نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

مقایسه هدررفت خاک از کرت‌های آزمایشی مستقر در بخش‌های مختلف یک جاده جنگلی

عطاالله کاویان[۱]، *عطا صفری[۲] و آیدین پارساخو[۳]

[۱]دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۲]دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳]استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲

چکیده

سابقه و هدف: فرسایش خاک فرآیندی طبیعی و همیشگی است که شدت آن به‌وسیله انسان و از طریق دخالت‌های غیراصولی از حد طبیعی بیش‌تر می‌شود و یکی از معضلات اصلی در بیش‌تر حوزه‌های آبخیز کشور می‌باشد. مناطق محدودی از کشور ایران به لحاظ بررسی مقوله فرسایش خاک به دلایلی از قبیل وجود پوشش گیاهی قابل‌قبول، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به جنگل‌های شمال کشور اشاره نمود. حد مجاز و قابل‌قبول فرآیند فرسایش خاک آبخیزهای جنگلی، با احداث هر ساله هزاران کیلومتر جاده جنگلی، منجر به جابجایی میلیون‌ها مترمکعب خاک و قطع هزاران مترمکعب درخت شده است، بنابراین لازم است نوع و میزان تخریب و فرسایش خاک در سطح این جاده‌ها، بررسی و شدت آن به‌صورت کمی تعیین شود. پژوهشگران مختلفی عوامل تأثیرگذار بر فرسایش آبی در مسیرهای چوب‌کشی و تأثیر تردد ماشین‌آلات سنگین چوب‌کشی روی خصوصیات خاک مسیرهای چوب‌کشی را مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج آنها بیانگر آن بود که همبستگی معنی‌داری بین میزان فرسایش خاک و شیب طولی، بافت خاک و پوشش کف جنگل وجود دارد و نیز خصوصیاتی از جمله وزن مخصوص ظاهری، تخلخل کل و درصد رطوبت خاک در مسیرهای چوب‌کشی نسبت به جنگل دست‌نخورده، تحت‌تأثیر میزان ترافیک و فراوانی تردد قرار گرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی اثرات عوامل مختلف شامل شیب طولی جاده، شن‌ریزی جاده و رد چرخ جاده روی میزان هدررفت خاک در سطح جاده‌های جنگلی بود.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر، برخی عوامل تأثیرگذار در هدررفت خاک در جاده‌های جنگلی حوزه آبخیز داراب‌کلا واقع در استان مازندران، بررسی شد. بدین منظور، با استفاده از شبیه‌ساز باران، هدررفت خاک تحت عوامل شیب طولی جاده، شن‌ریزی جاده و رد چرخ ناشی از تردد ماشین‌آلات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین، به‌منظور شناخت تأثیر خصوصیات خاک بر میزان هدررفت خاک در تیمارهای مورد مطالعه، اقدام به برداشت نمونه‌های خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری در مجاورت هر یک از پلات‌های تحت بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بین مقادیر هدررفت خاک (متوسط ۱۵/۰۵ گرم بر مترمربع) در بخش‌های مختلف شیب طولی، شن‌ریزی و رد چرخ، اختلاف معنی‌دار ($P<0/01$) وجود داشت، در حالی‌که برای متغیر غلظت رسوب (متوسط ۷/۸۴ گرم بر لیتر) تنها در تیمار شیب طولی جاده اختلاف آماری معنی‌دار ($P<0/05$) مشاهده شد. هم‌چنین، نتایج

* مسئول مکاتبه: attasafari@yahoo.com

حاصل از اندازه‌گیری خصوصیات مختلف خاک نشان داد شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک (K) (بر حسب تن مترمربع ساعت بر هکتار مگاژول میلی‌متر) و تخریب خاک (DI) در جاده‌های شن‌ریزی شده (به‌ترتیب معادل ۰/۱۵ و ۱۱/۵۱-) کم‌تر از جاده‌های خاکی بدون شن‌ریزی (۰/۲۱ و ۲۹/۰۷-) و در قسمت میانی جاده (۰/۱۹ و ۳۴/۷۶-) کم‌تر از بخش رد چرخ (۰/۲۳ و ۴۷/۴۸-) بود. سایر نتایج بیانگر کاهش ۵۴/۷ درصدی شاخص پایداری خاک‌دانه (MWD) در بخش‌های تحت احداث جاده نسبت به سطح جنگل بوده است.

نتیجه‌گیری: تأثیر شیب طولی جاده روی میزان هدررفت خاک کاملاً معنی‌دار بوده و به بیانی دیگر، مقدار رسوب با درصد شیب رابطه مستقیم و معنی‌دار دارد. عملیات شن‌ریزی جاده، تأثیر و نقش مثبت در کاهش میزان هدررفت خاک در جاده‌های جنگلی داشته است. هم‌چنین، تأثیر فعالیت‌های انسانی نظیر جاده‌سازی و بهره‌برداری از جنگل (تردد ماشین‌آلات چوب‌کشی و ایجاد رد چرخ) بر کوبیدگی و تخریب خاک جنگل و به‌دنبال آن هدررفت خاک کاملاً معنی‌دار و افزایشی بوده است.

واژه‌های کلیدی: رد چرخ، شبیه‌ساز باران، شن‌ریزی، شیب طولی، نفوذپذیری

مقدمه

امروزه مباحث مربوط به فرسایش خاک به‌عنوان یکی از بحث‌های مهم در مدیریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست، منابع آب و طبعاً مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است، به‌طوری‌که یکی از نگرانی‌های جنجال‌برانگیز طی سال‌های اخیر در اغلب کشورها و خصوصاً کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود (۲۸). فرسایش خاک فرآیندی طبیعی و همیشگی است که شدت آن به‌وسیله انسان و از طریق دخالت‌های غیراصولی از حد طبیعی بیش‌تر می‌شود و یکی از معضلات اصلی در بیش‌تر حوزه‌های آبخیز کشور بوده که تولید رسوب ناشی از آن در حوزه‌ها از محدودیت‌های اساسی در دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد (۱۴). در ایران، میزان فرسایش خاک طی دهه‌های اخیر افزایش چشم‌گیری یافته است. در این میان، برخی از مناطق ایران با توجه به وجود پوشش گیاهی قابل‌قبول آن، به لحاظ بررسی و مطالعه فرسایش خاک، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به جنگل‌های شمال کشور اشاره نمود. جنگل‌های شمال کشور اهمیت ویژه‌ای از نظر اقتصادی، تجاری و تفرجی دارند. بنابراین حفاظت از این جنگل‌ها و مدیریت همه‌جانبه آن‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است (۳۱). کاهش فرسایش خاک در حد مجاز در حوزه‌های آبخیز جنگلی و حتی حوزه‌های آبخیز جنگل‌کاری شده به‌دلیل وجود پوشش گیاهی بیش‌تر به‌خصوص درخت، مورد تأیید بسیاری از پژوهشگران از جمله صادقی و یثربی (۲۰۰۸) قرار گرفته است و ثمربخشی درختان در آبخیزها برای جلوگیری از فرسایش خاک غیرقابل تردید می‌باشد (۲۵) اما همین حد مجاز و قابل‌قبول فرآیند فرسایش خاک آبخیزهای جنگلی، با احداث هر ساله هزاران کیلومتر جاده جنگلی منجر به جابجایی میلیون‌ها مترمکعب خاک و قطع هزاران مترمکعب درخت شده است (۳۱). به‌طورکلی، جاده‌های جنگلی از ضروری‌ترین طرح‌های مدیریت واحدهای جنگلی محسوب می‌شوند که در استخراج و حمل و نقل چوب و استفاده از سایر خدمات جنگل مانند شکار و گردش‌گری نقش ویژه‌ای را ایفا می‌کنند. هم‌چنین، جاده‌های جنگلی بیش‌تر در مناطق مرطوب و بارانی احداث شده و آب از عوامل مهم تخریب آن‌ها به‌شمار می‌رود و به لحاظ استانداردهای ساخت، در جاده‌های

جنگلی پارامترهای زیرسازی و استحکام جاده نسبتاً پایین می‌باشند، به همین علت، مقدار مقاومت جاده جنگلی بسیار کم و زودتر از جاده‌های دیگر شکل و فرم خود را از دست می‌دهند (۴۳)، بنابراین لازم است نوع و میزان تخریب و فرسایش خاک در سطح این جاده‌ها، بررسی و شدت آن به‌صورت کمی تعیین شود (۲۰). از طرفی، کمی کردن فرسایش خاک، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های اساسی در مدیریت و حفاظت خاک و طبعاً مطالعات منابع طبیعی و طرح‌های محیط زیست بوده و از جمله مواردی است که در تمام بخش‌های مختلف به‌ویژه طرح‌های مدیریت جامع منابع آب و خاک و توسعه آبخیز، ضروری است (۲۸). در حال حاضر اندازه‌گیری فرسایش خاک تنها در مقیاس کرت‌ها، پلات‌ها و یا آبخیزهای کوچک به‌صورت بسیار پراکنده و غیرمستقیم انجام شده و عمده قضاوت‌های مربوط به فرسایش خاک از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های غیرقابل اعتماد و پراکنده، نمونه‌برداری رسوب معلق و آن هم تنها در حوزه‌های آبخیز مهم کشور، انجام می‌پذیرد که خود دلیل مهم دیگری بر ضرورت تبیین و توسعه روش‌های مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش خاک است. مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش خاک باید به تولید داده‌هایی با کمیت و کیفیت مناسب منجر شده تا بتوان تجزیه و تحلیل و تفسیر مطمئنی در مسائل و مشکلات پژوهشی و اجرایی را ارائه نمود (۲۸). طی دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های چشم‌گیری در امر تحقیقات مربوط به منابع طبیعی در جهان به وجود آمده و روش‌های آسان و دقیقی برای اندازه‌گیری فرسایش آبی ابداع شده است. یکی از این روش‌ها استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز باران می‌باشد. در این روش، با استفاده از مقدار و شدت باران، انرژی قطرات باران و رواناب سطحی، میزان خاک شسته شده، برآورد می‌شود (۲۸). با بهره‌گیری از باران‌سازها مشکلات پژوهش تحت بارندگی‌های طبیعی از نظر زمان، هزینه، تکرارپذیری یکسان، تسلط بر پژوهش و کنترل و ارزیابی تغییرها (خصوصیات بارش، خصوصیات خاک و غیره) برطرف شده است (۲۲). مهم‌ترین مزایای استفاده از شبیه‌سازهای باران، سرعت در عمل، کارایی، قابلیت کنترل و انعطاف‌پذیری بیش‌تر آن نسبت به باران‌های طبیعی است (۲۸).

همان‌طور که به آن اشاره شد، یکی از مسائل مهم برای مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز، شناخت کافی از جاده‌های موجود در حوزه آبخیز و اثرات آنها روی منابع طبیعی می‌باشد (۴۳) که در این باره، پژوهش‌های در سطح دنیا صورت گرفته است؛ آرنائز و همکاران (۲۰۰۴)، در پژوهش خود در جنگل‌های شمال‌شرقی اسپانیا، فرسایش خاک را در جاده‌های خاکی جنگلی با استفاده از شبیه‌ساز باران بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که شیب، تراکم پوشش گیاهی و بستر جاده تأثیر معنی‌داری در فرسایش خاک دارد (۴). جوردن‌لوپز و مارتینز زاوالا (۲۰۰۸)، در مطالعه‌ای در شمال اسپانیا به بررسی هدررفت خاک در جاده‌های خاکی جنگلی با استفاده از شبیه‌ساز باران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در اثر جاده‌سازی در مناطق جنگلی، میزان رسوب‌دهی به مرور زمان بیش‌تر می‌شود (۱۷). فولتز و همکاران (۲۰۰۹)، میزان فرسایش خاک و غلظت رسوب را در دو جاده جنگلی دارای عبور و مرور زیاد و کم در شمال امریکا با استفاده از شبیه‌ساز باران بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که میزان غلظت رسوب در جاده‌های جنگلی دارای عبور و مرور زیاد، به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی و تغییر در خصوصیات فیزیکی خاک بیش‌تر می‌باشد (۱۲). نجفی و همکاران (۲۰۱۰)، اثر شیب مسیر چوب‌کشی و عملیات چوب‌کشی زمینی را بر اختلال و تخریب خاک مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که وزن مخصوص ظاهری خاک، عمق شیارها و جابجایی خاک با افزایش شیب طولی مسیر و فراوانی ترافیک،

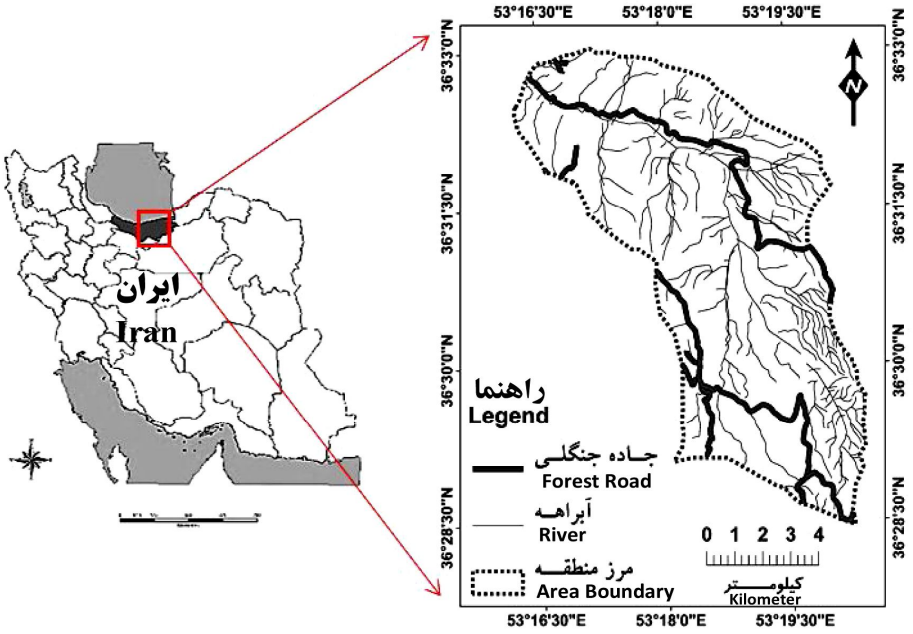
افزایش یافته است، در حالی‌که میزان پوشش گیاهی کاهش یافته است (۲۱). اکبری‌مهر و نقدی (۲۰۱۲)، در پژوهشی به‌منظور کاهش فرسایش آبی در جاده‌های جنگلی و مسیرهای چوب‌کشی دو گزینه انحراف آب و پوشش گیاهی را به‌عنوان شیوه‌های مدیریتی مناسب برشمردند و عوامل مؤثر بر فرسایش در جاده‌های جنگلی و مسیرهای چوب‌کشی را اقلیم، کیفیت جاده و مواد بستر، ترافیک، شیب و پوشش گیاهی دانستند (۳). اکبری‌مهر و جلیلوند (۲۰۱۳)، رابطه بین شیب مسیرهای چوب‌کشی و میزان هدررفت خاک را در جنگل ناو- اسالم در شمال ایران بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که بین مقدار شیب و طول شیب با میزان هدررفت خاک ارتباط معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد وجود دارد (۲). باقری و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی عوامل تأثیرگذار بر فرسایش آبی در مسیرهای چوب‌کشی پرداختند و نتایج آن‌ها بیانگر آن بود که همبستگی معنی‌داری بین میزان فرسایش خاک و شیب طولی، بافت خاک و پوشش کف جنگل وجود دارد. به‌نحوی‌که با افزایش شیب طولی مسیرهای چوب‌کشی، حجم خاک بیش‌تری جابجا شده و عمق شیارهای ایجاد شده در سطح این مسیرها بیش‌تر می‌باشد (۸). سلگی و نجفی (۲۰۱۴)، تأثیر تردد ماشین‌آلات سنگین چوب‌کشی روی خصوصیات خاک مسیرهای چوب‌کشی را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که وزن مخصوص ظاهری، تخلخل کل و درصد رطوبت خاک در مسیرهای چوب‌کشی نسبت به جنگل دست‌نخورده، تحت‌تأثیر میزان ترافیک و فراوانی تردد قرار گرفته است (۳۸). سلگی و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهش خود تأثیر فراوانی ترافیک و شیب مسیرهای چوب‌کشی بر میزان رواناب و تولید رسوب را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که رواناب سطحی و رسوب تولید شده تحت‌تأثیر فراوانی ترافیک و شیب مسیر چوب‌کشی بوده و علاوه بر آن، خصوصیات فیزیکی خاک و پوشش بستر مسیر چوب‌کشی نیز تأثیر معنی‌داری در میزان رواناب و هدررفت خاک دارد (۳۹). کامبی و همکاران (۲۰۱۵)، مروری بر تأثیر ترافیک سنگین بر خاک جنگل داشته و اظهار داشتند که میزان، درجه و مدت زمان اثر مستقیم و غیرمستقیم ترافیک سنگین بر خاک به عوامل متعددی نظیر بافت خاک، رطوبت، درصد مواد آلی، شیب، نوع و اندازه وسایل نقلیه، فشار چرخ و شکل تایر و تعداد تردد بستگی دارد. هم‌چنین، بین میزان رواناب و فرسایش خاک و تراکم و کوبیدگی خاک ارتباط مستقیم وجود دارد (۱۰).

طبق بررسی‌های اولیه به عمل آمده در منطقه مورد مطالعه مشخص شد که در اثر تردد ماشین‌آلات سنگین چوب‌کشی به‌منظور استخراج و حمل و نقل مقطوعات و هم‌چنین تردد زیاد خودروهای سبک در مواقع بارانی که سطح جاده خیس و گلی بوده، روی جاده‌های جنگلی در منطقه مورد مطالعه، رد چرخ‌های عمیق و سطحی زیادی بر جای مانده که عامل اصلی کوبیدگی خاک، کانالیزه کردن آب، وقوع رواناب و هدررفت خاک مخصوصاً در شیب‌های تند شده است. لذا ضروری به‌نظر می‌رسید که تأثیر این رد چرخ‌ها (۱۰، ۲۰، ۳۸) و نیز تأثیر طبقات مختلف شیب طولی جاده (۲، ۲۰، ۳۹) و هم‌چنین تأثیر فعالیت‌های انسانی نظیر شن‌ریزی جاده (۱۶، ۳۶) روی هدررفت خاک سطح جاده، با استفاده از شبیه‌ساز باران (۱۸) مورد بررسی واقع شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز جنگلی داراب‌کلا با مساحت ۹۱۳/۳۲ هکتار، واقع در بخش میان‌درود استان مازندران، در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد. متوسط بارندگی

سالانه این منطقه ۷۳۰/۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، تراکم جاده در هر هکتار ۹ متر و از نوع درجه ۱ جنگلی و انشعابات داخلی آن عمدتاً از نوع درجه ۲ و ۳ جنگلی با متوسط شیب ۵/۶ درصد می‌باشد. در شکل ۱ بخشی از حوزه آبخیز داراب‌کلا و موقعیت جاده‌های آن نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جاده‌های جنگلی مورد مطالعه در بخشی از حوزه آبخیز جنگلی داراب‌کلا.

Figure 1. Location of studied forest roads in a part of Darabkola forested watershed.

شبیه‌سازی باران: از آن‌جا که درک و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف فرآیند فرسایش خاک در پهنه‌های طبیعی به‌واسطه محدودیت‌های مالی و زمانی، شرایط سخت فیزیکی حاکم و وجود نوسانات غیرقابل پیش‌بینی اقلیمی میسر نمی‌باشد، شبیه‌سازی در شرایط تحت کنترل، یکی از بهترین گزینه‌های جایگزین به حساب می‌آید (۲۸). علاوه بر این، برخی اوقات امکان انجام پژوهش‌های شبیه‌سازی باران در مقیاس آزمایشگاهی به دلایل و محدودیت‌های مختلف وجود ندارد. بنابراین استفاده از شبیه‌ساز باران قابل حمل جهت انجام پژوهش‌های صحرایی و مطالعه روی عوارضی مانند جاده‌های جنگلی ضروری به‌نظر می‌رسد، چرا که انتقال بخش‌های مختلف آن به آزمایشگاه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در ساختار و بهم‌خوردن ساختمان و مورفولوژی سطح جاده شود که از محدودیت‌های این کار در مقیاس آزمایشگاهی محسوب می‌شود. به همین دلیل برای انجام چنین پژوهش‌هایی لازم است از شبیه‌سازهای باران قابل حمل و قابل انتقال به عرصه و در محل جاده‌های مورد نظر، استفاده شود (۳۱). در پژوهش حاضر، دستگاه باران‌ساز از نوع قابل حمل تک نازله و با ارتفاع نازل ۳ متر (۱۲) مورد استفاده قرار گرفت. نازل مورد استفاده نیز از نوع BEX مدل 3/8 S 24 W با مخروط بارش ۱۵ تا ۱۰۰ درجه می‌باشد. شدت بارش شبیه‌سازی شده در پژوهش حاضر، با توجه به بارندگی‌های غالب در منطقه مورد مطالعه و بر اساس آمار بارندگی بلند مدت ایستگاه داراب‌کلا، از طریق مدل قهرمان و

آبخضر (۲۰۰۴) محاسبه و برای تداوم ۲۰ دقیقه و دوره بازگشت ۱۰۰ سال، مقدار ۵۳/۵ میلی‌متر در ساعت به‌دست آمد (۱۳)، بنابراین باران‌ساز مورد استفاده مطابق با شدت بارش مذکور کالیبره و جهت انجام آزمایش‌ها به عرصه منتقل شد.

بخش‌های تحت بررسی، ابعاد پلات‌ها و تعداد تکرارهای انجام شده طی عملیات شبیه‌سازی باران: ابعاد پلات شبیه‌سازی باران در پژوهش حاضر، برای تیمارهای شیب طولی جاده و شن‌ریزی جاده، ۲۰۰×۱۰۰ سانتی‌متر (۳۵) و برای تیمار رد چرخ جاده بر اساس عرض رد چرخ‌های بجا مانده از تردد ماشین‌آلات سنگین چوب‌کشی (۲۰)، ۲۰۰×۵۰ سانتی‌متر (۳۷) در نظر گرفته شد. به‌منظور اجرای عملیات شبیه‌سازی باران، برای تیمار شیب طولی جاده، ۴ طبقه شیب ۵-۰، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰ و ۲۵< درصد (۴۲) و هر طبقه شیب ۵ تکرار، برای تیمار شن‌ریزی جاده ۳ بخش جاده شن‌ریزی شده، جاده خاکی بدون شن‌ریزی و سطح جنگل (شاهد) (۳۶) و هر بخش ۵ تکرار و برای تیمار رد چرخ ۳ بخش رد چرخ، قسمت میانی جاده و سطح جنگل (شاهد) (۱۲) و هر بخش ۵ تکرار تعیین و شبیه‌سازی باران انجام پذیرفت (۳۰، ۳۱). برای تمامی تکرارها و تیمارها، نمونه‌های رواناب و رسوب در خروجی پلات‌ها، هر ۵ دقیقه یکبار برداشت و جمع‌آوری شد (۴، ۲۲، ۲۷).

در نهایت، پس از برداشت نمونه‌های رواناب و رسوب در خروجی هر پلات و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه، اقدام به اندازه‌گیری و تعیین مقادیر متغیرهای غلظت رسوب و هدررفت خاک به روش تخلیه آب‌رویی و ته‌نشینی و رسوب‌گذاری مواد (۲۹)، برای هر یک از بخش‌های مورد نظر شد. برای این کار نمونه‌های آب و رسوب به‌مدت ۴۸ ساعت به‌منظور ته‌نشینی رسوبات، به حالت سکون کنار گذاشته شدند. پس از ته‌نشینی کامل رسوبات، آب خالص رویی به آرامی تخلیه و رسوبات ته‌نشین شده به فویل‌های آلومینیومی از قبل تهیه و توزین شده برای خشک کردن در آون منتقل شدند. در ادامه، نمونه‌های رسوب به‌مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (۱۹، ۲۹) و پس از توزین رسوب خشک شده و کسر وزن فویل‌های آلومینیومی، وزن خشک و غلظت رسوب (بر حسب واحد گرم بر لیتر) به‌ازای هر لیتر نمونه آب و رسوب، اندازه‌گیری شد (۱۲، ۱۹، ۲۹). متغیر هدررفت خاک (بر حسب واحد گرم بر مترمربع) نیز با تعمیم وزن رسوب اندازه‌گیری شده در مساحت هر پلات، محاسبه و به‌دست آمد (۱۷، ۱۸). در پایان، مقادیر مختلف متغیرهای غلظت رسوب و هدررفت خاک برای هر تیمار و تکرارهای آن، به کمک تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نظر، باهم مقایسه و مورد بررسی واقع شدند (۱۸).

به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS-18 استفاده شد، بدین منظور، ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت (۳۰)، سپس جهت بررسی تیمارهای مورد مطالعه، از تجزیه واریانس و مقایسه عملکرد تیمارها با استفاده از آزمون دانکن، استفاده شد (۱۸، ۲۹).

لازم به ذکر است که دلیل انتخاب سه تیمار نام‌برده، کاربردی بودن و تأثیرگذاری بیش‌تر آن‌ها در بحث هدررفت خاک در مقیاس جاده (۲، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۳۶، ۳۸) می‌باشد، چرا که هر یک به‌نحوی در میزان فرسایش جاده‌ای اثرگذار بوده و هر سه تیمار مورد نظر را می‌توان به نوعی در جاده‌های مختلف لمس و مشاهده نمود.

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مجاورت پلات‌های تحت بررسی: به‌منظور برآورد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نسبت به برداشت نمونه خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری مجاور قطعات نمونه (پلات‌های مورد بررسی) اقدام شد (۴،

۱۸، ۳۶). متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی در این پژوهش شامل وزن مخصوص ظاهری، رطوبت قبلی خاک، بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن)، ماده آلی و کربن آلی، اسیدیته خاک، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم (آهک)، شاخص فرسایش‌پذیری خاک، شاخص پایداری خاک‌دانه‌ها و شاخص تخریب خاک می‌باشد. وزن مخصوص ظاهری به روش سیلندر یا حلقه (۳۱)، بافت خاک شامل درصد رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (۴۴)، رطوبت قبلی خاک به روش وزنی (۳۱)، ماده آلی و کربن آلی به روش والکی بلک (۱۸)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون با سود (۲۲)، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک با تهیه عصاره اشباع و به‌وسیله pH متر EC متر دیجیتالی (۴۴)، شاخص پایداری خاک‌دانه (MWD) به روش الک کردن مرطوب یا الک تر (۲۲)، شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K) با استفاده از نموگراف ویشمایر و همکاران (۱۹۷۱) و تعیین مقادیر شن، شن خیلی‌ریز (روش الک تر)، سیلت، رس، ماده آلی، طبقه نفوذپذیری و ساختمان خاک (۳۴، ۴۱) و شاخص تخریب خاک (DI) با استفاده از جمع درصد تفاضل بین میانگین عددی هر یک از ویژگی‌های خاک در هر یک از بخش‌های مختلف جاده‌ای نسبت به منطقه کنترل (۵) محاسبه و اندازه‌گیری شد.

بهره‌برداری و خروج مقطوعات از منطقه مورد مطالعه: میزان برداشت از جنگل‌های داراب‌کلا در یک دوره ۱۰ ساله ۲۱۸۰۶ مترمکعب بوده است که برای خروج مقطوعات از اسکیدر چرخ لاستیکی استفاده شده است. ماشین‌آلات مورد استفاده در این منطقه به‌منظور جابجایی مقطوعات، از نوع اسکیدر (تیمبرجک ۴۵۰c)، تاف و تراکتور می‌باشد. به‌طور کلی، تراکم شبکه جاده برای جنگل‌های شمال (بسته به مرغوبیت جنگل) حدود ۲۰-۱۵ متر در هکتار جاده اصلی (زیرسازی و روسازی شده) و حدود ۲۵-۲۰ متر در هکتار جاده‌های فرعی (راه‌های درجه ۳ و مسیرهای چوب‌کشی) برآورد می‌شود (۴۰).

نتایج و بحث

خصوصیات بارش شبیه‌سازی شده در پژوهش حاضر: در جدول ۱ برخی از خصوصیات بارش شبیه‌سازی شده توسط دستگاه باران‌ساز مورد استفاده ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات بارش شبیه‌سازی‌شده توسط دستگاه باران‌ساز مورد استفاده در این پژوهش (۱۵).

Table 1. Properties of the rainfall simulated by the rainfall simulator used in the present study (15).

متغیرهای بارش شبیه‌سازی شده Variables of simulated rainfall	مقادیر اندازه‌گیری شده Measured values
شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت) Rainfall intensity (mm h^{-1})	53.5
تداوم بارش (دقیقه) Rainfall duration (min)	20
انرژی جنبشی بارش (ژول بر مترمربع بر میلی‌متر) Rainfall kinematic energy (J m^{-2} mm^{-1})	26.95
قطر قطرات (میلی‌متر) Drops diameter (mm)	1.3
حداکثر سرعت سقوط قطرات (متر بر ثانیه) Maximum Speed of drops fall (m s^{-1})	7

جدول ۲- متوسط اندازه‌گیری خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک در تیمارهای مورد مطالعه.

Table 2. Mean measure of the various physical and chemical properties of soil in the studied treatments.

تیمارهای مورد مطالعه Studied Treatments	تیمار شیب طولی جاده Road Longitudinal Slope Treatment				تیمار شن‌ریزی جاده Road Graveling Treatment		تیمار رد چرخ جاده Road Wheel Rut Treatment		
خصوصیات خاک اندازه‌گیری شده Measured soil properties	شیب ۰-۵ درصد Slope 0-5 %	شیب ۵-۱۰ درصد Slope 5-10 %	شیب ۱۰-۲۰ درصد Slope 10-20 %	شیب ۲۰-۳۰ درصد Slope 20-30 %	جاده شن‌ریزی شده Graveled Road	جاده خاکی و بدون شن‌ریزی Unpaved and Not graveled Road	سطح جنگل (شاهد) Forest Floor (Control)	رد چرخ جاده Road Wheel Rut	قسمت میانی جاده Road Central Area	سطح جنگل (شاهد) Forest Floor (Control)
رس (درصد) Clay (%)	12.15	14.17	14.57	21.93	21.63	33.06	12.44	36.03	36.78	10.16
سیلت (درصد) Silt (%)	34.93	36.01	32.50	35.68	27.54	32.39	25.63	31.60	31.36	25.33
شن (درصد) Sand (%)	52.92	49.82	52.93	42.39	51.10	34.56	61.93	32.10	31.86	64.51
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) Bulk Density (g cm^{-3})	1.53	1.45	1.80	1.89	1.63	1.75	1.59	1.73	1.71	1.58
رطوبت قبلی خاک (درصد) Soil Moisture (%)	32.16	41.69	34.67	36.70	41.75	35.45	45.78	34.81	35.66	46.76
ماده آلی (درصد) Organic Matter (%)	5.45	5.28	4.61	3.39	4.76	2.22	6.31	1.68	1.90	6.72
کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)	3.14	3.06	2.72	1.98	2.75	1.30	3.65	1.07	1.14	3.87
آهک (درصد) $CaCO_3$ (%)	3.53	0.92	4.25	2.37	1.72	3.25	0.83	3.42	3.37	0.60
اسیدیته خاک pH	6.85	6.56	6.16	6.19	6.67	6.45	6.74	6.49	6.56	6.76
هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical Conductivity (ds m^{-1})	0.31	0.26	0.24	0.23	0.26	0.19	0.29	0.18	0.18	0.31
شاخص فرسایش‌پذیری خاک Soil Erodibility Index (K)	0.19	0.20	0.19	0.22	0.15	0.21	0.14	0.23	0.19	0.13
شاخص پایداری خاک‌دانه Aggregate Stability Index (MWD)	1.84	1.83	1.82	1.88	2.21	1.20	2.52	0.58	1.61	2.60
شاخص تخریب خاک Soil Degradation Index (DI)	-0.17	-7.03	-0.28	-15.49	-11.51	-29.07	0	-47.48	-34.76	0
سطح بحرانی پایداری خاک Critical Level of Soil Stability	متوسط Mean	متوسط Mean	متوسط Mean	متوسط Mean	کم Low	متوسط Mean	هیچ Non	شدید High	متوسط Mean	هیچ Non

خصوصیات خاک پلات‌های تحت بررسی در پژوهش حاضر: قبل از انجام عملیات شبیه‌سازی باران، در مجاورت پلات‌های مورد بررسی اقدام به برداشت نمونه‌های خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری (۱۸) به روش استوانه (۲۲) شد، سپس نمونه‌های مورد نظر به آزمایشگاه خاک منتقل و ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک برای هر یک از پلات‌ها و تیمارهای مورد مطالعه تعیین و اندازه‌گیری گردید که نتایج حاصل در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل ماده آلی، درصد شن و هدایت الکتریکی خاک در مناطق شاهد (سطح جنگل) دارای مقادیری بیش‌تر از بخش‌های تحت احداث جاده بوده و در مقابل، ویژگی‌هایی نظیر درصد سیلت، درصد رس و وزن مخصوص ظاهری در سطح جنگل نسبت به بخش‌های جاده‌ای از کم‌ترین مقدار برخوردار می‌باشد. وزن مخصوص ظاهری بیش‌تر به معنای افزایش فشردگی و کوبیدگی خاک و در نتیجه کاهش تخلخل و نفوذپذیری خاک و در نهایت افزایش میزان رواناب و به تبع آن افزایش هدررفت خاک می‌باشد (۱). با توجه به نقش مثبت وزن مخصوص ظاهری در افزایش میزان رواناب، می‌توان انتظار داشت که با افزایش رواناب و در نتیجه قدرت حمل بیش‌تر، میزان فرسایش و هدررفت خاک بیش‌تر شود (۷). در طرف مقابل، وجود ماده آلی در خاک مانع از فروپاشی خاک‌دانه و افزایش پایداری آن، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب و نفوذپذیری خاک، بهبود ساختمان خاک و ممانعت از تشکیل سله و بسیاری از عوامل دیگر را به‌دنبال دارد که نتیجه نهایی آن کاهش فرسایش و هدررفت خاک می‌باشد (۹). با توجه به دو عامل مهم ماده آلی و وزن مخصوص ظاهری و اثرات آن‌ها بر خاک، نتایج این پژوهش وجود ماده آلی بیش‌تر و وزن مخصوص ظاهری کم‌تر در سطح جنگل نسبت به جاده‌های جنگلی را نشان می‌دهد که از عوامل مؤثر در رفتار و واکنش این دو کاربری نسبت به تولید رواناب و رسوب و وقوع فرسایش خاک می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های بارز و اثرگذار بر مقوله فرسایش خاک در دو بخش جنگل و جاده، مقدار EC (هدایت الکتریکی خاک) بیش‌تر سطح جنگل در قیاس با بخش‌های جاده‌ای می‌باشد. تأثیر چشمگیر هدایت الکتریکی خاک در کاهش معنی‌دار میزان فرسایش و هدررفت خاک به‌خوبی آشکار است. در خاک‌های اسیدی که اسیدیته بین ۴ تا ۷ دارند، فعالیت یون آلومینیوم زیاد بوده و باعث تجمع ذرات خاک می‌شود، وقتی اسیدیته افزایش پیدا می‌کند از درصد آلومینیوم اشباع کاسته شده و کاتیون‌های بازی زیاد می‌شوند که در خاک‌هایی با هدایت الکتریکی پایین موجب پراکندگی ذرات خاک و در نتیجه فرسایش خاک می‌شود. هم‌چنین، در بخش‌های تحت احداث جاده نیز مقدار عوامل خاک ذکر شده در بالا، در تیمارهای مختلف آن کاملاً متفاوت می‌باشد، به‌عنوان مثال میزان وزن مخصوص ظاهری خاک (وزن مخصوص ظاهری بیش‌تر، موجب کاهش نفوذپذیری، افزایش رواناب و در نهایت افزایش فرسایش خاک می‌شود) در بخش رد چرخ بیش‌تر از قسمت میانی جاده و در بخش بدون شن‌ریزی بیش‌تر از جاده‌های شن‌ریزی شده است.

شاخص‌های مهم بررسی مقاومت و پایداری خاک شامل شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K)، شاخص پایداری خاک‌دانه (MWD) و شاخص تخریب خاک (DI) که در این مطالعه همگی به‌صورت دقیق مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفتند، به‌خوبی بیانگر تفاوت بارز میزان فرسایش‌پذیری و تخریب خاک در بخش‌های جاده‌ای نسبت به مناطق شاهد بوده و اثرگذاری احداث جاده بر خصوصیات خاک جنگل و

تخریب هرچه بیش‌تر آن را نشان می‌دهد. علاوه بر این، سطح بحرانی پایداری خاک در سطح جنگل (هیچ: بدون محدودیت) نسبت به بخش‌های جاده‌ای شامل اثر رد چرخ (محدودیت: شدید)، قسمت میانی جاده (محدودیت: متوسط)، شن‌ریزی شده (محدودیت: کم)، فاقد شن‌ریزی (محدودیت: متوسط) و جاده‌های تحت تیمار شیب طولی (محدودیت: متوسط) نشان از تأثیر جاده‌سازی بر آستانه پایداری خاک و ایجاد بحران در وضعیت مقاومتی خاک در سطح جاده‌ها دارد. چرا که مطابق با نتایج موجود در جدول ۲، شاخص پایداری خاک‌دانه نیز به‌طور متوسط در بخش‌های شاهد ۱/۸ برابر بیش‌تر از بخش‌های تحت‌تأثیر جاده بوده و کاهش ۵۴/۷ درصدی پایداری خاک‌دانه در نتیجه ساخت جاده را بیان می‌نماید.

مشخصات آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده طی عملیات شبیه‌سازی باران: طی انجام عملیات شبیه‌سازی باران و پس از انجام مراحل آزمایشگاهی آن، متغیرهای مورد نظر برای بررسی و مطالعه هدررفت خاک، اندازه‌گیری شده که مشخصات آماری این متغیرها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصه‌های آماری متغیرهای مختلف حاصل از شبیه‌سازی باران در منطقه مورد مطالعه.

Table 3. Statistical characters of different variables resulted from rainfall simulation in the studied region.

ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	انحراف معیار Std. Deviation	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	متغیر اندازه‌گیری شده Measured variable
99.46	7.80	0.00	46.89	7.84	غلظت رسوب (گرم بر لیتر) Sediment concentration ($g\ L^{-1}$)
85.68	12.89	0.00	61.64	15.05	هدررفت خاک (گرم بر مترمربع) Soil loss ($g\ m^{-2}$)

نتایج حاصل از شبیه‌سازی باران برای تیمارهای شیب طولی جاده، شن‌ریزی جاده و رد چرخ جاده: در این بخش از پژوهش، به‌منظور بررسی و مقایسه مقادیر متغیرهای مختلف حاصل از شبیه‌سازی باران در تیمارهای مختلف و بخش‌های مورد مطالعه، نتایج حاصل به‌صورت جداگانه در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ٤- نتایج حاصل از شبیه‌سازی باران برای تیمار شیب طولی جاده.

Table 4. Results of rainfall simulation for road longitudinal slope treatment.

متغیر اندازه‌گیری شده Measured variable	شیب ۰-۵ درصد Slope 0-5 %		شیب ۵-۱۰ درصد Slope 5-10 %		شیب ۱۰-۲۰ درصد Slope 10-20 %		شیب ۲۰-۳۰ درصد Slope 20-30 %	
	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation
غلظت رسوب (گرم بر لیتر) Sediment concentration ($g\ L^{-1}$)	3.84	2.51	6.09	4.18	7.36	3.72	7.59	2.16
هدررفت خاک (گرم بر مترمربع) Soil loss ($g\ m^{-2}$)	8.02	5.52	16.38	10.09	12.19	5.66	19.92	3.39

جدول ۵- نتایج حاصل از شبیه‌سازی باران برای تیمار شن‌ریزی جاده.

Table 5. Results of rainfall simulation for road graveling treatment.

متغیر اندازه‌گیری شده Measured variable	جاده شن‌ریزی شده Graveled Road		جاده خاکی و بدون شن‌ریزی Unpaved and Not graveled Road		سطح جنگل (شاهد) Forest Floor (Control)	
	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation
غلظت رسوب (گرم بر لیتر) Sediment concentration ($g\ L^{-1}$)	6.73	2.46	10.16	2.53	5.97	10.26
هدررفت خاک (گرم بر مترمربع) Soil loss ($g\ m^{-2}$)	6.58	4.72	41.32	18.88	2.17	3.51

جدول ٦- نتایج حاصل از شبیه‌سازی باران برای تیمار رد چرخ جاده.

Table 6. Results of rainfall simulation for road wheel rut treatment.

متغیر اندازه‌گیری شده Measured variable	رد چرخ جاده Road Wheel Rut		قسمت میانی جاده Road Central Area		سطح جنگل (شاهد) Forest Floor (Control)	
	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation
غلظت رسوب (گرم بر لیتر) Sediment concentration ($g\ L^{-1}$)	9.07	7.03	11.22	11.42	9.71	14.05
هدررفت خاک (گرم بر مترمربع) Soil loss ($g\ m^{-2}$)	25.14	19.75	21.87	15.41	1.82	2.76

بررسی عوامل مؤثر در هدررفت خاک در جاده‌های خاکی جنگلی

- عامل شیب طولی جاده و تأثیر آن بر میزان و شدت هدررفت خاک: بررسی نتایج آنالیز واریانس در طبقات مختلف شیب طولی جاده، بیانگر آن است که بین مقادیر غلظت رسوب و هدررفت خاک در شیب‌های ۵-۰، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ درصد، اختلاف معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد وجود داشته است (جدول ۷). هم‌چنین، مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن نشان داد که شیب ۳۰-۲۰ درصد بیش‌ترین میزان غلظت رسوب و هدررفت خاک را به خود اختصاص داده و شیب ۵-۰ درصد نیز کم‌ترین مقدار آن‌ها را دارا بوده است.

- عامل شن‌ریزی جاده و تأثیر آن بر میزان و شدت هدررفت خاک: نتایج آنالیز واریانس برای تیمار شن‌ریزی جاده در جدول ۸ نشان داد که بین مقادیر هدررفت خاک در بخش‌های مورد مطالعه شامل جاده‌های شن‌ریزی شده، جاده‌های خاکی بدون شن‌ریزی و سطح جنگل، در سطح اطمینان ۹۹ درصد، اختلاف معنی‌دار وجود داشته است. در حالی‌که، در بین بخش‌های مورد نظر، میزان متغیر غلظت رسوب، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری نداشته است. نتایج آزمون دانکن نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار متغیرهای غلظت رسوب و هدررفت خاک در جاده‌های بدون شن‌ریزی و کم‌ترین آن در سطح جنگل (تیمار شاهد مجاور جاده‌های شن‌ریزی شده و بدون شن‌ریزی) تولید و اندازه‌گیری شده است.

- **عامل رد چرخ جاده و تأثیر آن بر میزان و شدت هدررفت خاک**: نتایج آنالیز واریانس مربوط به بررسی متغیر هدررفت خاک در تیمار رد چرخ جاده طبق جدول ۹، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر متغیر مذکور در بخش‌های رد چرخ، قسمت میانی جاده (بین دو رد چرخ) و سطح جنگل، در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد، اما متغیر غلظت رسوب در این تیمار نیز فاقد اختلاف معنی‌دار در بخش‌های مورد نظر بوده است. هم‌چنین، طبق نتایج آزمون دانکن، بیش‌ترین مقدار هدررفت خاک مربوط به قسمت رد چرخ و کم‌ترین آن مربوط به سطح جنگل (منطقه شاهد مجاور بخش‌های رد چرخ و بین دو رد چرخ) بوده، ولی برای متغیر غلظت رسوب این نتایج صدق نکرده و بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار غلظت رسوب به‌ترتیب در قسمت میانی جاده و رد چرخ به وقوع پیوسته است.

جدول ۷- آنالیز واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده طی شبیه‌سازی باران در تیمار شیب طولی جاده.

Table 7. ANOVA analysis of measured variables during rainfall simulation in the road longitudinal slope treatment.

متغیر اندازه‌گیری شده Measured variable	منبع تغییرات Variation source	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F value	سطح معنی‌داری Sig. (2-tailed)
غلظت رسوب Sediment concentration	شیب طولی جاده Raod Longitudinal Slope	106.055	3	35.352	3.350	0.027
	خطا Error	464.375	76	10.554		
	کل Total	570.430	79			
هدررفت خاک Soil loss	شیب طولی جاده Raod Longitudinal Slope	955.841	3	318.614	7.252	0.000
	خطا Error	1933.250	76	43.938		
	کل Total	2889.092	79			

جدول ۸- آنالیز واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده طی شبیه‌سازی باران در تیمار شن‌ریزی جاده.

Table 8. ANOVA analysis of measured variables during rainfall simulation in the road graveling treatment.

متغیر اندازه‌گیری شده Measured variable	منبع تغییرات Variation source	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F value	سطح معنی‌داری Sig. (2-tailed)
غلظت رسوب Sediment concentration	شن‌ریزی جاده Road Graveling	83.155	2	41.577	0.594	0.558
	خطا Error	2308.03	57	69.940		
	کل Total	2391.188	59			
هدررفت خاک Soil loss	شن‌ریزی جاده Road Graveling	11158.404	2	5579.202	43.303	0.000
	خطا Error	4251.781	57	128.842		
	کل Total	15410.185	59			

جدول ۹- آنالیز واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده طی شبیه‌سازی باران در تیمار رد چرخ جاده.

Table 9. ANOVA analysis of measured variables during rainfall simulation in the road wheel rut treatment.

متغیر اندازه‌گیری شده Measured variable	منبع تغییرات Variation source	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F value	سطح معنی‌داری Sig. (2-tailed)
غلظت رسوب Sediment concentration	رد چرخ جاده Road Wheel Rut	29.213	2	14.606	0.116	0.891
	خطا Error	4149.716	57	125.749		
	کل Total	4178.928	59			
هدررفت خاک Soil loss	رد چرخ جاده Road Wheel Rut	3825.783	2	1912.892	9.035	0.001
	خطا Error	6986.409	57	211.709		
	کل Total	10812.192	59			

در تیمار شیب طولی جاده که نتایج کلی به‌دست آمده در مورد هدررفت خاک در این تیمار بیانگر وجود رابطه مستقیم بین تندی شیب و میزان فرسایش خاک است، تناقضی در مقادیر متغیرهای اندازه‌گیری شده در دو طبقه شیب ۱۰-۵ درصد و ۲۰-۱۰ درصد وجود داشت. با توجه به این‌که طبقه شیب ۲۰-۱۰ درصد تندی شیب بیش‌تری نسبت به طبقه ۱۰-۵ درصد داشته اما از رسوب تولیدی و هدررفت خاک کم‌تری نسبت به طبقه شیب پایین‌تر از خود برخوردار بوده است. بنابراین به بررسی خصوصیات خاک در هر یک از دو طبقه شیب مذبور پرداخته شد و مشخص شد میزان رطوبت قبلی خاک در طبقه شیب ۱۰-۵ درصد بیش‌تر از طبقه شیب ۲۰-۱۰ درصد بوده و به همین دلیل زودتر رواناب تشکیل شده و متعاقباً فرسایش خاک بیش‌تری در آن رخ داده است (۶). از دیگر ویژگی‌های قابل‌توجه در طبقه شیب ۱۰-۵ درصد، دارا بودن درصد آهک کم‌تر، درصد شن کم‌تر و درصد سیلت بیش‌تر نسبت به طبقه شیب ۲۰-۱۰ درصد می‌باشد که این سه پارامتر مهم نیز در تشکیل رواناب، تولید رسوب و بروز فرسایش خاک تأثیر به‌سزایی دارند (۱۸، ۲۳). می‌توان اظهار داشت که با افزایش درصد آهک در شیب ۲۰-۱۰ درصد، میزان نفوذپذیری افزایش و در نتیجه میزان رواناب و به‌دنبال آن میزان فرسایش خاک کاهش یافته است. زیرا که آهک موجب پایداری بیش‌تر خاک‌دانه و افزایش نفوذپذیری آن می‌شود (۶). هم‌چنین، خاک‌های ریزدانه به‌دلیل دارا بودن خاصیت چسبندگی و تخلخل کم، دارای نفوذپذیری کم و به مراتب حجم رواناب بیش‌تری هستند (طبقه شیب ۱۰-۵ درصد). راموس و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعات خود بیان نموده‌اند که سیلت علاوه بر این‌که از نظر اندازه مستعدترین ذره در برابر فرسایش می‌باشد، باعث تشکیل سله، افزایش تراکم و در نتیجه کاهش نفوذپذیری و به تبع آن افزایش رواناب می‌شود (۲۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد که خاک‌های دارای مقادیر بیش‌تر شن، به‌علت داشتن سرعت نفوذ آب بیش‌تر، رواناب کم‌تری تولید می‌کنند (۳۳).

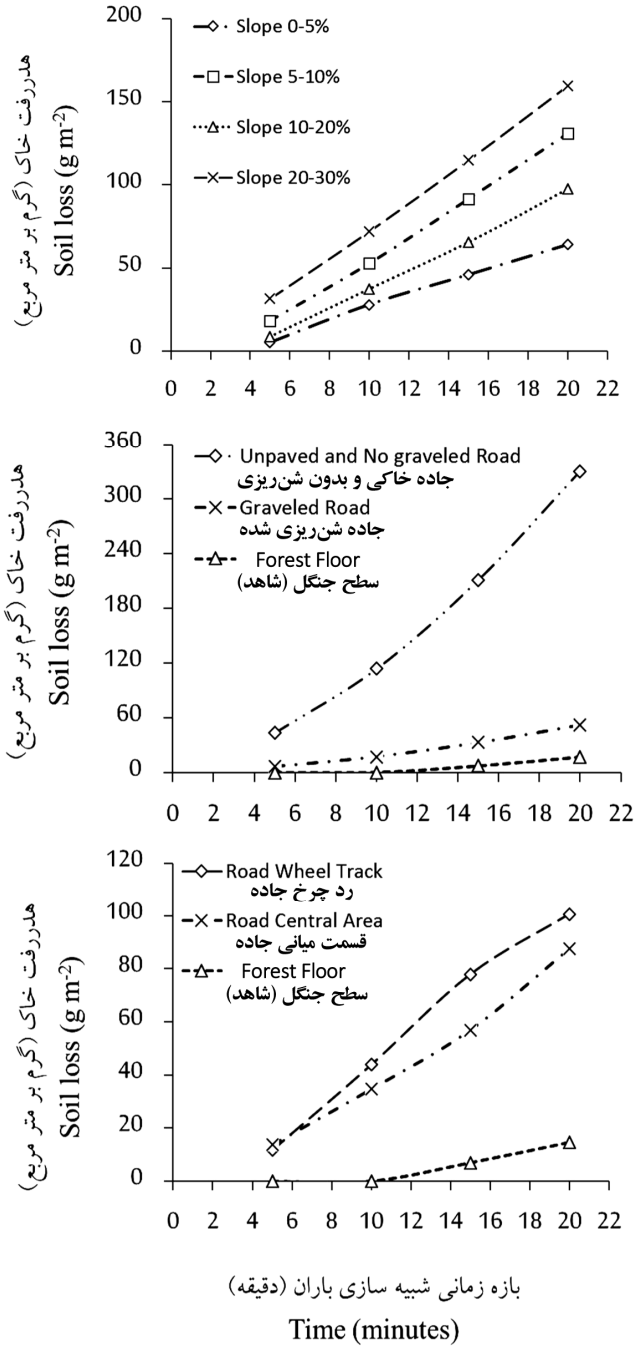
بررسی مقادیر تجمعی هدررفت خاک طی عملیات شبیه‌سازی باران در تیمارهای مورد مطالعه: پس از برداشت داده‌های میدانی، انجام عملیات آزمایشگاهی و تعیین میزان هدررفت خاک در تیمارهای مورد مطالعه، مقادیر تجمعی متغیر هدررفت خاک محاسبه و رفتار آن در بازه‌های زمانی شبیه‌سازی باران مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج حاصل، به‌خوبی تغییرات هدررفت خاک

تجمعی را در تیمارهای مختلف و بخش‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌گونه که از گراف‌های تجمعی هدررفت خاک به‌دست آمده در شکل ۲ قابل مشاهده است، در تیمار شیب طولی جاده، هرچه مقدار شیب بیش‌تر شده است میزان هدررفت خاک افزایش یافته است (به‌جز جابجایی طبقه شیب ۲۰-۱۰ درصد با طبقه شیب ۱۰-۵ درصد که ناشی از خصوصیات خاک تشدیدکننده فرسایش خاک در طبقه شیب ۱۰-۵ درصد بوده و به همین دلیل از نظر مقدار هدررفت خاک و بار رسوب تولیدی طبقه شیب ۱۰-۵ درصد در جایگاهی بالاتر از طبقه شیب ۲۰-۱۰ درصد واقع شده است). در تیمار شن‌ریزی جاده، اختلافی چشم‌گیر و کاملاً مشهود بین میزان هدررفت خاک جاده‌های خاکی بدون شن‌ریزی با جاده‌های شن‌ریزی شده و منطقه کنترل (سطح جنگل) وجود داشته، در حالی‌که این اختلاف، بین جاده‌های شن‌ریزی شده و سطح جنگل بسیار ناچیز بوده و اختلاف خیلی کمی با هم دارند. به‌عبارتی دیگر، تأثیر منفی جاده‌سازی بر خاک جنگل با انجام عملیات شن‌ریزی سطح جاده، کنترل و کاهش یافته و مقادیر هدررفت خاک اندازه‌گیری شده در جنگل بکر و جاده‌های شن‌ریزی شده با اختلاف ناچیز نسبت به هم، بسیار کم‌تر از جاده‌های بدون شن‌ریزی می‌باشد. در تیمار رد چرخ جاده نیز، میزان هدررفت خاک در بخش رد چرخ بیش‌تر از قسمت میانی جاده بوده اما اختلاف ناچیزی با هم داشته، در صورتی‌که این میزان نسبت به هدررفت خاک رخ داده در تیمار شاهد آن (سطح جنگل) بسیار بیش‌تر و کاملاً قابل‌توجه است. هم‌چنین، روند هدررفت خاک تجمعی در بازه زمانی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که در تیمار شیب طولی جاده، میزان تجمعی هدررفت خاک در تمامی طبقات شیب مورد نظر، روندی کاملاً صعودی دارد. در تیمار شن‌ریزی جاده، روند هدررفت خاک در جاده‌های بدون شن‌ریزی کاملاً صعودی بوده، ولی در جاده‌های شن‌ریزی شده و منطقه کنترل روندی تقریباً ثابت قابل مشاهده می‌باشد. برای تیمار رد چرخ جاده نیز، روند صعودی هدررفت خاک در بخش‌های رد چرخ و قسمت میانی جاده مشهود بوده اما در سطح جنگل، این روند در نیمه اول بازه زمانی شبیه‌سازی ثابت و پس از آن روندی تقریباً صعودی داشته است.

بررسی میزان نفوذ آب ناشی از بارش شبیه‌سازی شده به داخل خاک و جذب آب توسط خاک طی مطالعات میدانی صورت گرفته در تیمارهای مورد مطالعه: یکی دیگر از مباحثی که در این پژوهش به آن پرداخته شد، بحث نفوذ آب ناشی از بارش شبیه‌سازی شده به داخل خاک و جذب آب توسط خاک در سطح پلات‌های مورد بررسی می‌باشد که در تیمارهای مختلف، بررسی و اندازه‌گیری شد (شکل ۳). نتایج حاصل در شکل ۳ بیانگر آن است که میزان نفوذ در تیمارهای شاهد (سطح جنگل بکر) به مراتب خیلی بیش‌تر از سایر بخش‌های مورد مطالعه نظیر رد چرخ و قسمت میانی جاده و یا جاده‌های شن‌ریزی شده و بدون شن‌ریزی می‌باشد (۳۶) که این خود نشان‌دهنده تأثیرات سوء فعالیت‌های انسانی مثل جاده‌سازی و تردد و عبور و مرور، روی خاک و بستر جنگل می‌باشد. تردد زیاد ماشین‌آلات مختلف و رد چرخ‌های به‌جا مانده از آن‌ها، سبب کوبیدگی خاک و افزایش وزن مخصوص ظاهری آن شده که این امر موجب کاهش نفوذپذیری و خلل و فرج خاک سطحی در بخش‌های جاده‌ای گشته و آثاری هم‌چون افزایش تولید رواناب و در نهایت افزایش فرسایش خاک و تولید رسوب را در پی خواهد داشت (۱، ۷).

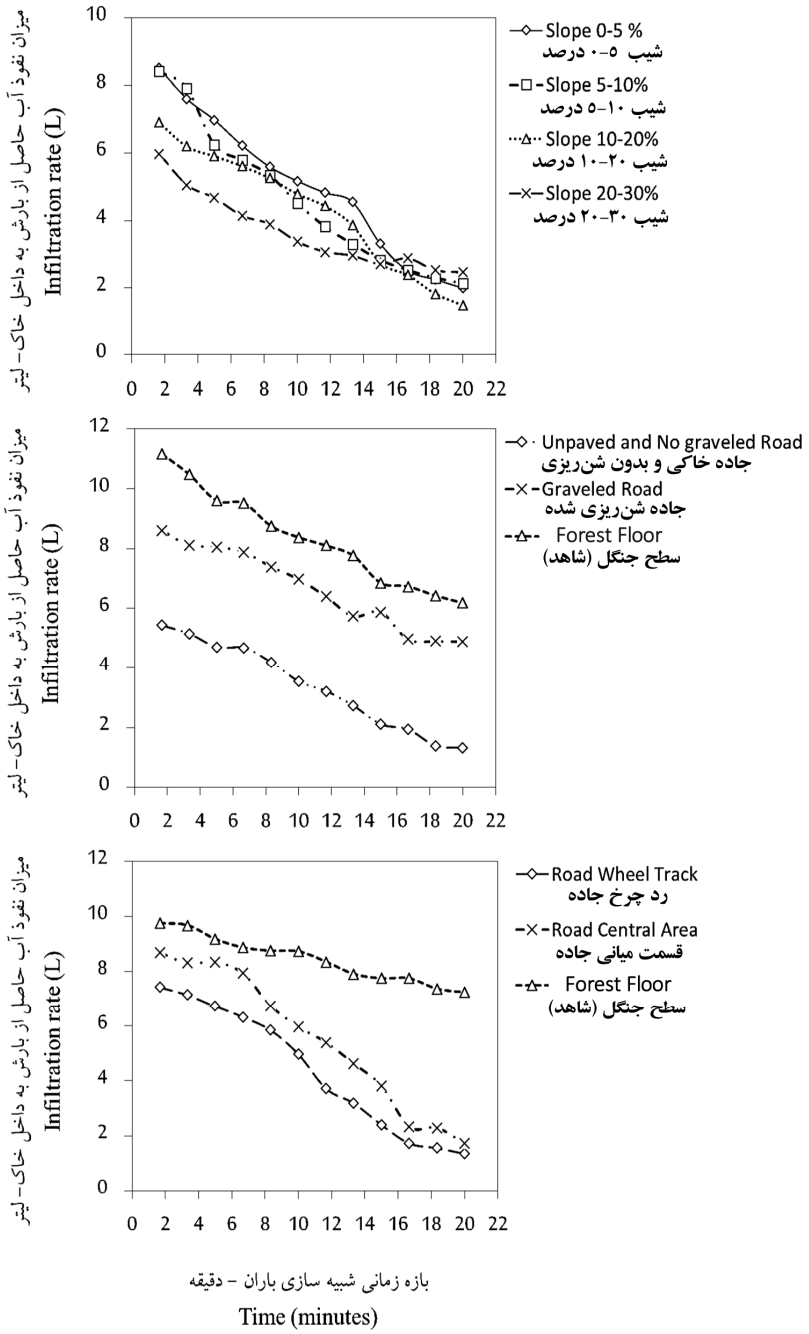
با توجه به نتایج موجود در شکل ۵، مقدار نفوذ آب به داخل خاک در سطح جنگل روندی تقریباً ثابت و یکنواخت داشته و تا پایان مدت زمان شبیه‌سازی، کاهش ناچیزی داشته است، اما در بخش‌های جاده‌ای، میزان نفوذ تقریباً روندی کاهشی و دارای نوسان داشته که به تبع آن با کاهش نفوذپذیری، میزان

رواناب تولیدی در زمان‌های پایانی شبیه‌سازی، روند کاملاً افزایشی داشته است. میزان نفوذ آب در تیمار شیب طولی جاده نیز روند مشخصی نداشته و تغییرات غیریکنواخت کاهشی در طبقات مختلف شیب طولی رخ داده است. از دیگر نتایج به‌دست آمده در این بخش از پژوهش که تأییدکننده نتایج قبلی نیز است، تأثیر مثبت عامل شن‌ریزی جاده روی افزایش نفوذپذیری و کاهش تولید رواناب، نسبت به بخش‌های بدون شن‌ریزی می‌باشد.



شکل ۲- مقادیر تجمعی هدررفت خاک در بازه‌های زمانی برداشت شده در تیمارهای مورد مطالعه.

Figure 2. Cumulative values of soil loss in measured periods in studied treatments.



شکل ۳- میزان نفوذ آب به داخل خاک در تیمارهای مورد مطالعه.

Figure 3. Water infiltration rates in soil in studied treatments.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین مقادیر هدررفت خاک اندازه‌گیری شده در تیمار شیب طولی جاده (۴ طبقه مختلف شیب طولی)، تیمار شن‌ریزی جاده (جاده‌های شن‌ریزی شده، بدون شن‌ریزی و سطح جنگل) و تیمار رد چرخ جاده (رد چرخ، قسمت‌های میانی جاده و سطح جنگل) اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود داشته، در حالی‌که، متغیر غلظت رسوب تنها در تیمار شیب طولی جاده دارای اختلاف معنی‌دار، آن هم در سطح

اطمینان ۹۵ درصد بین طبقات مختلف شیب طولی بوده و در تیمارهای شن‌ریزی جاده و رد چرخ جاده هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در بخش‌های مورد مطالعه مشاهده نشد.

به‌طورکلی در این پژوهش، تأثیر شیب طولی جاده روی میزان هدررفت خاک کاملاً معنی‌دار بوده و به بیانی دیگر، مقدار رسوب با درصد شیب رابطه مستقیم و معنی‌دار دارد که این نتیجه با یافته‌های آرنائز و همکاران (۲۰۰۴) و کارلوس و راموس (۲۰۱۰) مطابقت دارد (۴، ۱۱). هم‌چنین، تأثیرپذیری معنی‌دار هدررفت خاک و غلظت رسوب از طبقات مختلف شیب طولی جاده در پژوهش‌های جوردن‌لوپز و مارتینز زاوالا (۲۰۰۸) و باگارلو و همکاران (۲۰۱۱) نیز مشاهده و به اثبات رسیده است (۷، ۱۷). یکی از تیمارهای دارای جنبه کاربردی، عملیاتی و مدیریتی در پژوهش حاضر، بررسی تأثیر عملیات شن‌ریزی جاده بر میزان هدررفت خاک می‌باشد. نتایج حاصل از هدررفت خاک در جاده‌های بدون شن‌ریزی بسیار بیش‌تر از جاده‌های شن‌ریزی شده و منطقه کنترل بوده و عملیات شن‌ریزی جاده، تأثیر و نقش مثبت در کاهش میزان هدررفت خاک داشته است که این نتیجه با یافته‌های شریدان و همکاران (۲۰۰۸) و صادقی و همکاران (۲۰۰۸ الف) مبنی بر تأثیرپذیری میزان رواناب و غلظت رسوب از پوشش شن و سنگریزه سطحی نیز مطابقت دارد (۲۶، ۳۶). به‌طورکلی، جاده‌سازی و احداث جاده در مناطق جنگلی منجر به تخریب و کوبیدگی خاک، افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و به‌دنبال آن افزایش مقدار رواناب و هدررفت خاک می‌شود که طبق نتایج این پژوهش، می‌توان این تأثیر سوء و مخرب را با انجام عملیات شن‌ریزی روی جاده‌های جنگلی، کاهش داده و از کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب و هدررفت خاک سطح جاده، به‌میزان قابل‌توجهی کاست. نتایج به‌دست آمده از بررسی هدررفت خاک در تیمار رد چرخ جاده نیز بیانگر آن است که تغییرات کاملاً چشمگیر و بارزی از لحاظ میزان هدررفت خاک سطح جاده در بخش‌های رد چرخ، قسمت میانی جاده و منطقه شاهد (سطح جنگل بکر) وجود داشته و مقدار آن در بخش رد چرخ بیش‌تر از قسمت میانی جاده و بسیار بیش‌تر از منطقه کنترل بوده است که نتایج حاصل با یافته‌های بسیاری از پژوهشگران مبنی بر تأثیر رد چرخ و تردد ماشین‌آلات سنگین چوب‌کشی روی افزایش رواناب و به‌دنبال آن افزایش بار رسوب و هدررفت خاک، مطابقت داشته که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های شریدان و همکاران (۲۰۰۸)، فولتز و همکاران (۲۰۰۹) و جوردن‌لوپز و همکاران (۲۰۰۹) اشاره نمود (۱۲، ۱۸، ۳۶). ساکای و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعات خود اظهار می‌دارند که تردد ماشین‌آلات چوب‌کشی در جاده‌های جنگلی، با ایجاد شیار و رد چرخ، موجب ناهنجاری در خاک، بهم‌خوردگی خاک و کوبیدگی آن شده که این امر سبب افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و در نهایت باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب و هدررفت خاک می‌شود (۳۲) که این موضوع در منطقه مورد مطالعه نیز به خوبی قابل مشاهده بوده و با توجه به مطالعات میدانی انجام شده، این مهم تأیید و به اثبات رسیده است. علاوه بر این، راموس- شارون و مک‌دونالد (۲۰۰۵) میزان رواناب و تولید رسوب را در جاده‌های جنگلی، ۴ برابر بیش‌تر از خود جنگل تخمین زده‌اند (۲۴) و یا پژوهش کارلوس و راموس (۲۰۱۰) بیانگر رسوب‌دهی بیش‌تر در جاده‌های خاکی به‌میزان ۱۵ تا ۵۰ برابر بیش‌تر از مناطق فاقد جاده بوده است (۱۱). موارد اشاره شده در بالا، تأثیر فعالیت‌های انسانی نظیر جاده‌سازی و بهره‌برداری از جنگل (تردد ماشین‌آلات چوب‌کشی) بر کوبیدگی و تخریب خاک جنگل و به‌دنبال آن هدررفت و جابجایی خاک که تبعات زیان‌باری را به‌دنبال دارد، بیش از پیش نشان می‌دهد. چرا که، میزان هدررفت خاک و بار رسوبی تولید شده

در سطح جنگل در مقایسه با بخش‌های رد چرخ و قسمت میانی آن، بسیار ناچیز بوده و اختلاف کاملاً معنی‌داری با آن‌ها دارد که با نتایج راموس- شارون و مک‌دونالد (۲۰۰۵) مبنی بر تفاوت آشکار میزان هدررفت خاک در سطح جنگل با بخش‌های جاده‌ای، مطابقت و هم‌خوانی دارد (۲۴).

هم‌چنین، نتایج بررسی نفوذپذیری سطح جاده نشان داد، میزان نفوذ و جذب آب توسط خاک در جاده‌های شن‌ریزی شده بیش‌تر از جاده‌های خاکی بدون شن‌ریزی و در قسمت میانی جاده بیش‌تر از بخش رد چرخ و هم‌چنین در شیب‌های کم‌تر و جاده‌های مسطح‌تر بیش‌تر از شیب‌های طولی تندتر می‌باشد.

جاده‌های جنگلی به‌واسطه کم بودن نفوذپذیری سطوح آن‌ها، تغییر در الگوی زهکشی طبیعی، ایجاد جریان متمرکز در نهرها و آبگذرها، حساسیت بالای ترانشه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی و احداث و نگهداری سازه‌های تقاطعی موجود در شبکه راه، به‌عنوان منبع اصلی تولید رسوب محسوب شده و بیش از ۹۰ درصد رسوب حوزه‌های آبخیز جنگلی را تولید می‌کنند (۲۵). به‌طورکلی، با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود که تمهیدات لازم در آبخیزهای جنگلی به هنگام احداث جاده یا پس از آن، اندیشیده شده و به کمک اقدامات و برنامه‌های مدیریتی (BMP)، از هدررفت خاک و تخریب احتمالی سطح جاده‌ها جلوگیری و یا آن را کاهش داد. بدین منظور، طبق نتایج تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش، می‌توان گزینه‌هایی نظیر انجام شن‌ریزی سطح جاده، احداث جاده حتی‌الامکان در شیب‌های کم‌تر و مسطح‌تر و هم‌چنین، کنترل ترافیک و تردد ماشین‌آلات سنگین چوب‌کشی در جاده‌های خاکی فاقد روسازی مناسب را به‌عنوان عواملی تأثیرگذار در کاهش و کنترل هدررفت خاک در مقیاس جاده، توصیه نمود. در حال حاضر، در بسیاری از آبخیزهای جنگلی به‌منظور تقلیل خسارات ناشی از جاده‌سازی و یا چوب‌کشی از روش‌های بهره‌برداری جنگل با چرخ‌بال، تله‌فریک و یا روش‌های مشابه استفاده می‌شود (۲۵). علاوه بر این، از دیگر گزینه‌های مدیریتی (BMP) مناسب به‌منظور کنترل و کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز جنگلی که توسط پژوهشگران دیگر ارائه و پیشنهاد شده است می‌توان به محدودیت فصلی انجام عملیات بهره‌برداری، تسطیح یا تغییر شیب جاده (کاهش شیب جاده)، ایجاد شیب عرضی مناسب روی سطح جاده، کنترل و حفاظت شیروانی‌ها در محل‌های حساس و شیب‌های ناپایدار به کمک روش‌های زیست‌مهندسی، طراحی و ایجاد زهکش‌های سطحی مناسب به‌منظور کاهش انرژی آب جاری و انحراف روان‌اب به محیط‌های امن داخل جنگل (۲۵) و غیره اشاره نمود.

منابع

1.Adekalu, K.O., Okunade, D.A., and Osunbitan, J.A. 2006. Compaction and mulching effects on soil loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. Geoderma. 137: 226-130.

2.Akbarimehr, M., and Jalilvand, H. 2013. Considering the relationship of slope and soil loss on skid trails in the north of Iran (a case study). J. For. Sci. 59: 9. 339-344.

3.Akbarimehr, M., and Naghdi, R. 2012. Assessing the relationship of slope and runoff volume on skid trails (Case study: Nav 3 district). J. For. Sci. 58: 8. 357-362.

4.Arna´ez, J., Larreab, V., and Ortigosaa, L. 2004. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. Catena. 57: 1-14.

5.Awotoye, O.O., Ogunkunle, C.O., and Adeniyi, S.A. 2011. Assessment of soil quality under various land use practices in a humid agro-ecological zone of Nigeria. Afric. J. Plant Sci. 5: 10. 565-569.

6.Azmoodeh, A., Kavian, A., solaimani, K., and Vahabzadeh, Gh. 2010. Comparing Runoff and Soil Erosion in Forest, Dry Farming and Garden Land Uses Soils Using Rainfall Simulator. J. Water Soil. 24: 3. 490-500. (In Persian)
7.Bagarello, V., Di-Stefano, C., Ferro, V., Kinnell, P.I.A., Pampalone, V., Porto, P., and Todisco, F. 2011. Predicting soil loss on moderate slopes using an empirical model for sediment concentration. J. Hydrol. 400: 267-273.
8.Bagheri, I., Naghdi, R., and Moradmand Jalali, A. 2013. Evaluation of Factors Affecting Water Erosion along Skid Trails (Case study; Shafarood Forest, Northern Iran). Caspian J. Environ. Sci. 11: 2. 151-160.
9.Bhupinderpal, S., Hedley, M.J., Saggar, S., and Francis, G.S. 2004. Chemical fractionation to characterize changes in sulphur and carbon in soil caused by management. Eur. J. Soil Sci. 55: 79-90.
10.Cambi, M., Certini, G., Neri, F., and Marchi, E. 2015. The impact of heavy traffic on forest soils: A review. Forest Ecology and Management. 338: 124-138.
11.Carlos, E., and Ramos, S. 2010. Sediment production from unpaved roads in a sub-tropical dry setting, Southwestern Puerto Rico. Catena. 82: 146-158.
12.Foltz, R.B., Copeland, N.S., and Elliot, W.J. 2009. Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters. J. Environ. Manage. 90: 2542-2550.
13.Ghahraman, B., and Abkhezr, H.R. 2004. Correction of the rainfall intensity-duration-frequency equations in Iran. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science. 8: 2. 1-13. (In Persian)
14.Gholami, L. 2007. Model preparation of storms sediment yield estimate in the part of Gheshlagh watershed of Kurdestan province. M.Sc. thesis, Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources and Marin Sciences, Pp: 5-15. (In Persian)
15.Gholami, L., Sadeghi, S.H.R., and Homaee, M. 2012. Straw Mulching Effect on Splash Erosion, Runoff, and Sediment Yield from Eroded Plots. Soil Sci. Soc. Amer. J. 77: 268-278.
16.Javadi, P., Rouhi Pour, H., and Mahbobi, A.A. 2005. The role of graveling coverage on amount of erosion and runoff using flume and rainfall simulation. Iran. J. Range Des. Res. 12: 3. 287-310. (In Persian)
17.Jordán-López, A., and Martinez-Zavala, L. 2008. Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. Forest Ecology and Management. 255: 913-919.
18.Jordán-López, A., Martinez-Zavala, L., and Bellinfante, N. 2009. Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. J. Sci. Total Environ. 407: 937-944.
19.Khazayi, M., Sadeghi, S.H.R., and Mirnia, S.Kh. 2011. Hydrological effects of forest surface disturbance, a case study. Iran. J. For. 3: 2. 145-155. (In Persian)
20.Lotfalian, M., Shirvani, Z., and Naghavi, H. 2009. Investigation of effective factors on skid roads erosion. Iran. J. For. Iran. Soc. For. 1: 2. 115-124. (In Persian)
21.Najafi, A., Solgi, A., and Sadeghi, S.H.R. 2010. Effects of Skid Trail Slope and Ground Skidding on Soil Disturbance. Caspian J. Env. Sci. 8: 1. 13-23.
22.Parsakhoo, A. 2012. Investigation of the runoff and soil loss rate of different segments of forest road structure using rainfall simulation. Ph.D thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources, 169p. (In Persian)
23.Ramos, M.C., Nacci, S., and Pal, I. 2000. Soil sealing and its influence on erosion rates for some soils in the Mediterranean area. Soil Sciences. 165: 398-403.
24.Ramos-Scharrón, C.E., and MacDonald, L.H. 2005. Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Islands. Earth Surface Processes and Landforms. 30: 1283-1304.
25.Sadeghi, S.H.R., and Yasrebi, B. 2008. Soil and Water Conservation in Forest Watersheds. Iranian National Commission on Soil Erosion & Sediment Yield, Rahe Sobhan Press, 107p.

26.Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S., and Onda, Y. 2008a. Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. Geoderma. 144: 198-211.
27.Sadeghi, S.H.R., Hedayati Zadeh, R., Naderi, H., and Hoseinali Zadeh, M. 2008b. Camparison of runoff and sediment yield in different Quaterner formations in Sarchah Amari rangelands of Birjand. Range. J. Sci. Res. J. Iran. Range. Manage. Soc. 2: 4. 449-463. (In Persian)
28.Sadeghi, S.H.R. 2010. Study and Measurement of Water Erosion. Tarbiat Modares University Press, 199p.
29.Sadeghi, S.H.R., Mohamadpour, K., and Dianati Tilki, Gh.A. 2010. Variability of sediment yield from treatments of short-time nongrazing and open grazing in Kadir rangeland. Range. J. Sci. Res. J. Iran. Range. Manage. Soc. 4: 3. 484-493. (In Persian)
30.Sadeghi, S.H.R., Bashari Seghaleh, M., and Rangavar, A.S. 2011. Plot sizes dependency of runoff and sediment yield estimates from a small watershed. Catena. doi:10.1016/j.catena.2011.01.003.
31.Safari, A. 2012. Measurement of runoff and soil loss in the Darabkola forest roads. M.Sc. thesis, Department of watershed management engineering. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources, 97p. (In Persian)
32.Sakai, H., Nordfjell, T., Suadicani, K., Talbot, B., and Bøllehuus, E. 2008. Soil compaction on forest soils from different kinds of tires and tracks and possibility of accurate estimate. Croat. J. For. Engin. 29: 1. 15-27.
33.Santos, F.L., Reis, J.L., Martins, O.C., Castanheria, N.L., and Serralherio, R.P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. Biosystems Engineering. 86: 3. 355-364.
34.Sharma, A., Tiwari, K.N., and Bhadoria, P.B.S. 2011. Effect of land use land cover change on soil erosion potential in an agricultural watershed. Environ. Monit. Assess. 173: 789-801.
35.Sharply, A., and Kleinman, P. 2003. Effect of Rainfall Simulator and Plot on over land flow and Phosphorous transport. J. Environ. Qual. 32: 2172-2179.
36.Sheridan, G.J., Noske, P.J., Lane, P.N.J., and Sherwin, Ch.B. 2008. Using rainfall simulation and site measurements to predict annual interrill erodibility and phosphorus generation rates from unsealed forest roads: Validation against in-situ erosion measurements. Catena. 73: 49-62.
37.Sidle, R.C., Hirano, T., Gomi, T., and Terajima, T. 2007. Hortonian overland flow from Japanese forest plantations-an aberration, the real thing, or something in between?, Hydrological Processes. 21: 3237-3247.
38.Solgi, A., and Najafi, A. 2014. The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. J. For. Sci. 60: 1. 28-34.
39.Solgi, A., Najafi, A., and Sadeghi, S.H.R. 2014. Effects of traffic frequency and skid trail slope on surface runoff and sediment yield. Inter. J. For. Engin. 25: 2. 171-178.
40.The Natural Resources and Watershed Management General Office of Mazandaran Province. 2003. Forest management plan handbook of Darabkola. Department of Forests and Rangelands, 325p. (In Persian)
41.Wischmeier, W.H., Hohnson, C.B., and Cross, B.V. 1971. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil Water Cons. 26: 189-193.
42.Xu, X.L., Liu, W., Kong, Y.P., Zhang, K.L., Yu, B., and Chen, J.D. 2009. Runoff and water erosion on road side-slopes: Effects of rainfall characteristics and slope length. Transportation Research Part D. 14: 497-501.
43.Yousefi, S. 2011. Effects of geomorphological factors on degradation area resulted from forest road construction. M.Sc. thesis, Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources and Marin Sciences, 63p. (In Persian)
44.Zarin Kafsh, M. 1994. Application Pedology. Tehran University Press, 236p. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(3), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Comparison of soil loss from experimental plots established in different parts of a forest road

A. Kavian[1], *A. Safari[2] and A. Parsakhoo[3]

[1]Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Ph.D. Student, Dept. of Watershed Management Science and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 08/31/2014; Accepted: 08/23/2016

Abstract

Background and Objectives: Soil erosion is a natural and ongoing process of which severity becomes higher than natural limit through human's unprincipled interferences and it is one of the main issues in most of watersheds in Iran. Some areas of Iran including the northern forests have been noticed less in terms of soil erosion due to some reasons such as existence of acceptable vegetation cover. Allowable amount of soil erosion in forest watersheds by construction of thousands of kilometers of forest road has caused displacement of millions of cubic meters of soil and thousands of cubic meters of tree cutting. Therefore, investigation of type and amount of soil degradation and erosion in the roads surfaces and determination of their intensity seem necessary. The different researchers investigated the factors affecting water erosion in skid trails and studied the impact of movement of heavy skid machinery on soil characteristics of skid trails that their results indicated, there is a significant correlation among the amount of soil erosion and longitudinal slope, soil texture and forest floor cover. Also, bulk density, total porosity and soil moisture percentage in skid trails are affected by traffic frequency compared to intact forest. The objective of the present study is to investigate the effects of various factors including longitudinal slope of the road, road graveling and road wheel rut on the amount of soil loss in the forest roads surface.

Materials and Methods: In the present study, some factors affecting the soil loss in forest roads were investigated in Darabkola Watershed, Mazandaran Province, Iran. Also, some soil samples were taken from the depth of 0-20 cm of the soil in the vicinity of each investigated plot in order to understanding the effect of soil characteristics on the amount of soil loss in the studied treatments.

Results: The results indicated that, there is significant differences ($P<0.01$) among soil loss (15.05 $g.m^{-2}$ on average) in different sections of the treatments including longitudinal slope, graveling and wheel rut; while, for the variable of sediment concentration (7.84 $g.l^{-1}$ on average), a significant difference ($P<0.05$) was observed only in the treatment of longitudinal slope. Also, some soil samples were taken from the soil depth of 0-20 cm adjacent to each studied plot. The results of the measurement of various soil characteristics showed that, Soil Erodibility Index (K) ($Ton.m^2.hr.ha^{-1}MJ^{-1}.mm^{-1}$) and Deterioration Index (DI) (0.15 and -11.51 respectively) in the roads with graveling were less than dirt roads without graveling (0.21 and -29.07) and the mentioned indices in the middle part of the road (0.19 and -34.76) were less than the part of wheel rut (0.21 and -29.07). The other results have represented a reduction by 54.7% for MWD in under-construction parts of the road compared to the surface of forest.

Conclusion: The effect of longitudinal slope of the road is completely significant on the amount of soil loss. In other words, the amount of sediment has a direct and significant relationship with slope percentage. Road graveling operation has had a positive impact and role in the reduction of the amount of soil loss in the forest roads. Also, the impact of human activities such as road construction and exploitation of forest (skid machinery traffic and causing the wheel rut) on compaction and degradation of the forest road and consequently soil loss, has been significant and negative.

Keywords: Graveling, Longitudinal slope, Permeability, Rainfall simulation, Wheel rut

* Corresponding Author; Email: attasafari@yahoo.com