DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfpr.2012.107479

فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ٤، صفحهٔ ٦٤٤-٦٣٤، (۱۳۹۱)

تأثیر مقدار ترافیک بر فرسایش سطحی جاده جنگلی (مطالعه موردی: جنگل کوهمیان- آزادشهر)

مصطفی مقدمی‌راد[۱*]، احسان عبدی[۲]، محسن محسنی ساروی[۳]، حامد روحانی[٤] و باریس مجنونیان[۳]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
پست الکترونیک: Moghadami.mostafa@yahoo.com
۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
۳- استاد، دانشکده منابع طبیعی، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
٤- استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۳

چکیده

تولید رسوب از مهمترین اثرهای بعد از ساخت جاده‌های جنگلی می باشد. امروزه فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن، به یکی از مهمترین معضلات زیست‌محیطی تبدیل شده است. فرایند فرسایش جاده شامل جدا شدن ذرات و حمل رسوب توسط جریان آب یا رواناب به قسمت‌های پایین‌دست جاده یا ورود به سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد. بنابراین برآورد مقدار رسوب حاصل از جاده‌های جنگلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه به بررسی تأثیر مقدار ترافیک بر تولید رواناب و رسوب جاده جنگلی با استفاده از شبیه‌ساز باران پرداخته شد. با استقرار باران‌ساز و پلات یک مترمربعی روی سطح جاده، شبیه-سازی باران در مدت زمان ۳۰ دقیقه و شدت ۸۱ میلی‌متر بر ساعت انجام و رواناب تولیدی از خروجی پلات جمع‌آوری شد. نتایج حکایت از اختلاف معنی‌دار رواناب و رسوب دو جاده و میانگین مقدار رواناب برای جاده با ترافیک بالا و پایین به‌ترتیب ٤۹/۱ و ۲۲/۱ لیتر بر مترمربع و میانگین مقدار رسوب به‌ترتیب ۱٦٦/٤۱ و ۳٦/۷۵ گرم بر مترمربع داشت. معنی‌دار بودن اثر ترافیک بر مقدار رسوب و رواناب تأیید کننده این امر است که تعیین استاندارد و مقدار مصالح در مرحله ساخت و تعمیر و نگهداری باید با در نظر گرفتن ترافیک قابل انتظار انجام شود.

واژه‌های کلیدی: رواناب، رسوب، شبیه‌ساز باران، معضلات زیست محیطی.

مقدمه

احداث جاده‌های جنگلی برای دسترسی به جنگل به‌منظور استفاده از خدمات مختلف آن، اجرای عملیات حفاظتی و حمل و نقل محصولات چوبی و غیرچوبی یک نیاز اساسی بوده و در درآمد ملی کشور نقش ویژه‌ای دارد (Majnounian *et al*., 2005). بیشتر جاده‌های جنگلی در مناطق کوهستانی احداث می‌شوند که رسوب قابل توجهی را از طریق رواناب به رودخانه‌های جنگلی وارد کرده (Elliot *et al*., 2009; Beschta, 1978) و منبع مهم آلوده کننده آبهای سطحی به‌شمار می‌روند (Patric, 1976; Cornish, 2001). با افزایش نگرانی‌های عمومی در زمینه آثار کوتاه‌مدت و بلندمدت جاده‌های جنگلی بر محیط زیست به‌ویژه آلودگی رودخانه‌های آبخیز جنگلی، ساخت جاده‌های جنگلی مورد انتقاد قرار گرفته است (Elliot *et al*., 2009) و آثار منفی جاده‌ها مانند به خطر افتادن حیات اکوسیستم‌های آبی (Akay *et al*., 2008)، پُر شدن مخازن سدهای آبی و کاهش ظرفیت ذخیره آنها (Rafahi, 2006) مطرح شده است. بدین‌ترتیب سدهایی که با هزینه زیادی

ساخته شده‌اند پس از مدتی بازدهی خود را از دست می‌دهند. امروزه مباحث مربوط به فرسایش خاک به‌عنوان یکی از بحث‌های مهم در مدیریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست، منابع آبی و مدیریت جامع حوضه های آبخیز است (Anonymous, 2009). تخریب خاک، کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها به‌دلیل افزایش رسوب و آسیب به زیستگاه حیات آبزیان از مسائل مهمی هستند که ذهن محققان و مدیران را درگیر کرده است.

پژوهش‌ها نشان داده که حدود ۹۰ درصد از رسوباتی که از یک منطقه جنگلی وارد رودخانه‌ها می‌شود، از جاده‌های جنگلی نشأت می‌گیرد (Megahan, 1972; Van Lear *et al*., 1985; Appelboom *et al*., 2002). فرسایش جاده‌های جنگلی عمدتاً ناشی از تخریب سطح جاده به‌دلیل فقدان پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک و فشار بیش از حد بر واحد سطح به وسیله ماشین‌آلات سنگین است (Grace., 2002). عوامل زیادی در میزان رسوب تولیدی جاده‌های جنگلی نقش دارند که مقدار ترافیک یکی از مهم‌ترین آنها به‌شمار می‌رود (Grayson *et al*., 1993; Ramos- Scharron & MacDonald, 2005; Sheridan & noske, 2007). روش‌های مختلفی برای تعیین اثر جاده‌ها بر تولید رسوب و با هدف کمی نمودن مقدار فرسایش در رابطه با جاده‌های جنگلی بکار برده شده است که براساس هدف و دقت اندازه‌گیری متفاوت می‌باشند (Elliot *et al*., 2009). در گذشته این پژوهش‌ها مقدار رسوب ایجاد شده را در خروجی حوضه آبخیز مورد بررسی قرار داده و قادر به تفکیک رسوب تولیدی سطح جاده و سایر منابع تولید رسوب همانند ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی نبودند (Kahklen, 2001). در سالهای اخیر یکی از روش‌های متداول و مورد قبول در برآورد فرسایش جاده‌ای استفاده از باران‌ساز است که وسیله مناسبی برای مقایسه فرسایش و رواناب در مناطق جنگلی به‌شمار می‌رود (Sheridan *et al*., 2008; Jordan & Martinez-Zavala, 2008). باران‌ساز ابزار مؤثری در درک فرسایش خاک و رواناب تولیدی در شرایط کنترل شده است و قابلیت تکرار زیاد آزمایش‌های شبیه‌سازی باران را دارد. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان گفت که بهترین حالت استفاده از باران‌ساز، کاربرد در اهداف مقایسه‌ای فرسایش و رواناب است (Jordan & Martinez-Zavala, 2008). تاکنون در این زمینه پژوهشگران زیادی به مطالعه پرداخته‌اند که ازجمله Reid & Dunne (1984) به بررسی نقش ترافیک در جاده‌های جنگلی ایالت واشینگتون آمریکا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مقدار ترافیک در جاده‌های جنگلی، مقدار رسوب تولیدی جاده افزایش می‌یابد. Dube *et al*. (2004) با بررسی ۱۷ مطالعه انجام شده در زمینه فرسایش جاده در مناطق کوهستانی غرب آمریکا به این نتیجه رسیدند که مقدار رسوب حاصل از جاده‌هایی با ترافیک کم بسیار کمتر از جاده‌هایی است که ترافیک متوسط یا بالایی دارند. Croke *et al*. (2006) با بررسی اثر ترافیک بر مقدار رسوب تولیدی جاده (با طول و شیب مساوی جاده) در جنوب استرالیا به این نتیجه رسیدند که مقدار رسوب جاده‌هایی با ترافیک بالا ۳۰ برابر جاده‌هایی است که ترافیک در آن کم بوده است. Akay *et al*. (2008) به بررسی مقدار رسوب حاصل از جاده‌های جنگلی در ترکیه با استفاده از مدل SEDMODL پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که عامل حمل و نقل، مهمترین فاکتور در تولید رسوب در جاده‌هایی با مقدار ترافیک بالاست. Jordan-Lopez *et al*. (2009) با استفاده از باران‌ساز اثر قسمت‌های مختلف جاده‌های جنگلی مناطق مدیترانه‌ای را در مقدار رسوب تولیدی بررسی کرده و دریافتند که مهمترین عوامل تولید رسوب در سطح جاده‌ها ترافیک وسایل نقلیه است. Foltz *et al*. (2009) مطالعه‌ای به‌منظور تعیین مقدار رواناب و غلظت رسوب در دو جاده جنگلی دارای ترافیک بالا و کم در منطقه

شمال آیداهو آمریکا با استفاده از باران‌ساز و پلات یک مترمربعی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار رواناب و غلظت رسوب در جاده‌های جنگلی با ترافیک بالا، به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی و تغییر در ویژگی‌های فیزیکی خاک بیشتر است.

با توجه به مطالب بیان شده، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ترافیک بر مقدار رواناب و رسوب در سطح جاده با بکارگیری باران‌ساز بود. با برآورد مقدار رسوب و رواناب در هر جاده مشخص خواهد شد که ترافیک وسایل نقلیه تا چه اندازه در رواناب و رسوب تولیدی جاده افزایش ایجاد خواهند کرد. دانستن این مطلب می‌تواند در تعیین نوع و مقدار مصالح با توجه به ترافیک قابل انتظار در مرحله ساخت، تعیین دوره زمانی مناسب عملیات تعمیر و نگهداری، و در نهایت جلوگیری از آسیب رساندن به زیرسازی جاده و ماشین‌آلات بهره‌برداری و افزایش هزینه‌های تعمیر جاده مورد استفاده قرارگیرد.

مواد و روشها

منطقه مورد بررسی

جنگل کوهمیان با مساحتی بالغ بر ۳۶۷۱ هکتار در حوضه آبخیز ۸۹ جنگل‌های شمال کشور قرار دارد. این سری از نظر تقسیمات اداری در حوزه استحفاظی اداره کل منابع طبیعی استان گلستان- گرگان و اداره منابع‌طبیعی آزادشهر قرار دارد. این جنگل در ۳ کیلو متری شرق شهرستان آزادشهر واقع شده است. جنگل‌های این منطقه تقریباً از جلگه شروع و تا ارتفاع ۱۶۰۰ متر امتداد دارد. میانگین بارش در این منطقه ۷۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. اقلیم منطقه مورد نظر در طبقه‌بندی آمبرژه، از نوع نیمه‌مرطوب و معتدل تا مرطوب معتدل و دمای متوسط حداقل: ۱۰/۶۸، دمای متوسط حداکثر: ۲۲/۹۸ و متوسط دما: ۱۶/۸۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گونه‌های درختی غالب در منطقه شامل انجیلی، ممرز و بلوط است. جاده‌های جنگلی منطقه دارای سطح رویه شنی هستند که عرض حدود ۵/۵ متر دارند (Anonymous, 1995). این جنگل دارای ۲ شبکه جاده است. یکی از این جاده‌ها به‌طول ۱۳ کیلومتر است و زمان پایانی ساخت این جاده به سال ۱۳۷۳ بر می‌گردد. شبکه جاده دیگر به‌طول ۸/۵ کیلومتر است که در سال ۱۳۸٤ ساخته شده است. در جاده پُرترافیک عبور و مرور فراوان روستاییان به‌منظور دسترسی به زمین‌های کشاورزی و همچنین استفاده ساکنان شهر به‌منظور اوقات فراغت و تردد فراوان ماشین‌آلات و کامیون‌های حمل چوب در ایام بهار و تابستان دیده می‌شود. جاده کم‌ترافیک در سال‌های اخیر به‌دلیل توقف عملیات بهره‌برداری در پارسل‌های محدوده جاده بلااستفاده باقی مانده و به‌دلیل شیب بیشتر این جاده و پیچ‌های بیشتر، خیلی کم به‌منظور اوقات فراغت توسط اهالی منطقه استفاده می‌شود.

روش انجام تحقیق

در این پژوهش با بهره‌گیری از باران‌ساز Deltalab Eid330 ساخت کشور فرانسه (شکل۱)، اقدام به اندازه‌گیری مقدار رواناب و رسوب در دو جاده جنگلی با مقدار ترافیک زیاد و کم که به‌ترتیب مقدار تردد وسایل نقلیه بین ۷۰ تا ۱۰۰ وسیله نقلیه و ۱ تا ۳ وسیله نقلیه در روز در این جاده‌ها طبق مشاهدات میدانی در منطقه و نظر کارشناسان طرح بود، شد. از وسایل نقلیه‌ای که در این جاده‌ها تردد دارند می‌توان به کامیون‌های حمل چوب‌آلات و اسکیدرها به‌منظور عملیات بهره‌برداری، تراکتورها به‌منظور فعالیت‌های کشاورزی و وسایل نقلیه شخصی که به‌منظور اهداف تفرجی می‌باشد اشاره کرد.

در زمان ساخت جاده جدید، بخش‌هایی از جاده قدیمی هم مورد تعمیر روسازی قرار گرفت و از مصالح مورد استفاده در جاده تازه‌ساخت در این جاده نیز استفاده

شده است، بنابراین شرایط سطح جاده برای هر دو جاده یکسان بود.

شکل۱- استقرار باران‌ساز در سطح جاده به‌منظور جمع‌آوری مقدار رواناب و رسوب

با توجه به این نکته و استقرار باران‌ساز در این دو جاده با در نظر گرفتن شرایط کاملاً مشابه از نظر شیب که توسط شیب‌سنج سونتو تعیین شد و همچنین مقدار رطوبت که با استفاده از رطوبت‌سنج قابل حمل مدل HB-2 ساخت کشور ژاپن و تراکم مصالح با استفاده از مقاومت‌سنج قابل حمل بدست آمد، اقدام به همانندسازی باران در طولی از جاده با متوسط شیب ۷ درصد توسط نمونه‌های کاملاً تصادفی با شدت ۸۱ میلی‌متر بر ساعت (شدتی برابر با ۲۵ سال دوره بازگشت) و زمان ۳۰ دقیقه با ۳ تکرار در هر جاده شد. میانه قطر قطرات در شدت مورد مطالعه برابر ۱/۰۲ بوده است (Bubenzer, 1979). پلات مورد استفاده در این مطالعه به‌مساحت ۱ مترمربع (۱ متر در ۱ متر) با توجه به مدل نازل باران‌ساز (۸۰۱۰۰) و از ورق فولادی (Foltz *et al*., 2009) به ضخامت ۵ میلی‌متر ساخته شد تا قابلیت کوبیدن در بستر جاده را توسط پتک داشته باشد. نازل در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین توسط پایه‌های مخصوص قرار داده شد (شکل۱). محل تخلیه رواناب در انتهای پلات و توسط حفر گودال در زیر خروجی و قرار دادن بشر در گودال مورد نظر جمع‌آوری شد. جدول۱ مشخصات دو جاده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول۱- مشخصات دو جاده مورد مطالعه در جنگل کوهمیان

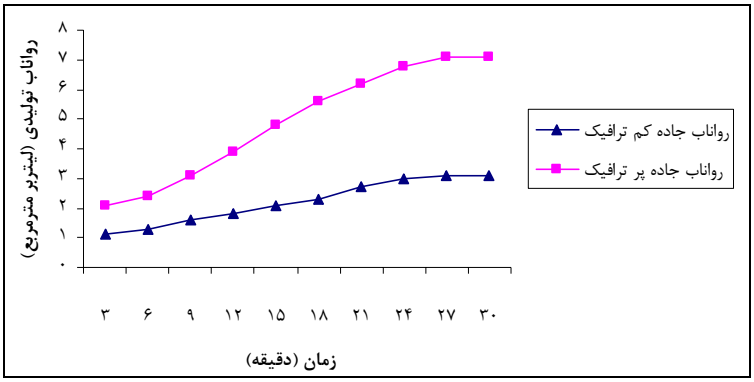
جاده	عرض بستر	شیب بستر (درصد)	نوع روسازی	تراکم مصالح (مگاپاسکال)	مقدار رطوبت (درصد)	مقدار ترافیک
۱	۵/۵	۷	شنی	٤/۳۵	۵	کم
۲	۵/۵	۷	شنی	٤/۳۵	۵	زیاد

به‌منظور دستیابی به ویژگی‌های بارندگی منطقه جنگلی مورد نظر با استفاده از باران‌ساز، از داده‌های مربوط به ایستگاه هواشناسی نوده خاندوز واقع در ٤ کیلومتری منطقه استفاده شد. متوسط درجه حرارت هوا طی انجام آزمایش ۲۷ درجه سانتی‌گراد بود. آب مورد نیاز دستگاه نیز توسط مخزن ۱۰۰ لیتری و توسط دینام به نازل منتقل می‌شد. پس از هر بار همانندسازی بارش توسط باران‌ساز، حجم رواناب با اندازه‌گیری مستقیم توسط استوانه مدرج در هر ۳ دقیقه یکبار طی زمان ۳۰ دقیقه (۱۰بار نمونه‌گیری در هر بار همانندسازی) جمع‌آوری شد. با ثبت فاصله زمانی آغاز بارش تا آغاز رواناب توسط زمان‌سنج آستانه آغاز رواناب تعیین شد (Engel *et al*., 2009). پس از جمع‌آوری کل رواناب در هر دوره زمانی، رواناب حاصله به‌خوبی هم زده و دوباره یک نمونه کوچک ۵۰۰ میلی‌لیتری (Ramos-Scharron & MacDonald, 2007; Sheridan *et al*., 2008) گرفته شد. این نمونه‌ها به‌منظور

اندازه‌گیری رسوب به آزمایشگاه منتقل و پس از عبور از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ و استفاده از دستگاه اون (Oven) در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس (Hartanto *et al.*, 2003; Foltz *et al.*, 2009) به‌مدت ۲۴ ساعت خشک و توزین شد. سپس از این مقدار رسوب بدست آمده با توجه به حجم رواناب تولیدی در هر دوره زمانی، مقدار رسوب کل در هر دوره زمانی محاسبه شد. در نهایت از مجموع مقدار رواناب و رسوب در هر دوره زمانی، رواناب و رسوب کل در مدت زمان ۳۰ دقیقه و به‌مساحت ۱ مترمربع بدست آمد. میانگین‌های مربوط به دو جاده با استفاده از آزمون t-test مقایسه شدند. به‌منظور بررسی ارتباط زمان و مقدار رواناب و رسوب از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شد.

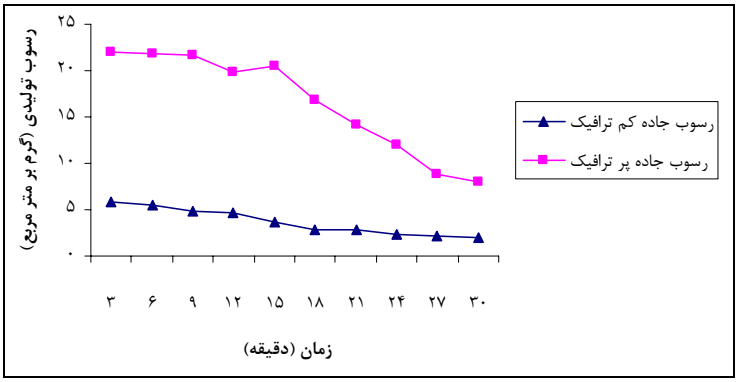
نتایج

شکل‌های۲ و ۳ روند تغییرات مقدار متوسط رواناب و رسوب تولیدی دو جاده پُرترافیک و کم‌ترافیک را نشان می‌دهند.



شکل۲- روند تغییرات مقدار رواناب تولیدی دو جاده در دوره‌های زمانی

با توجه به شکل۲ روند مقدار رواناب در دوره‌های زمانی همانندسازی به‌دلیل کاهش نفوذپذیری و افزایش درصد اشباع بستر جاده افزایش می‌یابد. نتایج بررسی ارتباط زمان و مقدار رواناب نشان داد که بهترین تابع برای هر دو جاده تابع توانی بوده، بدین‌معنی که با افزایش زمان به‌صورت توانی بر مقدار رواناب افزوده می‌شود. در مورد جاده با ترافیک پایین و بالا به‌ترتیب ضرایب تبیین (R^2) برابر با ۰/۹۸ و اشتباه معیار برآورد (Standard Error of Estimation) ۰/۰۷۳ و ۰/۰۹۶ بود. همچنین آنالیز واریانس نشان داد که روابط مورد نظر در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است (ترافیک کم: F= 226.64, P= 0.000 و ترافیک بالا: F= 197.09, P= 0.000).



شکل۳- روند تغییرات مقدار رسوب تولیدی دو جاده در دوره‌های زمانی

با توجه به شکل۲ تغییرات مقدار رسوب در دوره‌های زمانی مربوطه روند کاهشی دارد و این بدان معنی است که بیشترین مقدار فرسایش در زمان‌های اولیه بارش و در اثر برخورد قطرات باران به سطح جاده و جدایی ذرات و حمل آن‌ها می‌شود. نتایج بررسی ارتباط زمان و مقدار رسوب نشان داد که بهترین تابع برای هر دو جاده تابع نمایی بوده بدین معنی که با افزایش زمان رسوب به صورت نمایی کاهش می‌یابد. در مورد جاده با ترافیک پایین و بالا به ترتیب ضرایب تبیین (R^2) برابر با ۰/۹۸٦ و ۰/۹۳۸ و اشتباه معیار برآورد (Standard Error of Estimation) ۰/۰۷۰ و ۰/۱٤۱ و همچنین آنالیز واریانس نشان داد که روابط مورد نظر در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است (ترافیک کم: F=279.88, P=0.000 و ترافیک بالا: F=58.57, P=0.000). نتایج نشان داد که مقدار رواناب و رسوب دو جاده با کلاسه‌های مختلف ترافیک از نظر آماری معنی‌دار است. نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌ها در جدول‌های۲ و۳ آمده است.

جدول۲- آزمون t-test متوسط مقدار رواناب (لیتر بر مترمربع)

جاده	تعداد	میانگین ± انحراف معیار	*p* value
کم‌ترافیک	۳	۲۲/۱±۲/۵۵	۰/۰۰۰
پرترافیک	۳	٤۹/۱±٤/۱	

جدول۳- آزمون t-test متوسط مقدار رسوب (گرم بر مترمربع)

جاده	تعداد	میانگین ± انحراف معیار	*p* value
کم‌ترافیک	۳	۱۳٦/۷۵±۳/۹۱	۰/۰۰۰
پرترافیک	۳	۱٦٦/٤۱±۱۳/۱۷	

همچنین متوسط فاصله زمانی آغاز بارش تا آغاز رواناب برای جاده با ترافیک زیاد و کم به‌ترتیب ۲۱ و ٥٦ ثانیه بدست آمد (جدول٤) که این زمان در جاده با ترافیک کم ۲/٦ برابر جاده با ترافیک زیاد می‌باشد.

جدول٤- آزمون t-test آستانه ظهور رواناب دو جاده کم‌ترافیک و پرترافیک

جاده	تعداد	میانگین ± انحراف معیار	*p* value
کم ترافیک	۳	٥٦/۰۰±۳/۰۰	۰/۰۰۰
پر ترافیک	۳	۲۱/۰۰±۱/۰۰	

بحث

توجه به مسئله فرسایش عامل مهمی در مناطق جنگلی محسوب می‌شود، زیرا مقدار فرسایش طبیعی در این مناطق بسیار ناچیز است (Ramos-Scharron & MacDonald, 2005). تحقیقات نشان می‌دهد که مقدار فرسایش در جاده‌هایی با ترافیک پایین، حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد مقدار فرسایش جاده‌هایی با ترافیک بالاست (Foltz, 1999; Luce & Black, 2001) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد که مقدار رسوب در جاده مورد مطالعه با ترافیک پایین حدود ۲۲ درصد جاده با ترافیک بالاست. البته قابل ذکر است که جاده‌های منطقه مورد مطالعه با جاده‌های محققان نام برده شده در نوع سطح رویه جاده تفاوت دارند. Welsh (2008) طی مطالعه‌ای در منطقه کلرادو به این نتیجه رسید که مقدار فرسایش در جاده‌هایی با ترافیک پایین خیلی کمتر از جاده‌هایی است که ترافیک بالایی دارند که با نتایج پژوهش حاضر همسو است. Elliot *et al*. (2009) مقدار

فرسایش جاده‌هایی با ترافیک خیلی کم یا بدون ترافیک را ۷۰ تا ۸۰ درصد کمتر از جاده‌های پُرترافیک می‌دانند. نتایج این مطالعات حکایت از تأثیر بالای مقدار ترافیک جاده در مقدار رسوب تولیدی دارد. بنابراین نوع و تراکم مناسب مصالح در بستر جاده می‌تواند کمک مؤثری به کاهش مقدار رسوب تولیدی بستر جاده از طریق مقاومت در برابر فرسایش پاشمانی در دوره‌های بارندگی نماید (Arnaez *et al*., 2004). Foltz & Burroughs (1990) طی مطالعه‌ای مقدار رسوب تولیدی بستر جاده را از سطوح با کیفیت پائین ٤ تا ۱۷ برابر بیشتر از مقدار رسوب حاصل از سطوح با کیفیت بالای بستر جاده را گزارش کرده‌اند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. این مقدار رسوب در منطقه مورد مطالعه در جاده با ترافیک بالا حدود ٤ برابر جاده با ترافیک پایین است. همچنین این محققان تولید رسوب جاده‌هایی با عبور و مرور فراوان کامیون‌های حمل گرده‌بینه را ۲ تا ۲۵ برابر بیشتر از بخش‌های بدون عبور و مرور می‌دانند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. البته جاده‌هایی با ترافیک پایین مقدار رواناب و رسوب کمتری نیز دارند (Ziegler *et al*., 2001; Foltz *et al*., 2009). بنابراین همان‌طور که نتایج نشان داد ترافیک اثر معنی‌داری بر روی مقدار فرسایش‌پذیری جاده دارد. این آثار معمولاً توسط عوامل زیر ایجاد می‌گردد:

۱- توسعه و ایجاد شیار در سطح جاده

در طی تردد ماشین‌آلات در بستر جاده خطوط مشخصی بر روی جاده قابل مشاهده می‌باشد که این خطوط با گذشت زمان و ادامه عبور و مرور ماشین‌آلات و به‌ویژه طی باران‌های شدید توسعه یافته و تبدیل به شیار و گالی‌های کم‌عمق می‌شوند (Arnaez *et al*., 2004). رد چرخ تأثیر منفی روی خواص هیدرولیکی بستر جاده، افزایش فشردگی و کاهش نفوذپذیری دارد (Basher & Ross, 2001) و جریان یافتن آب در مسیرهای رد چرخ باعث افزایش مقدار فرسایش و سرعت رواناب می‌شود (Fullen, 1985; Reed, 1986; Auzet *et al*., 1995). با گذشت زمان و به‌ویژه طی تردد کامیون‌های حمل چوب و ماشین‌آلات سنگین بهره‌برداری و حمل و نقل چوب شیارها و گالی‌های کم عمق تبدیل به گالی‌های عمیق می‌شوند که باعث افزایش فرسایش جاده‌ای می‌شود (Elliot *et al*., 2009). در این حالت بستر جاده مصالح سطحی خود (شن و سنگ‌ریزه) را از دست داده و پس از تخریب زیرسازی راه‌ها، با مصالح ساختمانی زیرین راه‌های جنگلی که خاک و عمدتاً از مصالح طبیعی محل می‌باشد مخلوط می‌شود که در این صورت احتمال گیر کردن وسایل نقلیه و یا در موارد شدید احتمال واژگونی آن وجود دارد. استفاده از مصالح مناسب زیرسازی و تراکم آن و استفاده از مصالح شنی در سطح رویی سبب افزایش ظرفیت هیدرولیکی و باربری سطح جاده و کاهش فرسایش و رسوب خواهد شد (Elliot *et al*., 2009). از سوی دیگر جلوگیری از تردد ماشین‌آلات در فصول مرطوب از توسعه شیار و گالی در سطح جاده می‌کاهد (Elliot *et al*., 2009). در صورت لزوم عملیات تسطیح جاده می‌تواند مکان‌های تجمع هرزآب (شیارها و رد چرخ‌ها) را از بین ببرد و فرسایش را کاهش دهد (Haydon *et al*., 1991; Foltz & Burroughs, 1990).

۲- فشار ناشی از چرخ وسایل نقلیه به‌ویژه ماشین‌آلات سنگین در واحد سطح

از نظر ترافیک، کامیون‌های سنگین حمل ونقل چوب‌آلات مهمترین عامل افزایش رواناب و رسوب در جاده‌های جنگلی محسوب می‌شوند (Reid & Dunne, 1984). Reid & Dunne (1984) و Foltz (1999) نشان دادند که نیروی وارد بر سطح جاده توسط چرخ کامیون‌های حمل گرده‌بینه و ماشین‌آلات چوبکشی و بهره‌برداری روی جاده سبب افزایش رسوب جاده‌ای می‌شود. Reid & Dunne

(1984) گزارش کردند که عبور و مرور وسایل نقلیه باعث خرد شدن مواد سطحی جاده می‌شود و آنها را به ذرات ریز قابل حمل تبدیل می‌کند. پاشیدگی ذرات سطح جاده از هم و مستعد برای فرسایش و در نتیجه حمل رسوب از مشکلات مهم ترافیک در جاده‌های جنگلی است (Elliot & Tysdal, 1999; Bilby *et al*., 1989). همچنین ترافیک زیاد و سنگین باعث فشردگی و تراکم بستر جاده شده که از مشکلات آن افزایش رواناب تولیدی بستر جاده است (Croke *et al*., 1999; Bubb & Croton, 2002). البته تراکم و فشردگی سطح جاده یک مزیت به‌منظور کاهش جدایی ذرات سطح جاده و فرسایش می‌شود که در این صورت باید با توجه به تولید رواناب بیشتر به مسئله زهکشی سطحی جاده (Road template) توجه خاصی نمود. تناوب عملیات تعمیر و نگهداری جاده از طریق تعمیر روسازی و جایگزین کردن مواد از دست رفته و همچنین حفظ استانداردهای اولیه طراحی جاده نیز می‌تواند در کاهش مقدار رسوب تولیدی از سطح جاده مؤثر باشد (Fahey & Coker, 1989).

مصالح بستر جاده نیز یکی از عوامل تأثیرگذار بر مقدار رواناب و رسوب جاده می‌باشند (Fu *et al*., 2010). مصالحی با چسبندگی کم، حاوی سیلت یا شن ریز و همچنین کمبود سنگ‌ریزه در این مصالح می‌تواند تأثیر زیادی بر افزایش مقدار رسوب و رواناب داشته باشد (Burroughs *et al*., 1992). بنابراین انتخاب مصالح مرغوب یکی از راهکارهای مناسب در کاهش مقدار رسوب و رواناب در اثر ترافیک و مدیریت شبکه جاده است. Luce & Black (1999) استفاده از شن با کیفیت مرغوب را بهترین نوع مصالح روسازی بستر جاده می‌دانند. از آنجایی که سطح رویه جاده طرح مورد نظر از نوع مصالح شنی می‌باشد و در بعضی نقاط این مواد سطحی فرسایش یافته و شسته شده‌اند، بنابراین این مواد دوباره باید به سطح جاده در طی عملیات تعمیر و نگهداری جاده بازگردانده شوند. استفاده از شن برای بستر جاده به‌منظور کاهش رسوب و عدم رسیدن آن به رودخانه عامل مؤثری است (Ursic & Douglass, 1978; Kochenderfer & Helvey, 1987). زمانی تأثیر و پایداری این مواد بیشتر خواهد بود که مصالح شنی در ضخامت‌های بیش از ۵ سانتی‌متر در روی بستر ریخته شوند (Anonymous, 2000). استفاده از مصالح سیلتی به‌منظور روسازی مناسب نمی‌باشد، زیرا این مواد از فرسایش‌پذیرترین مصالح هستند و ورود این مواد به رودخانه سبب کاهش شفافیت آب و تیرگی و کدری آب شده و آثار زیان‌باری بر ماهی‌ها و دیگر جانداران موجود در اکوسیستم آبی دارند. وجود سنگ‌ریزه در مصالح شنی بستر جاده عامل مؤثری در افزایش ظرفیت هیدرولیکی سطح جاده است که سبب کاهش رواناب و فرسایش می‌شود (Elliot *et al*., 2009).

به‌طور کلی نتایج این مطالعه تأثیر معنی‌دار ترافیک بر مقدار افزایش رواناب و رسوب را نشان داد. بنابراین انتخاب کیفیت مصالح متناسب با ترافیک قابل انتظار می‌تواند به‌مقدار زیادی در کنترل فرایند رواناب و تولید رسوب نقش داشته باشد. از راهکارهای دیگر مدیریتی برای کنترل فرسایش سطح می‌توان به اقداماتی نظیر: ساخت مناسب جاده مطابق با استاندارد ساخت جاده‌های جنگلی و همچنین عملیات تعمیر و نگهداری جاده در دوره‌های زمانی مناسب پس از ساخت جاده اشاره نمود.

سپاسگزاری

از آقایان میری، سنچولی، صیفی، زارعی و آشکارکلایی دانشجویان گروه منابع‌طبیعی دانشگاه گنبدکاووس به‌دلیل استقرار باران‌ساز در سطح جاده و خانم‌ها قره محمودلی و ترکاشوند دانشجویان کارشناسی ناپیوسته مرتع و آبخیزداری دانشگاه گنبد به‌دلیل جمع‌آوری نمونه‌های رواناب و رسوب تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

harvesting and forest regeneration on stream water turbidity levels in a moist eucalypt forest. Forest Ecology and Management, 152: 293-312.

- Croke, J.C., Hairsine, P. and Fogarty, P., 1999. Runoff generation and redistribution on disturbed forest hillslopes, south eastern Australia. Journal of Hydrology, 216: 55-77.
- Croke, J., Mockler, S., Hairsine, P. and Fogarty, P., 2006. Relative contributions of runoff and sediment from sources within a road prism and implications for total sediment delivery. Earth Surface Processes and Landforms, 31(4): 457-468.
- Dube, K., Megahan,W. and Mccalmon, M., 2004. Washington Road Surface Erosion Model (WARSEM) Manual. Department of Natural Resources, State of Washington, 189 p.
- Elliot, W.J., Foltz, R.B. and Robichaud, P.R., 2009. Recent findings related to measuring and modeling forest road erosion. In: Proc. 18th World IMAC/MODSIM Congress Cairns, Australia: 4078-4084.
- Elliot, W.J. and Tysdal, L.M., 1999. Understanding and reducing erosion from insloping roads. Journal of Forestry, 97(8): 30-34.
- Engel, F.L., Bertol, I., Ritter, S.R., Paz Gonzalez, A., Paz-Ferreiro, J. and Vidal Vazquez, E., 2009. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phonological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. Soil and Tillage Research, 103: 216-221.
- Fahey, B.D. and Coker, R.J., 1989. Forest road erosion in the granite terrain of Southwest Nelson. New Zealand. Journal of Hydrology, 28(2): 123-141.
- Foltz, R.B., 1999. Traffic and no-traffic on an aggregate surfaced road: Sediment production differences. Paper presented at seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport, Rome, Italy FAO, 26p.
- Foltz, R.B. and Burroughs, ER, 1990. Sediment production from forest road with wheel ruts. In: proceedings of a symposium on watershed planning and analysis Durango CO. ASCE: 266-275.
- Foltz, R.B., Copeland, N.S. and Elliot, W.J., 2009. Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interill erosion parameters. Journal of Environmental Management, 90: 2542-2550.
- Fu, B., Newham, L.T. and Ramos-Scharron., C.E., 2010. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. Environmental Modeling and Software, 25: 1-14.
- Fullen, M.A., 1985. Compaction, hydrological processes and soil erosion on lomy sands in east Shropshire, England. Soil Tillage Research, 6: 17-29.

References

- Akay, A.E., Erdas, E.M., Reis, M. and Yuksel, A., 2008. Estimating sediment yield from forest road network by using a sediment predication model and GIS techniques. Building and Environment, 43: 678-695.
- Anonymous, 1995. Kouhmian's Forest management Plan Booklet. Golestan General Office of Natural Resources and Watershed Management, 250 p.
- Anonymous, 2000. Handbook of control and mitigation measures for silvicultural operations. National Council for Air and Stream Improvement, Inc. (NCASI), Unpublished draft Technical Bulletin, Research Triangle Park, USA, 202 p.
- Anonymous, 2009. Integrated water resources management guidelines river basin level. Part 1, UNESCO, 24 p.
- Appelboom, T.W., Chescheir, G.M., Skaggs, R.W. and Hesterberg, D.L., 2002. Management practices for sediment reduction from forest roads in the coastal plains. Transactions of the Asae 45(2): 337-344.
- Arnaez, J., Larrea, V. and Ortigosa, L., 2004. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. Catena, 57: 1-14.
- Auzet, A.V., Boiffin, J. and Ludwig, B., 1995. Concentrated flow erosion in cultivated catchments: influence of soil surface state. Earth surf. Proc. Landforms, 20: 759-767.
- Basher, L.R. and Ross, C.W., 2001. Role of wheel tracks in runoff generation and erosion under vegetable production on a clay loam soil at pukekohe, New Zealand. Soil & Tillage Research, 62: 117-130.
- Beschta, R.L., 1978. Long-term patterns of sediment production following road construction and logging in the Oregon Coast Range. Water Resources Research, 14(6):1011-1016.
- Bilby, R.E., Sullivan, K. and Duncan, S.H., 1989. The generation and fate of road surface sediment in forested watersheds in southwestern Washington. Forest Science, 35(2): 453-468.
- Bubb, K. and Croton, J., 2002. Effects on catchment water balance from the management of *Pinus* plantations on the coastal lowlands of south-east Queensland, Australia. Hydrology Processes, 16: 105-117.
- Bubenzer, G.D., 1979. Rainfall characteristics important for simulation. In: Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop, Tucson Arizona, March 7-9, U.S. Department of Agriculture Science and Education Administration, Agricultural Reviews and Manuals: 22-34.
- Burroughs, E.R.Jr., Luce, C.H. and Phillips, F., 1992. Estimating interrill erodibility of forest soils. Trans Asae, 35(5): 1489-1495.
- Cornish, P.M., 2001. The effects of roading,

- Grace, J.M., 2002. Effectiveness of vegetation in erosion control from forest road sideslopes. Trans. Asae, 45(3): 681-685.
- Grayson, R.B., Haydon, S.R., Jayasuriya, M.D.A. and Finlayson, B.L., 1993. Water quality in mountain ash forests, separating the impacts of roads from those of logging operations. Journal of Hydrology, 150(2–4): 459-480.
- Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A.S.E. and 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.
- Haydon, S.R., Jayasuriya, M.D.A. and O'Shaughnessy, P.J., 1991. The effect of vehicle use and road maintenance on erosion from unsealed roads in forests: the Road 11 Experiment, Melbourne, Victoria, Australia. Melbourne Water, report MMBW-W-0018, 131 p.
- Jordan, A. and Martınez-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.
- Jordan-Lopez, 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. Science of the Total Environment, 4(7): 937-944.
- Kahklen, K., 2001. A Method for Measuring Sediment Production from Forest Roads. Research Note PNW-RN-529, Portland, OR., USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 17 p.
- Kochenderfer, J.N. and Helvey, J.D., 1987. Using gravel to reduce soil losses from minimum standard forest roads. J. Soil and Water Conservation, 42(1): 46-50.
- Luce, C.H. and Black, T.A., 1999. Sediment production from forest roads in western Oregon. Water Resour. Res., 35(8): 2561-2570.
- Luce, C.H. and Black, T.A., 2001. Effects of traffic and ditch maintenance on forest road sediment production. Proceedings of the seventh federal interagency sedimentation conference, Reno, Nevada, 25-29 March: 67-74.
- Majnounian, B., Nikooy, M. and Mahdavi, M., 2005. Cross drainage design of forest road in shafarood basin. Iranian Journal of Natural Research, 58(2): 339-350.
- Megahan, W.F., 1972. Logging, erosion, sedimentation: Are they dirty words? J. Forestry, 70(5): 403-407.
- Patric, D., 1976. Designing and locating logging roads to control sediment. Journal of Forest Science, 13(1): 101-104.
- Rafahi, H.Gh., 2006. Water Erosion and Conservation. University of Tehran Press (5th edittion), 671 p.
- Ramos-Scharron, 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(10): 1283-1304.
- Ramos-Scharron, C.E. and MacDonald, L.H., 2007. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, U.S. Virgin Islands. Catena, 71: 250-266.
- Reed, A.H., 1986. Soil loss from tractor wheelings. Soil and Water, 14: 12-14.
- Reid, L.M. and Dunne, T., 1984. Sediment production from forest road surfaces. Water Resource Research, 20(11): 1753-1761.
- Sheridan, G.J. and Noske, P.J., 2007. A quantitative study of sediment delivery and stream pollution from different forest road types. Hydrological Processes, 21(3): 387-398.
- Sheridan, G.J., Noske, P.J., Lane, P.N.J. and Sherwin, C.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(1): 49-62.
- Ursic, S.J., and Douglass, J.E., 1978. The effects of forestry on water resources. Proceedings of the W. Kelly Mosley Environmental Forum, May 10-11, Auburn University Press: 33-49.
- Van Lear, D.H., Douglass, J.E., Cox, S.K. and Augspurger, M.K., 1985. Sediment and nutrient export in runoff from burned and harvested pine watersheds in the South Carolina Piedmont. Journal of Environment Qual., 14(2): 169-174.
- Welsh, M.J., 2008. Sediment production and delivery from forest roads and off-highway vehicle trails in the upper South Platte river watershed, Colorado. Unpublished M.S. thesis. Fort Collins, Colorado State University, 237 p.
- Ziegler, A.D., Sutherland, R.A. and Giambelluca, T.W., 2001. Interstorm surface preparation and sediment detachment by vehicle traffic on unpaved mountain roads. Earth Surface Processes and Landforms, 26: 235-250.

The effect of traffic on forest road surface erosion (Case study: Kohmian forest- Azadshahr)

M. Moghadami [1*], E. Abdi [2], M. Mohseni Saravi [3], H. Rouhani [4] and B. Majnounian [3]

1*-Corresponding author, M.Sc. student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Moghadami.mostafa@yahoo.com
2- Assistant professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4- Assistant professor, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Gonbad e Kavoos, Iran
Received: 26.0.9.2011 Accepted: 12.06.2012

Abstract

Sediment production is one of the most consequences of forest road construction. Soil erosion and its consequences is one of the major environmental problems. Erosion of unpaved roads occurs when soil particles are loosened and carried from the road into the drainage system and rivers. So estimating the amount of sediment delivered from forest roads is an important issue. In this study the effect of traffic on sediment and runoff yield was assessed using a rainfall simulator. Setting up the simulator with 1×1 plot, rainfall simulation was conducted during a 30 minute period and the resulted rain fall was collected in the outlet of plot. The results showed significant difference between run off and sediment yield of two traffic classes. Sediment delivered from the road surface with high and low traffic classes were 166.41 and 36.75 g/m^2, respectively whereas run off rates for roads with high and low traffic classes were 49.1 and 22.1 lit/m^2. Significant effect of traffic on run off and sediment yield shows the importance of considering standard materials in road construction and maintenance. Considering the impact of traffic on amount of sediment and runoff, is elemental in planning, construction, and maintenance of forest roads.

Key words: road traffic, runoff production, sediment production, rainfall simulation