مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال سیزدهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۰
ص ۲۵۰-۲۳۷
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2021.205706.1656
شناسه دیجیتال (DOR):20.1001.1.20086113.1400.13.3.2.5

تعیین فاصلهٔ بهینهٔ زهکش‌های عرضی در مسیرهای چوبکشی به‌منظور انحراف رواناب (مطالعهٔ موردی: جنگل خیرود)

کیومرث فتحی[۱]، مقداد جورغلامی[۲*]، سید عطاالله حسینی[۲] و شهرام خلیقی سیگارودی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران
[۲] استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران
[۳] دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸)

چکیده

استفاده از ماشین‌آلات چوبکشی در مناطق پرشیب جنگل‌های شمال برای خروج چوب موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری و کوبیدگی خاک و کاهش نفوذ آب در خاک مسیر چوبکشی، افزایش رواناب و هدررفت خاک می‌شود. این پژوهش با هدف تعیین فاصلهٔ بهینهٔ بین زهکش‌های عرضی در مسیرهای چوبکشی به‌منظور کاهش رواناب در پارسل‌های ۳۱۵ و ۳۱۶ بخش گرازبن جنگل خیرود انجام گرفت. در این پژوهش، نه پلات با طول‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متر در شیب‌های طولی ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد مسیرهای چوبکشی نصب شدند. در خروجی هر پلات، یک مخزن برای جمع‌آوری رواناب مستقر شد. در هر پلات، متغیرهای جرم مخصوص ظاهری خشک، درصد رطوبت وزنی، درصد مادهٔ آلی و بافت خاک و نیز در هر واقعهٔ بارندگی، مقدار بارندگی روزانه و رواناب جمع‌شده در مخزن اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که فاصلهٔ بهینهٔ زهکش‌های عرضی در مسیرهای چوبکشی برای کاهش رواناب ۳۰ متر است و مناسب‌ترین شیب مسیر چوبکشی به‌منظور کاهش رواناب، شیب تا ۲۵ درصد است. براساس نتایج، مقدار رواناب با طول پلات دارای رابطهٔ معنی‌دار است. نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد که مقدار بارندگی با رواناب در طول‌ها و شیب‌های مختلف پلات‌ها رابطهٔ معنی‌دار دارد. از این‌رو برای کاهش رواناب در مسیرهای چوبکشی بهتر است تا حد امکان از ساخت این مسیرها در شیب‌های تند خودداری شود و بعد از عملیات چوبکشی، اقداماتی مانند ساخت زهکش‌های عرضی (با طول ۳۰ متر و زاویهٔ شیب ۲۵-۲۰ درصد) برای کاهش رواناب انجام گیرد.

واژه‌های کلیدی: جنگل خیرود، خصوصیات فیزیکی خاک، زهکش‌های عرضی، عملیات چوبکشی، کوبیدگی خاک.

مقدمه

استفاده از ماشین‌آلات چوبکشی در مناطق پرشیب جنگل‌های شمال موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری و کوبیده شدن خاک و کاهش نفوذ آب به خاک، افزایش رواناب و هدررفت خاک می شود که تأثیرات مخربی بر هدررفت مواد غذایی خاک و تهنشست رسوب در منابع آبی پایین‌دست دارد (Akbarimehr & Naghdi, 2012; Palviainen et al., 2015; Etehadi Abari et al., 2017; Hashemi et al., 2020). قسمت عمدهٔ جنگل‌های شمال ایران در عرصه‌هایی با شیب‌های تند و مناطق پرباران واقع شده‌اند که از پتانسیل تخریبی زیادی در برابر

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۲
ایمیل: mjgholami@ut.ac.ir

فعالیت‌های انسانی و عملیات بهره‌برداری برخوردارند. به‌هم‌خوردگی و کوبیدگی خاک اکوسیستم‌های جنگلی، گذشته از افزایش فرسایش خاک، سبب شسته شدن لایهٔ سطحی غنی از مواد آلی خاک و کاهش نفوذپذیری آب در خاک می‌شود و با افزایش حجم رواناب، خدمات مربوط به تنظیم جریان و ذخیره‌سازی آب در جنگل‌ها به‌شدت آسیب می‌بیند (Ekwue & Harrilal, 2010; Zhang & Wang, 2017; Cambi et al., 2015; Malvar et al., 2017).

یکی از مهم‌ترین عملکردهای اکوسیستم جنگل، نقش آن در حفاظت از منابع آبی و تنظیم ارتفاع و حجم رواناب در آبخیزهاست. از گذشته، همواره نقش و جایگاه جنگل‌ها در حفظ آب، جلوگیری از ایجاد سیلاب و کاهش فرسایش خاک مدنظر بوده است. آبخیزهای جنگلی آب حاصل از بارش را به اشکال مختلف می‌گیرند و جذب می‌کنند و از این‌رو به تنظیم جریان فصلی کمک می‌کنند (Ide et al., 2013; Etehadi Abari et al., 2018). یکی از پیامدهای ساخت مسیرهای چوبکشی تولید رواناب است. با ساخت مسیرهای چوبکشی، پوشش گیاهی کف جنگل از بین می‌رود و با تردد اسکیدر، تراکم خاک افزایش می‌یابد و در زمان وقوع بارندگی به‌دلیل حذف پوشش گیاهی، رواناب ایجاد می‌شود. شدت بارندگی، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل خاک، پوشش گیاهی، درصد رطوبت خاک، بافت خاک و ... بر مقدار رواناب تأثیر می‌گذارند و سبب کاهش یا افزایش رواناب می‌شوند (Sohrabi et al., 2016; Ahmadi et al., 2019). در بهره‌برداری جنگل، تردد ماشین‌آلات چوبکشی روی مسیرهای چوبکشی پرشیب، سبب کوبیدگی خاک و شکل گیری رواناب و در نتیجه فرسایش خاک می شود (Jourgholami & Majnounian, 2011; Jourgholami et al., 2018).

در کالیمانتان اندونزی، Hartanto et al. (2003) نشان دادند که مقدار رواناب از قطعه‌های نمونهٔ مسیر چوبکشی بیشتر از قطعه‌های نمونهٔ کنترلی و بهره‌برداری‌شده بود. عواملی مانند درصد تاج‌پوشش، تراکم درختان، عمق لاشبرگ‌ها و باقی ماندن مواد چوبی حاصل از بهره‌برداری، مهم‌ترین عوامل اکولوژیکی در تعیین مقدار رواناب و رسوب در جنگل هستند که مقدار آنها در قطعه‌های نمونهٔ مورد بهره‌برداری و شاهد بیشتر بود و در مسیر چوبکشی کمترین مقدار بود. Malvar et al. (2017) با بررسی تأثیر عملیات چوبکشی بعد از آتش‌سوزی نتیجه گرفتند که رواناب سالانه در مسیرهای چوبکشی کلاسهٔ تردد کم از منطقهٔ شاهد کمتر است. نبود اختلاف رواناب به‌دلیل تخلخل زیاد خاک به مقدار ۶۵ درصد، حتی پس از تردد ماشین چوبکشی، و زبری سطح بیشتر در مسیرهای چوبکشی کم‌تردد نسبت به شاهد بود. همچنین Ide et al. (2013) نتیجه گرفتند که تأثیر قطع یکسره روی رواناب تا هجده سال بعد از آن نیز وجود دارد.

Akbarimehr & Naghdi (2012) با استقرار دو پلات در مسیرهای چوبکشی با دو طبقهٔ شیب کمتر و بیشتر از ۲۰ درصد در جنگل‌های حوزهٔ ناو اسالم نشان دادند که بین حجم رواناب و شیب طولی مسیر رابطهٔ خطی وجود دارد و برای کنترل و کاهش حجم رواناب باید برنامه‌ریزی دقیقی برای ساخت و تعمیر و نگهداری مسیرهای چوبکشی صورت گیرد. همچنین محدود کردن این مسیرها به شیب طولی کمتر از ۲۰ درصد و انحراف آب از سطح آنها می‌تواند به کاهش حجم رواناب کمک کند. همچنین Masumian et al. (2017) نتیجه گرفتند که حجم رواناب با افزایش فاصلهٔ بین زهکش‌های عرضی در مسیرهای چوبکشی بدون در نظر گرفتن وزن مخصوص ظاهری خاک افزایش یافته است. در شیب‌های زیاد، فاصلهٔ بیشتر بین زهکش‌های عرضی، سبب افزایش مقدار رواناب شده است. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که شیب عامل اصلی در کنترل رواناب سطحی است. بنابراین فاصلهٔ بین زهکش‌های عرضی در مسیرهای چوبکشی بسیار مهم است، زیرا با افزایش شیب مسیرهای چوبکشی، حجم رواناب

سطحی بیشتر می‌شود. افزون‌بر این، Etehadi Abari et al. (2017) تأثیر شیوه‌های بهره برداری جنگل بر ویژگی‌های رواناب در جنگل خیرود را بررسی کردند. چهار تیمار شامل جنگل طبیعی بدون برداشت، جنگل با برداشت گزینشی، منطقهٔ بدون تاج‌پوشش و مسیرهای چوبکشی در نظر گرفته شد و در هر پلات، مقدار رواناب بعد از هر بارندگی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در تولید رواناب با توجه به پوشش گیاهی وجود دارد. Jourgholami et al. (2018) دریافتند که با افزایش شدت تردد، جرم مخصوص ظاهری خاک به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. مقدار رواناب در دورهٔ بدون برگ (خزان) در شدت‌های تردد متوسط و زیاد به‌ترتیب ۹۵/۵، ۵۴/۲ درصد و ۲۱/۷ درصد بیشتر از مقدار رواناب در فصل بابرگی است.

زهکش‌های عرضی، مانند موانع نصب‌شده برای کاهش فرسایش، شامل استفاده از گرده‌بینه، کاتین و سرشاخه‌های درختان هستند که با قرار دادن آنها به‌صورت عرضی در طول مسیر چوبکشی یا به‌موازات خطوط میزان (عمود بر جهت اصلی شیب) نصب می‌شوند (Robichaud et al., 2008). زهکش‌های عرضی با فراهم کردن موانع مکانیکی در برابر رواناب سطحی، سبب کوتاه شدن طول شیب، افزایش نفوذ، ایجاد زبری سطح و ته‌نشست رسوبات می‌شوند و به‌طور معنی‌داری رواناب و هدررفت را تا حد چشمگیری کاهش می‌دهند (Yanosek et al., 2006; Robichaud et al., 2008). سازه‌های زهکشی عرضی دارای دو اثر مهم در مسیر چوبکشی است: ۱. همچون سازوکاری برای کاهش سرعت جریان آب عمل می‌کنند؛ ۲. فضای مناسبی برای ته‌نشینی فراهم می‌کنند که در آن، ذرات ریز تجمع می‌یابد (Wagenbrenner et al., 2006). نتایج تحقیق Hashemi et al. (2020) نشان داد که هفت سال پس از زمان چوبکشی، احداث جوی-پشته ها بر خصوصیات فیزیکی خاک در طبقهٔ ترافیک کم و شیب کمتر از ۱۰ درصد تأثیر مثبت داشته است.

یکی از روش‌های کاهش رواناب در مسیرهای چوبکشی، استفاده از زهکش‌های عرضی برای هدایت رواناب به سطح خاک جنگل دست‌نخورده است. در مسیرهای چوبکشی با در نظر گرفتن فاصله و شیب مسیر چوبکشی می‌توان از زهکش‌های عرضی استفاده کرد. برای تعیین فاصلهٔ بهینهٔ این زهکش‌های عرضی باید عواملی مانند شیب، طول مسیر و بافت خاک را در نظر گرفت (Sobhani & Naeijnoori, 2006). با وجود توقف بهره‌برداری از جنگل‌های شمال موسوم به طرح استراحت جنگل، بحث های حفاظت از آب و خاک در جنگل که عمدتاً جاده‌ها، مسیرهای چوبکشی و دپوها را در بر می گیرد، دارای اهمیت است و باید بیشتر از گذشته به آن توجه کرد. موضوع این تحقیق نیز یکی از ضروریات بحث حفاظت آب و خاک در جنگل است که در راستای کمی کردن آثار مرتبط با تخریب خاک تلاش کرده است و با توجه به اینکه از بارش‌های طبیعی و در این مقیاس در شرایط طبیعی استفاده شده است، می‌توان آن را نوآوری تحقیق در نظر گرفت، درحالی که بیشتر تحقیقات در این زمینه با استفاده از باران‌ساز و در محیط شبیه‌سازی‌شده انجام می‌گیرد. تحقیق حاضر به بررسی عامل شیب و طول مسیر برای یافتن فاصلهٔ مناسب زهکش‌های عرضی در مسیرهای چوبکشی در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این تحقیق در پارسل‌های ۳۱۵ و ۳۱۶ بخش گرازبن جنگل آموزشی- پژوهشی دانشگاه تهران واقع در نوشهر انجام گرفت. کمترین و بیشترین ارتفاع از سطح دریا به‌ترتیب ۱۱۷۲ متر (پلات ۱) و ۱۲۱۱ متر (پلات ۷) و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹۴ متر است. کمترین و بیشترین درصد تاج‌پوشش به‌ترتیب ۴۰ درصد (پلات ۴) و ۹۰ درصد (پلات‌های ۵ و ۶)

است. میانگین درصد تاج‌پوشش در نه پلات، ۷۵ درصد است. جهت جغرافیایی بیشتر پلات‌ها جنوب غربی و تیپ درختی بیشتر پلات‌ها راش- ممرز- افرا است. خاک از نوع قهوه‌ای جنگلی در این دو بخش روی سنگ مادر آهکی قرار گرفته و متعلق به دوران ژوراسیک بالایی است و در بعضی نقاط از طبقات سخت شکاف‌دار و طبقات نرم به‌طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. میانگین بارندگی سالانهٔ منطقه ۱۳۸۰ میلی‌متر است که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب در ماه‌های مهر و تیر رخ داده است. آب‌وهوای منطقه سرد است. میانگین دمای سالانه ۷/۹ درجهٔ سانتی‌گراد و گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال در منطقه، به‌ترتیب تیر و بهمن است (Jourgholami et al., 2018). عملیات خروج چوب در جنگل خیرود در پارسل‌های تحت بررسی با استفاده از اسکیدر تاف در شهریور ۱۳۹۶ انجام گرفت. هوا در طول دو هفته در طی عملیات چوبکشی گرم و خشک بود. حداقل تردد در مسیرهای چوبکشی برابر ۲۰ عبور (رفت و برگشت) بود و تا حد امکان سعی شد قطعات از نظر تعداد تردد و کوبیدگی دارای شرایط یکسانی باشند.

شیوهٔ اجرای پژوهش

در این تحقیق برای تعیین مقدار رواناب در اثر بهره برداری از جنگل در مسیرهای چوبکشی، ابتدا با بازدید میدانی که بعد از عملیات چوبکشی صورت گرفت، برخی از مشخصات قسمت هایی از مسیرهای چوبکشی مانند شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، تاج‌پوشش و گونه‌های موجود در عرصه ثبت شد. در این تحقیق از بارش های طبیعی منطقه به‌دلیل به‌دست آوردن اطلاعات واقعی استفاده شد. پلات‌ها به‌طور تصادفی در سه شیب متوسط پلات ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد و در سه اندازهٔ ۶۰ متر مربعی (۳×۲۰ متر)، ۹۰ متر مربعی (۳×۳۰ متر) و ۱۲۰ متر مربعی (۳×۴۰ متر) مستقر شدند. پلات‌های ۱ تا ۹ در جهت شیب دامنه مستقر شدند. برای بستن ابتدا و انتهای قطعه نمونه‌ها، از تخته‌های چوبی استفاده شد. این تخته‌ها تا ۱۰ سانتی‌متر در داخل خاک فرو برده شده و ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر هم از سطح زمین بالاتر قرار داده شدند تا از ورود و خروج رواناب به قطعه نمونه‌ها جلوگیری شود. برای هر قطعه نمونه یک تخته در بالا و یک تخته در پایین با زاویهٔ ۲۰ تا ۲۵ درجه نسبت به سطح مسیر چوبکشی تعبیه شد. در انتهای این قطعه نمونه‌ها لوله‌ای تعبیه شد تا رواناب جاری‌شده در سطح قطعه نمونه‌ها را به مخزن ۱۵۰ لیتری جمع‌آوری و هدایت کند. مقدار باران در هر رخداد بارندگی، با استفاده از ده باران‌سنج دستی (قطر دهانه ۸ سانتی‌متر و عمق ۲۲ سانتی‌متر) در نزدیک‌ترین فضای باز به پلات‌ها (حداکثر فاصله ۳۰ متر (Sadeghi et al., 2016)، که به‌صورت کاملاً عمودی در کف جنگل مستقر شده بود، جمع‌آوری شد. از شهریور تا آذر ۱۳۹۶ پس از هر بار وقوع بارندگی، نمونه‌های رواناب جمع‌شده در مخزن، جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد (شکل ۱). پلات‌ها در شهریورماه بلافاصله بعد از پایان عملیات چوبکشی نصب شدند. در طول دورهٔ پژوهش، ۲۵ واقعهٔ بارندگی رخ داد که ۱۵ بارش منجر به وقوع رواناب شد و مجموع بارندگی در این ۱۵ رخداد برابر ۶۷۵ میلی‌متر بود. در استقرار پلات به‌ویژه در قسمت خروجی پایین‌دست و محل زهکش عرضی برای جمع‌آوری رواناب و انتقال آن به مخزن، به‌گونه‌ای کار استقرار انجام گرفت که تا حد امکان از به‌هم‌خوردگی خاک در درون پلات جلوگیری کنند و خطا در نتایج ایجاد نشود.

برای برآورد درصد تاج‌پوشش از مساحت لکه‌های روشن سطح مسیر چوبکشی نسبت به‌کل مساحت پلات مسیر چوبکشی استفاده شد. برای اندازه‌گیری شیب و طول مسیرهای چوبکشی به‌ترتیب از شیب‌سنج سونتو و متر نواری استفاده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد. برای بررسی تغییرات وزن مخصوص ظاهری و تخلخل خاک، نمونه‌برداری با استفاده از سیلندرهای فولادی نمونه‌گیری انجام

گرفت. البته قبل از نمونه برداری لایهٔ لاشبرگی سطح خاک کنار زده شد و نمونه برداری از لایهٔ سطحی و معدنی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر صورت گرفت و توزین اولیه بلافاصله بعد از برداشت نمونه انجام گرفت. در مرحلهٔ بعد نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد در آون خشک شدند و توزین نمونه ها انجام گرفت. در فاصلهٔ ۲۰ متری هر پلات رواناب، یک نمونه از سطح دست‌نخوردهٔ جنگل (شاهد) برای اندازه‌گیری بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، رصد رطوبت وزنی و درصد مادهٔ آلی برداشت شد. وزن خاک خشک‌شده بر حجم استوانه تقسیم شد و جرم مخصوص ظاهری خشک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و درصد رطوبت وزنی آنها اندازه‌گیری شد. مادهٔ آلی به روش سوزاندن تر یا والکی- بلک اندازه‌گیری شد. با استفاده از یک پیمانهٔ ۱۵ لیتری مدرج، مقدار رواناب در مخزن اندازه‌گیری و اندازهٔ دقیق آن بعد از هر بارندگی ثبت شد.

شکل ۱- نحوهٔ استقرار مخزن ۱۵۰ لیتری در پایین قطعه نمونه برای جمع‌آوری رواناب

روش تحلیل

به منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌های رواناب با استفاده از تجزیهٔ واریانس یکطرفه صورت گرفت و در صورت معنی‌داری F جدول تجزیهٔ واریانس، از آزمون دانکن برای گروه‌بندی میانگین تیمارهای طول و شیب پلات‌های رواناب و از آزمون مقایسهٔ میانگین t برای تحلیل داده‌های خصوصیات فیزیکی خاک استفاده شد. همچنین از ضریب همبستگی پیرسون برای تجزیه‌وتحلیل روابط بین رواناب، خصوصیات فیزیکی خاک، طول، شیب و مقدار بارندگی استفاده شد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های حاصل از آزمایش خصوصیات پلات و فاکتورهای فیزیکی خاک و رواناب از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۵ استفاده شد.

نتایج

خصوصیات خاک

نتایج آزمایش بافت خاک نشان داد که پلات‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶ و ۷ بافت خاک لومی- رسی- ماسه‌دار و پلات‌های ۴، ۸ و ۹ بافت لومی دارند. میانگین مادهٔ آلی خاک در منطقهٔ شاهد ۴/۲ درصد و در پلات‌های مسیر چوبکشی ۳/۳ درصد است. نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین‌ها t نشان داد که درصد مادهٔ آلی مسیر چوبکشی با مادهٔ آلی منطقهٔ شاهد دارای اختلاف معنی‌دار است. هر کدام از پلات‌های مسیر چوبکشی

درصد رطوبت وزنی کمتری نسبت به منطقهٔ شاهد خود دارند. درصد رطوبت وزنی در منطقهٔ شاهد ۹ حدود دوبرابر درصد رطوبت وزنی در پلات ۹ است. میانگین رطوبت خاک در منطقهٔ شاهد ۵۰/۴ درصد و در پلات‌های مسیر چوبکشی ۳۶/۹ درصد است. نشان داد که درصد رطوبت وزنی منطقهٔ شاهد با پلات‌های مسیر چوبکشی فاقد اختلاف معنی‌دار است. بیشترین کوبیدگی خاک در پلات‌های مسیر چوبکشی مربوط به پلات ۱ و کمترین کوبیدگی در مسیر چوبکشی و در پلات‌های شاهد در پلات ۹ است (جدول‌های ۱ و ۲). میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در پلات‌های شاهد ۰/۹۴ و در پلات‌های مسیر چوبکشی ۱/۳ گرم بر مترمکعب است. نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین‌ها t نشان داد که جرم مخصوص ظاهری خشک منطقهٔ شاهد با مسیر چوبکشی اختلاف معنی‌دار دارند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی پلات‌های مسیر چوبکشی

بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	ماسه (درصد)	تاج پوشش (درصد)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول (متر)	شیب (درصد)	شماره پلات
ماسه- لومی	۱۸/۱۶	۱۸/۵۶	۶۳/۲۸	۸۵	۱۱۷۲	۴۰	۲۵	۱
ماسه - لومی	۱۶/۱۶	۱۸/۵۶	۶۵/۲۸	۸۰	۱۱۸۴	۴۰	۱۵	۲
ماسه- رسی- لومی	۲۲/۱۶	۱۴/۵۶	۶۳/۲۸	۸۵	۱۱۹۴	۳۰	۳۵	۳
ماسه- لومی	۱۸/۱۶	۱۴/۵۶	۶۷/۲۸	۴۰	۱۱۹۰	۲۰	۲۵	۴
ماسه - لومی	۱۶/۱۶	۱۶/۵۶	۶۷/۲۸	۹۰	۱۱۸۷	۲۰	۱۵	۵
ماسه- لومی	۱۶/۱۶	۱۸/۵۶	۶۵/۲۸	۹۰	۱۲۰۲	۲۰	۳۵	۶
ماسه - لومی	۱۸/۱۶	۱۸/۵۶	۶۳/۲۸	۸۵	۱۲۱۱	۳۰	۲۵	۷
ماسه- رسی- لومی	۲۲/۱۶	۲۰/۵۶	۵۷/۲۸	۴۵	۱۲۰۰	۴۰	۱۵	۸
ماسه- لومی	۱۶/۱۶	۱۶/۵۶	۶۷/۲۸	۷۵	۱۲۰۶	۳۰	۳۵	۹

جدول ۲- مشخصه‌های خاک (جرم مخصوص ظاهری، رطوبت خاک و درصد مادهٔ آلی) پلات‌های مسیر چوبکشی

شمارهٔ پلات	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)		رطوبت خاک (درصد)		مادهٔ آلی (درصد)	
	منطقهٔ شاهد	پلات رواناب	منطقهٔ شاهد	پلات رواناب	منطقهٔ شاهد	پلات رواناب
۱	۱/۱۲	۱/۴۲	۲۹/۲۸	۳۲/۷۱	۳/۴۳	۳/۷۸
۲	۱/۱۲	۱/۳۹	۳۳/۴۸	۳۵/۸۶	۴/۱۷	۴/۱۶
۳	۱/۱۱	۱/۳	۳۵/۸۳	۳۰/۹۸	۳/۶۹	۴/۴۵
۴	۱/۱۴	۱/۳۳	۲۸/۷۹	۳۴/۸۲	۴/۲۸	۴/۱۵
۵	۱/۱	۱/۲۶	۳۵/۸۱	۴۰/۳۵	۴/۳۸	۴/۶
۶	۱/۱۱	۱/۲۲	۳۲/۰	۳۳/۸۵	۴/۱۶	۳/۱۵
۷	۱/۱۷	۱/۲۸	۳۷/۱۲	۳۲/۱۴	۴/۲۲	۴/۵۸
۸	۱/۱۹	۱/۳۹	۳۰/۲۶	۳۱/۱۸	۴/۸۷	۴/۵۵
۹	۰/۷۵	۱/۰۹	۳۶/۰۲	۷۰/۲۹	۴/۵	۴/۳۹

جدول ۳ نتایج ضریب همبستگی پیرسون در زمینهٔ ارتباط بین مشخصات پلات‌ها شامل طول، شیب، درصد تاج‌پوشش و خصوصیات فیزیکی خاک شامل درصد رطوبت وزنی، جرم مخصوص ظاهری و درصد مادهٔ آلی و نوع تیمارها شامل طول و شیب و نیز مقدار بارندگی با رواناب را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که مقدار رواناب در تیمار طول با مقدار بارندگی رابطهٔ معنی‌دار مثبت و با درصد رس رابطهٔ معنی‌دار منفی دارد. مقدار رواناب در تیمار شیب با مقدار بارندگی دارای رابطهٔ معنی‌دار مثبت و با جرم مخصوص ظاهری و درصد رس دارای رابطهٔ معنی‌دار منفی است. همچنین در تیمار شیب با افزایش طول پلات، مقدار رواناب کاهش می‌یابد و دارای همبستگی منفی است. درصد رس با درصد مادهٔ آلی و شیب با درصد لای دارای همبستگی مثبت است. همچنین شیب با درصد ماسه و همچنین درصد ماسه با درصد لای دارای همبستگی منفی است. مقدار رواناب با درصد مادهٔ آلی فاقد همبستگی است. با افزایش طول پلات، مقدار رواناب کاهش می‌یابد و همبستگی منفی دارد.

جدول ۳- نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین خصوصیات فیزیکی، خاک و رواناب در پلات‌ها

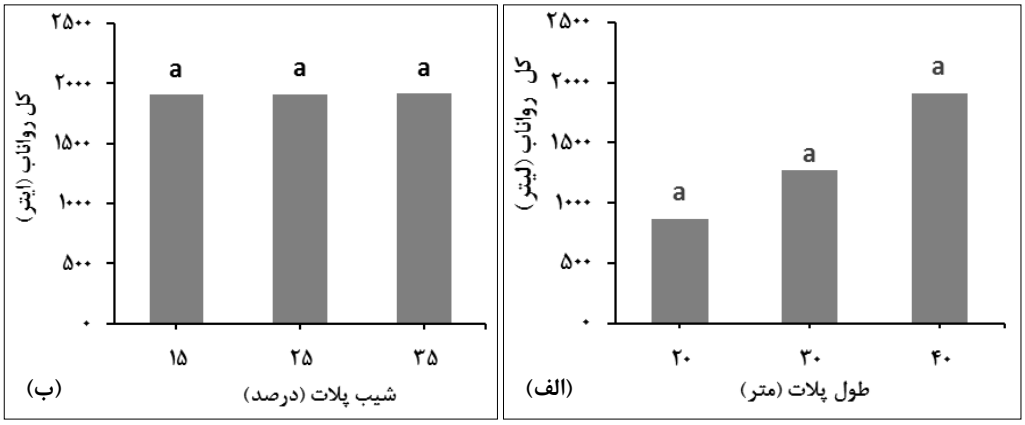
پارامترها	رواناب (تیمار طول)	رواناب (تیمار شیب)	جرم مخصوص	رطوبت وزنی	مادهٔ آلی	تاج پوشش	طول مسیر	شیب مسیر	مقدار بارندگی	رس	لای	ماسه
رواناب (تیمار طول)	۱	۰/۸۵**	-۰/۵۹	-۰/۲۲	۰/۵۲	-۰/۱۲	-۰/۵۶	-۰/۰۱	۰/۶۰**	-۰/۷۶*	۰/۰۳	۰/۳۸
رواناب (تیمار شیب)		۱	-۰/۶۹*	-۰/۰۸	۰/۵۳	-۰/۱۱	-۰/۶۹*	-۰/۱۰	۰/۶۱**	-۰/۸۳**	-۰/۰۳	۰/۴۷
جرم مخصوص			۱	-۰/۲۰	-۰/۳۳	-۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۴۰	-۰/۳۵	۰/۴۸	۰/۰۵	-۰/۲۹
رطوبت وزنی				۱	۰/۲۲	-۰/۲۸	-۰/۲۷	۰/۰۸	۰/۰۱	-۰/۱۳	۰/۴۴	-۰/۲۷
مادهٔ آلی					۱	-۰/۵۰	-۰/۱۰	-۰/۱۰	-۰/۰۷	۰/۶۸*	۰/۲۲	۰/۱۹
تاج‌پوشش						۱	-۰/۰۷	-۰/۵۶	-۰/۲۴	۰/۱۴	-۰/۶۲	۰/۴
طول							۱	۰/۰۰	-۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۱۷	-۰/۴۷
شیب								۱	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۷۰*	-۰/۶۸*
مقدار بارندگی									۱	-۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۰۵
رس										۱	۰/۱۴	-۰/۶۴
لای											۱	-۰/۸۵**
ماسه												۱

رابطهٔ رواناب برحسب لیتر با طول (متر) و درصد شیب

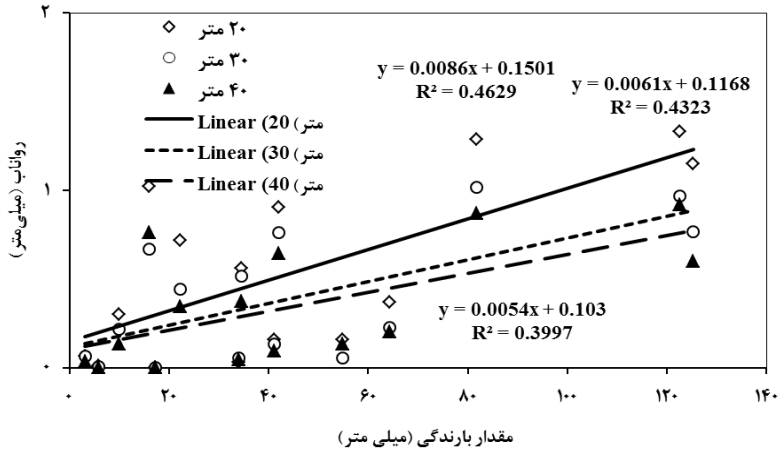
نتایج رابطهٔ رواناب (لیتر) با طول (متر) و شیب (درصد) پلات اندازه‌گیری رواناب با آزمون دانکن در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمون دانکن نشان داد که مقدار کل رواناب برحسب تیمار طول پلات و شیب پلات، اختلاف معنی‌دار ندارد (شکل ۲ الف و ب).

رابطهٔ رواناب با مقدار بارندگی

نمودار ابرنقاط، خط و رابطهٔ رگرسیونی رواناب با مقدار بارندگی برحسب تیمار طول پلات نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی با مقدار ۰/۴۶، بین رواناب با مقدار بارندگی در طول پلات ۲۰ متر است (شکل ۳). به‌طور کلی با افزایش بارندگی، مقدار رواناب در پلات‌های با طول ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متری افزایش یافته است.



شکل ۲- مقایسهٔ کل رواناب برحسب طول (الف) و شیب پلات (ب).
حروف لاتین نامشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.



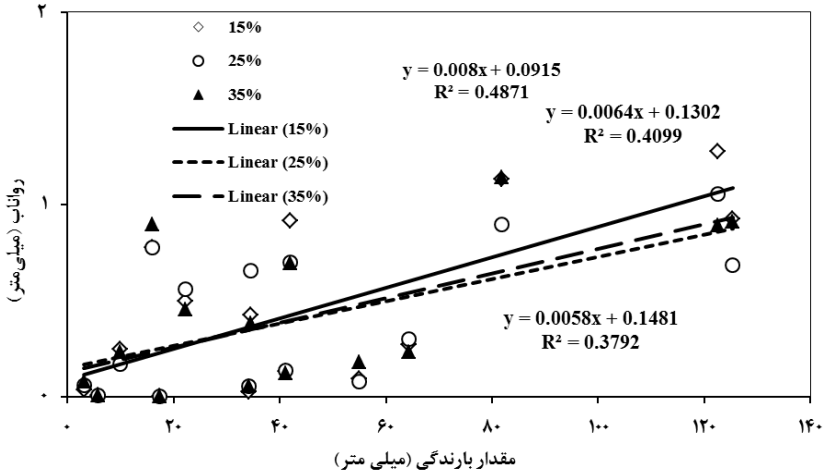
شکل ۳- نمودار پراکنش ابرنقاط رابطهٔ بین رواناب با مقدار بارندگی در تیمار طول پلات

تجزیهٔ واریانس ارتباط بین مقدار بارندگی و افزایش مقدار رواناب در تیمار طول (طول‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متر) در جدول ۴ آورده شده است. مطابق جدول ۴، مقدار F به‌دست‌آمده بیانگر این است که مقدار بارندگی دارای تأثیر معنی‌داری بر افزایش مقدار رواناب در طول‌های مختلف پلات (۲۰، ۳۰ و ۴۰ متر) است.

جدول ۴- تجزیهٔ واریانس رابطهٔ رواناب (تیمار طول پلات) با مقدار بارندگی

طول پلات (متر)	F	معنی‌داری
۲۰	۳۲۸۶/۶	۰/۰۰
۳۰	۲۴۰۳/۷	۰/۰۰
۴۰	۲۰۱۴/۱	۰/۰۰

ابرنقاط و رابطهٔ رگرسیونی رواناب با مقدار بارندگی برحسب تیمار شیب پلات در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل ۴ بیشترین همبستگی با مقدار ۰/۴۸ بین رواناب با مقدار بارندگی در شیب ۱۵ درصد است. نتایج نشان داد که با افزایش بارندگی، مقدار رواناب در پلات‌های با شیب ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است.



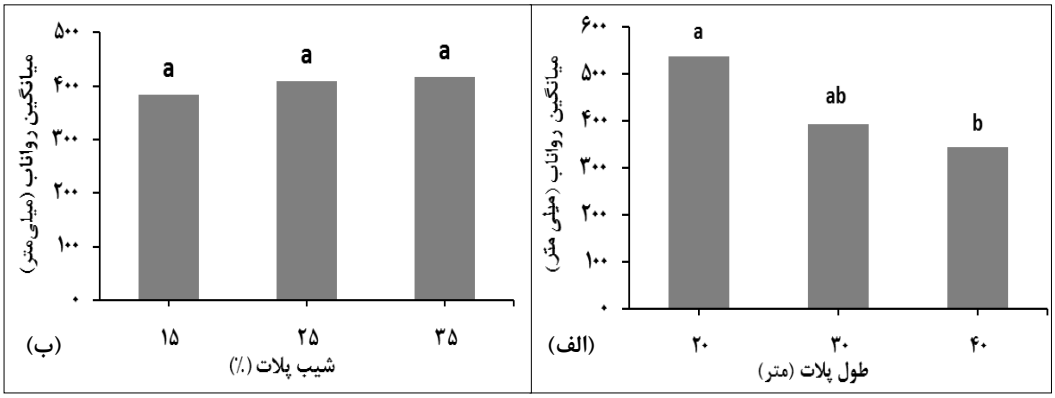
شکل ۴- نمودار پراکنش ابرنقاط رابطهٔ بین رواناب با مقدار بارندگی در تیمار شیب پلات

جدول ۵ نتایج تجزیهٔ واریانس مقدار رواناب در تیمار شیب پلات (شیب‌های ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد) با مقدار بارندگی ارائه شده است. طبق جدول ۵، مقدار F به‌دست‌آمده بیانگر این است که رواناب در شیب‌های مختلف پلات (۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد) دارای رابطهٔ معنی‌دار با مقدار بارندگی است.

جدول ۵- تجزیهٔ واریانس رابطهٔ رواناب (تیمار شیب) با مقدار بارندگی

شیب پلات (درصد)	*F*	معنی‌داری
۱۵	۳۲۸۵/۹	۰/۰۰
۲۵	۱۶۰۵/۷	۰/۰۰
۳۵	۱۱۵۶/۹	۰/۰۰

آزمون دانکن نشان داد که مقدار رواناب (شکل ۵ الف) در پلات‌های دارای طول ۲۰ متر دارای اختلاف معنی‌داری با پلات‌های دارای طول‌های ۳۰ و ۴۰ متر است. تفاوت معنی‌دار بین پلات‌های دارای طول‌های ۳۰ و ۴۰ متر وجود ندارد. با افزایش طول پلات، مقدار رواناب کاهش می‌یابد. نتایج آزمون دانکن نشان داد که مقدار رواناب (شکل ۵ ب) در پلات‌های دارای شیب‌های متفاوت (۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد) فاقد رابطهٔ معنی‌دار است.



شکل ۵- مقایسهٔ میانگین رواناب برحسب طول (الف) و شیب (ب) پلات با آزمون دانکن.
حروف لاتین نامشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

بحث

نتایج اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک نشان داد که تردد ماشین در مسیرهای چوبکشی سبب افزایش وزن مخصوص ظاهری می‌شود. تردد اسکیدر در مسیرهای چوبکشی موجب کاهش نفوذپذیری، کاهش تخلخل، افزایش تراکم خاک و از بین رفتن لایهٔ لاشبرگی در سطح خاک شده است (Ide et al., 2013; Etehadi Abari et al., 2017). لایهٔ لاشبرگ، محیطی اسفنجی ایجاد می‌کند و مقداری از آب و باران را در خود نگهداری می‌کند و آب به مرور جذب لایه‌های زیرین می‌شود. از بین رفتن لایهٔ لاشبرگی در مسیرهای چوبکشی سبب برخورد مستقیم قطره‌های باران به سطح خاک می‌شود و این برخورد، بسته شدن منافذ خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری را در پی دارد. کاهش نفوذپذیری، افزایش تراکم و از بین رفتن لایهٔ لاشبرگی در مسیرهای چوبکشی سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود و این افزایش دارای اختلاف معنی‌داری با مناطق شاهد است. با تردد اسکیدر در مسیرهای چوبکشی نیروی مکانیکی به خاک وارد می‌شود و ذرات خاک به هم نزدیک‌تر می‌شوند. با افزایش شیب، اسکیدر نیروی بیشتری برای حمل چوب به خاک وارد می‌کند و سبب افزایش تراکم خاک می‌شود (Etehadi Abari et al., 2018). مادهٔ آلی خاک دارای کلوئید است و آب را جذب می‌کند. همچنین مادهٔ آلی در ساختمان‌سازی خاک شرکت دارد و موجب جذب آب می‌شود. تردد اسکیدر سبب کاهش مادهٔ آلی خاک شده و با کاهش مادهٔ آلی خاک، درصد رطوبت وزنی خاک کاهش یافته است. در نتیجه با افزایش تردد، درصد رطوبت خاک در مسیرهای چوبکشی کاهش می‌یابد (Jourgholami et al., 2019).

تردد اسکیدر در مسیر چوبکشی موجب به‌هم‌خوردگی خاک می‌شود که در نتیجهٔ آن، هوادهی افزایش می‌یابد، اکسیژن بیشتری در دسترس میکروارگانیسم‌های خاک قرار می‌گیرد، سرعت تجزیهٔ توسط میکروارگانیسم‌های خاک افزایش پیدا می‌کند و مادهٔ آلی بیشتری تجزیه می‌شود. در نتیجه، تردد اسکیدر سبب کاهش مادهٔ آلی خاک می‌شود (Ekwue et al., 2009) که با یافته‌های Makineci et al. (2007) و Jaafari et al. (2014) دربارهٔ کاهش درصد مادهٔ آلی در مسیرهای چوبکشی همخوانی دارد. نتایج نشان داد که درصد شیب طولی در مسیرهای چوبکشی بر مقدار رواناب (میلی‌متر) تأثیر مستقیم دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شیب، مقدار رواناب در پلات‌های مسیر چوبکشی افزایش یافت. افزایش شیب سبب افزایش سرعت رواناب می‌شود. با افزایش سرعت رواناب،

نفوذپذیری در خاک کاهش و تولید رواناب افزایش یافت. در این تحقیق، زهکش‌های عرضی با فاصلهٔ ۳۰ متر، کمترین رواناب را تولید کرد. نتایج نشان داد که طول مسیر چوبکشی بر مقدار رواناب تولیدی تأثیر دارد و با ثابت بودن شیب مسیر چوبکشی و افزایش طول پلات، مقدار رواناب تولیدشده (میلی‌متر) کم می‌شود (Moreno-de las Heras et al., 2010) مقدار رواناب در بین زهکش‌های عرضی با فواصل مختلف دارای ارتباط معنی‌دار است. پژوهش‌های پیشین نشان دادند که با افزایش طول، رواناب فرصت بیشتری برای نفوذ در خاک دارد (Ekwue & Harrilal, 2010; Zhang & Wang, 2017). میکروتوپوگرافی مسیرهای چوبکشی تأثیر زیادی بر مقدار رواناب دارند و پلات‌هایی که به‌صورت طبیعی دارای پستی و بلندی در سطح خاک بودند، رواناب کمتری در طول وقایع اولیهٔ بارش داشتند. این پستی و بلندی‌ها موجب کاهش سرعت رواناب و ذخیرهٔ مقداری از رواناب در داخل خود و در نتیجه سبب کاهش رواناب شدند. یافته‌های این تحقیق، با نتایج تحقیق Masumian et al. (2017) همخوانی ندارد. آنها بیان کردند با افزایش فاصلهٔ بین زهکش‌های عرضی و همچنین افزایش شیب مسیر چوبکشی، مقدار رواناب افزایش می‌یابد. درصد شیب طولی در مسیرهای چوبکشی بر مقدار رواناب تأثیر گذاشت (Masoumian et al., 2017; Fu et al., 2016)؛ افزایش درصد شیب طولی سبب افزایش سرعت و رواناب شد، اما مقدار رواناب در پلات‌های دارای شیب‌های مختلف، رابطهٔ معنی‌دار نداشت (Etehadi Abari et al., 2017)؛ با افزایش سرعت، مقدار انرژی جنبشی رواناب افزایش می‌یابد (Arnaez et al., 2004; Ekwue & Harrilal, 2010; Moreno-de las Heras et al., 2010). نتایج این پژوهش با یافته‌های Assouline & Ben-Hur (2006) و Zhang et al. (2018) مبنی بر افزایش رواناب با افزایش شیب پلات همخوانی ندارد.

در بارش‌های رگباری به‌دلیل تجمع حجم زیاد آب در مدت زمان کوتاه، زمان برای نفوذ آب در خاک کمتر است که موجب افزایش تولید رواناب در مسیرهای چوبکشی می‌شود. بارش‌های مداوم تأثیر زیادی در مقدار رواناب دارند. در چنین بارش‌هایی، لایه‌های بالایی خاک از آب اشباع می‌شوند و به‌دلیل کوتاه بودن زمان تا وقوع بارش بعدی، آب داخل خاک زمان کافی برای نفوذ در لایه‌های پایین‌تر ندارد و با وقوع بارش بعدی، به‌دلیل زیاد بودن درصد رطوبت در لایه‌های بالایی خاک، مقدار آب کمتری به داخل خاک نفوذ می‌کند و در نتیجه مقدار رواناب در مسیرهای چوبکشی افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات قبلی نشان داد که با افزایش بارندگی، مقدار رواناب به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Arnaez et al., 2004; Etehadi Abari et al., 2017; Jourgholami et al., 2018)، که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد.

پلات‌هایی با طول ۲۰ متر حدود ۱/۵ برابر پلات‌هایی با طول ۴۰ متر رواناب تولید کرد. با توجه به نتایج، بهترین فاصلهٔ بین زهکش‌های عرضی برای کاهش رواناب در مسیرهایی با طول ۳۰ متر و عرصه‌هایی با شیب ۲۵ درصد به‌دست آمد. براساس نتایج می‌توان نتیجه گرفت که بهترین فاصله بین زهکش‌های عرضی در مسیرهای چوبکشی برای شیب‌های ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد، ۳۰ متر است. در این طول، تولید کمتر رواناب در همهٔ شیب‌ها مشهود است. با انتخاب فاصلهٔ ۲۰ یا ۴۰ متر بین زهکش‌های عرضی، رواناب بیشتری تولید می‌شود. بنابراین بهترین فاصله برای زهکش‌های عرضی در شیب‌های مختلف، فاصله‌ای است که کمترین مقدار رواناب را تولید می‌کند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار بارندگی بر مقدار رواناب تأثیر مستقیم دارد. ازآنجا که افزون‌بر عملیات خروج چوب از جنگل، برای اقدامات احیایی و مدیریتی در جنگل، احداث مسیرهای چوبکشی و وجود آنها ضروری است، از این‌رو بهترین راه کاهش رسوب و رواناب در این مسیرها این است که تا حد امکان از احداث مسیرهای چوبکشی در شیب‌های تند خودداری شود.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، نتیجه‌گیری می‌شود که زهکش‌های عرضی با فواصل طول ۳۰ متر و در مسیرهایی با محدودهٔ شیب ۲۰ تا ۲۵ درصد، اثر معنی‌داری در کاهش رواناب و هدررفت خاک در مسیرهای چوبکشی دارد. این زهکش‌های عرضی را می‌توان از کاتین‌هایی به قطر ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر ساخت.

سپاسگزاری

این پژوهش با همکاری اجرایی و پشتیبانی کارشناس محترم طرح و مساعدت‌های صمیمانهٔ کارکنان محترم جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود انجام گرفته است که بدین وسیله نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

References

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.

Akbarimehr, M., & Naghdi, R. (2012). Reducing erosion from forest roads and skid trails by management practices. *Journal of Forest Science*, *58*(4), 165-169.

Arnaez, J., Larrea, V., & Ortigosa, L. (2004). Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. *Catena*, *57*(1), 1-14.

Assouline, S., & Ben-Hur, M. (2006). Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, *66*(3), 211-220.

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.

Ekwue, E.I., & Harrilal, A. (2010). Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, *105*(1), 112-118.

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*(2), 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*(2), 375-386.

Etehadi Abari, M., Majnounian, B., Malekian, A., & Jourgholami, M. (2018). Does forest harvesting change the runoff quality?. *Iranian Journal of Forest*, *10*(1), 13-2.

Fu, X., Zhang, L., & Wang, X. (2016). The effect of slope length on sediment yield by rainfall impact under different land use types. *Water Resources*, *43*, 478-485.

Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A.S.E., & Asdak, C. (2003). Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest Ecology and Management*, *180*, 361-374.

Hashemi, M., Nikooy, M., Salehi, A., & Naghdi, R. (2020). Short-term effects of water bar construction on soil physical properties of skid trail after logging operation. *Forest and Wood Products*, *73*(2), 213-224.

Ide, J., Finér, L., Laurén, A., Piirainen, S., & Launiainen, S. (2013). Effects of clear-cutting on annual and seasonal runoff from a boreal forest catchment in eastern Finland. *Forest Ecology and Management*, *304*, 482-491.

Jaafari, A., Najafi, A., & Zenner, E.K. (2014). Ground-based skidder traffic changes chemical soil properties in a mountainous Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest in Iran. *Journal of Terramechanics*, *55*, 39-46.

Jourgholami, M., & Majnounian, B. (2011). Soil compaction and disturbance from logging with a wheeled skidder (Case study: in Kheyrud Forest). *Iranian Journal of Forest*, *2*(4), 287-298.

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., Labelle, E.R., & Feghhi, J. (2019). Efficacy of leaf litter mulch to mitigate runoff and sediment yield following mechanized operations in the Hyrcanian mixed forests. *Journal of Soils and Sediments*, *19*(4), 2076-2088.

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*(3), 1538-1543.

Malvar, M.C., Silva, F.C., Prats, S.A., Vieira, D.C.S., Coelho, C.O.A., & Keizer, J.J. (2017). Short-term effects of post-fire salvage logging on runoff and soil erosion. *Forest Ecology and Management*, *400*, 555-567.

Masumian, A., Naghdi, R., & Zenner, E.K. (2017). Effectiveness of water diversion and erosion control structures on skid trails following timber harvesting. *Ecological Engineering*, *105*, 370-378.

Moreno-de las Heras, M., Nicolau, J.M., Merino-Martín, L., & Wilcox, B.P. (2010). Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Resources Research*, *46*(4), 1-12.

Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Mattsson, T., & Högbom, L. (2015). A method to estimate the impact of clear-cutting on nutrient concentrations in boreal headwater streams. *Ambio*, *44*, 521-531.

Robichaud, P.R., Wagenbrenner, J.W., Brown, R.E., Wohlgemuth, P.M., & Beyers, J.L. (2008). Evaluating the effectiveness of contour-felled log erosion barriers as a post-fire runoff and erosion mitigation treatment in the western United States. *International Journal of Wildland Fire*, *17*, 255-273.

Sadeghi, S., Attarod, P., Van Stan, J.T., & Pypker, T.G. (2016). The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. *Science of the Total Environment*, *568*, 845-855.

Sobhani, H., & Naeijnoori, S.A. (2006). *Guide direction for placing of decking and skid trial*, Iranian Forest and Range Lands Organization. 45p.

Sohrabi, H., Jourgholami, M., Majnounian, B., & Zahedi Amiri, G. (2016). Soil moisture recovery after timber harvest cessation on abandoned skid trails after 20 years. *Iranian Journal of Forest*, *8*(2), 179-194.

Wagenbrenner, J.W., MacDonald, L.H., & Roug, D. (2006). Effectiveness of three post-fire rehabilitation treatments in the Colorado Front Range. *Hydrological Processes*, *20*, 2989-3006.

Yanosek, K.A., Foltz, R.B., & Dooley, J.H. (2006). Performance assessment of wood strand erosion control materials among varying slopes, soil textures, and cover amounts. *Journal of Soil and Water Conservation*, *61*(*2*), 45-51.

Zhang, X., Hu, M., Guo, X., Yang, H., Zhang, Z., & Zhang, K. (2018). Effects of topographic factors on runoff and soil loss in Southwest China. *Catena*, *160*, 394-402.

Zhang, X.J., & Wang, Z.L. (2017). Interrill soil erosion processes on steep slopes. *Journal of hydrology*, *548*, 652-664.

Iranian Journal of Forest
Vol. 13, No. 3, Autumn 2021
pp. 237-250

Research Article

Optimal distance among water diversion structures for mitigating runoff on the skid trails (case study: Kheyrud forest)

K. Fathi[1], M. Jourgholami[2*], S.A. Hosseini[2], and Sh. Khalighi Sigaroodi[3]

[1]MSc Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[2]Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[3]Associate Prof., Dept. of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 22 October 2019, Accepted: 18 March 2021)

Abstract

Using machinery wood extraction in steep slope in the Hyrcanian forests can increase the soil bulk density and soil compaction, decrease the infiltration water into soil of skid trail, which results in an increase runoff and soil loss and has detrimental effects on soil nutrients loss and sedimentation into the downstream infrastructure. The aim of this study was to investigate the optimal distance of water diversion in skid trails to mitigate sthe ediment and runoff in compartments 315 and 316 of Gorazbon district in Kheyrud forest. In this study, 9 plots with length of 20, 30 and 40 m and slope gradient of 15, 25 and 35% were established along the longitudinal slope of the skid trails. A tank was installed to collect runoff at the outlet of each plot. Also, runoff in each rain event as well as soil bulk density, moisture content, organic matter, and soil texture of the plots were measured. The results revealed that the optimal distance among water diversions in the skid trails to suppress the runoff was 30 m and the most appropriate slope for mitigating runoff on the skid trails was up to 25% slope gradient. Runoff had a significant relationship with plot length. The results showed that the amount of rainfall was significantly correlated with runoff at different lengths and slopes. Therefore, it should be avoided to plan the skid trails on steep slopes for mitigating runoff, and some engineering measures such as the installing water diversion structures (by length of 30 m and slope gradient of 20-25%) to decrease the runoff should be done.

Keywords: Skidding operation, Soil compaction, Water diversion structure, Soil physical properties, Kheyrud forest.

∗Corresponding author Tel: +982632249312 Email: mjgholami@ut.ac.ir