اثرات ۲۰ ساله چوبکشی زمینی بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی خاک

ستار عزتی و اکبر نجفی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۱)

چکیده

افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش خلل و فرج و میزان نفوذپذیری آب در خاک مهم‌ترین تغییراتی است که حین عملیات چوبکشی زمینی توسط ماشین آلات بهره‌برداری ایجاد می‌شوند. مطالعه حاضر به بررسی تغییردر خصوصیات فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری، رطوبت، تخلخل وخصوصیات هیدرولوژیکی شامل نفوذپذیری خاک در مسیرهای چوبکشی زمینی در یک بازه زمانی ۲۰ ساله پرداخته است. بدین منظور ۴ مسیر چوبکشی رها شده با خصوصیات مشابه از نظر شرایط خاکی، فیزیوگرافی، اقلیمی با سنین مختلف در جنگل‌های حوزه نکاء-ظالمرود در شرق مازندران انتخاب گردید. نتایج نشان داد که با گذشت بیست سال از چوبکشی زمینی آثار تردد ماشین آلات در ترافیک شدید هنوز پابرجاست. در تردد شدید جرم مخصوص ظاهری ۴۲ درصد بیشتر و تخلخل و نسبت پوکی خاک به‌ترتیب به اندازه ۲۵ و ۴۷ درصد کمتر از ناحیه شاهد بوده است. کمترین میزان نفوذپذیری خاک در ترافیک شدید در مسیر با سن ۱-۵ سال پس از چوبکشی زمینی ثبت گردید، به‌طوری‌که در این تیمار ۱۸ دقیقه پس از شروع آزمایش میزان نفوذ آب به داخل خاک قابل اندازه‌گیری نبوده است. نتایج حاصله در هر مسیر اثبات کرد که با افزایش سن رها شدن خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی خاک تخریب شده به مرور زمان در مقایسه با ناحیه شاهد به‌ویژه در تردد کم تمایل به بازیابی دارند.

واژه‌های کلیدی: بازیابی خاک جنگل، تخلخل خاک، نفوذپذیری خاک، جرم مخصوص ظاهری، جنگل‌های نکاء- ظالمرود

۱. گروه جنگل‌داری، دانشگاه تربیت مدرس، نور

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.najafi@modares.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

مقدمه

کشور ایران علی‌رغم وسعت زیاد در زمره کشورهای کم جنگل دنیا قرار دارد. محدودیت سطح عرصه‌های جنگلی شمال کشور از یک سو و قابلیت ویژه و منحصر به فرد بودن این جنگل‌ها به لحاظ تنوع گونه‌های گیاهی از سوی دیگر، لزوم بهره‌برداری اصولی را به متولیان منابع طبیعی تأکید می‌کند (۲). عملیات بهره‌برداری جنگل در چند دهه اخیر در حال حرکت به سوی استفاده از ماشین آلات سنگین و پر قدرت برای قطع و خارج کردن محصولات چوبی از جنگل بوده است (۴) که تخریب اکوسیستم جنگل به عنوان اولین پیامد گریزناپذیر تردد این ماشین آلات خود نمایی می‌کند (۱۸). اولین پیامد تردد این ماشین‌آلات افزایش کوبیدگی در لایه سطحی خاک می‌باشد (۱۱) که منجر به افزایش جرم مخصوص ظاهری(Soil bulk density) (۱۰)، کاهش تخلخل(Soil porosity)(۵) و تهویه(Air filled porosity) در خاک می‌گردد. افزایش جرم مخصوص هم‌چنین باعث کاهش نفوذپذیری آب(Soil infiltration rate) و هدایت اشباع هیدرولیکی(Hydraulic conductivity) (۸ و۱۲) شده که تغییر سیکل هیدرولوژی و در نهایت کاهش حاصل‌خیزی رویشگاه را در پی دارد (۱، ۲۰ و ۲۱).

سورد و فیسل (۲۹) نشان دادندکه بازیابی جرم مخصوص ظاهری و زه‌کشی در عمق (۸-۰) سانتی‌متر خاک کوبیده شده، توسط تردد ماشین‌آلات درخاک‌های با بافت لومی- شنی ممکن است به زمان ۵ تا ۱۵ ساله نیاز داشته باشد. یکی از عوامل بسیار مهم در میزان تخریب خاک تعداد ترددها در مسیر چوبکشی می‌باشد (۲۵،۱۳و۲۶)، که تأثیر نامطلوبی را بر روی خاک مسیر چوبکشی دارد. مدیریت خاک‌های جنگلی کوبیده شده در طی عملیات بهره‌برداری در حال حاضر بر روی کاهش اثرات بهره‌برداری و تسریع مدت زمان بازیابی آن در خاک‌های حساس به کوبیدگی متمرکز شده است (۲۷). بازیابی خصوصیات (شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی) خاک یک فرآیند طولانی‌مدت می‌باشد (۱و۲۶). اما این تخریبات در طول زمان پدیده‌ای برگشت‌پذیر می‌باشند (۹). پری (۲۴) در جنگل‌های جنوب آمریکا برآورد کرد که برای بازیابی کامل نفوذپذیری در جاده‌های جنگلی قدیمی حدود ۴۰ سال زمان لازم است. در مسیرهای با شدت ترافیک کم بازیابی ویژگی‌های خاکی ناشی از تردد ماشین آلات چوبکشی سریع‌تر صورت می‌گیرد طوری‌که مکناب واستارتسو (۲۶) در تحقیقات خود در آلبرتای کانادا به این نتیجه رسیدند که یک سال بعد از عملیات بهره‌برداری در میزان نفوذپذیری آب در خاک تغییرات معنی‌داری ایجاد شده بود. سرعت نفوذ آب به داخل کالبد خاک تحت تأثیر جرم مخصوص ذاتی خاک و درصد منافذ خاک به‌ویژه منافذ درشت خاک, وجود یا عدم لایه آلی و فعالیت موجودات خاکزی می‌باشد (۹و۱۸)، بنابراین آگاهی از سرعت نفوذ آب به داخل خاک به منظور کاهش خطر فرسایش و حفاظت از خاک و تولید رسوب ناشی از رواناب سطحی به‌ویژه در نواحی کوهستانی در اثر اثر فعالیت چوبکشی زمینی در عرصه‌های جنگلی شمال کشور ضروری می‌باشد. در خصوص بررسی گسترش تخریب خاک در طی عملیات بهره‌برداری و مدت زمان مورد نیاز برای بازیابی آن تاکنون در کشور مطالعه‌ای صورت نگرفته است و در سطح دنیا مطالعات اندکی در این ارتباط گزارش شده است. بنابراین مطالعه حاضر به دنبال بررسی بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک با تکیه بر نفوذپذیری آب در خاک در مسیرهای چوبکشی رها شده و معرفی مدل نفوذ در مسیرهای مذکور در جنگل‌های حوزه نکاء- ظالمرود در طی یک دوره بیست ساله پس از عملیات بهره‌برداری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در جنگل‌های حوزه نکاء- ظالمرود واقع در ۵۵ کیلومتری شرق شهرستان ساری در بخش ۷، سری ۲ با طول جغرافیایی ″۲۵′۳۳°۵۳ تا ″۴۲′۳۱°۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۰′۲۱°۳۶ تا " ۱۳′۲۱°۳۶ شمالی در پارسل‌های ۶۸، ۷۲، ۷۳ و ۹۱ انجام گرفته است. تیپ کلی خاک مورد مطالعه رسی تا رسی- لومی، حداقل و حداکثر عمق خاک ۲۵۰-۳۰۰ میلی‌متر،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

متوسط بارندگی سالانه براساس آمار ایستگاه هواشناسی واقع در روستای چلمردی ۱۱۲۵/۲ میلی‌متر، کمینه و بیشینه دما به‌ترتیب ۸ و ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا بیشتر نزولات به‌صورت برف است (۳). گونه درختی غالب منطقه راش (*Fagus orientalis* Lipsky) است. خلاصه اطلاعات محل‌های نمونه‌گیری در جدول ۱ ارائه شده است.

طرح تحقیق

به منظور مطالعه بررسی روند بازیابی خواص فیزیکی خاک با تکیه بر خصوصیات هیدرولوژیک خاک، ۴ مسیر چوبکشی رها شده با فواصل سنی ۵ سال از زمان چوبکشی انتخاب شدند و خصوصیات فیزیکی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری و نفوذپذیری خاک در هریک از این مسیرها اندازه‌گیری گردید. این مطالعه در قالب آزمایش فاکتوریل طرح پایه بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور شدت ترافیک در سه سطح (کم، متوسط و زیاد) و سن مسیر چوبکشی در چهار کلاسه (۵-۰، ۱۰-۵، ۱۵-۱۰ و۲۰-۱۵ سال) انجام گرفته است. در هر یک از مسیرهای چوبکشی براساس فاصله از دپو، سه شدت تردد جدا شد (۱و۲۱و۲۶). در هر کلاسه ترافیک پنج قطعه نمونه با طول ۱۰ و عرض ۴ متر (عرض مسیر) پیاده شد که ۳ قطعه نمونه به‌طور تصادفی از آن انتخاب شد (۲۲). برای تعیین بافت خاک از هر پلات یک نمونه برداشت شد. در هر قطعه نمونه ۵ خط اندازه‌گیری با فاصله ۲ متر از هم جدا شد که ۳ خط به‌طور تصادفی برداشت شد. بر روی هر خط سه محل برای نمونه‌گیری در نظر گرفته شد. طوری‌که یک نمونه در مرکز شیار سمت راست، سمت چپ و نمونه دیگر در وسط دو شیار گرفته شد. نمونه‌برداری برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خشک خاک با استفاده از سیلندرهای فلزی با قطر داخلی ۵ و طول ۱۰ سانتی‌متر خاک به دلیل تأثیرپذیری زیاد این افق از عملیات چوبکشی انجام شد(۲۳). خصوصیات هیدرولوژیکی خاک نیز با استفاده از استوانه‌های مضاعف مطابق استاندارد (ATSM D-3385 - 75) اندازه‌گیری شد(۲۸و ۲۹). میزان نفوذ آب در خاک در تیمارهای مورد نظر با استفاده از خط کش (با دقت میلی‌متر) و زمان نفوذ آب در خاک از طریق کرنومتر در سه تکرار انجام شد. در مجاورت هر پلات به فاصله ۳۰ تا۵۰ متر از مسیر چوبکشی، در منطقه شاهد یک نمونه گرفته شد تا مقادیر اندازه‌گیری شده با نمونه شاهد مقایسه شود و روند بازیابی بررسی گردد (۱۴و۲۰). نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلاستیکی گذاشته و بلافاصله به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل گردید در آزمایشگاه پس از اندازه‌گیری جرم مرطوب نمونه‌ها، در داخل آون در دمای (۱۰۵°C) به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد، سپس نمونه‌ها دوباره توزین شدند تا میزان رطوبت و جرم خشک ظاهری نمونه‌ها به‌دست آید و براساس آن جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید (۱۷، ۲۰، ۲۲، ۲۶، ۲۷ و ۳۴). حجم منافذ خاک نیز با استفاده از استاندارد (ATSM D854-00 - 75) محاسبه گردید به این صورت که حجم منافذ حقیقی برابر است با (۱- وزن مخصوص ظاهری به ثابت ۲/۶۵) بود. حجم منافذ درشت دانه نیز با کسر وزن خاک اشباع از وزن آب زه‌کش شده از خاک در حالت طبیعی به حجم خاک خشک محاسبه شد. که در نهایت با داشتن این دو مقدار، سهم منافذ ریز دانه و سایر پارامترهای فیزیکی محاسبه گردید (۲۲، ۲۴ و۲۶). داده‌های گردآوری شده در نرم‌افزار Excel وارد و به عنوان بانک اطلاعاتی ذخیره گردیدند. به منظور انجام آنالیز، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف- اسمیرونوف و همگنی واریانس با استفاده از آزمون لون و مقایسه داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای Tukey، داده‌های مذکور با استفاده از روش تجزیه واریانس دو طرفه در محیط (SPSS 11.5& SASS) انجام شد.

نتایج

بافت خاک منطقه مورد مطالعه

نتایج بافت خاک برای تمام تیمارهای مسیر چوبکشی به تفکیک شدت ترافیک در طبیعت در جدول ۲ ارائه شده است. بافت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

جدول ۱. خلاصه مشخصات منطقه مورد مطالعه

پارسل		طول مسیر چوبکشی (متر)	دامنه ارتفاعی (متر)
شماره پارسل	سن مسیر چوبکشی (سال)		
۹۱	۰–۵	۷۵۰	۱۴۵۰–۱۵۰۰
۶۸	۵–۱۰	۱۲۰۰	۱۴۷۵–۱۵۰۰
۷۳	۱۰–۱۵	۱۳۰۰	۱۴۰۷–۱۴۷۰
۷۲	۱۵–۲۰	۱۰۰۰	۱۴۰۳–۱۴۱۹

جدول ۲. بافت خاک تیمارهای مسیر چوبکشی در لایه ۰–۱۰۰ میلی‌متری خاک

محل نمونه گیری				
مسیر چوبکشی (سال)	شاهد	ترافیک کم	ترافیک متوسط	ترافیک شدید
۰–۵	رسی	رسی– لومی	رسی– لومی	رسی– سیلتی
۵–۱۰	رسی– لومی	رسی– لومی	رسی	رسی
۱۰–۱۵	رسی– لومی	سیلت– رسی– لومی	رسی– لومی	رسی
۱۵– ۲۰	رسی	رسی–لومی	رسی	سیلت–رسی–لومی

خاک تیمارهای مورد مطالعه به‌صورت رسی تا رسی– لومی بوده است.

خصوصیات فیزیکی

خصوصیات فیزیکی خاک در مسیرهای چوبکشی به‌ترتیب سال انجام عملیات بهره‌برداری در جدول ۳ ارائه شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به جرم مخصوص ظاهری نشان داد که با افزایش شدت ترافیک، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش پیدا کرده است. به‌طوری‌که بیشترین افزایش جرم مخصوص در ترافیک شدید بوده است. درصد افزایش جرم مخصوص ظاهری در ترافیک شدید ۴ مسیر چوبکشی به‌ترتیب ۴۲/۱۲،۴/۴۳،۵/۳۵،۴ درصد می‌باشد (جدول۳). به موازات افزایش جرم مخصوص ظاهری، مقایسه داده‌های مجموع تخلخل خاک نشان داد که بیشترین کاهش آن در ترافیک شدید بوده است. درصد کاهش مجموع تخلخل خاک در ترافیک شدید در ۴ مسیر چوبکشی به‌ترتیب سال رها شدن در طبیعت ۱۹/۱۸،۳/۴، ۲/۸، ۲۴/۶ درصد در مقایسه با ناحیه شاهد بوده است (جدول۳). به منظور بررسی دقیق‌تر اثرات بهره‌برداری بر روی اندازه منافذ خاک، به دو بخش منافذ ریز و درشت تقسیم گردید و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی دقیق‌تر جدول ۳ نشان می‌دهد.کمترین و بیشترین درصد کاهش منافذ درشت در ناحیه مورد مطالعه مربوط به ترافیک کم مسیر ۱۰–۱۵ سال، تردد شدید مسیر ۲۰–۱۵ سال ۱۸/۴و ۳۲/۸ درصد به‌ترتیب در مقایسه با ناحیه شاهد بوده است. نتایج حاصله از تغییرات رطوبت جرمی و رطوبت حجمی در جدول ۳ نشان داد که با افزایش درجه ترافیک، به درصد رطوبت جرمی و رطوبت حجمی خاک افزوده شده است. نتایج حاصله از نسبت پوکی نیز نشان داد که با افزایش شدت ترافیک از نسبت پوکی خاک کاسته شده، طوری‌که کمترین نسبت پوکی در ترافیک متوسط و شدید و بیشترین آن در ترافیک کم بعد از ناحیه شاهد مشاهده شده است (جدول ۳). درصد رطوبت اشباع خاک در هر مسیر چوبکشی نیز نشان داد که در تمام مسیرهای چوبکشی به استثنای مسیر ۵–۱ سال, در ترافیک متوسط و شدید خاک رطوبت اشباع بیشتری را به نسبت تردد کم داشته است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده در خاک در تیمارهای مورد مطالعه به تفکیک سن رها شدن در مسیرهای چوبکشی

سن مسیر چوبکشی	شدت ترافیک	رطوبت خاک: رطوبت جرمی به درصد	رطوبت خاک: رطوبت حجمی به درصد	وزن مخصوص ظاهری خشک خاک $gr\ cm^{-3}$	مجموع تخلخل خاک به درصد	تفکیک تخلخل خاک: تخلخل تهویه‌ای به درصد > 30 cm	تفکیک تخلخل خاک: تخلخل ریز به درصد < 30 cm	رطوبت اشباع به درصد	نسبت پوکی
۱-۵	شاهد	۱۹/۶^{b}	۱۹^{b}	۰/۹^{c}	۶۱/۹^{a}	۵۳/۷^{a}	۹/۵^{ab}	۱۵	۱/۶
	کم	۲۷/۶^{a}	۳۱/۲^{a}	۱/۱^{b}	۵۰/۰^{ab}	۴۱/۱^{b}	۱۳/۴^{a}	۲۴/۲	۱/۰
	متوسط	۲۰/۳^{ab}	۲۶/۷^{a}	۱/۳^{ab}	۵۰/۲^{bc}	۴۲/۰^{b}	۹/۸^{ab}	۱۸/۹	۱/۰
	شدید	۲۰/۳^{ab}	۲۶/۵^{a}	۱/۳^{a}	۵۰/۵^{c}	۳۸/۲^{bc}	۹/۸^{ab}	۲۰/۴	۱/۰
۵-۱۰	شاهد	۳۶/۶^{a}	۳۳/۷^{c}	۰/۹^{b}	۶۶/۳^{a}	۴۷/۳^{a}	۱۷/۸^{ab}	۲۷/۳	۱/۹
	کم	۳۵/۱^{a}	۳۶/۵^{bc}	۱/۰^{b}	۶۰/۸^{a}	۴۳/۴^{ab}	۱۷/۰^{ab}	۲۸/۲	۱/۵
	متوسط	۳۳/۶^{ab}	۴۱/۰^{ab}	۱/۲^{a}	۵۴/۱^{b}	۳۷/۵^{b}	۱۸/۳^{a}	۳۰/۳	۱/۱
	شدید	۳۵/۸^{a}	۴۷/۲^{a}	۱/۳^{a}	۵۳/۳^{b}	۳۶/۲^{c}	۱۴/۶^{ab}	۳۲/۳	۱/۱
۱۰-۱۵	شاهد	۲۴/۰^{b}	۲۶/۹^{b}	۱/۱^{b}	۵۶/۴^{a}	۴۵/۸^{a}	۱۱/۸^{b}	۲۰/۳	۱/۳
	کم	۲۳/۱^{b}	۳۰/۳^{b}	۱/۳^{a}	۵۰/۶^{b}	۳۹/۰^{b}	۱۳/۳^{b}	۲۲/۳	۱/۰
	متوسط	۳۶/۱^{a}	۴۶/۲^{a}	۱/۲^{a}	۵۱/۷^{b}	۳۳/۸^{bc}	۱۷/۵^{a}	۳۴/۱	۱/۰
	شدید	۳۵/۲^{a}	۴۴/۳^{a}	۱/۲^{a}	۵۴/۹^{b}	۳۷/۳^{bc}	۱۳/۸^{ab}	۳۱/۴	۱/۲
۱۵-۲۰	شاهد	۲۴/۹^{ab}	۲۴/۶^{b}	۱/۰^{c}	۶۲/۶^{a}	۵۰/۵^{a}	۱۲/۰^{ab}	۱۹/۳	۱/۶
	کم	۲۳/۵^{ab}	۲۹/۴^{a}	۱/۲^{b}	۵۱/۷^{b}	۴۱/۲^{ab}	۱۱/۴^{ab}	۲۱/۶	۱/۰
	متوسط	۲۴/۱^{ab}	۳۱/۱^{a}	۱/۳^{ab}	۵۱/۰^{bc}	۳۹/۵^{b}	۱۱/۷^{ab}	۲۲/۸	۱/۰
	شدید	۲۶/۸^{a}	۳۷/۸^{a}	۱/۴^{a}	۴۷/۲^{c}	۳۳/۹^{c}	۱۳/۰^{a}	۲۷/۷	۰/۹

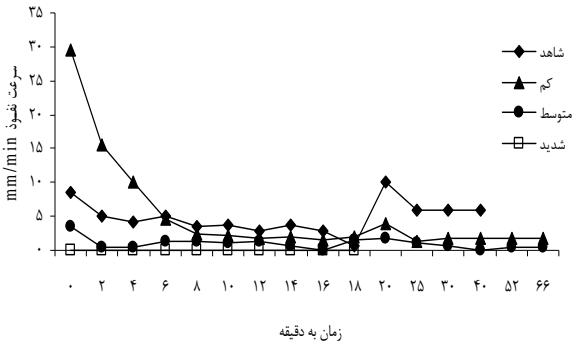
نفوذپذیری

نتایج اندازه‌گیری نفوذپذیری عمقی آب در تیمارهای مختلف مسیر چوبکشی در مقایسه با ناحیه شاهد در شکل ۱ ارائه شده است. شکل ۱ نشان می‌دهد که در سه کلاسه ترافیک، نفوذ لحظه‌ای به سرعت کاهش پیدا کرده است میزان کاهش در تردد کم سریع‌تر از سایر تیمارها بوده است. روند تغییرات نفوذ آب در خاک در تمام تیمارهای مسیر چوبکشی از یک الگوی مشابه پیروی کرده است. الگوی روند عبارت بود از: یک کاهش سریع در نفوذ لحظه‌ای، حرکت تقریباً افقی سپس افزایش نفوذ و به دنبال آن کاهش نفوذپذیری تا رسیدن به نفوذ نهایی و تثبیت کلی نفوذ (شکل ۱). بررسی جریان نفوذ در شدت ترافیک‌های مختلف در کل دوره بیست ساله نشان داد که سرعت نفوذ از تردد کم به شدید کاسته شده که شدیدترین آن در مسیر ۵-۱ سال مشاهده شد. طوری‌که ۱۸ دقیقه پس از شروع آزمایش سطح آب سیلندر داخلی فاقد تغییرات قابل اندازه‌گیری بوده است و یا به عبارتی فاقد نفوذ معنی‌دار بوده است (شکل ۱). روند بازیابی نفوذپذیری در ترافیک کم در تمام مسیرهای چوبکشی به استثنای مسیر ۲۰-۱۵ سال، سریع‌تر از دو ترافیک متوسط و شدید بوده است (شکل ۱).

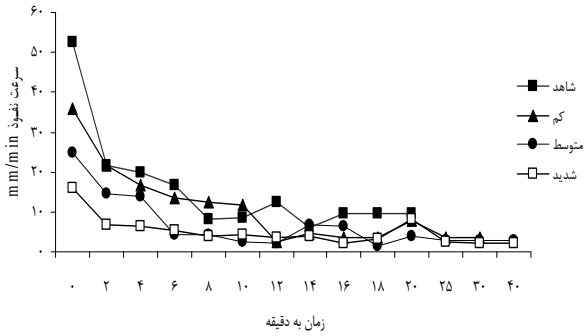
از لحاظ نفوذ لحظه‌ای و نهایی بیشترین سرعت به‌ترتیب مربوط به مسیرهای ۲۰- ۱۵سال و مسیر ۱۵-۱۰ سال بوده است. (شکل ۲). مقادیر مربوط به نفوذ تجمعی و سایر پارامترهای مربوط به آن به تفکیک سال رها شدن پس از عملیات بهره‌برداری در جدول ۴ نشان داده شده است حداکثر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

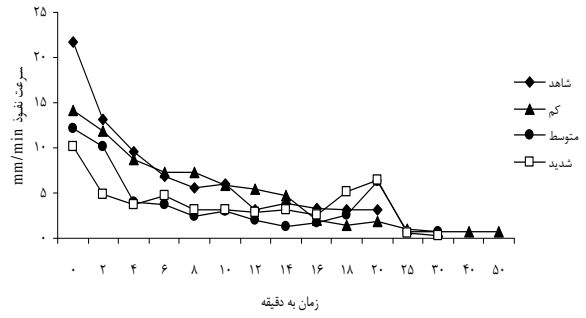
[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]



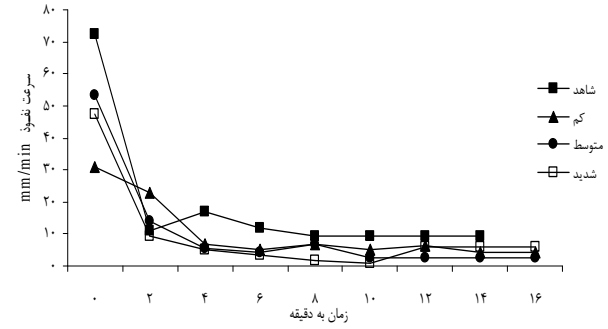
الف)سرعت نفوذ در شدت ترافیک‌های مختلف در مسیر چوبکشی ۱- ۵ سال



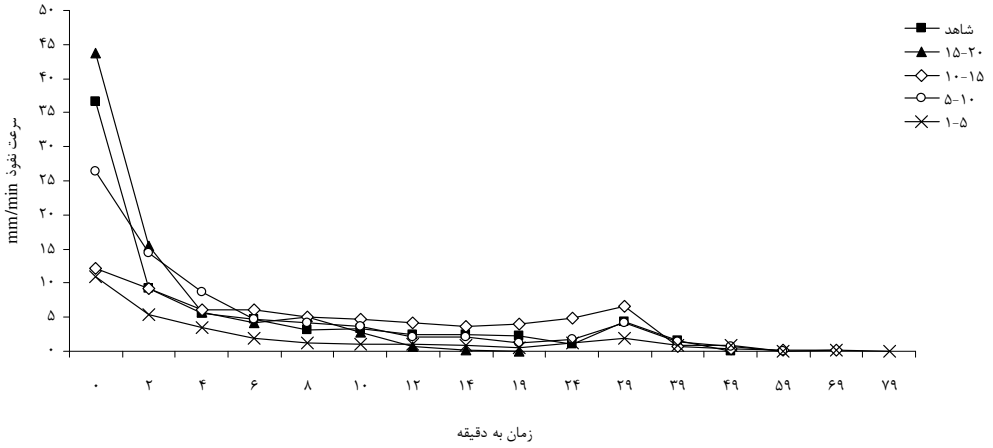
ب) سرعت نفوذ در شدت ترافیک‌های مختلف در مسیر چوبکشی ۵-۱۰ سال



ج)سرعت نفوذ در شدت ترافیک‌های مختلف در مسیر چوبکشی۱۰-۱۵ سال



د) سرعت نفوذ در شدت ترافیک های مختلف در مسیر چوبکشی۱۵-۲۰ سال



شکل۲. مقایسه سرعت نفوذ در مسیرهای چوبکشی بیست سال پس از چوبکشی زمینی

سرعت نفوذ، در تمام مسیرهای چوبکشی در ترافیک کم به‌استثنای مسیر ۵-۱ و مسیر ۲۰-۱۵ سال بوده است (جدول ۴). متوسط سرعت نفوذ (رابطه ۱) در ناحیه مورد مطالعه دارای دامنه صفر میلی‌متر(فاقد نفوذ) در ترافیک شدید مسیر ۵-۱ سال تا ۵/۴۸ میلی‌متردر ترافیک کم مسیر ۱۰-۵ سال مشاهده شد. متوسط نرخ کاهش نفوذ (رابطه ۲) در منطقه مورد مطالعه بسته به ترددهای مختلف متغیر بوده که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

جدول ۴. پارامترهای نفوذ در هریک از مسیرهای چوبکشی به‌ترتیب سن رها شدن در طبیعت

تیمارهای مورد مطالعه	نفوذ تجمعی به میلیمتر	حداکثر سرعت نفوذ $mm\ min^{-1}$	متوسط سرعت نفوذ $mm\ min^{-1}$	زمان تا لحظه تثبیت نفوذ به دقیقه	شیب کاهش نفوذ $mm\ min^{-2}$
مسیر چوبکشی ۵-۱ سال					
شاهد	۶۲/۰	۱۰/۰	۲/۰	۴۰/۰	۰/۲۸
ترافیک کم	۸۰/۵	۱۰/۰	۲/۶	۶۶/۰	۰/۹۳
ترافیک متوسط	۴۷/۲	۲۹/۵	۰/۰	۶۶/۰	۰/۰۸۷
ترافیک شدید	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۱۸/۰	۰۰/۰
مسیر چوبکشی ۱۰-۵ سال					
شاهد	۱۵۵/۵	۵۲/۵	۸/۶۰	۲۵/۰	۲/۳۲
ترافیک کم	۱۳۷/۱	۳۶/۰	۵/۴	۳۰/۰	۱/۳۳
ترافیک متوسط	۸۷/۷	۲۴/۷	۳/۵	۴۰/۰	۰/۹۳
ترافیک شدید	۶۷/۹	۱۶/۰	۱/۹۴	۴۰/۰	۰/۴
مسیر چوبکشی ۱۵-۱۰ سال					
شاهد	۷۹/۵	۲۱/۷	۳/۱	۲۳/۰	۰/۹۴
ترافیک کم	۷۳/۶	۱۴/۱	۳/۴	۵۰/۰	۰/۲۷
ترافیک متوسط	۵۰/۰	۱۲/۰	۲/۰	۳۰/۰	۰/۴۵
ترافیک شدید	۵۰/۷	۱۰/۱	۱/۸	۳۰/۰	۰/۳۶
مسیر چوبکشی ۲۰-۱۵ سال					
شاهد	۱۵۰/۶	۷۲/۴	۹/۴	۱۴/۰	۴/۵
ترافیک کم	۸۷/۸	۳۰/۸	۴/۸	۱۶/۰	۱/۴
ترافیک متوسط	۸۶/۲	۵۳/۳	۵/۳	۱۶/۰	۳/۶
ترافیک شدید	۷۴/۱	۴۷/۵	۴/۱	۱۴/۰	۲/۹

$$\bar{I} = \frac{CF}{T} \qquad [۱]$$

در این رابطه $\bar{I}$ متوسط سرعت نفوذ (میلی‌متر بر دقیقه)، CF مقدار نفوذ تجمعی در کل مدت زمان اندازه‌گیری نفوذ (میلی‌متر بر دقیقه) و T کل زمان اندازه‌گیری (برحسب دقیقه) است. پارامتر متوسط شیب کاهش سرعت نفوذ درتبیین اثرات آب با سطوح مختلف شدت ترافیکی و درجه کوبیدگی خاک بر روند تغییرات سرعت نفوذ، حائز اهمیت بوده که با توجه به این نکته این پارامتر با استفاده از رابطه ۲ مورد محاسبه قرار گرفت.

$$I_r = \frac{I_{max} - I_{min}}{T} \qquad [۲]$$

در این رابطه I_r متوسط نرخ تغییرات نفوذ نسبت به زمان (میلی‌متر بر مجذور دقیقه) I_{max} و I_{min} به‌ترتیب حداکثر و حداقل سرعت نفوذ (میلی‌متر بر دقیقه) و T کل مدت زمان اندازه‌گیری نفوذ (برحسب دقیقه) است.به منظور بررسی کامل سرعت نفوذ لحظه‌ای در مسیرهای چوبکشی با استفاده از میانگین نفوذ در تیمارهای مختلف اقدام به تهیه معادله مربوط به نفوذ لحظه‌ای آب در خاک در هر یک از مسیرها به شرح زیر گردید (روابط ۳).

$$I_{(۱-۵)\,yr} = ۴/۳t^{-۱/۰۲۸}$$

$$I_{(۵-۱۰)\,yr} = ۲۵/۳t^{-۱/۳۲}$$

$$I_{(۱۰-۱۵)\,yr} = ۲۹t^{-۱/۲۸}$$

$$I_{(۱۵-۲۰)\,yr} = ۵/۹t^{-۰/۶۴}$$

در معادلات بالا I نفوذ لحظه‌ای برحسب میلی‌متر به دقیقه و t زمان نفوذ آب در خاک برحسب دقیقه است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

بحث و نتیجه‌گیری

بافت خاک

نتایج دادهای مربوط به پراکنش ذرات خاک در تیمارهای مختلف در لایه ۱۰۰-۰ میلی‌متری عمق خاک پس از گذشت بیست سال از انجام عملیات چوبکشی نشان داد که بافت خاک به‌صورت رسی تا رسی- لومی بوده است. در ترافیک شدید در تمام مسیرهای چوبکشی به استثنای مسیر ۵-۱ سال بافت خاک به سمت رسی شدن متمایل شده است. در تردد شدید مسیر ۱-۵ سال بافت خاک رسی- سیلتی بوده این در حالی است که بافت خاک در همین تیمار در مسیر ۱۵-۲۰ سال به سمت سیلتی- رسی- لومی متمایل است که نشان از بازیابی کم تا متوسط ذرات خاک و درشت شدن خاکدانه‌های خاک در مقایسه با مسیر ۵-۱ سال است. این تغییر در ذرات بافت خاک ممکن است در ارتباط با مخلوط شدن خاک لایه سطحی با لایه‌های تحتانی در طی چوبکشی زمینی، بالا بودن رطوبت خاک حین عملیات و احتمالاً بکسباد چرخ‌ها ناشی از چوبکشی در خاک مرطوب باعث این تغییرات نسبت به سایر تیمارها شده است (۲۶). نتیجه این عمل باعث کاهش تخلخل کل به‌ویژه تخلخل‌های درشت و احتمالاً افزایش سهم تخلخل‌های ریز می‌گردد (جدول ۳).

خصوصیات فیزیکی خاک

بیست سال پس از عملیات چوبکشی زمینی جرم مخصوص ظاهری در ترافیک شدید نتوانسته به اندازه منطقه شاهد برسد و اختلاف معنی‌داری با منطقه شاهد دارد. طوری‌که میزان آن هنوز به اندازه ۴۲/۴ درصد بیشتر از ناحیه شاهد بوده است. بالا بودن جرم مخصوص ظاهری در ترافیک شدید در مقایسه با ناحیه شاهد توسط سایر نویسندگان (۱۲، ۱۳، ۲۳ و۳۴) در مطالعات بازیابی خاک گزارش شده است. این موضوع نشان می‌دهد در جنگل‌های هیرکانی تأثیر نامطلوب عملیات بهره‌برداری تا سال‌ها باقی می‌ماند. جرم مخصوص ظاهری در تردد کم در مقایسه با تردد متوسط و شدید به استثنای مسیر ۱۵-۱۰ سال کاهش پیدا کرده است. هرچند که اختلاف معنی‌داری را با منطقه شاهد به استثنای مسیر ۱۰-۵ سال داشته است. این کاهش جرم مخصوص در تردد کم در مقایسه با ناحیه شاهد ممکن است به دلایلی از جمله کمتر بودن درجه کوبیدگی، بالا بودن رطوبت خاک حین عملیات بهره‌برداری، وجود لایه لاشبرگ روی خاک، درجه مخلوط شدن لایه سطحی خاک با ماده آلی، فعالیت ریشه دوانی گیاهان و فعالیت موجودات بوده باشد (۲۰، ۲۶ و۳۲). روند بازیابی مجموع تخلخل خاک به مراتب سریع‌تر از جرم مخصوص ظاهری بوده است، طوری‌که در مسیر چوبکشی ۵-۱ و ۱۰-۵ سال در تردد کم اختلاف معنی‌داری را با ناحیه شاهد نداشته است.

در این پارسل، مسیر چوبکشی به‌صورت سنگلاخی بوده است و شاید به دلیل کم عمق بودن خاک و تردد ماشین نتوانسته تأثیر خود را اعمال بکند. چنان که در این مسیر جرم مخصوص ظاهری، منافذ ریز و درشت خاک در تردد کم و متوسط فاقد اختلاف معنی‌دار با منطقه شاهد بوده است. در مسیر ۱۰-۵ سال جرم مخصوص ظاهری، رطوبت جرمی، منافذ ریز و درشت در تردد کم با ناحیه شاهد فاقد اختلاف معنی‌دار بوده است. این مطلب بیانگر این است که مجموع تخلخل در تردد کم به نسبت تردد شدید، مدت زمان کمتری را برای بازیابی خود نیاز دارد. این یافته با نتایج تحقیقات ویلپرت و اسچافر(۳۳) در مطالعه اثرات اکولوژیکی کوبیدگی در آلمان مطابقت دارد. آنها ابراز کردند که حداقل زمان برای بازیابی تهویه و تخلخل خاک در مسیرهای چوبکشی حداقل ۱۰ سال بوده است. عدم بازیابی جرم مخصوص و تخلخل خاک در تردد شدید در تمام مسیرهای چوبکشی، ممکن است ناشی از باقی ماندن کوبیدگی خاک، عدم ریشه دوانی گیاهان، فعالیت موجودات خاکزی، انبساط و انقباظ رسها، بالا بودن رطوبت خاک حین عملیات، شرایط اقلیمی و کوتاه بودن زمان مطالعه بوده باشد که با مطالعات (۶و۲۱) مطابقت دارد. منافذ ریز خاک در تمام کلاسه‌های ترافیک تقریباً توانسته‌اند بازیابی شوند اما تخلخل‌های درشت در مقایسه با ناحیه شاهد هنوز به حالت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

بازیابی نرسیده‌اند. مجموع تخلخل خاک در در تردد کم در مسیر ۵-۱ و۱۰-۵ سال و تخلخل تهویه در تردد کم در مسیر ۱۰-۵ و ۱۵-۲۰ سال بازیابی شده است (جدول۳). مهم‌ترین عامل در بازیابی خاک، تخلخل خاک و تخلخل‌های درشت دانه خاک می‌باشد، چون این عامل در تبادلات آبی و گازی خاک با آتمسفر نقش حیاطی را داشته، طوری‌که با اعمال فشار جرمی ماشین به خاک، ذرات خاک جهت‌گیری جدید را به خود گرفته و این باعث برهم خوردن سهم منافذ به‌ویژه تخلخل‌های درشت دانه و عدم نفوذ ریشه گیاهان در کالبد خاک را فراهم می‌آورد که در نهایت عدم حاصل‌خیزی رویشگاه را در پی خواهد داشت (۴، ۱۲ و ۱۷). زمان بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک بسیار کند و بسته به شرایط اقلیمی، درجه کوبیدگی و فعالیت موجودات خاکزی و رطوبت خاک متغیر بوده و ممکن است ۲۰-۱۰ سال در لایه‌های سطحی و تا ۱۰۰ الی ۱۴۰ سال در لایه‌های تحتانی به طول بیانجامد (۲۴،۲۶و۳۱).

نفوذپذیری خاک

در تمام مسیرهای چوبکشی به استثنای تردد کم در مسیر ۵-۱ سال، با افزایش شدت ترافیک از سرعت نفوذ آب به داخل خاک کاسته شده که با مطالعات (۱۵و۲۱) مطابقت دارد. این امر در ترافیک شدید کاملاً مشهود می‌باشد. عدم نفوذ آب در تردد شدید مسیر ۵-۱ سال، ممکن است به دلیل اوج ترافیک در این محل، بالا بودن رطوبت خاک حین عملیات چوبکشی، پایین بودن پتانسیل ماتریک و نیروی ثقل در خاک، دانه‌بندی خاک و کاهش تخلخل‌های درشت دانه خاک بوده باشد (۵). در این مسیر سرعت نفوذ لحظه‌ای در ۵ دقیقه اول بیشتر ناحیه شاهد بوده است. این افزایش در سرعت در نفوذ لحظه‌ای به منزله بازیابی این بخش تلقی نمی‌شود، چون در فرآیند بازیابی خاک در طولانی مدت، نفوذ نهایی را به عنوان معیار معرفی کرده‌اند و تغییر در نفوذ لحظه‌ای ناشی از بالا بودن پتانسیل ماتریک در خاک حین نفوذ آب به داخل خاک عنوان شده است (۳۰). افزایش سریع نفوذ لحظه‌ای در تمام تیمارها ممکن است به دلایلی از جمله پایین بودن رطوبت اولیه خاک، بالا بودن پتانسیل ماتریک در خاک، تشکیل هوای محبوس در اثر ورود آب به داخل خاک و هم‌چنین آزاد شدن هوا در اثر ورود به محیطی با دمای بیشتر در زیر خاک بوده باشد. به دلیل روبرو شدن با فشاری کمتر از فشار سطح زمین هوای موجود در آب به سهولت در داخل خاک آزاد گشته و با ایجاد منافذ ریز در داخل خاک کاهش سریع نفوذ لحظه‌ای را به دنبال دارد (۸و۱۶). افزایش ناگهانی در سرعت نفوذ در ناحیه شاهد در مسیر ۵-۱ سال و تردد شدید مسیر ۱۵-۱۰ سال ممکن است متأثر از بافت خاک لایه‌های زیرین بوده باشد (۸). هر چند که در مطالعه حاضر نقش لایه‌های زیرین بررسی نشده است. بنابراین به‌طور قطع به یقین مطالعه حاضر نمی‌تواند این افزایش ناگهانی را دقیقاً توجیه کند. هنگامی‌که آب روی خاک قرار می‌گیرد لایه‌های سطحی ابتدا از آب اشباع شده و نفوذ بر اثر اختلاف پتانسیل ماتریک شروع می‌شود.

در ابتدا رطوبت در لایه‌های فوقانی خاک افزایش یافته و جبهه رطوبتی به سمت پایین جریان پیدا می‌کند (افزایش نیروی ثقل) زمانی که سرعت نفوذ خاک به سمت نفوذ نهایی و ثابت شدن حرکت کرد جریان بیشتر به شکل پیستونی می‌باشد که این کاهش ممکن است به دلیل پراکندگی ذرات خاک به‌خصوص در صورت بالا بودن یون سدیم در ترکیب خاک، بسته شدن منافذ خاک به دلیل کوبیدگی (۱۹) باشد. به دلیل تولید گاز(نیتروژن و متان) توسط باکتری‌ها در در زیر لایه‌های کوبیده شده و بستن منافذ خاک و ایجاد شرایط بی‌هوازی باعث ایجاد مانع در مقابل نفوذپذیری خاک می‌گردد (۸). کوبیدگی در زمان بالا بودن رطوبت خاک باعث ایجاد محدودیت در تخلخل‌های درشت دانه و کاهش زمان ترافیک‌پذیری خاک به دلیل تحمیل بار بیش ازحد ظرفیت باربری خاک و قطع ساختارهای زه‌کشی و کاهش نفوذپذیری آب را در خاک به دنبال دارد، هم‌چنین مدت زمان بازیابی چنین خاک‌های تقریباً دو برابر زمانی است که چوبکشی در شرایط خشک انجام می‌گیرد (۲۷). تحت شرایط بالا بودن ظرفیت رطوبتی خاک

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

افزایش جرم مخصوص باعث کاهش هوای بین ذرات خاک (به‌ویژه کاهش تعداد تخلخل‌های هوایی) خاک شده و این امر تا زمانی‌که تنها هوای به دام افتاده در بین ذرات باقی بماند امری گریزناپذیر می‌باشد.

این مطالعه نشان داد نفوذپذیری خاک در جنگل‌های هیرکانی بیست سال پس از چوبکشی زمینی در مقایسه با ناحیه شاهد در تردد کم تا اندازه‌ای بازیابی شده است اما در تردد شدید نتوانسته به حالت بازیابی برسد. هم چنان که پری (۲۴) در کارولینا حداقل مدت زمان بازیابی نفوذپذیری خاک را ۴۰ سال اعلام کرده بود. ارزیابی خصوصیات فیزیکی خاک با تکیه بر خصوصیات هیدرولوژیکی خاک می‌تواند اثرات بطنی بهره‌برداری را در طی دوره‌های پس از عملیات بهره‌برداری به خوبی مورد پایش قرار دهد. بیست سال، مدت زمان کمی برای هرگونه قضاوت در مورد بازیابی کامل خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد، هرچند که ترافیک کم اثرات کم تا متوسطی از بازیابی را نشان داد اما در ترافیک شدید هنوز این آثار کم و بیش به قوت خود باقی است. مطالعه حاضر نتوانست نامنظمی تغییرات رطوبت حجمی و جرمی را با افزایش شدت تردد و روند ناگهانی تغییرات نفوذپذیری را در ناحیه شاهد، مسیر ۵-۱ سال و تردد شدید مسیر ۱۵-۱۰ را توجیه کند. عدم بازیابی خصوصیات فیزیکی خاک در تردد شدید موضوع لزوم سخت‌گیری و مراقبت شدید در مورد چوبکشی زمینی را در خارج از مسیرهای چوبکشی را حتی به تعداد دفعات کم مورد تأکید قرار می‌دهد. چنین مطالعاتی بایستی در سایر مناطق جنگل‌های شمال به خصوص در نواحی شیبدار بر روی خصوصیات فیزیکی، شیمیای، بیولوژیکی و اکولوژیکی به منظور مشخص کردن اثرات نامطلوب بهره‌برداری و تعیین زمان کامل بازیابی خاک صورت گیرد.

سپاسگزاری

نگارندگان برخود لازم می‌دانند تا بدین وسیله از آقایان دکتر علی‌رضا علی عرب و مهندس مجید طایی سمیرمی به جهت همکاری در انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع مورد استفاده

۱. عزتی، س.، ا. نجفی و و. حسینی. ۱۳۸۸. بررسی کوبیدگی خاک و تأثیر آن بر حاصل‌خیزی رویشگاه ده سال پس از عملیات چوبکشی جنگل، مجموعه مقالات چاپ شده در دومین همایش انجمن جنگلبانی ایران. دانشکده منابع طبیعی تهران کرج. بهار ۱۳۸۸.

۲. نقدی، ر.، ا. باقری، ک. طاهری آبکنار و م. عاکف. ۱۳۸۸. ارزیابی خسارت به توده سرپا (درختان و زادآوری) ناشی از اجرای روش بهره‌برداری گردبینه در حوزه شفارود گیلان. مجله منابع طبیعی ۶۰(۳): ۹۳۱-۹۴۷.

۳. بی نام. ۱۳۷۶. *کتابچه طرح جنگل‌داری بخش هفت نکاء ظالمرود*. شرکت سهامی نکاء چوب مازندران.

4. Ampoorter, E., R. Goris, W.M. Cornelis and K. Verheyen. 2007. Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. For. Ecol. & Manage. 241: 162-174.
5. Ballar, T.M. 2000. Impacts of forest management on northern forest soils. For. Ecol. & Manage. 133: 37-42.
6. Battigelli, J.P., J. R. Spence, D.W. Langor and S.M. Berch. 2004. Short-term impact of forest soil compaction and organic matter removal on soil mesofauna density and oribatid mite diversity. Can. J. For. Res. 34: 1136–1149.
7. Blouin, V.M., M.G. Schmidt, C.E. Bulmer and M. Krzic. 2005. Mechanical disturbance impacts on soil properties and *lodgepole pine* growth in British Columbia's central interior. Can. J. Soil Sci. 85: 681-691.
8. Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of ground water: hydrology and engineering. Hydrol. J. 10:121-142.
9. Brigges, R. D., J.W. Hornbeck, C.T. Smith, R.C. Lemin and J.R. McCormack. 2000. Long-terms effects of forest management on nutrient cycling in *spruce-fir* forests. For. Ecol. & Manage. 138: 285-299.
10. Dykstra, P.R. and M.P. Curran. 2006. Tree growth on rehabilitated skid roads in southeast British Columbia. For. Ecol. & Manage. 133: 145–156.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]

11. Eisenbies, M.H., J.A. Burger and M.B. Adams. 2007. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians-a review. For. Ecol. & Manage. 242: 77–98.
12. Ezzati, S., A. Najafi, M.A. Rab and E. Zenner. 2012. Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. Silva Fenn. 45(4): 521-538.
13. Froehlich, H.A. 1985. Soil compaction from low ground-pressure, torsion-suspension logging vehicles on three forest soils. Forest research laboratory, Oregon State University, Corvallis, Research Paper 36: 12 pp.
14. Haruna, O., S.A. Ahmed and N.M. Majid. 2009. Effect of different ages of a rehabilitated forest on selected physico-chemical properties. Soil Sci. Soc. Amer. J. 6:1043-1046.
15. Hatchell, G.E., C.W. Ralston and R.R. Foil. 1970. Soil disturbances in logging. J. For. 68: 772-775.
16. Howard, R.F., M.J. Singer and G.A. Frantz. 1981. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 45:231–236.
17. Kozlowski, T.T. 1999. Responses of woody plants to human-induced environmental stresses issues problems and strategies for alleviating stress. Crit. Rev. Plant Sci. 19: 91–170.
18. Lacey, S.T. and P. J. Ryan. 2000. Cumulative management impacts on soil physical properties and early growth of *Pinus radiata*. For. Ecol. & Manage. 138: 321–333.
19. Iistedt, U., A. Malmer, E. Verbeeten and D. Murdiyarso. 2004. The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: A systematic review and meta-analysis. For. Ecol. & Manage. 251: 45-51.
20. Makineci, E., M. Demir and E. Yilmaz. 2007. Long-term harvesting effects on skid road in a fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.) plantation forest. J. Build. & Environ. 42: 1538-1543.
21. McNabb, D.H., A.D. Startsev and H. Nguyen. 2001. Soil wetness and traffic on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 65:1238-1247.
22. Najafi, A., A. Solgi and S.H.R. Sadeghi. 2009. Effect of ground skidding and skid trail slope on soil disturbance. Soil & Till. Res. 103:165-169.
23. Pennington, P.I., M. Laffan, R. Lewis and K. Churchill. 2004. Impact of major snig tracks on the productivity of wet Eucalyptus oblique forest in Tasmania measured 17-23 years after harvesting. Aust. For. 67:17-24.
24. Perry, T.O. 1974. Soil compaction and *Loblolly Pine* growth. USA Forest Service. Tree Plant Notes 9-67.
25. Pinard, M.A., M.G. Barker and J. Tay. 2003. Soil disturbance and post-logging forest recovery on bulldozer paths in Sabah, Malaysia. For. Ecol. & Manage. 130:213 -225.
26. 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. For. Ecol. & Manage. 191: 329–340.
27. Startsev, A.D. and D.H. McNabb. 2001. Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. Can. J. Soil Sci. 8:617–624.
28. Sadeghi, S.H.R., B. Ghaderi Vangah and N.A. Safaeeian. 2007. Comparison between effects of open grazing and manual harvesting of cultivated summer rangelands of northern Iran on infiltration, runoff and sediment yield. J. Land Degrade. Develop. 18:608–620.
29. Thorud, D.B. and S.S. Fissell. 1976. Time changes in soil density following compaction under an *oak* forest. Minn. For. Res. Notes 257:1150-1160.
30. Ward, A. and S. Timble. 2003. Environmental Hydrology. 2nd ed., Lewis Pub., USA.
31. Webb, R.H., J.W. Stiger and H.G. Wilshire. 1986. Recovery of compacted soils in Mojave desert ghost towns. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50:1341-1344.
32. Webb, R.H. 2002. Recovery of severely compacted soils in the Mojave desert, California (USA). Arid Land Res. Manage. 16:291-305.
33. Wilpert, K.V. and J. Schäffer. 2006. Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: A preliminary study. Eur. J. For. Res. 125: 129–138.
34. Zenner, E.K., T.A. Jeremiah, L. Berger, J. Klaus and K. J. Puettmann. 2007. Impacts of skidding traffic intensity on soil disturbance, soil recovery, and aspen regeneration in north central Minnesota. J. Appl. 24: 1136-1142.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.20.7]