ارزیابی تأثیر شیب طولی درسطح جاده جنگلی (درجه یک و دو) بر میزان رواناب و هدر رفت خاک (مطالعه موردی سری گردشی، استان مازندران)

فردین مرادزاده: *دانشجوی مقطع دکتری مهندسی جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران*

سید عطاالله حسینی*: *دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران*

احسان عبدی: *دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران*

عطاالله کاویان: *دانشیارگروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری*

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۵)

چکیده

جنگل اکوسیستمی پایدار از تعادل بالایی برخوردار است و خاک‌های فرسایش نیافته و آب‌های بدون رسوب، از مشخصات بارز آن به شمار می‌رود. جاده بزرگترین فعالیت عمرانی در جنگل و جزئی‌ترین فعالیت اضافه شده به آن تلقی می‌شود که با ایجاد سطحی بدون پوشش، می‌تواند نقطه‌ی شروع رواناب، عامل قطع و منحرف کردن جریان طبیعی و تمرکز تصادفی و ناگهانی آب، انحراف از مسیر زهکشی طبیعی به پایین شیب، تمرکز و انتقال آب به زیرحوضه‌های دیگر، تغییر الگوی رواناب و حمل مقداری رسوب به دلیل افزایش سرعت آب و ... و در نهایت به تخریب جنگل منجر شود. تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر شیب طولی در جاده‌ی جنگلی (درجه یک و دو) در سری گردشی بر مقدار رواناب و هدر رفت خاک اجرا شد. این پژوهش با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی باران در سطح پلات یک متر مربعی، در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ کلاس شیب و در هر جاده با ۴ تکرار با شدت ثابت ۶۰ میلی‌متر در ساعت به مدت ۳۰ دقیقه اندازه گیری شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد بین مقدار رواناب و رسوب طبقات شیب مختلف در جاده که تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نتایج آزمون توکی نیز نشان داد که با افزایش شیب، مقدار رواناب و رسوب به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. نتایج آزمون تی مستقل نیز نشان داد که به ترتیب میانگین حجم رواناب، ضریب رواناب و غلظت رسوب با مقادیر ۲۳/۳۳ لیتر، ۷۱٪ و ۱۱/۸۴ گرم در لیتر، در جاده‌ی درجه دو بیش از این مقادیر در جاده‌ی جنگلی درجه یک به ترتیب ۱۷/۲۳ لیتر، ۵۷٪ و ۹/۱۸ گرم در لیتر است. نتایج این آزمون نشان داد که در میزان رواناب و ضریب رواناب در سطح کلاسه‌های شیب دو نوع جاده‌ی جنگلی درجه‌ی یک و دو اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($F=۰/۸۵$, $p<۰/۰۵$). همچنین نتایج این آزمون نشان داد که در میزان غلظت رسوب در سطح کلاسه‌های شیب دو نوع جاده‌ی جنگلی درجه‌ی یک و دو اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($F=۲/۳۸$, $p>۰/۰۵$). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شیب طولی جاده یکی از عوامل مهم در تعیین میزان حجم رواناب و ایجاد رسوب در سطح جاده است که با افزایش درصد شیب، بر مقدار حجم رواناب و رسوب افزوده می‌شود؛ این امر توجه جدی به رعایت میزان مجاز شیب طولی در زمان طراحی را با توجه به موقعیت ساخت جاده در پی خواهد داشت.

واژگان کلیدی: باران‌ساز، جاده‌های جنگلی، رسوب، رواناب، سری گردشی، شیب طولی جاده.

* نویسنده مسئول: at.hosseini@ut.ac.ir

۱- مقدمه

دگرگونی سیمای دامنه‌های طبیعی و کاهش پوشش‌گیاهی با ایجاد دامنه‌های خاکی و فشردگی خاک سطح جاده، به اختلال در رفتار هیدرولیکی و مشخصات فیزیکی خاک منجر می‌شود و وقوع رواناب و هدر رفت خاک را در پی دارد؛ همین امر سبب می‌شود جاده‌های جنگلی، مهم‌ترین منبع تحویل رسوب به شبکه جریان-های آبی یک حوزه‌ی آبخیز جنگلی باشد. نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان داده‌است که بیشترین حجم هدررفت خاک در نخستین سال‌ها پس از ساخت جاده و هنگام آمد و شد وسایل نقلیه به وجود می‌آید (Arna´ez et al, 2004). از آنجایی که جاده‌سازی برای بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی شمال کشور، با حجم زیاد عملیات خاکی همراه است؛ لذا ارزیابی نقش این سازه به عنوان یکی از مراکز مهم تولید رسوب، می‌تواند در برنامه‌ریزی برای اجرای اقداماتی مفید باشد؛ از جمله اقدامات زیست مهندسی و تثبیت خاک، نصب تأسیسات زهکشی، هدایت و کنترل رواناب، همچنین مکانیابی سدهای رسوب‌گیر در امتداد رودها (1985 ,Kamyab Hesari). امروزه مباحث مربوط به فرسایش‌خاک و کنترل آن، یکی از مسائل مهم در مدیریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و طبعاً مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود (Dong et al, 2012 & UNESSCO et al, 2009 & Ekwue et al, 2009). مقدار فرسایش خاک در مناطق جنگلی به دلیل نوع و تراکم پوشش‌گیاهی، بسیار کمتر از عرصه‌های کشاورزی و مراتعی است. چنانچه تعادل اکولوژیکی و هیدرولوژیکی مناطق جنگلی به هر علت بهم بخورد، مقدار فرسایش خاک بسیار زیاد می‌شود و پیامد آن با وقوع سیلاب‌ها و طغیان رودخانه‌های پایین دست همراه خواهد بود. درنتیجه، مطالعه‌ی برآورد مقدار فرسایش خاک در مناطق جنگلی آسیب دیده و راه‌های جلوگیری از گسترش فرآیند تخریبی فرسایش در این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Morgan, 2005). بار معلق حاصل از شبکه جاده‌ی جنگلی، وارد آبراهه‌ها و رودخانه‌های اصلی می‌شود، سپس با کاهش سرعت جریان آب به ویژه در پشت سدها و آب‌بندها و بستر کم-شیب رودها به تدریج رسوب می‌کند. ذرات رسوب، حیات موجودات آبزی را با مخاطره روبه‌رو می‌سازد (Aruga et al, 2005 & Ziegler et al, 2005). روش‌های مختلفی برای تعیین اثر جاده‌ها بر تولید رسوب، و با هدف کمی کردن مقدار فرسایش در زمینه‌ی جاده‌های جنگلی به کار برده شده‌است که براساس هدف و دقت اندازه‌گیری متفاوت هستند (Elliot et al, 2009). از آنجا که درک و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف فرآیند فرسایش خاک در طبیعت، به واسطه محدودیت‌های زیادی میسر نیست؛ شبیه‌سازی و مدل-سازی‌های فیزیکی در شرایط تحت کنترل، یکی از بهترین گزینه‌های جایگزینی به حساب می‌آید (1387 ,Sadeghi and Yathrib). هر چند تفاوت‌های مهمی بین ویژگی‌های باران طبیعی و شبیه‌سازی شده وجود دارد، اما از طرف دیگر استفاده از باران‌ساز به منظور شبیه‌سازی باران، می‌تواند وسیله‌ای مفید برای اهداف مقایسه‌ای و کمی کردن فرآیندهای فرسایش و رسوب به شمار آید (et al, 2000 & Martinez-Zavala et al, Foster 2008). امروزه باید تلفیقی از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری و مدل‌سازی فرسایش خاک ــ که منبعث از مطالعات همه جانبه‌ی اجزای جاده‌ی جنگلی است ــ را به کار گرفت تا مدیریت مناسبی در مرحله‌ی ساخت، تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی به وجود آورد. از آنجایی که مقدار فرسایش در جاده‌های جنگلی

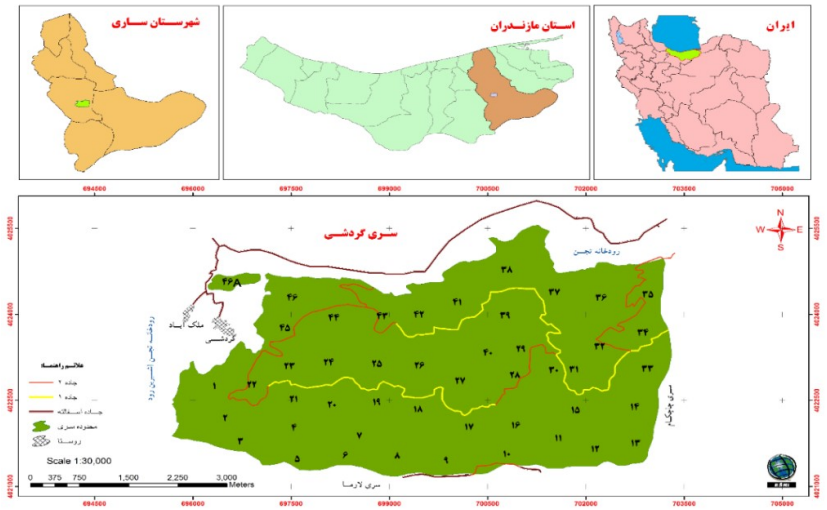
شمال کشور زیاد است (Moghadamirad et al, 2014 & Parsakhoo, 2012)، این مطالعه با هدف برآورد تأثیر شیب طولی جاده‌های جنگلی (درجه‌ی ۱و۲) بر میزان تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران اجرا شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

سری گردشی در فاصله‌ی حدود ۲۳ کیلومتری جنوب شرقی مرکز اداری و مجتمع صنعتی شرکت چوب و کاغذ مازندران و حدود ۳۶ کیلومتری شرق تا جنوب شرقی شهر ساری قرار دارد. از شمال به شاخه‌ی اصلی رود تجن، از جنوب به سری لارما، از شرق به سری چاچکام و از غرب به رودخانه‌ی شیرین رود یکی از دو شعبه‌ی اصلی رود تجن محدود است. این سری در حوزه‌ی آبخیز شماره‌ی ۷۰ قرار دارد و براساس تقسیمات جنگل‌داری به عمل آمده در مجموعه جنگل‌های حوزه‌ی شرکت چوب وکاغذ مازندران (در دو حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌های تالار و تجن)، این سری در واقع سری شماره‌ی ۱، بخش ۲ حوزه‌ی ۱ تجن را تشکیل می‌دهد. از لحاظ تقسیمات کشوری عرصه‌ی طرح، جزء دهستان سلیمان تنگه و بخشداری کلیجانرستاق از مجموع بخش-های تابعه‌ی فرمانداری شهرستان ساری و از نظر استحفاظی، جزء محدوده‌ی کاری اداره‌ی منابع طبیعی ساری، کیاسر حوزه‌ی عملیاتی اداره کل منابع طبیعی مازندران ـ ساری به حساب می‌آید (شکل ۱).

- موقعیت جغرافیایی، مساحت و محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

این سری با داشتن حداقل ارتفاع حدود ۳۰۰ متر و حداکثر بالغ بر ۹۷۰ متر از سطح دریا، فی‌مابین ″۵۰ ،۱۰′ ،۵۳° تا ″۵۵ ،۱۵′ ،۵۳° طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ و ″۰۰ ،۱۹′ ،۳۶° تا ″۲۰ ،۲۱′ ،۳۶° عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. مساحت این سری ۲۳۲۴ هکتار است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در این پژوهش از یک باران‌ساز غیرفشاری ـ متعلق به پژوهشکده‌ی حفاظت آب و خاک کشور ـ قابل حمل از جنس پلکسی‌گلاس به ابعاد ۸۹ ×۱۲۰ سانتی‌متر با پایه‌های قابل‌تنظیم با ارتفاع حداقل ۱/۵ متر و قابلیت استقرار در شیب‌های مختلف، به نمونه‌گیری رواناب و رسوب در جاده‌ی جنگلی درجه ۱ و۲ پرداخته شد. بدین ترتیب که جاده‌ی جنگلی درجه یک بعد از پیمایش زمینی و اندازه‌گیری شیب طولی به کمک شیب‌سنج سونتو، در واحدهای ۱۰ متری به سه کلاسه شیب ۳ تا ۵ درصد (کلاسه ۱)، ۵ تا ۸ درصد (کلاسه ۲) و بیش از ۸ درصد (کلاسه ۳) تقسیم‌بندی شد. همچنین در جاده جنگلی درجه‌ی دو موجود در منطقه، بعد از پیمایش زمینی به کلاسه‌های شیب صفر تا ۳ درصد (کلاسه ۱)، ۳ تا ۶ درصد (کلاسه ۲) و ۶ تا ۹ درصد (کلاسه ۳) تقسیم‌بندی شد. سپس با استقرار باران‌ساز در بخش‌هایی با شیب طولی مشخص، به اندازه‌گیری و مقایسه‌ی میزان رواناب، ضریب رواناب و هدررفت خاک درکلاسه‌های شیب طولی مختلف در سطح هر دو جاده با ۴ تکرار پرداخته شد. به منظور دستیابی به ویژگی‌های بارندگی منطقه‌ی جنگلی موردنظر با استفاده از باران‌ساز، از داده‌های مربوط به زمان پژوهش از ایستگاه هواشناسی سلیمان‌تنگه وابسته به سازمان آب‌های سطحی وزارت نیرو استفاده شد. آن دسته از تداوم‌هایی که از نظر تولید رواناب و ایجاد فرسایش و رسوب مهم است و کاربرد بیشتری دارد، قابل توجه قرار گرفت. با توجه به این داده‌ها، بیشینه‌ی شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت، با توجه به توزیع غالب (توزیع لوگ‌پیرسون تیپ ۳) استخراج شد. در هر شبیه‌سازی بارش، زمان شروع رواناب (فاصله‌ی زمانی آغاز بارش تا آغاز رواناب) با استفاده از کرونومتر و حجم رواناب تولیدی، از طریق خروجی پلات و با استفاده از بشر اندازه‌گیری شد (شکل ۲). غلظت رسوب در آزمایشگاه به روش فیلتراسیون نمونه‌بار معلق و عبور نمونه‌های رواناب، از روش کاغذ صافی واتمن ۴۲ حاصل شد. سپس نمونه‌های رسوب، به مدت یک شبانه‌روز در دستگاه اون و دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از این مدت، نمونه‌های سرد شده در دسی‌کاتور، توسط ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم وزن شد. غلظت رسوب، از تقسیم مقدار رسوب کل به رواناب کل در هر آزمایش و ضریب رواناب، از تقسیم مقدار رواناب جمع‌آوری شده به مقدار آب ورودی به پلات محاسبه شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف ـ اسمیرنوف استفاده شد.

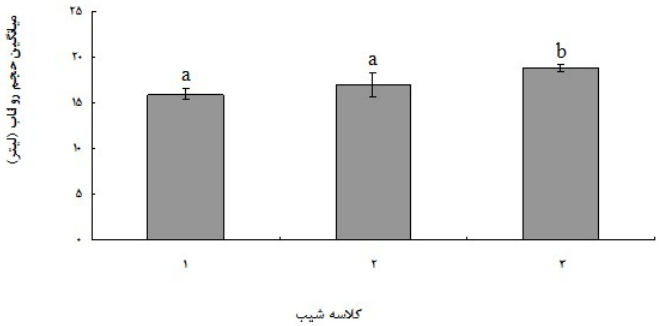
شکل ۱: باران‌سازی مورد استفاده

در مرحله‌ی بعد به تحلیل آماری (با استفاده از برنامه‌ی SPSS 22 در سطح احتمال ۵ درصد)، رفتارهای باران شبیه‌سازی شده در بررسی سه پارامتر حجم رواناب، ضریب رواناب، میزان رسوب در لیتر، در سه کلاسه شیب طولی (سه گروه آماری) به ترتیب ۳ تا ۵ درصد (کلاسه ۱)، ۵ تا ۸ درصد (کلاسه ۲) و شیب بیش از ۸ درصد (کلاسه ۳) در جاده‌ی درجه ۱ و سه کلاسه شیب طولی (سه گروه آماری) به ترتیب صفر تا ۳ درصد (کلاسه ۱)، ۳ تا ۶ درصد (کلاسه ۲) و شیب ۶ تا ۹ درصد (کلاسه ۳) در جاده‌ی درجه ۲ پرداخته شده‌است. برای هر کلاسه شیب (تیمار)، ۴ تکرار(شبیه‌سازی باران) در نظرگرفته شد. به دلیل اینکه متغیرها در بیش از دو گروه اندازه‌گیری شده‌اند، در آمار پارامتری از تجزیه واریانس ANOVA استفاده شد. سپس میانگین در بین تیمارها در هر دو نوع جاده به صورت مجزا مقایسه و با استفاده از روش کمترین اختلاف معنی‌دار (Tukey)، آزموده شد. در مرحله‌ی آخر، تأثیر معیار طولی(شیب) طراحی سطح جاده‌ی جنگلی بر میزان رواناب و هدر رفت خاک در دو نوع جاده، از طریق آزمون تی مستقل مورد تحلیل آماری قرار گرفت.

۴- یافته‌ها (نتایج)

۴ - ۱- جاده درجه یک

حجم رواناب: با توجه به نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه بین کلاسه‌های مختلف شیب طولی در جاده‌ی جنگلی درجه یک، بیشترین میزان میانگین حجم رواناب مربوط به کلاسه شیب ۳ به میزان ۱۸/۷۸ لیتر در مترمربع و در کلاسه شیب ۲ برابر با ۱۷ لیتر در متر مربع و کمترین میزان مربوط به کلاسه شیب ۱، به میزان ۱۵/۹۰ لیتر در مترمربع به دست آمد (شکل۳). نتایج آنالیز واریانس نشان داد که بین کلاسه‌های شیب، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($F=۱۱/۱۹۴ , p<۰/۰۵$).

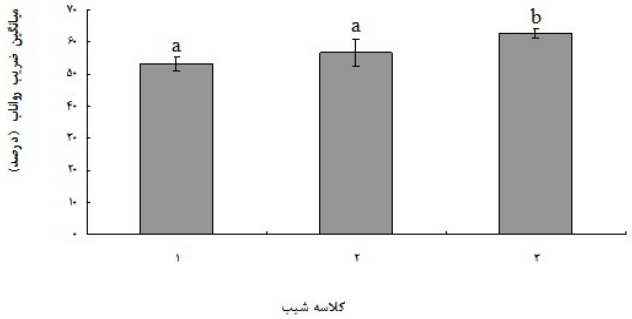


شکل ۳: مقایسه‌ی میانگین حجم رواناب در سه کلاسه شیب در جاده‌ی درجه یک

در بررسی مقایسه‌ی دو به دو میانگین‌ها (Tukey) با توجه به کمتر بودن میزان P Value از ۰/۰۵، اختلاف معنی‌داری بین میزان حجم رواناب در کلاسه شیب ۱ و ۲ با کلاسه شیب ۳ مشاهده می‌شود (حروف مشابه بیانگر فقدان اختلاف معنی‌دار و غیرمشابه، نشانه‌ی وجود اختلاف معنی‌دار در کلاسه‌های شیب طولی است. سطح معنی‌داری برابر است با ۰/۰۵).

ضریب رواناب: تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه‌ی ضریب رواناب نشان داد که بیشترین میانگین درصد ضریب رواناب مربوط به کلاسه ۳ شیب طولی با ۶۲/۵۸٪ و کلاسه ۲ برابر با ۵۶/۶٪ کمترین میزان مربوط به

کلاسه ۱ شیب طولی با ۵۳٪ است (شکل ۴). نتایج آنالیز واریانس نشان داد که بین کلاسه‌های شیب، اختلاف معنی‌داری وجود دارد (F=۱۱/۱۹۴ , p<۰/۰۵).

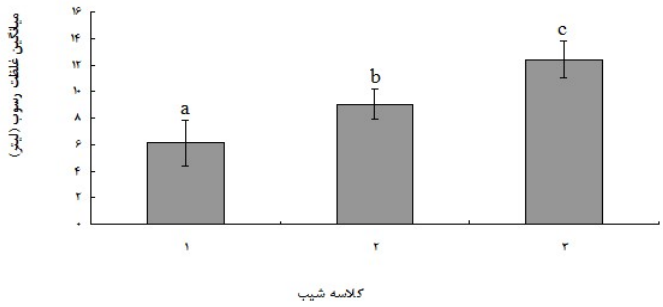


شکل ۴: مقایسه‌ی میانگین ضریب رواناب در سه کلاسه شیب در جاده‌ی درجه‌ی یک

در بررسی مقایسه دو به دو میانگین‌ها (Tukey) با توجه به کمتر بودن میزان P Value از ۰/۰۵، اختلاف معنی‌داری بین میزان ضریب رواناب در کلاسه شیب ۱ با کلاسه شیب ۳، همچنین اختلاف معنی‌داری بین کلاسه شیب ۲ با کلاسه شیب ۳ مشاهده می‌شود.

میزان رسوب: نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه میزان رسوب در لیتر (غلظت)، نشان داد که بیشترین میزان غلظت رسوب در کلاسه شیب طولی ۳ به میزان ۱۲/۳۸ گرم در لیتر، در کلاسه شیب ۲ به میزان ۹/۰۵ گرم در لیتر وکمترین میزان در کلاسه شیب طولی ۱ به میزان ۶/۱۲ گرم در لیتر حاصل شد (شکل ۵). نتایج آنالیز واریانس نشان داد که بین کلاسه‌های شیب، اختلاف معنی‌داری وجود دارد (F=۱۹/۰۳ , p<۰/۰۵).

در بررسی مقایسه‌ی دو به دو میانگین‌ها (Tukey) با توجه به کمتر بودن میزان P Value از ۰/۰۵، بین میزان رسوب در لیتر (غلظت) در کلاسه شیب ۱ (۳ تا ۵ درصد) با کلاسه شیب ۲ (۸ - ۵ درصد) و کلاسه شیب ۳ (بیش از ۸ درصد) اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود؛ بین کلاسه شیب ۲ (۵ تا ۸ درصد) با کلاسه شیب ۳ (بیش از ۸ درصد) نیز چنین اختلاف معنی‌داری وجود دارد.



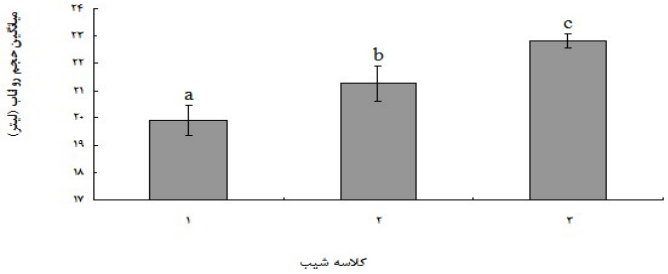
شکل۵: مقایسه‌ی میانگین غلظت رسوب در سه کلاسه شیب در جاده‌ی درجه یک

۴- ۲- جاده‌ی درجه دو

حجم رواناب: نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه‌ی حجم رواناب در جاده‌ی درجه دو، نشان داد که بیشترین میزان حجم رواناب در کلاسه شیب ۳ با میزان ۲۲/۸ لیتر در مترمربع، در کلاسه شیب ۲ برابر با ۲۱/۲۵ لیتر در

مترمربع و کمترین میزان در کلاسه شیب ۱ با میزان ۱۹/۹۳ لیتر در مترمربع است (شکل ۶). نتایج آنالیز واریانس نشان داد که بین کلاسه‌های شیب اختلاف معنی‌داری وجود دارد (F=۳۲/۴۴ , p<۰/۰۵).

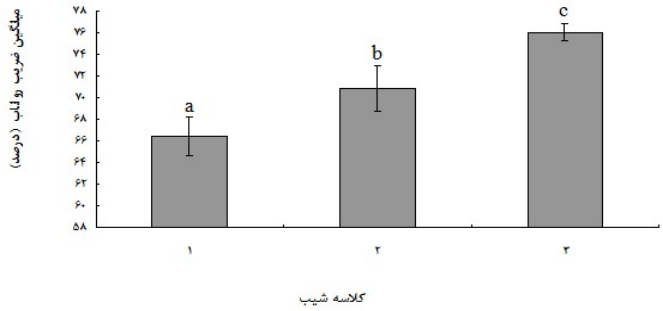
نتایج مقایسه‌ی دو به دو میانگین‌ها (Tukey) با توجه به کمتر بودن میزان P Value از ۰/۰۵، اختلاف معنی‌داری بین میزان حجم رواناب در بین تمام کلاسه‌های شیب طولی وجود دارد.



شکل۶: مقایسه میانگین حجم رواناب در سه کلاسه شیب در جاده‌ی درجه دو

ضریب روانآب: نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه ضریب رواناب در جاده‌ی درجه دو، نشان داد که بیشترین میانگین مربوط به کلاسه ۳ شیب طولی با ۷۶ ٪ ضریب رواناب و کلاسه ۲ شیب طولی برابر با ۷۰/۸۳٪ وکمترین میزان مربوط به کلاسه شیب طولی ۱ با ۶۶٪ است (شکل ۷).

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که بین کلاسه‌های شیب اختلاف معنی‌داری وجود دارد (F=۳۲/۴۴ , p<۰/۰۵).

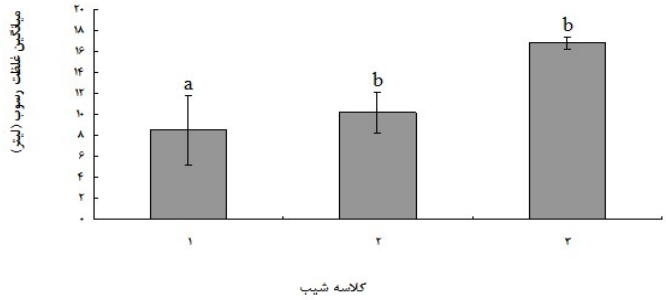


شکل ۷: مقایسه میانگین ضریب رواناب در سه کلاسه شیب در جاده درجه دو

در بررسی مقایسه دو به دو میانگین‌ها (Tukey) با توجه به کمتر بودن میزان P Value از ۰/۰۵، بین میزان ضریب رواناب در تمامی کلاسه‌های شیب، اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود.

میزان رسوب: نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه میزان رسوب در لیتر (غلظت)، نشان داد که بیشترین میزان غلظت رسوب در کلاسه شیب طولی ۳ به میزان ۱۶/۸۲ گرم در لیتر، در کلاسه ۲ شیب طولی برابر با ۱۰/۱۷ گرم در لیتر و کمترین میزان در کلاسه شیب طولی ۱ به میزان ۸/۵۱ گرم در لیتر به دست آمد (شکل ۸). نتایج آنالیز واریانس نشان داد که بین کلاسه‌های شیب، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ((F=۱۵/۶۵ , p<۰/۰۵).

در بررسی مقایسه‌ی دو به دو میانگین‌ها (Tukey) با توجه به کمتر بودن میزان P Value از ۰/۰۵، بین میزان رسوب در لیتر (غلظت) در کلاسه شیب ۱ (۳ تا ۶ درصد) با کلاسه شیب ۳ (۶-۹) اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود؛ و بین کلاسه شیب ۲ (۳ تا ۶ درصد) با کلاسه شیب ۳ (۶-۹ درصد) نیز چنین اختلاف معنی-داری وجود دارد.



شکل ۸: مقایسه‌ی میانگین غلظت رسوب در سه کلاسه شیب در جاده‌ی درجه دو

نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که به ترتیب میانگین حجم رواناب، ضریب رواناب و غلظت رسوب با مقادیر ۲۳/۳۳ لیتر در یک مترمربع، ۷۱٪ و ۱۱/۸۴ گرم در لیتر در جاده‌ی درجه دو بیش از این مقادیر در جاده-ی جنگلی درجه یک به ترتیب ۱۷/۲۳ لیتر در یک مترمربع، ۵۷٪ و ۹/۱۸ گرم در لیتر است. نتایج این آزمون نشان داد که اختلاف معنی‌داری در میزان رواناب و ضریب رواناب در سطح کلاسه‌های شیب دو نوع جاده‌ی جنگلی درجه یک و دو وجود دارد ($F=۰/۸۵ , p<۰/۰۵$).

همچنین نتایج این آزمون نشان داد که اختلاف معنی‌داری در میزان غلظت رسوب در سطح کلاسه‌های شیب دو نوع جاده‌ی جنگلی درجه‌ی یک و دو وجود ندارد ($F=۲/۳۸ , p>۰/۰۵$).

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش از یک باران‌ساز غیرفشاری ـ متعلق به پژوهشکده‌ی حفاظت آب و خاک کشور ـ در پلات‌هایی با سطح یک مترمربع و شدت غالب ۶۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۳۰ دقیقه، در سه کلاسه شیب طولی در جاده‌ی جنگلی درجه‌ی یک، و سه کلاسه شیب طولی در جاده‌ی جنگلی درجه‌ی دو با ۴ تکرار برای هر کلاسه شیب، به اندازه‌گیری حجم رواناب و رسوب پرداختند. نتایج مربوط به اندازه‌گیری میزان رواناب و رسوب نشان داد که با افزایش میزان شیب طولی جاده‌ها، بر حجم رواناب، ضریب رواناب و میزان رسوب تولیدی افزوده می‌شود که این افزایش به صورت معنی‌داری صورت پذیرفته‌است. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (Akay et al, 2008 & Elliot and Tysdal, 1999 & Anderson and MacDonald, 1998 & Sidle et al, 2008 & Parsakhoo, 2012 & Moghadamirad et al, 2014). همچنین نتایج نشان داد که اثر شیب طولی جاده بر مقدار رسوب تولیدی، در هر واحد طولی جاده معنی‌دار است که با نتایج پیشین همخوانی دارد (Fahey and Coker, 1988 & Luce and Black, 1999 & Zingg, 1940 & Parsakhoo, 2012 & Moghadamirad et al, 2014). افزایش شیب از طریق افزایش سرعت

رواناب در سطح جاده،کاهش میزان نفوذ، کاهش پایداری خاک، افزایش انرژی جنبشی و قدرت فرسایندگی ذرات آب به جداشدن ذرات خاک از بستر و حمل آنها به پایین دست منجر شده‌است؛ به عبارت دیگر، باعث کاهش کیفیت سطح رویه جاده (James et al, 2004 & Elliot and Tysdal, 1999 & Moghadamirad et al, 2014 & Parsakhoo, 2012 & Bilby et al, 1989 & Reid and Dunne, 1984) و افزایش میزان رواناب و رسوب تولیدی می‌شود.

نتایج مقایسه‌ی حجم رواناب، ضریب رواناب و میزان رسوب در سطح دو نوع جاده‌ی جنگلی درجه‌ی یک و دو، نشان داد که به ترتیب میانگین حجم رواناب، ضریب رواناب و غلظت رسوب با مقادیر ۶/۱ لیتر در یک مترمربع، ۱۴٪ و ۲/۶۶ گرم در لیتر در جاده‌ی درجه دو نسبت به جاده‌ی جنگلی درجه یک افزایش یافته‌است. تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق آزمون تی مستقل، نشان داد که افزایش حجم رواناب و ضریب رواناب در سطح دو جاده معنی‌دار است که این امر می‌تواند به علت شیب بیشتر در سطح بخش‌های جاده‌ی جنگلی درجه دو، نسبت به جاده‌ی جنگلی درجه یک باشد. در مورد میزان رسوب، حاصل معنی‌داری مشاهده نشد. این امر نیز با توجه به ثبت مشاهدات میدانی، می‌تواند به دلیل تأثیر وجود شیب بیشتر در سطح جاده‌ی جنگلی درجه دو و افزایش حجم روانآب و رسوب در بارندگی‌های گذشته باشد که اینک کاهش کیفیت رویه‌ی زمینی در سطح جاده‌ی درجه دو و در پی آن کاهش حجم رسوب قابل حمل را در پی داشته‌است. در جاده‌های با روسازی شنی، اگر ذرات شن به حد کافی در بستر روسازی جاسازی و فرو رفته باشند، حجم رواناب افزایش می‌یابد و فشردگی سطح جاده، می‌تواند کم بودن رسوب تولیدی را توجیه کند (Parsakhoo, 2012 & Poesen et al, 1990 & Ziegler et al, 2000).

نتایج این مطالعه نشان داد، افزایش شیب باعث افزایش معنی‌دار حجم رواناب، ضریب رواناب و رسوب تولیدی جاده‌های جنگلی خواهد شد که تأکیدی بر اهمیت اصول و استانداردهای رعایت شیب طولی در جاده های جنگلی است. عدم رعایت این استانداردها و افزایش شیب طولی، کاهش نفوذپذیری، افزایش سرعت رواناب و حجم رواناب، افزایش قدرت جداکنندگی و حمل ذرات و در نهایت افزایش حجم رسوب و تعدیل رویه‌ی سطحی جاده‌ها را در پی خواهد داشت. این امر مستلزم تعمیر و نگهداری در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر است و در نهایت، افزایش هزینه‌ی نگهداری جاده‌های جنگلی را در پی خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد که در جاده‌ی جنگلی درجه یک، حجم رواناب، ضریب رواناب و حجم رسوب، کمتر از جاده‌ی جنگلی درجه دو است که این امر به علت اهمیت رعایت درجات بالاتر استاندارد در ساخت این نوع جاده است که به دلیل نیاز به عبور و مرور بیشتر وسایل نقلیه سنگین و سبک از این جاده صورت می‌گیرد. و ذکر این نکته لازم است که انتخاب نوع جاده با توجه به شرایط محیطی، می‌تواند از تأثیرگذارترین عوامل برای جلوگیری از تخریب محیط زیست و کاهش خسارات ناشی از آن باشد. در نهایت رعایت اصول مهندسی و استانداردهای تعریف شده، همچنین استفاده از تکنیک‌های ثانویه در مهار رواناب و رسوب از جمله لوله‌گذاری و افزایش ابنیه‌های مناسب زهکش عرضی در جاده و در نقاط پر شیب به منظور جلوگیری از افزایش سرعت رواناب در

سطح جاده و شست وشوی بستر، ایجاد تله‌های رسوب‌گیر و ... می‌تواند به ایجاد زهکشی صحیح، کاهش حجم رواناب و رسوب و در پی آن، کاهش اثرات مخرب زیست محیطی و اقتصادی منجر شود.

فهرست منابع

1. Arna´ez, J.; Larreab, V.; & L. Ortigosaa, 2004. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain, *Catena*, 57, 1-14.
2. Kamyab Hesari, A., 1985. Sediment control methods in forest roads, *Mazandaran (SID)*, 61 p. In Persian.
3. Dong, J.; Zhang, K.; & Z. Gou, 2012. Runoff and soil erosion from highway construction spoil deposits: A rainfall simulation study, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17 (1), 8- 14.
4. UNESSCO, 2009. Integrated Water Resources Management Guideline at Basin Level, Part 1, and 24p.
5. Ekwue, E. I.; Bharat, C.; & K. Samaroo, 2009. Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils, *Biosystems Engineering*, 102, 236 - 243.
6. Morgan, R. P. C., 2005. Soil erosion and conservation, Third Edition, Blackwell, 304 P.
7. Aruga, K.; Sessions, J.; & E. S. Miyta, 2005. Forest road design with soil sediment evaluation using a high-resolution DEM, *Japanese Forest Research*, 10, 471 - 479.
8. Ziegler, AD.; Sutherland, RA.; & TW. Giambelluca, 2001. Interstorm surface preparation and sediment detachment by vehicle traffic on unpaved mountain roads, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 235 - 50.
9. Elliot W .J.; Foltz, R. B.; & P. R. Robichaud, 2009. Recent finding related to measuring and modeling forest road erosion , 18th World IMACS/MODSIM Congress, *Cairns*, Australia 13- 17 July , 4078- 4084.
10. Sadeghi, S, C., & b. Yathrib., 1387. Soil and water conservation in forest ecosystems, publisher of printing, 107 pp. In Persian.
11. Foster, I. D. L.; Fullen, M. A.; Brandsma, R. T.; & A. S. Chapman, 2000. Drip-screen rainfall simulators for hydro- and pedo-geomorphological research: the Coventry experience , *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 691–707.
12. Martinez-Zavala, L.; Lopez, A. J.; & N. Bellinfante, 2008. Seasonal variability of runoff and soil loss on forest road backslope under simulated rainfall, *Catena*, 74, 73-79.
13. Parsakhoo, A., 2012. Investigation or runoff and soil loss rates on different parts of forest road structure rainfall simulator, Ph.D Thesis, *Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University Faculty 0f Natural Resources*, 154 page.
14. Moghadamirad, M.; Abdi, E.; Mohseni Saravi, M.; Rouhani, H.; & B. Majnounian, 2014. Effect of forest road gradient on amount of runoff and sediment, *Journal of Forest and Wood Products*, 64(4), 389 - 399.
15. Elliot, W. J., & L. M. Tysdal (1999). Understanding and reducing erosion from insloping roads, *Journal of Forestry*, 97(8), 30 - 34.
16. Akay, A. E.; Erdas, E. M.; Reis, M.; & A. Yuksel, 2008. Estimating sediment yield from forest road network by using a sediment predication model and GIS techniques, *Building and Environment*, 43, 678 - 695.
17. Anderson, D., & L. MacDonald., (1998). Modeling road surface sediment production using avector geographic information system, *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 95 - 107.

18. Sidle, R. C.; Sasaki, S.; Otsuki, M.; Noguchi, S.; & A. R. Nic, 2004. Sediment pathways in atropical Forest: Effects of logging roads and skid trails, *Hydrological Processes*, 18, 703 - 720.
19. Luce, C. H., & Black, T. A., (1999). Sediment production from forest roads in western Oregon, *Water Resources Research*, 35 (8), 2561 - 2570.
20. Zingg, A. W.,1940. Degreeand length of land slope as it affects soil loss in runoff, *Agric Eng*, 21, 59 – 64.
21. Fahey, B. D., & R. J. Coker., (1988). Forest road erosion in the grantic terrain of south-west Nelson, New Zealand, *Jornal of Hydrology*, 28,123 - 141.
22. James, A. B.; Ferreira N. J.; & J. Graham, 2004. Effects of near-surface environmental conditions on instability of an unsaturated soil slop, Canadian *Geotechnical Journal*, 41(6), 1111 - 1126.
23. Reid, L. M., & T. Dunne., (1984). Sediment production from forest road surfaces, *Water Resources Research*, 20 (11), 1753 - 1761.
24. Bilby, R. E.; Sullivan, K.; & S. H. Duncan, 1989. The generation and fate of road surface sediment in forested watersheds in southwestern Washington, *Forest Science*, 35(2), 453 - 468.
25. Poesen, J.; Ingelom-Sanchez, F.; & H. Mucher, 1990. The Hydrological response of soil surface to rainfall as affected by cover and position of roke fragment in the top layer, *Earth Surf. Processes Landforms*, 15, 653 - 671.
26. Ziegler, A. D.; Sutherland, R. A.; & T. W. Giambelluca, 2000. Runoff generation and sediment production on unpaved roads, footpaths and agricultural land surfaces in northern Thailand, *Earth Surf. Process. Landforms*, 25, 519 - 534.

Evaluating the Impact of Road Longitudinal Slope Angle in Forest Roads (Main Access and Main Roads) on Runoff and Soil Loss.

(Case Study: Gardeshi District, Mazandaran)

Fardin Moradzadeh: PhD Student of Forest Engineering, Forest Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

Seyed Ataollah Hosseini[1]**:** Associate Professor of Forest Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

Ehsan Abdi: Associate Professor of Forest Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

Ataollah Kavian: Associate Professor of Watershed Sciences and Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Sari

Article History (Received: 2017/06/10 Accepted: 2017/09/16)

Extended abstract

1- Introduction

Forest is a sustainable ecosystem with a high balance, and is characterized by non-eroded soils and sediment-free water. Forest roads serve as the largest construction activities and a component added to the forests which are required for the accessibility to forests and forest resources, logging, transportation, conservation, tourism, etc. However, these changes in the dynamic environment of forest structure cause many disruptions in the natural behaviors of environmental factors affecting the forest structure. Roads create surfaces without vegetation which can serve as a starting point for runoff, disrupting and diverting the natural flow and sudden accumulation of water, diverting the natural down-slope drainage route, accumulation of water and transmitting it to other sub-basins, changing the runoff pattern and carrying deposits due to the increased water velocity and ultimately the destruction of the forest. Studies have shown that forest roads are among the main sources of sediment transport into rivers, and approximately 90% of the sediment coming from a forested area into rivers originates from forest roads. Increased sediment transport into rivers can cause irreparable damages to water quality, ecosystems and aquatic organisms. Therefore, forest road experts should consider not only the road construction costs but also the environmental damages caused by the road operation.

2- Methodology

Among the challenges for forest managers is the accurate design and construction of forest roads with required standards and minimum possible costs. Ignoring these defined measures and standards will result in the financial and environmental damages. One of the most important standards for road construction is road longitudinal slope angle. Determining the relationship between road longitudinal slope angle with runoff amount and the volume of produced sediment helps to manage the road network for constructing new roads in accordance with the standards, to define new standards, and to predict the maintenance of roads.

This research aims at evaluating the impact of road longitudinal slope angle in the forest roads (Main Access and Main Roads) of Gardeshi district (Sari, Mazandaran Province) on runoff and soil loss through applying simulation techniques and artificial rainfall simulator in a completely randomized design on 1 m^2 plots with 4 replicates in 3 slope classes in each road. Then, sediment and runoff during rainfall simulation performed with a constant intensity of 60 mm h^{-1} was measured for 30 minutes in each slope class. The district was selected so that the

[1] **Corresponding Author:** at.hosseini@ut.ac.ir

other parameters such as road surface area, traffic, and rainfall were fixed, and only the effect of road longitudinal slope angle on runoff and sediment was addressed.

3- Results

Results showed the average produced runoff, runoff coefficient and sediment concentration in slope classes of 1 (3 – 5%), 2 (5 – 8%) and 3 (more than 8%) on grade 1 road. The runoff volumes were 15.9, 17, and 18.78 L m2, with the corresponding runoff coefficients of 53%, 56.66%, and 62.58% and soil loss values of 6.12, 9.05, and 12.38 g L-1, respectively. Results also showed the average produced runoff, runoff coefficient and sediment concentration in slope classes of 1 (0-3%), 2 (3-6%) and 3 (6-9%) on grade 2 road. The runoff volumes were 19.92, 21.25, and 22.8 L m2, with the corresponding runoff coefficients of 66.41%, 70.83%, and 76% and soil loss values of 8.51, 10.17, and 16.82 g L-1, respectively. Results of ANOVA showed a significant difference between the amount of runoff and sediment in road slope classes. The results of Tukey test indicated that runoff and sediment significantly increased with an increase in the slope. Results of Independent t-test showed that the mean values of runoff volume, runoff coefficient and sediment concentration were 23.33 L, 71% and 11.84 g per liter in the grade 2 road compared to 17.23 L, 57% and 9.18 g per liter in the grade 1 road. According to the F (0.85) and P (< 0.05) values, there was a significant difference in terms of the runoff and the coefficient between the two types of roads. Moreover, according to the F (0.85) and P (< 0.05) values, there was no significant difference in terms of sediment concentration between the two types of roads.

4- Discussion & Conclusions

It can be concluded that road longitudinal slope angle is one of the most important factors determining the amount of runoff and sediment on the road, so that the amount of runoff and sediment will increase with an increase in the slope, which should be considered according to the location of road.

Key Words: forest roads, Gardeshi district, rain simulator, road longitudinal slope angle, runoff, sediment