برداری کوبیدگی بیشتر خاک، کاهش فعالیت میکروارگانیسمها و کاهش میزان نیتروژن خاک را به همراه داشت (Mariani et al., 2006). در مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نواحی از جنگل که اسکیدر در آن تردد داشته، با نواحی دست نخورده (محل شاهد) مشخص شد که خصوصیات فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری و فشردگی خاک در محل تردد نسبت به منطقه شاهد افزایش یافت؛ اما اثر تردد اسکیدر روی خصوصیات شیمیایی خاک معنی دار نبود (Makineci et al., 2007). بهره برداری موجب افزایش چگالی، فشردگی و PH خاک و همچنین افزایش میزان ذرات شن و سیلت در خاک شد (Demir et al). شدت تردد دستگاه حمل چوب بر روی مقدار فشردگی خاک در مسیرهای چوبکشی اثر معنی دار داشته (Lotfalian, 1996; Trautner, 2003; Arvidsson, 2003). طوری که در اثر شدت تردد، خاک مسیر چوبکشی جابجا شده و پوشش محافظ سطحی از بین می رود و باعث تغییر در وزن مخصوص، خلل و فرج می شوند (Soltanpour & Jourholami, 2015). این اثرات در نهایت باعث کاهش تعداد و رشد نهال خواهد شد (mostafanezhad et al., 2019). در بررسی تغییرات وزن مخصوص ظاهری را در لایه ۱۰ سانتی متری خاک در اثر چوبکشی با اسکیدر و حمل چوب با قاطر مشخص شد میانگین وزن مخصوص در مسیرهای چوبکشی به طور معنی داری بیشتر از وزن مخصوص در مناطق دست نخورده بود، ولی افزایش وزن مخصوص در مسیرهای عبور قاطر معنی دار نبود (Jamshidi et al., 2008). امروزه وفور مسیرهای چوبکشی رها شده در واحدهای جنگلداری شمال کشور به ویژه در دوران تنفس ضرورت ارزیابی دقیق و همه جانبه این مسیرها را ایجاد می کند. این مسیرها پس از عملیات حمل و نقل اولیه (به ویژه در سال اول) بدون پوشش بوده و همین امر موجبات افزایش خسارت به خاک و عرصه جنگل را فراهم آورده است (Ahmadi et al., 2019). به طور کلی هرگونه دخالت در طبیعت، پیامدهایی در پی دارد و اگر به طریقی حدومرز این دخالت ها تعیین شده باشد، پیامدهای آن نیز قابل کنترل و پذیرش است. عملیات بهره برداری جنگل به خصوص چوبکشی از فعالیتهایی هستند که موجب دخالت و دست خوردگی طبیعت می شوند. پس از اتمام چوبکشی دیده می شود که شیارهای عمیق (رد چرخ و رد تنه درخت) در



شکل ۱- موقعیت کلی طرح جنگلداری کوهمیان (استان گلستان)  
Figure 1. The location of studied plan in Kohmian forest (Province of Golestan)

## روش پژوهش

در این مطالعه اثر حمل چوب توسط تراکتورهای کشاورزی بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک عرصه، مورد مطالعه قرار گرفت. چوبکشی در روزهای آفتابی تیر و مردادماه ۱۳۹۳ از یک تراکتور کشاورزی مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ سی ساخت کارخانه تراکتورسازی ایران، تولید سال ۱۳۶۴ با وزن ۲۹۵۰ کیلوگرم (تراکتور به همراه سیدی)، استفاده شد. تراکتور با دنده چهار سنگین و دور موتور ۱۷۰۰ دور بر دقیقه در حال پیشروی بود. تمامی گرده‌بینه‌ها، به منظور حمل توسط تراکتور به کاتین‌های قابل حمل توسط تراکتور تبدیل می‌شدند. متوسط حجم بار در هر نوبت حدود ۷٪ مترمکعب بود. رطوبت خاک با استفاده از رطوبت‌سنج قابل حمل مدل HB-2 ساخت کشور ژاپن حدود ۱۵ درصد اندازه‌گیری شد. پوشش گیاهی عرصه نیز کم و حدود ۱۵ درصد بود. بارگیری تراکتور توسط نیروی انسانی با استفاده از سید فلزی که در پشت دستگاه تعبیه شده بود، صورت می‌گرفت. از آنجایی که این تراکتورها فاقد تجهیزات مناسب از قبیل وینچ بودند، به منظور حمل چوب آلات به داخل عرصه وارد می‌شدند. در این پژوهش برای حذف اثر شیب مسیر سعی شد مسیری انتخاب شود که شیب آن کمتر از پنج درصد باشد و چوبکشی روبه پایین باشد. تیمار مورد مطالعه عبارت بود از مسیر با تردد تراکتور و مسیر فاقد تردد (شاهد) بود. روش انجام کار بدین نحو بود که برای اینکه خواص منطقه شاهد و مورد تردد تقریباً مشابه باشد، قبل از اینکه ترددی انجام شود در روی مسیر چوبکشی نمونه خاک به عنوان شاهد برداشت و روز بعد از پایان عملیات بهره‌برداری در پارسل مورد مطالعه از محل تردد تراکتور در عرصه جنگلی (۲۰ بار در آن تردد شده بود)، نمونه‌های خاک به صورت طرح کاملاً تصادفی و در قالب سه تکرار برداشت شدند.

نمونه‌برداری توسط سیلندره‌های فولادی (طول ۱۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۵ سانتی‌متر) در عمق ۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری خاک جمع‌آوری شد. سپس این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون خشک شدند (Demir et al., 2007) و عمل توزین نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال مدل EK4000 ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۱ گرم وزن شدند و مقدار وزن خشک به دست آمد. انجام گرفت تا وزن مخصوص ظاهری خاک به دست آید. سپس نمونه‌های خاک به منظور انجام آزمایش‌ها بعدی کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. اسیدیته خاک با تهیه عصاره اشباع به وسیله PH متر دیجیتالی، ازت خاک (N) به روش کجلدال<sup>۱</sup>، پتاسیم (K) و سدیم (Na) با استفاده از فیلم فتومتر<sup>۲</sup> و عناصر منیزیم (Mg)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، مس (Cu) و کلسیم (Ca) به روش اسپکترومتری جذب اتمی (kacar, 1972) و فسفر (P) به روش

اولسن (Olsen et al., 1954) به دست آمد. بافت خاک شامل درصد ذرات رس، سیلت و ماسه توسط هیدرومتر بایکاس (Bouyoucos, Chapman, 1962)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش Wackley (۱۴) و با آمونیوم استات تعیین شد. ماده آلی به روش Black, 1934 (۷۴) تعیین شد. همچنین فشردگی خاک نیز توسط دستگاه فرو سنج<sup>۳</sup> قابل حمل agraTronix ساخت کشور آمریکا تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح زمین در عرصه، مورد مطالعه قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف بررسی شد. سپس مقایسه‌ای بین داده‌های برداشت شده از منطقه شاهد و محل تردد تراکتور در سطح معنی‌داری ۵٪ و با استفاده از آزمون T-Test انجام شد.

## نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک PH: در دو منطقه شاهد و مورد تردد در برخی از خواص خاک نظیر: وزن مخصوص ظاهری و فشردگی اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۱). متوسط فشردگی خاک منطقه مورد تردد تراکتور ۳/۵۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و برای قبل تردد ۱/۴۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است که حاکی از آن است که عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری منطقه مورد تردد، فشردگی بیشتری نسبت به منطقه قبل تردد دارد. همچنین در محل تردد تراکتور وزن مخصوص ظاهری خاک بیشتر از منطقه قبل از تردد و به ترتیب ۱/۳۲ و ۰/۹۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. بعد از تردد درصد ذرات سیلت و شن خاک بیشتر و رس کمتر از شاهد می‌باشد (جدول ۱). تغییرات ماده آلی، رطوبت خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در این عمق معنی‌دار می‌باشد. همچنین در این عمق غلظت فسفر، فیتروژن و آهن در محل تردد کمتر از منطقه شاهد و معنی‌دار است. اختلاف در غلظت عناصر دیگر نظیر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، مس و منگنز در دو منطقه معنی‌دار نبود (جدول ۱).

### ویژگی‌های خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری

در این عمق از بین خصوصیات فیزیکی خاک که تحت تأثیر تردد تراکتور قرار گرفته است می‌توان به وزن مخصوص و فشردگی خاک اشاره کرد. از میان خصوصیات شیمیایی خاک در این عمق فقط ماده آلی تحت تأثیر تردد تراکتور در منطقه قرار گرفت. میزان معنی‌داری عناصر در جدول ۲ نشان داده شده است.

### ویژگی‌های خاک در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری

در این عمق نیز از بین خصوصیات فیزیکی خاک که تحت تأثیر تردد تراکتور قرار گرفته است می‌توان به وزن مخصوص و فشردگی خاک اشاره کرد. هیچ یک از خصوصیات شیمیایی خاک در این عمق

<sup>3</sup> - Penetrometer

<sup>1</sup> - Kjeldal

<sup>2</sup> - Flame photometer

تحت تأثیر تردد تراکتور در منطقه قرار نگرفت. میزان معنی داری عناصر در جدول ۳ نشان داده شده است. چوبکشی توسط تراکتورها تا عمق ۱۰ سانتیمتری خاک روی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و تا عمق ۲۰ و ۳۰ سانتی متری فقط روی خصوصیات فیزیکی خاک تأثیر گذاشته بود. در عمق ۱۰-۰ سانتی متری خاک، تردد تراکتور موجب کاهش مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس و عناصری نظیر فسفر، نیتروژن و آهن و موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری، فشردگی، ذرات سیلت و شن شد؛ ولی دیگر عناصر شیمیایی خاک تفاوت معنی داری

را نشان ندادند. تأثیر تردد تراکتور در عمق ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتیمتری از سطح خاک فقط روی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری و فشردگی خاک معنی دار می باشد. بیشترین تأثیر تردد بر روی خواص فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری و فشردگی خاک بوده است که با نتایج پژوهش Makineci et al. 2007 (۵۱) مطابقت دارد که در این تحقیق تا عمق ۳۰ سانتیمتری از سطح خاک ادامه می یابد. در زیر به خصوصیات از خاک که توسط تراکتور تحت تأثیر قرار گرفت اشاره می شود:

جدول ۱- میانگین (±) اشتباه معیار) مشخصه های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متری

Table 1. Mean (±SE) of soil pHydro-chemical properties at depth 0-10 cm

Sig	2-tailed	منطقه شاهد control area	روی رد چرخ Wheel Track	ویژگی های خاک (soil properties)
*	0.049	29.94±2.17 <sup>b</sup>	35.63±3.52 <sup>a</sup>	شن (%) Sand
**	0.011	21.76±1.89 <sup>b</sup>	27.44±3.74 <sup>a</sup>	سیلت (%) Silt
ns	0.001	48.3±5.47 <sup>a</sup>	36.93±2.78 <sup>a</sup>	رس (%) Clay
**	0.069	5.23±0.14 <sup>b</sup>	5.43±0.24 <sup>a</sup>	pH
**	0	0.97±0.09 <sup>b</sup>	1.32±0.14 <sup>a</sup>	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density(g/cm-3)
**	0	1.45±0.12 <sup>b</sup>	3.57±0.19 <sup>a</sup>	فشردگی Soil Compaction (Kg/cm-2)
**	0.004	36.15±4.21 <sup>b</sup>	46.52±5.68 <sup>a</sup>	رطوبت Humidity (%)
**	0.007	38.14±3.11 <sup>b</sup>	23.79±2.14 <sup>a</sup>	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (Cmol/kg-1)
**	0	10.31±0.25 <sup>b</sup>	3.75±0.18 <sup>a</sup>	ماده آلی Organic Matter (%)
*	0.03	0.402±0.14 <sup>b</sup>	0.361±0.07 <sup>a</sup>	نیتروژن (%) Nitrogen
*	0.017	5.32±0.18 <sup>b</sup>	1.92±0.34 <sup>a</sup>	فسفر PHosphorus (ppm)
ns	0.562	158.92±12.04 <sup>b</sup>	137.14±8.97 <sup>a</sup>	پتاسیم Potassium (ppm)
ns	0.381	2018.43±125.24 <sup>b</sup>	2005.72±163.45 <sup>a</sup>	کلسیم Calcium (ppm)
ns	0.151	307.82±30.47 <sup>a</sup>	282.16±21.54 <sup>a</sup>	منیزیم Magnesium (ppm)
ns	0.271	23.36±1.89 <sup>a</sup>	23.81±1.32 <sup>a</sup>	سدیم Sodium (ppm)
**	0.002	1.41±0.10 <sup>b</sup>	0.38±0.04 <sup>a</sup>	آهن Iron (ppm)
ns	0.178	83.72±7.58 <sup>a</sup>	97.75±12.35 <sup>a</sup>	روی Zinc (ppm)
ns	0.309	0.63±0.04 <sup>a</sup>	0.86±0.09 <sup>a</sup>	مس Copper (ppm)
ns	0.294	185.21±13.65 <sup>a</sup>	141.44±11.24 <sup>a</sup>	منگنز Manganese (ppm)

n.s. غیر معنی دار، \* اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ \*\* اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد  
n.s., non-significant., \* significant difference at the 95% confidence level; \*\* Significant difference at the 99% confidence level

جدول ۲- میانگین (±) اشتباه معیار) مشخصه های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری

Table 2. Mean (±SE) of soil pHydro-chemical properties at depth 10-20 cm

Sig	2-tailed	منطقه شاهد control area	روی رد چرخ Wheel Track	ویژگی های خاک (soil properties)
ns	0.423	29.13±3.14 <sup>a</sup>	32.57±3.47 <sup>a</sup>	شن (%) Sand
ns	0.327	29.69±3.19 <sup>a</sup>	27.01±2.41 <sup>a</sup>	سیلت (%) Silt
ns	0.060	41.18±3.49 <sup>a</sup>	40.42±5.18 <sup>a</sup>	رس (%) Clay
ns	0.113	5.03±0.14 <sup>a</sup>	5.18±0.34 <sup>a</sup>	pH
**	0.018	1.11±0.12 <sup>b</sup>	1.41±0.18 <sup>a</sup>	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density(g/cm-3)
**	0.018	1.03±0.16 <sup>b</sup>	3.13±0.26 <sup>a</sup>	فشردگی Soil Compaction (Kg/cm-2)
ns	0.071	24.12±2.84 <sup>a</sup>	35.48±3.21 <sup>a</sup>	رطوبت Humidity (%)
ns	0.060	21.65±1.56 <sup>a</sup>	17.43±1.98 <sup>a</sup>	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (Cmol/kg-1)
**	0.008	6.79±0.41 <sup>b</sup>	2.42 ±0.14 <sup>a</sup>	ماده آلی Organic Matter (%)
ns	0.180	0.252±0.03 <sup>a</sup>	0.292±0.04 <sup>a</sup>	نیتروژن (%) Nitrogen
ns	0.079	0.19±0.02 <sup>a</sup>	0.03±0.00 <sup>a</sup>	فسفر PHosphorus (ppm)
ns	0.844	122.19±8.54 <sup>a</sup>	120.75±15.34 <sup>a</sup>	پتاسیم Potassium (ppm)
ns	0.536	1238.57±113.78 <sup>a</sup>	1681.84±185.24 <sup>a</sup>	کلسیم Calcium (ppm)
ns	0.402	331.85±27.91 <sup>a</sup>	240.17±21.35 <sup>a</sup>	منیزیم Magnesium (ppm)
ns	0.695	18.25 ±1.34 <sup>a</sup>	21.72±2.04 <sup>a</sup>	سدیم Sodium (ppm)
ns	0.114	1.74±0.18 <sup>a</sup>	0.56±0.07 <sup>a</sup>	آهن Iron (ppm)

ns	0.578	46.38±2.48 <sup>a</sup>	51.27±3.21 <sup>a</sup>	Zinc (ppm) روی
ns	0.581	0.95±0.03 <sup>a</sup>	0.72±0.04 <sup>a</sup>	Copper (ppm) مس
ns	0.532	119.16±12.57 <sup>a</sup>	133.15±11.82 <sup>a</sup>	Manganese (ppm) منگنز

n.s. غیر معنی دار، \* اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ \*\* اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد  
n.s., non-significant., \* significant difference at the 95% confidence level; \*\* Significant difference at the 99% confidence level

جدول ۳- میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری  
Table 3. Mean (±SE) of soil physico-chemical properties at depth 20–30 cm

Sig	2-tailed	منطقه شاهد control area	روی رد چرخ Wheel Track	ویژگی‌های خاک (soil properties)
ns	0.904	29.02±1.83 <sup>a</sup>	31.92±3.59 <sup>a</sup>	شن (%) Sand
ns	0.824	31.23±2.57 <sup>a</sup>	26.96±3.45 <sup>a</sup>	سیلت (%) Silt
ns	0.170	39.75±4.39 <sup>a</sup>	41.12±4.11 <sup>a</sup>	رس (%) Clay
ns	0.262	5.01±0.18 <sup>a</sup>	5.11±0.12 <sup>a</sup>	pH
**	0.029	1.35±0.05 <sup>b</sup>	1.62±0.06 <sup>a</sup>	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density (g/cm-3)
**	0.022	1.64±0.17 <sup>b</sup>	2.83±0.29 <sup>a</sup>	فشرده‌گی Soil Compaction (Kg/cm-2)
ns	0.211	18.19±2.47 <sup>a</sup>	21.72±1.89 <sup>a</sup>	رطوبت (%) Humidity
ns	0.141	11.78±0.54 <sup>a</sup>	11.16±0.87 <sup>a</sup>	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (Cmol/kg-1)
ns	0.091	2.61±0.21 <sup>a</sup>	1.49±0.16 <sup>a</sup>	ماده آلی (%) Organic Matter
ns	0.471	0.151±0.02 <sup>a</sup>	0.182±0.01 <sup>a</sup>	نیتروژن (%) Nitrogen
ns	0.162	0.05±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	فسفر PHosphorus (ppm)
ns	0.918	101.66±12.23 <sup>a</sup>	114.45±25.21 <sup>a</sup>	پتاسیم Potassium (ppm)
ns	0.731	1119.27±105.41 <sup>a</sup>	1313.51±125.87 <sup>a</sup>	کلسیم Calcium (ppm)
ns	0.638	315.38±33.82 <sup>a</sup>	225.72±17.96 <sup>a</sup>	منیزیم Magnesium (ppm)
ns	0.459	16.71±1.45 <sup>a</sup>	20.64±1.31 <sup>a</sup>	سدیم Sodium (ppm)
ns	0.312	0.89±0.06 <sup>a</sup>	0.61±0.08 <sup>a</sup>	آهن Iron (ppm)
ns	0.247	31.48±3.47 <sup>a</sup>	35.31±4.51 <sup>a</sup>	روی Zinc (ppm)
ns	0.238	0.98±0.12 <sup>a</sup>	0.65±0.02 <sup>a</sup>	مس Copper (ppm)
ns	0.905	98.87±8.67 <sup>a</sup>	122.35±12.45 <sup>a</sup>	منگنز Manganese (ppm)

n.s. غیر معنی دار، \* اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ \*\* اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد  
n.s., non-significant., \* significant difference at the 95% confidence level; \*\* Significant difference at the 99% confidence level

### خصوصیات فیزیکی خاک بافت خاک

بافت خاک، فراوانی نسبی ذرات شن، رس و سیلت را در نمونه خاک نشان می‌دهد و یکی از خصوصیات فیزیکی خاک به شمار می‌رود. این عامل فقط در عمق ۱۰-۰ سانتیمتری از سطح خاک در محل تردد و شاهد معنی دار بوده است. بررسی ذرات تشکیل دهنده بافت خاک بیانگر آن است که به‌طور کلی درصد رس خاک در منطقه بهره‌برداری شده کاهش یافته و از میانگین ۴۸/۳ درصد در منطقه شاهد به ۳۶/۹۳ درصد در محل تردد رسیده است و این در حالی است که مقدار سیلت و شن خاک در این عمق افزایش نشان می‌دهد که از کلاس رس سیلتی در منطقه شاهد به کلاس بافتی لوم رس سیلتی در محل تردد تغییر پیدا کرده است و حاکی از درشت شدن بافت خاک است. این تغییر احتمالاً به دلیل به هم خوردگی خاک توسط سید پست تراکتور و نیز فرسایش و حذف ذرات ریزتر اتفاق افتاده است (Ekwue et al., 2009; Hebert et al., 1991). بافت خاک با تأثیر خودروی وضعیت رطوبت خاک می‌تواند تعیین کننده رشد گیاهان و میزان تولید محصول باشد (Majnounian, 1988). ساختار خاک، محتوای مواد آلی خاک و وزن مخصوص ظاهری اولیه در ارزیابی تراکم خاک بسیار مهم هستند (Solomon et al., 2002). با حذف شدن ذرات ریزتر به تدریج ذرات درشت تر نیز به دلیل فرسایش جابه‌جا و از دسترس خارج خواهند شد.

### فشرده‌گی و وزن مخصوص ظاهری خاک

فشرده‌گی خاک از جمله عامل‌های فیزیکی خاک است که در سه عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی متری از سطح خاک افزایش

معنی داری داشته و در منطقه مورد تردد به ترتیب ۳/۲، ۰۴/۴۶ و ۱/۷۳ برابر منطقه شاهد است. فعالیت‌های بهره‌برداری موجب افزایش فشرده‌گی خاک از طریق فشار وارده از طرف چرخ ماشین‌آلات بر واحد سطح می‌شوند (Demir et al., 2007; Heinemann, 2004). فشرده‌گی خاک موجب کاهش تخلخل خاک (Berli et al., 2003; Jamshidi et al., 2008; Teepe et al., 2004) که در نتیجه موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری (Miller et al., 1996; Rab, 1999) و کاهش ظرفیت هدایت هیدرولیکی خاک شده که در نتیجه سبب کاهش ظرفیت نفوذپذیری در خاک و افزایش استعداد فرسایش خاک و تولید رواناب (Greacen & Sands, 1980; Fernández & Vega, 2016) می‌شود که مواد آلی خاک و رشد یا استقرار گیاهان علفی در این مناطق کاهش می‌یابد (Bathke et al., 1992; Makineci et al., 2007). از سوی دیگر فشرده‌گی خاک موجب کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک می‌شود (Brady & Weil, 2002). میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی در میزان مواد آلی خاک و چرخه کربن و نیتروژن ایفا می‌کنند (Jenkinson & Rayner, 1977). از دیگر آثار منفی فشرده‌گی خاک می‌توان به اثر روی بعضی خصوصیات شیمیایی خاک (Arocena, 2000; Ballard, 2000; Herbauts et al., 1996) و کاهش رشد و فعالیت ریشه گیاهان (Anderson et al., 1992; Heilman, 1981; Greacen & Sands, 1980) اشاره کرد. افزایش فشرده‌گی در مناطق بهره‌برداری شده توسط تراکتور موجب کاهش سرعت نفوذپذیری آب در خاک می‌شود که این امر می‌تواند موجب شکل‌گیری رواناب‌های سطحی

در منطقه شود. رواناب موجب از بین رفتن مواد آلی خاک و هوموس می‌شود که در سال‌های متمادی شرایط را برای رویش بذور درختان در این مناطق دچار مشکل می‌سازد. همچنین رواناب موجب حمل بذور از منطقه‌ای که شرایط رویش آن وجود داشت به سمتی که شرایط آن نامساعد می‌باشد، می‌شود. همچنین فشردگی خاک، خصوصیات فیزیکی خاک را مورد تخریب قرار داده و با ایجاد لایه‌ای سخت در سطح خاک شرایط را برای رشد و نمو گیاه نامناسب می‌کند (Froehlich et al., 1986; Hatchell et al 1970).

ترده ماشین آلات جنگل می‌تواند بر عملکردهای کلیدی خاک جنگل از قبیل: افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک (Jourgholami et al., 2019)، کاهش میزان تخلخل (Naghdi et al 2017)، نفوذپذیری خاک (Naghdi et al., 2020)، هدایت هیدرولیکی اشباع (Hansson et al., 2019) و مانع فعالیت جانوران خاکزی (Hansson et al., 2018) شود که این اثرات می‌تواند منجر به کاهش در دسترس بودن اکسیژن، افزایش جریان آب سطحی (Jourgholami et al., 2018)، ازدست رفتن خاک و رسوب گذاری (Etehad et al., 2017) شود. در نهایت، این اثرات نامطلوب می‌تواند مانع رشد ریشه درختان (Martins et al., 2018) شده که بر بهره‌وری سایت تأثیر می‌گذارد (Labelle & Kammermeier, 2019). درجه و وسعت کوبیدگی خاک در عملیات چوبکشی اغلب تحت تأثیر نوع و خصوصیات سیستم برداشت، تعداد ترده، شیب زمین، نوع خاک، بافت و میزان رطوبت خاک قرار دارد (Cambi et al., 2015; Naghdi et al 2016, Picchio et al., 2020).

وزن مخصوص ظاهری خاک از دیگر خصوصیات فیزیکی خاک است که در سه عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲ سانتی‌متری از سطح خاک افزایش معنی‌داری را نشان داد. داد. محققینی نظیر Geist et al., 1989 و Rab, 1999 افزایش وزن مخصوص خاک را در منطقه بهره‌برداری شده توسط اسکیدر تا میزان ۲۰ درصد برآورد کردند اما در این مطالعه به دلیل کاهش سطح تاپر تراکتور نسبت به اسکیدرها و همچنین یکسان نبودن اندازه و سطح تاپرهای عقب و جلو میزان افزایش وزن مخصوص خاک شدیدتر بوده و در منطقه شاهد و در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک که ۹۷٪ گرم بر سانتیمتر معکب بوده به ۱/۳۲ گرم بر سانتیمتر معکب افزایش یافته است. به عبارت دیگر مقدار افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک ۳۶ درصد است که این افزایش در عمق ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتیمتری از سطح خاک به ترتیب برابر ۲۷ و ۲۰ درصد می‌رسد که این میزان کمتر از عمق بالایی خاک می‌باشد که نشان‌دهنده میزان خسارت بیشتر تراکتور در عمق بالا است.

#### خصوصیات شیمیایی خاک

##### ظرفیت تبادل کاتیونی

ظرفیت تبادل کاتیونی یکی از خصوصیات مهم شیمیایی خاک است که فقط کاهش آن در عمق ۱۰-۰ سانتیمتری خاک معنی‌دار می‌باشد که ۳۷/۶۲ درصد کاهش یافته است. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک‌ها بیشتر تابع نوع، مقدار رس و مواد آلی است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک یکی از پارامترهای مهم کیفیت خاک است (Doran, 1994). میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بیشتر در ارتباط با ماده آلی خاک است (Khormali & Shamsi, 2009); بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش ماده آلی خاک، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز کاهش یافته است که این موضوع می‌تواند از طریق کاهش کیفیت خاک موجب افزایش فرسایش خاک شود.

##### مواد آلی خاک

میزان متوسط ماده آلی فقط در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی-متری خاک بعد از ترده نسبت به مرحله قبل از ترده کاهش معنی-داری را نشان داده است به طوری که در هر دو عمق ذکر شده حدود ۶۴ درصد کاهش یافته است. مواد آلی از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین کنترل فعالیت‌های میکروبی، نقش کلیدی در خصوصیات خاک ایفا می‌کند (Solomon et al., 2003; Mahmoodi & Hakimian, 2002). مواد آلی خاک علاوه بر تأثیر فراوان بر روی ساختمان خاک منبع بسیاری از عناصر مهم غذایی است و از طرف دیگر قدرت جذب و ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش داده و یک منبع انرژی مهم برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک محسوب می‌شوند (Ardakani, 2005). کاهش مواد آلی در اثر به هم خوردن خاک سطحی (عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک) موجب سریع‌تر شدن تجزیه بیولوژیک مواد آلی و کاهش پایداری خاک (Dyrness & Youngberg, 1957; Tisdall & Oades, 1982) و در نتیجه شدت یافتن فرسایش خاک و به دنبال آن هدررفت مواد آلی همراه با رواناب می‌شود (Aguilar et al., 1988). میزان پایداری خاک دانه‌های خاک بیش از هر عامل دیگری با ماده آلی خاک در ارتباط هستند (Kavdir et al., 2004; Knoepf & Swank, 1997; Saiedyfar & Asgari, 2014). بنابراین ماده آلی یکی از عوامل مهم در کاهش جریان‌های سطحی در منطقه از طریق افزایش نفوذپذیری آب در خاک می‌باشد.

#### عناصر ازت، فسفر و آهن

کاهش این عناصر در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک معنی‌دار بود که با مطالعه Makineci et al., 2007 مطابقت دارد. میزان عناصر ازت، فسفر و آهن به ترتیب ۱۰/۲، ۶۳/۹۱ و ۷۳/۰۵ درصد کاهش نشان دادند. ازت و فسفر در رشد گیاه و آهن از عناصر مورد نیاز گیاه به منظور انجام فرایند فتوسنتز و همچنین تثبیت بیولوژیک ازت ضروری است (Ardakani, 2005). کاهش این عناصر در منطقه بهره‌برداری شده موجب کاهش رشد گیاهان و نهال‌های موجود در منطقه خواهد شد. از آنجایی که پوشش گیاهی نقش مهمی در کاهش میزان فرسایش خاک از طریق جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک دارد، وجود عناصر غذایی به مقدار لازم در خاک موجب رشد بیشتر و انبوهی گیاهان کف جنگل شده که این امر نیز موجب کاهش فرسایش و جلوگیری از جریان‌هایی با حجم و سرعت بالا می‌شوند که در منطقه بهره‌برداری شده از اهمیت خاصی برخوردار هستند.

#### نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق مشاهده شد که استفاده از تراکتور کشاورزی در حمل‌ونقل اولیه مقطوعات جنگلی، به دلیل یکسان نبودن سطح تماس لاستیک‌های آن (سطح تماس کم در لاستیک جلو) و همچنین به دلیل نداشتن وینچ موجب ایجاد حالت شخم در مسیر چوبکشی و ایجاد اثرات معنی‌داری روی خاک جنگل از جمله تغییر خصوصیات فیزیکی نظیر: فشردگی خاک، افزایش وزن مخصوص ظاهری و تغییر بافت خاک و همچنین تأثیر بر خصوصیات شیمیایی خاک از جمله کاهش عناصری مانند ازت، فسفر، آهن، کاهش ماده آلی و ظرفیت تبادل شد که می‌تواند موجب ازدست‌دادن خاک جنگل و در نتیجه تخریب توده جنگلی و کاهش سطح عرصه جنگلی شود و با توجه به مطالعات انجام شده در مورد بازیابی طولانی‌مدت این اثرات برای چند سال تا چند دهه (Ahmadi et al., 2019; Croke et al., 2001; Hansson et al., 2019; Heineman, 2004; Hatchell et al 1970; Hebert et al., 1991) و خلاء مدیریتی

توجه به شاخص‌هایی مانند جنس خاک، سنگ‌بستر، وضعیت زادآوری، توپوگرافی، شیب و ناهمواری در طراحی مسیرهای چوبکشی. طراحی مسیرهای چوبکشی در امتداد خطوط منحنی میزان برای جلوگیری از تخریب خاک باید مسیرهای چوبکشی با طول کوتاه‌تر، پوشش عرضی کمتر، انشعابات کمتر و تعداد بیشتر در مسیر استفاده شود.

مسیرهای چوبکشی فاقد روسازی و بسترسازی می‌باشد در نتیجه تردد ماشین‌آلات در روی بستر مسیرهای جنگلی به دفعات زیاد ایجاد و فرورفتگی و رد چرخ و رد گرده‌بینه می‌نماید. باتوجه به شیب طولی زیاد و همچنین بار زیاد و حتی کشیدن بار روی مسیر، این فرو رفتگی‌ها باعث ایجاد کانال‌های بزرگ می‌شوند که این خود جدای از کوبیدگی خاک موجب افزایش رواناب می‌شود. باید کوشش نمود تا تعداد تردد کمتر گردد و یا با ایجاد شیپ‌هایی عکس جهت از رواناب جلوگیری نمود.

باتوجه به طرح تنفس جنگل و فشردگی زیاد خاک در مسیرهای چوبکشی، ایجاد شیپ‌های عرضی و خراش خاک پس از پایان عملیات چوبکشی در روی مسیرهای اسکیدرو تأکید می‌شود. استفاده از مازاد مقطوعات جنگلی، ۱ (مانند سرشاخه‌های درختان، مالچ خاک‌اره) برای شکل‌دادن لایه حفاظتی در مسیرهای چوبکشی برای کاهش وزن ماشین‌آلات جنگلی و کاهش کوبیدگی خاک‌های جنگلی پیشنهاد می‌شود.

ناشی از اجرای طرح تنفس سبب شده تا بودجه کافی جهت حفاظت و نگهداری مسیرهای چوبکشی وجود نداشته باشد (parsakhoo et al., 2022). هر چند همچنان لزوم حفاظت، احیا و ترمیم مسیرهای چوبکشی به منظور حفظ کارکرد آب‌و خاک و سلامت اکوسیستم جنگل، کاهش اثرات کوبیدگی خاک و پایداری جنگل‌های خزری بر کسی پوشیده نیست. برای کاهش این اختلالات خاک، تمرکز کار باید در شناسایی و استفاده از تکنیک‌های مؤثر در رفع اثرات جهت‌گیری شود.

نوع ماشین مورد استفاده در بهره‌برداری جنگل می‌تواند در افزایش یا کاهش آثار زیست‌محیطی نقش مهمی را در میزان تخریب خاک ایفا کند. عواملی مانند شیب (Naghdi et al., 2020; Sohrabi et al., 2019)، میزان رطوبت خاک در زمان چوبکشی (Hansson et al., 2018)، بافت خاک (Mariotti et al., 2020; mostafanezhad et al., 2019)، وزن مخصوص ظاهری خاک، (Lotfalian, 1996)، میزان هوموس و مواد آلی (Sohrabi et al., 2019) همه می‌توانند نقش مهمی در میزان مقاومت فیزیکی خاک در ارتباط با وزن و تعداد تردد ماشین‌های کشنده زمینی داشته باشند؛ لذا جهت جلوگیری از مشکلات حاصل از خروج چوب توسط دستگاه‌های کشنده از جنگل باید نوع ماشین‌آلات، میزان و شکل فیزیکی محصولات جنگلی، توپوگرافی منطقه، جهت چوبکشی و میزان رطوبت و نوع خاک، را مدنظر قرارداد. از موارد دیگر برای کاهش اثرات چوبکشی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

## منابع

- Aguilar, R., Kelly, E.F., & Heil, R.D. (1988). Effects of cultivation on soils in Northern Great Plains rangeland. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 1081-1085.
- Ahmadi, M., Jourgholami, M., Majnounian, B., & Khalighi, S. (2019). The effect of sawdust mulch application on amount of runoff in the skid trails (Case study: Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest*, 11(3), 297-307.
- Anderson H., Boddington D., Van Rees H. (1994). The long-term effects of sawlog-only harvesting on some soil physical and chemical properties in East Gippsland, Unpublished. Department of Conservation and Environment, Victoria, Australia. 29 p.
- Anonymous (1995). Kouhman's Forest Management Plan Booklet. Golestan Province General Office of Natural Resources, 250 p.
- Ardakani M.R. (2005). Ecology. Tehran University press, fifth edition, 340 p.
- Arocena J.M. (2000). Cations in solution from forest soils subjected to forest floor removal and compaction treatments. *Forest Ecology and Management* 133: 71-80.
- Ballard T.M. (2000). Impacts of forest management on northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133: 37-42.
- Bathke G.R., Cassel D.K., Hargrove W.L. Porter P.M. (1992). Modification of soil physical properties and root growth response. *Soil Science* 154: 316-329.
- Berli M., Kulli B., Attinger W., Keller M., Leuenberger J., Flüeler H., Springman S.M., Schulin R. (2003). Compaction of Agricultural and forest soils by tracked heavy construction machinery. *Soil and Tillage Research* 75: 37-52.
- Bouyoucos G.J. (1962). Hydrometer method for making particle size analysis of soils, *Agronomy Journal* 54 (5): 464-465.
- Brady N.C., Weil, R.R. (2002). Elements of the Nature and Properties of Soils. Upper Saddle River, New Jersey: 202-212.
- Buckley D.S., Crow T.R., Nauertz E.A., Schulz K.E. (2003). Influence of skid trails and haul roads on understory plant richness and composition in managed forest landscapes in Upper Michigan, USA. *Forest Ecology and Management* 175: 509-520.
- Cambi, M., Certini, G., Neri, F., & Marchi, E. (2015). The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest Ecology and Management*, 338, 124-138.
- Chapman H.D. (1965). Cation exchange capacity. In: methods of soil analysis, Part 2. Black, C.A. (Ed). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 890 p.
- Corns I.G.W. (1988). Compaction by forestry equipment and effects on coniferous seedling growth on four soils in the Alberta foothills. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 75-84.

- Croke J., Hairsine P., Fogarty P. (2001). Soil recovery from track construction and harvesting changes in surface infiltration, erosion and delivery rates with time. *Forest Ecology and Management* 143: 3–12.
- Demir M., Makineci E., Yilmaz E. (2007). Investigation of timber harvesting impacts on herbaceous cover, forest floor and surface soil properties skid road in an oak (*Quercus petraea* L.) stand. *Building and Environment* 42: 1194–1199.
- Doran J.W., parkin T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D. F., and Steward, B.A., (Eds) defining soil quality for a sustainable environment. SSSA. special publication, no. 35, 250 p.
- Dyrness C.T., Youngberg C.T., (1957). The effect of logging and slash-burning on soil structure. *Soil Science Society of America Journal* 21: 444–447.
- Eghtesadi A. (2008). Evaluation of wood productivity rate in primary and secondary transportation in Nekachub region. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 16(2): 274–291.
- Ekwue E.I., Bharat C. Samaroo K. (2009). Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering* 102: 236–243.
- Etehadi Abari, M., Majnounian, B., Malekian, A., & Jourgholami, M. (2017). Effects of forest harvesting on runoff and sediment characteristics in the Hyrcanian forests, northern Iran. *European Journal of Forest Research*, 136, 375–386.
- Fernández, C., & Vega, J. A. (2016). Effects of mulching and post-fire salvage logging on soil erosion and vegetative regrowth in NW Spain. *Forest Ecology and Management*, 375, 46–54.
- Froehlich H.A., Miles D.W., Robbins R.W. (1986). Growth of young *Pinus ponderosa* and *Pinus contorta* on compacted soil in Central Washington. *Forest Ecology and Management* 15: 285–294.
- Geist J.M., Hazard J.W., Seidel, K.W. (1989). Assessing physical conditions of some Pacific Northwest volcanic ash soils after forest harvest. *Soil Science Society American journal* 53: 946–950.
- Greacen E.L., Sands, R. (1980). Compact of forest soils: a review. *Journal of Soil Research*, 18: 163–189.
- Hansson, L. J., Koestel, J., Ring, E., & Gärdenäs, A. I. (2018). Impacts of off-road traffic on soil physical properties of forest clear-cuts: X-ray and laboratory analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(2), 166–177.
- Hansson, L., Šimůnek, J., Ring, E., Bishop, K., & Gärdenäs, A. I. (2019). Soil compaction effects on root-zone hydrology and vegetation in boreal forest clearcuts. *Soil Science Society of America Journal*, 83, S105–S115.
- Hatchell G.E., Ralston C.W., Foil R.R. (1970). Soil disturbances in logging: effects on soil characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic Coastal Plain. *Journal of Forestry* 68: 772–775.
- Hebert K., Karam A., Parent L. E. (1991). Mineralization of nitrogen and carbon in soils amended with composted manure. *Biol. Agric. Hort* 7: 336–361.
- Heilman P. (1981). Root penetration of Douglas-fir seedlings into compacted soil. *Forest Science* 27: 660–666.
- Heinemann H. R. (2004). Forest operation under mountainous conditions. In: J. Burley, Evans and J., Youngquist, (eds.). *Encyclopedia of forest sciences*, Elsevier Academic Press, Amsterdam: 279–285.
- Herbauts J. E., Bayad J., Gruber W. (1996). Influence of logging traffic on the hydromorphic degradation of acid forest soils developed on loessic loam in middle Belgium. *Forest Ecology and Management* 87: 193–207.
- Jamshidi R., Jaeger D., Raafatnia N., Tabari M. (2008). Influence of two ground-based skidding system on soil compaction under different slope and gradient conditions. *Journal of Forest Engineering* 19 (1): 9–16.
- Jenkinson D.S., Rayner J.H. (1977). The turnover of soil organic matter in some of the othamsted classic experiments. *Soil Science* 123: 298–305.
- Jourgholami, M., Fathi, K., & Labelle, E. R. (2018). Effects of foliage and traffic intensity on runoff and sediment in skid trails after trafficking in a deciduous forest. *European Journal of Forest Research*, 137, 223–235.
- Jourgholami, M., Ghassemi, T., & Labelle, E. R. (2019). Soil physio-chemical and biological indicators to evaluate the restoration of compacted soil following reforestation. *Ecological indicators*, 101, 102–110.
- Jurgensen M.F., Harvey A.E., Graham R.T., Page-Dumroese D.S., Tonn J.R., Larsen M.J., Jain T.B. (1997). Impacts of timber harvesting on soil organic matter, nitrogen, productivity, and health of inland northwest forests. *Forest Science*. 43: 234–251.
- Kacar B. (1972). Chemical analysis of plant and soil. II. Plant Analysis. Publications of Ankara University, Agriculture Faculty, Publication Number 453, Ankara.
- Kavdir Y., Ozcan H., Ekinci H., yigini Y. (2004). The influence of clay content, organic carbon and landuse types on soil aggregate stability and tensile strength. *Turk J. Agriculture and Forestry* 28: 155–162.
- Kazemi, S., Hojati, S. M., Fallah, A., & Tafazzoli, M. (2015). Effects of forest management on soil physical and chemical properties of Khalil-Mahale forest. *Forest Research and Development*, 1(2), 167–180.
- Khormali F., Shamsi S. (2009). Investigation of the quality and micromorphology soil evolution in different landuses of a loess hillslope of Golestan province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources JASNR* 16(3): 14–26.
- Knoepp J.D., Swank W.T. (1997). Long-term effects of commercial saw log harvest on soil cation concentrations. *Forest Ecology and Management* 93: 1–7.
- Kozłowski T.T. (1999). Soil compaction and growth of woody plants. *Scan. Journal. Forest. Research*. 14: 596–619.
- Labelle, E. R., & Kammermeier, M. (2019). Above-and belowground growth response of *Picea abies* seedlings exposed to varying levels of soil relative bulk density. *European Journal of Forest Research*, 138(4), 705–722.
- Lotfalian M. (1996). Effect of skidding on soil compaction. MSc. Thesis, Tarbiat Modares University, 116 pp.
- Mahmoodi S.h., Hakimian M. (2003). Fundamentals of soil science. Tehran University press, 701 p.



- Majnounian, B. (1988). Investigating the status and level of forest exploitation mechanization in Iran, *Iranian Natural Resources Magazine*, 42: 95-103.
- 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.
- Makineci E., Demir M., Yilmaz E. (2007). Long term harvesting effects on skid road in a fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.) plantation forest. *Building and Environment* 42: 1538–1543.
- Mariani L., Chang S.X., Kabzems R. (2006). Effects of tree harvesting, forest floor removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in boreal aspen forest in British Columbia. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1734–1744.
- Mariotti, B., Hoshika, Y., Cambi, M., Marra, E., Feng, Z., Paoletti, E., & Marchi, E. (2020). Vehicle-induced compaction of forest soil affects plant morphological and physiological attributes: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 462, 118004.
- Martins, P. C. C., Dias Junior, M. d. S., Ajayi, A. E., Takahashi, E. N., & Tassinari, D. (2018). Soil compaction during harvest operations in five tropical soils with different textures under eucalyptus forests. *Ciência e Agrotecnologia*, 42, 58-68.
- Miller R.E., Scott W., Hazard J.W. (1996). Soil compaction and conifer growth after tractor yarding at three coastal Washington locations. *Forest Research Canadian Journal* 26: 225–236.
- mostafanezhad, s. r., Pourmadjidian, m. r., Espahbodi, K., & Egtesadi, A. (2019). The Environmental Effects of Skidder Traffic and Skidding Directions on Forest Soil Compaction and the Regeneration Establishment Condition in Choob-e- Farim Forests [Research]. *Ecology of Iranian Forests*, 7(14), 22-30.
- Naghdi, R., Solgi, A., Labelle, E. R., & Nikooy, M. (2020). Combined effects of soil texture and machine operating trail gradient on changes in forest soil physical properties during ground-based skidding. *Pedosphere*, 30(4), 508-516.
- Naghdi, R., Solgi, A., Zenner, E. K., Najafi, A., Salehi, A., & Nikooy, M. (2017). Compaction of forest soils with heavy logging machinery. *Silva*, 18(1).
- Naghdi, R., Solgi, A., Zenner, E. K., Tsioras, P. A., & Nikooy, M. (2016). Soil disturbance caused by ground-based skidding at different soil moisture conditions in Northern Iran. *International Journal of Forest Engineering*, 27(3), 169-178.
- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., Dean L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*, US Government Printing Office, Washington, DC.
- parsakhoo A, rezaei motlagh A, Matin Nia B, Gholami Z. (2022). Effect of the road technical and drainage properties on roadside landslides in watershed 85 in Golestan province. *ifej* 10 (19) :47-55
- Picchio, R., Mederski, P. S., & Tavankar, F. (2020). How and how much, do harvesting activities affect forest soil, regeneration and stands? *Current forestry reports*, 6(2), 115-128.
- Ponder F., Mahasin T. (2002). Phospholipid fatty acids in forest soil four years after organic matter removal and soil compaction. *Applied Soil Ecology* 19: 173–182.
- Rab M.A. (1999). Measures and operating standards for assessing Montreal process soil sustainability indicators with reference to Victorian Central Highlands forest, southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 117: 53–73.
- 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.
- Saiedifar, Z., & Asgari, H. R. (2014). Effects of Soil Compaction on Soil Carbon and Nitrogen Sequestration and Some Physico-Chemical Features (Case Study: North of Aq Qala). *ECOPERSIA*, 2(4), 743-755.
- Sarikhani N. (2001). *Forest utilization*. Second edition. Tehran University press, 766 p.
- Sohrabi, H., Jourgholami, M., Tavankar, F., Venanzi, R., & Picchio, R. (2019). Post-harvest evaluation of soil physical properties and natural regeneration growth in steep-slope terrains. *Forests*, 10(11), 1034.
- Solomon D., Fritzsche F., Tekalign M., Lemann J., Zeeh W. (2002). Soil organic matter composition in subhumid Ethiopian highlands as influenced by deforestation and agriculture management. *Soil Science of Society America journal* 66: 68-82.
- Soltanpour, S., & Jourgholami, M. (2015). Effects of ground-based skidding using wheeled skidder timberjack 450C on forest soil physical properties (Case study: Gorazbon District, Kheyroud Forest). *Forest and Wood Products*, 68(1), 17-30.
- Teepe R., Brumme R., Beese F., Ludig B. (2004). Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils. *Soil Science of Society America Journal* 68: 605–611.
- Tisdall J.M., Oades J.M. (1982). Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal Soil Science* 33: 141–163.
- Trautner, A., & Arvidsson, J. (2003). Subsoil compaction caused by machinery traffic on a Swedish Eutric Cambisol at different soil water contents. *Soil and Tillage Research*, 73(1-2), 107-118.
- Wackley H., Black I.A. (1934). An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid method, *Soil Science* 37: 29–38.
- Wang L. (1997). Assessment of animal skidding and ground machine skidding under mountain conditions. *Journal of Forest Engineering* 8: 57–64.
- Williamson J.R., Neilsen W.A. (2003). The effect of soil compaction, profile disturbance and fertilizer application on the growth of eucalypt seedlings in two glasshouse studies. *Soil & Tillage Research* 71: 95–107.

## "Research Paper"

### Evaluating the effects of logging with a Ferguson tractor on the physical and chemical properties of the soil Case study: Kouhmian forests, Azadshahr

Mostafa Moghadamirad<sup>1</sup> and Vahid Rizvandi<sup>2</sup>

1- Expert, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Golestan Province,  
(Corresponding author: moghadami.mostafa@yahoo.com)

2- Expert, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran  
Received: 26 April, 2023 Accepted: 23 September, 2023

**Introduction and Objective:** Logging on the ground in routes has brought a lot of force to the soil and due to the direct contact of wood with the forest soil, it has always been associated with a wide range of destructive effects on the forest ecosystem, the change in the physical and chemical properties of the soil is one of the most important effects caused by harvesting operations. Numerous studies report the long-term recovery of the physical and chemical properties of the soil. This research aims to obtain the necessary information for planning to reduce the damage to the soil in this topic, therefore, it is necessary to investigate the effects of using agricultural tractors in transporting wood in order to identify the negative effects and also provide solutions to reduce these effects.

**Material and Methods:** This research was conducted in Parcel 27 of Kohmian Forestry Plan, Azadshahr, Golestan province. In order to investigate the physical and chemical changes of the soil due to logging with agricultural tractors, soil sampling in reference areas and in the passageways by metal cylinders at three depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm of the soil that done randomly and in three replications in the form of a complete design (experiment). Then the physical properties of the soil including compaction, apparent specific gravity, moisture, texture and chemical properties including organic matter, cation exchange capacity, nitrogen, potassium, phosphorus, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese, copper and soil acidity were studied.

**Results:** The results showed that the physical characteristics of the soil in all three depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm had a significant difference compared to the control area, such as soil compaction in the traffic area at these three depths from the soil surface was 2.46, 3.04 and 1.73 more than control area, the increase in specific weight of the soil in these three depths compared to the control area was 36, 27 and 20%, respectively. Organic matter in both first depth decreased by about 64% compared to the control area. Also, chemical properties such as cation exchange capacity and the concentration of elements such as phosphorus, nitrogen and iron showed a decrease of 37.62, 63.91, 10.2 and 73.05% respectively in the soil depth of 0-10 cm. And in the depth of 10-20 and 20-30 cm, these elements did not change significantly.

**Conclusion:** Considering the fact that using tractor in forest due to the lack of a winch and also non-uniform contact surface of its tires, causes more damage to the forest soil through the effect on the physical properties such as: soil compaction, increase in apparent specific weight and soil texture, as well as the impact on the chemical properties of the soil, including the reduction of elements such as nitrogen, phosphorus, iron, reduction of organic matter and exchange capacity, which because of the long-term durability of these effects, there is room for measures such as the use of specialized logging machines such as grapple skidders instead of agricultural tractors, and surface scraping In logging routes.

**Keywords:** Kohmian forestry plan, Logging, Logging route, Soil physical and chemical properties