Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 12. Issue. 1, 2024 p: 16-27

OPEN ACCESS

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[1] and Vahid Rizvandi[2]

1- Expert, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Golestan Province, Gorgan, Iran, (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 Revised: 19 September, 2023 Available Online: 13 March, 2024

Extended Abstract

Background: Forest harvesting operations, especially logging, are activities that cause interference and tampering with nature. Tractor-operated systems are the most common type of small-scale equipment used in the north of Iran. Due to the direct contact of wood with the forest soil, land logging has always been associated with a wide range of destructive effects on the forest ecosystem, including changes in the soil's physicochemical properties and damage to the natural regeneration and remaining trees. After logging, deep grooves are visible in the remaining logging roads, which can cause soil erosion, landslides, and soil fall due to the high longitudinal slope of these roads. Changes in the soil's physicochemical properties are among of the most important effects caused by the exploitation and removal of wood from the forest mass. Numerous studies report the long-term recovery of the soil's physicochemical properties. A major management goal in forest exploitation is the need to minimize the effects of vehicle traffic on the forest soil because these negative effects can be significant in the long run. The soil characteristics (appearance, compactness, and texture) and chemical properties in terms of soil elements, organic matter, and pH in two control and forest exploitation areas were studied to provide solutions to reduce these effects.

Methods: The Kohmian forestry project is located in the 89th watershed of the northern forests of Iran in the area of Natural Resources of Golestan-Gorgan province. This research was conducted in Parcel 27 of the Kohmian Azadshahr Forestry Project located in Golestan, Iran. To investigate the soil's physicochemical changes due to logging with agricultural tractors, soil was sampled in two control areas and on the crossing paths by metal cylinders at three depths (0-10, 10-20, and 20-30 cm) of the soil in a completely randomized design with three replications. These samples were dried in the laboratory in an oven at 105 °C for 24 h and then weighed using a digital scale (EK4000, Japan) with an accuracy of 0.1 g. After recording the soil dry weight, the physical properties (compaction, apparent specific gravity, moisture, and texture) and chemical properties (organic matter, cation exchange capacity, nitrogen, potassium, phosphorus, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese, copper, and acidity) were studied using standard methods.

Results: Logging with an agricultural tractor significantly impacted both the soil's physical and chemical properties. The most notable effect was observed in the soil depths sampled from 0-10 cm and 20-30 cm. The alterations predominantly pertained to physical changes in the soil, with no significant modifications detected in the chemical properties. Notably, soil compaction in the trafficked areas at depths of 0-10, 10-20, and 20-30 cm was respectively 46.2, 3.04, and 1.73 times higher than that of the control area. Furthermore, the increase in soil specific gravity at these depths ranged from 20% to 36% compared to the control area. Chemical properties such as cation exchange capacity and the concentrations of elements (e.g., phosphorus, nitrogen, and iron) exhibited reductions of 37.62%, 63.91%, 10.2%, and 73.05%, respectively, in the top 0-10 cm depth. At a depth of 10-20 cm, only organic matter was significantly impacted by tractor traffic, with a reduction of approximately 64% compared to the control area. Chemical properties at a depth of 20-30 cm remained unaffected by tractor traffic.

Conclusion: The study highlights the detrimental effects of using an agricultural tractor for primary forest plot transportation. The uneven contact surface of its tires, particularly the lower

Copyright ©2024 Moghadamirad and Rizvandi. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

contact surface in the front tire, along with the absence of a winch, leads to soil disturbance along the logging path. This disturbance includes soil compaction, increased specific gravity, and alterations in soil texture, nitrogen, phosphorus, and iron content, reduced organic matter, and decreased soil exchange capacity. To mitigate these adverse effects, it is recommended to employ specialized logging machinery, such as skidders with rakes, instead of agricultural tractors. Other measures include implementing surface protections on logging paths, restricting logging activities to periods when the forest soil is dry and less prone to damage, and proper disposal of excess logs along the logging route.

Keywords: Kohmian forestry plan, Logging, Logging route, Soil, physicochemical properties

How to Cite This Article: Moghadamirad, M., and Rizvandi, V. (2024). Evaluating the Effects of Logging with a Ferguson Tractor on the Physical and Chemical Properties of the Soil. Case Study: Kouhmian Forests, Azadshahr. *Ecol Iran For,* 12(1), 16-27. DOI: 10.61186/ifej.12.1.16

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

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

مصطفی مقدمی‌راد[۱] و وحید ریزوندی[۲]

۱- کارشناس، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: moghadami.mostafa@yahoo.com)
۲- کارشناس، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳
صفحه: ۱۶ تا ۲۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: عملیات بهره‌برداری جنگل به‌خصوص چوب‌کشی از فعالیت‌هایی هستند که موجب دخالت و دست‌خوردگی طبیعت می‌شوند. سیستم‌های بهره‌برداری با تراکتور، معمولی‌ترین انواع تجهیزات کوچک مقیاس هستند که در شمال کشور استفاده می‌شود. چوبکشی زمینی به دلیل تماس مستقیم چوب با خاک جنگل همواره با دامنه اثرات تخریبی وسیع به اکوسیستم جنگلی از جمله تغییر در ویژگی‌هاتی فیزیکی و شیمیایی خاک و خسارت به تجدید حیات طبیعی و درختان باقیمانده همراه بوده است، پس از اتمام چوبکشی دیده می‌شود که شیارهای عمیق در مسیرهای چوبکشی باقی‌مانده و باتوجه‌به شیب طولی زیاد این مسیرها موجب فرسایش و لغزش و ریزش خاک‌ها شود 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. از مهم‌ترین اهداف مدیریتی در بحث بهره‌برداری جنگل، لزوم به‌حداقل‌رساندن اثرات تردد وسایل نقلیه روی خاک جنگل است چرا که این تأثیرات منفی در درازمدت می‌تواند معنی‌دار باشد هدف این پژوهش شناسایی میزان اثرات استفاده از تراکتورهای کشاورزی در حمل چوب بر روی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری، فشردگی و بافت خاک و همچنین خصوصیات شیمیائی خاک ازنقطه‌نظر عناصر خاک، ماده آلی و pH خاک در دو منطقه شاهد و بهره‌برداری جنگل به‌منظور ارائه راهکارهایی در جهت کاهش این اثرات بود.

مواد و روش‌ها: طرح جنگلداری کوهمیان با مساحتی بالغ بر ۳۶۷۱ هکتار در حوزه آبخیز ۸۹ از تقسیمات جنگل‌های شمال کشور در حوزه اداره کل منابع طبیعی استان گلستان – گرگان واقع شده است. این تحقیق در پارسل ۲۷ طرح جنگلداری کوهمیان آزادشهر واقع در گلستان ایران انجام شد. به‌منظور 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 ۰-۱۰، ۱۰- ۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در قالب طرح (آزمایش) کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. سپس این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون خشک شدند عمل توزین نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی مدل EK4000 ساخت کشور ژاپن بادقت ۰/۱ گرم انجام شدو مقدار وزن خشک ثبت 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 اسیدیته خاک با روش‌های استاندارد موردمطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که چوبکشی به وسیله تراکتور کشاورزی روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تاثیرات مهمی داشت که بیشترین تاثیر آن روی عمق ۰-۱۰ سانتی متری خاک بود که هم خصوصیات شیمیایی خاک و هم خصوصیات قیزکی خاک دچار تغییراتی شد اما در عمق‌های ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری خاک بیشترین تغییرات مربوط به تغییرات فیزکی خاک بود و در خصوصیات شیمیایی خاک تغییرات معنی داری رخ نداد. از جمله این تغییرات تغییر در خصوصیات فیزیکی خاک در هر سه عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری نسبت به منطقه شاهد داشت به‌طوری‌که فشردگی خاک در منطقه مورد تردد در این سه عمق از سطح خاک به ترتیب ۲/۴۶، ۳/۰۴ و ۱/۷۳ برابر منطقه شاهد بود، افزایش وزن مخصوص خاک نیز در این سه عمق نسبت به منطقه شاهد، به ترتیب ۳۶ و ۲۷ و ۲۰ درصد بود. همچنین خصوصیات شیمیایی از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی و غلظت عناصری نظیر فسفر، نیتروژن و آهن در عمق ۰- ۱۰ سانتی‌متری خاک به ترتیب ۳۷/۶۲، ۶۳/۹۱، ۱۰/۲ و ۷۳/۰۵ درصد کاهش نشان داد. از میان خصوصیات شیمیایی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری فقط ماده آلی تحت‌تأثیر تردد تراکتور در منطقه قرار گرفت به طوریکه ماده آلی در عمق ذکر شده حدود ۶۴ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد داشت. این عناصر تغییر معنی‌داری نداشتند؛ هیچ یک از خصوصیات شیمیایی خاک در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری تحت‌تأثیر تردد تراکتور در منطقه قرار نگرفت.

نتیجه‌گیری کلی: در این تحقیق مشاهده شد که استفاده از تراکتور کشاورزی در حمل‌و نقل 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 شده است از جمله این تغییرات، تغییر خصوصیات فیزیکی خاک نظیر: فشردگی خاک، افزایش وزن مخصوص ظاهری و تغییر بافت خاک است از طرف دیگر چوبکشی بر روی خصوصیات شیمیایی خاک اثرات معنی‌داری داشت از جمله این اثرات کاهش عناصر خاک مانند ازت، فسفر، آهن، کاهش ماده آلی و کاهش ظرفیت تبادل خاک است که باتوجه‌به ماندگاری زیاد این اثرات لازم است که تمهیداتی برای کاهش این اثرات منفی، نظیر استفاده از ماشین‌آلات تخصصی چوبکشی نظیر اسکیدر چنگک‌دار به‌جای تراکتورهای کشاورزی، خراش سطحی در مسیرهای چوبکشی، محدود کردن زمان چوبکشی به زمانی که خاک جنگل خشک است و قابلیت تردد بالاتری دارد، ریختن مازاد مقطوعات روی مسیر چوبکشی 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 به‌وسیله ماشین‌آلات بهره‌برداری پتانسیل تخریب رویشگاه و خاک به‌ویژه فشردگی خاک، ایجاد شیار در کف جنگل، به‌هم‌خوردگی خاک و کاهش مواد غذایی را دارد (Greacen & sands, 1980; Corns, 1988; Jurgensen *et al.*, 1997; Kozlowski, 1999).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

عملیات بهره‌برداری در اکوسیستم‌های جنگلی موجب کاهش فعالیت‌های خاک توسط موجودات خاکزی و تغییر در میکروکلیما می‌شود (Buckley *et al.*, 2003). همچنین بهره‌برداری می‌تواند اثر منفی بر خاک از قبیل: حذف، آمیختگی و فشرده‌شدن لایه‌های مختلف خاک داشته باشد (Kozlowski, 1999). تردد چوبکش‌ها و حمل گرده‌بینه منجر به شکسته‌شدن خاکدانه‌ها به قطعات کوچک می‌شود، فضای بین خاکدانه‌ای کاهش‌یافته و به‌این‌ترتیب 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 فشرده‌شدن 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) و از طرفی مواد مغذی موجود در خاک تأثیر زیادی روی گیاهان و جانورانی که در خاک زندگی می‌کنند دارد (Ponder & Mahasin, 2002). از طرفی بهره‌برداری جنگل که به‌منظور 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 به‌حداقل‌رساندن 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 و پتاسیم موجود در خاک طی تردد ماشین‌آلات سنگین بهره‌برداری و در اثر به‌هم‌خوردگی خاک کاهش چشمگیری می‌یابد (wang, 1997). بهره‌برداری موجب افزایش فشردگی، وزن مخصوص ظاهری، کاهش مواد آلی و تخلخل خاک شد (Rab, 2004). بهره‌برداری کوبیدگی بیشتر خاک، کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کاهش میزان نیتروژن خاک را به‌همراه داشت (Mariani *et al.*, 2006). در مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نواحی از جنگل که اسکیدر در آن تردد داشته، با نواحی دست‌نخورده (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 معنی‌دار نبود (Makineci *et al.*, 2007). بهره‌برداری موجب افزایش چگالی، فشردگی و PH خاک و همچنین افزایش میزان ذرات شن و سیلت در خاک شد (Demir *et al.*, 2007). شدت تردد دستگاه حمل چوب بر روی مقدار فشردگی خاک در مسیرهای چوبکشی اثر معنی‌دار داشته (Lotfalian , 1996; Trautner & Arvidsson, 2003). طوری که در اثر شدت تردد، خاک مسیر چوبکشی جابجا شده و پوشش محافظ سطحی از بین می‌رود و باعث تغییر در وزن مخصوص، خلل‌وفرج می‌شوند (Soltanpour & Jourgholami, 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 سانتی‌متری خاک در اثر چوبکشی با اسکیدر و حمل چوب با قاطر مشخص شد میانگین وزن مخصوص در مسیرهای چوبکشی به‌طور معنی‌داری بیشتر از وزن مخصوص در مناطق دست‌نخورده بود، ولی افزایش وزن مخصوص در مسیرهای عبور قاطر معنی‌دار نبود (Jamshidi et al., 2008) امروزه وفور مسیرهای چوبکشی رهاشده در واحدهای جنگل‌داری شمال کشور به‌ویژه در دوران تنفس ضرورت ارزیابی دقیق و همه‌جانبه این مسیرها را ایجاب می‌کند. این مسیرها پس از عملیات حمل‌ونقل اولیه (به‌ویژه 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). به‌طورکلی هرگونه دخالت در طبیعت، پیامدهایی در پی دارد و اگر به طریقی حدومرز این دخالت‌ها تعیین شده باشد، پیامدهای آن نیز قابل‌کنترل و پذیرش است. عملیات بهره‌برداری جنگل به‌خصوص چوب‌کشی از فعالیت‌هایی هستند که موجب دخالت و دست‌خوردگی طبیعت می‌شوند. پس از اتمام چوبکشی دیده می‌شود که شیارهای عمیق (رد چرخ و رد تنه درخت) در مسیرهای چوبکشی باقی‌مانده و باتوجه‌به شیب طولی زیاد این مسیرها موجب فرسایش و لغزش و ریزش خاک‌ها شود. باتوجه‌به این نکته که کمتر پژوهشی در رابطه با اثر بهره‌برداری توسط تراکتورهای کشاورزی روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک جنگل انجام شده و بیشتر روی اسکیدر متمرکز شده‌اند، لذا انجام این مطالعه به‌منظور مقایسه اثرات چوبکشی حمل چوب با تراکتور روی خاک ضروری به‌نظر می‌رسد. قابل‌ذکر است که تراکتورهای کشاورزی به‌دلیل نداشتن وینچ گاهی در منطقه از مسیرها خارج و وارد عرصه جنگل می‌شوند. 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 شیمیائی خاک از نقطه‌نظر عناصر خاک، ماده آلی و pH خاک در دو منطقه شاهد و بهره‌برداری شده است.

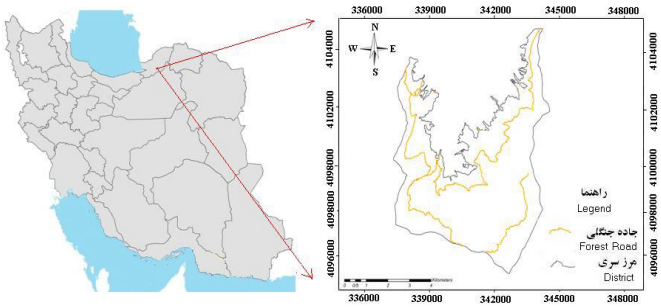
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد بررسی

طرح جنگلداری کوهمیان با مساحتی بالغ بر ۳۶۷۱ هکتار در حوزه آبخیز ۸۹ از تقسیمات جنگل‌های 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 نعیم‌آباد و شرق به طرح جنگلداری وطن محدود است. طول جغرافیائی منطقه موردمطالعه 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 میلی‌متر در سال متغیر است. جنگل‌های این منطقه تقریباً از جلگه شروع شده و تا ارتفاع ۱۶۰۰ متری امتداد دارد. نوع خاک

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

منطقه قهوه‌ای جنگلی با PH اسیدی و با بافت متوسط تا سنگین است که متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی است. طول دوره رویش گیاهی بیش از ۶ ماه از سال و جنگل منطقه از نوع طبیعی با گونه‌های غالب بلوط، ممرز و انجیلی است (Anonymous, 1995). این تحقیق در پارسل ۲۷ طرح جنگلداری کوهمیان اجرا شد. در پارسل موردمطالعه روش جنگل‌شناسی اعمال شده تک‌گزینی و شیب پارسل در جایی که تراکتور کار می‌کرد به‌طور میانگین پنج درصد بود که با دستگاه سونتو اندازه‌گیری شد. در شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه آورده شده است.



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

روش پژوهش

در این مطالعه اثر حمل چوب توسط تراکتورهای کشاورزی بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک عرصه، موردمطالعه 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 به‌همراه سبدی)، استفاده شد. تراکتور با دنده چهار سنگین و دور موتور ۱۷۰۰ دور بر دقیقه در حال پیشروی بود. تمامی گرده‌بینه‌ها، به‌منظور حمل توسط تراکتور به کاتین‌های قابل‌حمل توسط تراکتور تبدیل می‌شدند. متوسط حجم بار در هر نوبت حدود ۷/. مترمکعب بود. رطوبت خاک با استفاده از رطوبت‌سنج قابل‌حمل 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 سبد فلزی که در پشت دستگاه تعبیه شده بود، صورت می‌گرفت. ازآنجایی‌که این تراکتورها فاقد تجهیزات مناسب از قبیل وینچ بودند، به‌منظور 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 روبه‌پایین باشد. تیمار موردمطالعه 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 به‌عنوان شاهد برداشت و روز بعد از پایان عملیات بهره‌برداری در پارسل موردمطالعه از محل تردد تراکتور در عرصه جنگل (۲۰ بار در آن تردد شده بود)، نمونه‌های خاک به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و در قالب سه تکرار برداشت شدند.

نمونه‌برداری توسط سیلندرهای فولادی (طول ۱۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۵ سانتی‌متر) در عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک جمع‌آوری شد. سپس این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت در داخل آون خشک شدند (Demir *et al.*, 2007) و عمل توزین نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی مدل EK4000 ساخت کشور ژاپن بادقت ۰/۱ گرم وزن شدند و مقدار وزن خشک به‌دست آمد بعد از آن نیز وزن مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد. سپس نمونه‌های خاک به‌منظور انجام آزمایش‌ها بعدی کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. اسیدیته خاک با تهیه عصاره اشباع به‌وسیله PH متر دیجیتالی، ازت خاک (N) به روش کجلدال[1]، پتاسیم (K) و سدیم (Na) با استفاده از فیلم فتومتر[2] و عناصر منیزیم (Mg)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، مس (Cu) و کلسیم (Ca) به‌روش اسپکترومتری جذب اتمی (kacar, 1972) و فسفر (P) به‌روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954) به‌دست آمد. بافت خاک شامل درصد ذرات رس، سیلت و ماسه توسط هیدرومتر بایکاس (Bouyoucos, 1962)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌روش Chapman,1965 (۱۴) و با آمونیوم استات تعیین شد. ماده آلی به‌روش Wackley and Black (1934) تعیین شد. همچنین فشردگی خاک نیز توسط دستگاه فروسنج[3] قابل‌حمل agraTronix ساخت کشور آمریکا تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح زمین در عرصه، مورد مطالعه قرار گرفت. برای تجزیه‌وتحلیل 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 ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک

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 ۱۰-۰ سانتی‌متری منطقه مورد تردد، فشردگی بیشتری نسبت به منطقه قبل تردد دارد. همچنین در محل تردد تراکتور وزن

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

مخصوص ظاهری خاک بیشتر از منطقه قبل از تردد و به‌ترتیب 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، نیتروژن 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 ۲۰-۱۰ سانتی‌متری

در این عمق از بین خصوصیات فیزیکی خاک که تحت‌تأثیر 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 تحت‌تأثیر تردد تراکتور در منطقه قرار گرفت. میزان معنی‌داری عناصر در جدول ۲ نشان‌داده‌شده است.

ویژگی‌های خاک در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری

در این عمق نیز از بین خصوصیات فیزیکی خاک که تحت‌تأثیر تردد تراکتور قرار گرفته است می‌توان به وزن مخصوص و فشردگی خاک اشاره کرد. هیچ‌یک از خصوصیات شیمیایی خاک در این عمق تحت‌تأثیر تردد تراکتور در منطقه قرار نگرفت. میزان معنی‌داری عناصر در جدول ۳ نشان‌داده‌شده است.

چوبکشی توسط تراکتورها تا عمق ۱۰ سانتیمتری خاک روی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و تا عمق ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری فقط روی خصوصیات فیزیکی خاک تأثیر گذاشته بود. در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری 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 معنی‌داری 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 معنی‌دار می‌باشد. بیشترین تأثیر تردد بر روی خواص فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری و فشردگی خاک بوده است که با نتایج پژوهش ماکینسی و همکاران (Makineci *et al.*, 2007) مطابقت دارد که در این تحقیق تا عمق ۳۰ سانتیمتری از سطح خاک ادامه می‌یابد. در زیر به خصوصیاتی از خاک که توسط تراکتور تحت‌تأثیر قرار گرفت اشاره می‌شود:

جدول ۱- میانگین (±اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰- ۱۰ سانتی‌متری
Table 1. Mean (±SE) of soil pHysico-chemical properties at depth 0–10 cm

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

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

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

جدول ۲- میانگین (±اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۱۰- ۲۰ سانتی‌متری
Table 2. Mean (±SE) of soil pHysico-chemical properties at depth 10–20 cm

Sig	2-tailed	منطقه شاهد control area	روی رد چرخ Wheel Track	ویژگی‌های خاک (soil properties)
ns	0.423	29.13±3.14[a]	32.57±3.47[a]	شن Sand (%)
ns	0.327	29.69±3.19[a]	27.01±2.41[a]	سیلت Silt (%)
ns	0.060	41.18±3.49[a]	40.42±5.18[a]	رس Clay (%)
ns	0.113	5.03±0.14[a]	5.18±0.34[a]	pH
**	0.018	1.11±0.12[b]	1.41±0.18[a]	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density(g/cm-3)
**	0.018	1.03±0.16[b]	3.13±0.26[a]	فشردگی Soil Compaction (Kg/cm-2)
ns	0.071	24.12±2.84[a]	35.48±3.21[a]	رطوبت Humidity (%)
ns	0.060	21.65±1.56[a]	17.43±1.98[a]	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (Cmol/kg-1)
**	0.008	6.79±0.41[b]	2.42 ±0.14[a]	ماده آلی Organic Matter (%)
ns	0.180	0.252±0.03[a]	0.292±0.04[a]	نیتروژن Nitrogen (%)
ns	0.079	0.19±0.02[a]	0.03±0.00[a]	فسفر PHospHorus (ppm)
ns	0.844	122.19±8.54[a]	120.75±15.34[a]	پتاسیم Potassium (ppm)
ns	0.536	1238.57±113.78[a]	1681.84±185.24[a]	کلسیم Calcium (ppm)
ns	0.402	331.85±27.91[a]	240.17±21.35[a]	منیزیم Magnesium (ppm)
ns	0.695	18.25 ±1.34[a]	21.72±2.04[a]	سدیم Sodium (ppm)
ns	0.114	1.74±0.18[a]	0.56±0.07[a]	آهن Iron (ppm)
ns	0.578	46.38±2.48[a]	51.27±3.21[a]	روی Zinc (ppm)
ns	0.581	0.95±0.03[a]	0.72±0.04[a]	مس Copper (ppm)
ns	0.532	119.16±12.57[a]	133.15±11.82[a]	منگنز Manganese (ppm)

n.s غیرمعنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ** اختلاف معنی‌دار 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 سانتی‌متری
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[a]	31.92±3.59[a]	شن Sand (%)
ns	0.824	31.23±2.57[a]	26.96±3.45[a]	سیلت Silt (%)
ns	0.170	39.75±4.39[a]	41.12±4.11[a]	رس Clay (%)
ns	0.262	5.01±0.18[a]	5.11±0.12[a]	pH
**	0.029	1.35±0.05[b]	1.62±0.06[a]	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density(g/cm-3)
**	0.022	1.64±0.17[b]	2.83±0.29[a]	فشردگی Soil Compaction (Kg/cm-2)
ns	0.211	18.19±2.47[a]	21.72±1.89[a]	رطوبت Humidity (%)
ns	0.141	11.78±0.54[a]	11.16±0.87[a]	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (Cmol/kg-1)
ns	0.091	2.61±0.21[a]	1.49±0.16[a]	ماده آلی Organic Matter (%)
ns	0.471	0.151±0.02[a]	0.182±0.01[a]	نیتروژن Nitrogen (%)
ns	0.162	0.05±0.00[a]	0.00±0.00[a]	فسفر PHospHorus (ppm)
ns	0.918	101.66±12.23[a]	114.45±25.21[a]	پتاسیم Potassium (ppm)
ns	0.731	1119.27±105.41[a]	1313.51±125.87[a]	کلسیم Calcium (ppm)
ns	0.638	315.38±33.82[a]	225.72±17.96[a]	منیزیم Magnesium (ppm)
ns	0.459	16.71±1.45[a]	20.64±1.31[a]	سدیم Sodium (ppm)
ns	0.312	0.89±.06[a]	0.61±0.08[a]	آهن Iron (ppm)
ns	0.247	31.48±3.47[a]	35.31±4.51[a]	روی Zinc (ppm)
ns	0.238	0.98±0.12[a]	0.65±0.02[a]	مس Copper (ppm)
ns	0.905	98.87±8.67[a]	122.35±12.45[a]	منگنز Manganese (ppm)

n.s غیرمعنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ** اختلاف معنی‌دار 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 به‌شمار می‌رود. این عامل فقط در عمق ۰-۱۰ سانتیمتری از سطح خاک در محل تردد و شاهد معنی‌دار بوده است. بررسی ذرات تشکیل‌دهنده بافت خاک بیانگر آن است که به‌طورکلی درصد رس خاک در منطقه بهره‌برداری شده کاهش‌یافته 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

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

تردد تغییر پیدا کرده است و حاکی از درشت‌شدن بافت خاک است. این تغییر احتمالاً به‌دلیل به‌هم‌خوردگی خاک توسط سبد پشت 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 تعیین‌کننده 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 حذف‌شدن ذرات ریزتر به‌تدریج ذرات درشت‌تر نیز به دلیل فرسایش جابه‌جا و از دسترس خارج خواهند شد.

فشردگی و وزن مخصوص ظاهری خاک

فشردگی خاک از جمله عامل‌های فیزیکی خاک است که در سه عمق ۰–۱۰ و ۱۰–۲۰ و ۲۰ –۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک افزایش معنی‌داری داشته و در منطقه مورد تردد به‌ترتیب ۳/۲،۰۴/۴۶ و ۱/۷۳ برابر منطقه شاهد است. فعالیت‌های بهره‌برداری موجب افزایش فشردگی خاک از طریق فشار وارده از طرف چرخ ماشین‌آلات بر واحد سطح می‌شوند (Demir *et al.*, 2007; Heinemann, 2004). فشردگی 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 فشردگی 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 فشردگی 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 فشردگی 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 به‌سمتی 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).

تردد ماشین‌آلات 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)، از دست‌رفتن خاک و رسوب‌گذاری (Etehadi *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 تحت‌تأثیر نوع و خصوصیات سیستم برداشت، تعداد تردد، 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 ۰–۱۰ و ۱۰–۲۰ و ۲–۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک افزایش معنی‌داری را نشان داد. محققینی نظیر گیست و همکاران (Geist et al., 1989) و راب (Rab, 1999) افزایش وزن مخصوص خاک را در منطقه بهره‌برداری شده توسط اسکیدر تا میزان ۲۰ درصد برآورد کردند اما در این مطالعه به‌دلیل کاهش سطح تایر تراکتور نسبت به اسکیدرها و همچنین یکسان نبودن اندازه و سطح تایرهای عقب و جلو میزان افزایش وزن مخصوص خاک شدیدتر بوده و در منطقه شاهد و در عمق ۰–۱۰ سانتی‌متری خاک که ۹۷/. گرم بر سانتیمتر مکعب بوده به ۱/۳۲ گرم بر سانتیمتر مکعب افزایش‌یافته است. به‌عبارت‌دیگر مقدار افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک ۳۶ درصد است که این افزایش در عمق ۱۰–۲۰ و ۲۰ –۳۰ سانتیمتری از سطح خاک به‌ترتیب 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 ۰–۱۰ 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 کاهش‌یافته 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 ۰–۱۰ و ۱۰–۲۰ سانتی‌متری خاک بعد از تردد نسبت به مرحله قبل از تردد

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

کاهش معنی‌داری را نشان داده است به‌طوری‌که در هر دو عمق ذکر شده حدود ۶۴ درصد کاهش‌یافته 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.*, 2002; Mahmoodi & Hakimian, 2003). 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 به‌هم‌خوردن 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 به‌دنبال 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; Knoepp & 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 ماکینسی و همکاران (Makineci *et al.*, 2007) مطابقت دارد. میزان عناصر ازت، فسفر و آهن به‌ترتیب ۱۰/۲، ۶۳/۹۱ و ۷۳/۰۵ درصد کاهش نشان دادند. ازت و فسفر در رشد گیاه و آهن از عناصر موردنیاز گیاه به‌منظور 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. ازآنجایی‌که 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، به‌دلیل یکسان نبودن سطح تماس لاستیک‌های آن (سطح تماس کم در لاستیک جلو) و همچنین به‌دلیل 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 ناشی از اجرای طرح تنفس سبب شده تا بودجه کافی جهت حفاظت و نگهداری مسیرهای چوبکشی وجود نداشته باشد (parsakhoo *et al.*, 2022) هرچند همچنان لزوم حفاظت، احیا و ترمیم مسیرهای چوبکشی به‌منظور حفظ کارکرد آب‌وخاک 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 مورداستفاده 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:

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 به‌دفعات 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 شیارهایی عکس جهت از رواناب جلوگیری نمود.

باتوجه به طرح تنفس جنگل و فشردگی زیاد خاک در مسیرهای چوبکشی، ایجاد شیارهای عرضی و خراش خاک پس از پایان عملیات چوبکشی در روی مسیرهای اسکیدررو تأکید می‌شود.

استفاده از مازاد مقطوعات جنگلی[1]، (مانند سرشاخه‌های درختان، مالچ خاک اره) برای شکل‌دادن لایه حفاظتی در مسیرهای چوبکشی برای کاهش وزن ماشین‌آلات جنگلی و کاهش کوبیدگی خاک‌های جنگلی پیشنهاد می‌شود.

1- Slash

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

References

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*(4), 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: Kheyrud Forest). *Iranian Journal of Forest*, *11*(3), 297-307.

Anderson, H., Boddington, D., & Van Rees, H. (1992). 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*.

Anonymous (1995). Kouhmian's Forest Management Plan Booklet. Golestan Province Geberal 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., Flühler 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 petrea* 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, 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 Scienc 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.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

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*, 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.

Kozlowski 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 Coloumbia. *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.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]

mostafanezhad, s. r., Pourmadjidian, m. r., Espahbodi, K., & Eghtesadi, 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.

Saiedyfar, Z., & Asgari, H. R. (2014). Effects of Soil Compaction on Soil Carbon and Nitrogen Sequestration and Some PHysico-Chemical Features (Case Study: NorthofAqQala). *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 Disrict, Kheyrud 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., and 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 fertilize application on the growth of eucalypt seedlings in two glasshouse studies. *Soil & Tillage Research*, 71, 95–107.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-12]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.16]