نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و هشتم، شماره دوم، ۱۴۰۰
۷۵-۹۰
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2021.18407.1890

بررسی کارایی مدل‌های تجربی SEDMODL2، STJ-EROS و WARSEM در برآورد میزان تحویل رسوب جاده‌های جنگلی (مطالعه موردی: طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا)

غفار یلمه[۱]، آیدین پارساخو*[۲]، واحدبردی شیخ[۳] و جهانگیر محمدی[۴]

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: جاده‌های جنگلی یکی از منابع بالقوه تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز جنگلی شناخته می‌شوند. مدل‌های برآورد رسوب ابزاری مقرون‌به‌صرفه و سریع در برآورد نرخ رسوب‌دهی جاده‌های جنگلی هستند. هرچند که کارآمدی و دقت این مدل‌ها هنوز به‌طور دقیق برای جاده‌های جنگلی شمال ایران مورد ارزیابی قرار نگرفته است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی و مقایسه کارایی مدل‌های تجربی در برآورد میزان تحویل رسوب جاده‌های جنگلی و هم‌چنین بررسی تأثیر سطح استاندارد فنی راه بر مقدار تحویل رسوب جاده‌های جنگلی است.

مواد و روش‌ها: در جاده‌های جنگلی طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا، ۳۰ قطعه مناسب از نظر امکان نصب تله رسوب‌گیر، مشخص شد. این قطعات با توجه به مشخصات فنی شامل شیب طولی، میانگین خاک لخت سطح جاده، میانگین خاک لخت جوی، میانگین خاک لخت شیروانی، فاصله سرچشمه رواناب تا آبرو، شدت ترافیک، وضعیت روسازی، طول شیروانی خاک‌برداری، شیب شیروانی خاک‌برداری، عرض روسازی، عمق جوی کناری، عرض جوی کناری، نوع پوشش کف جوی و درصد تاج پوشش در سه کلاسه استاندارد پایین، متوسط و استاندارد بالا طبقه‌بندی شدند. میزان تحویل رسوب قطعات پس از هر ۱۶ بار وقوع بارندگی (از فروردین‌ماه تا پایان اسفند) از طریق تله‌گذاری در انتهای هر قطعه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس مقدار تحویل رسوب قطعات از طریق مدل‌های SEDMODL2، STJ-EROS و WARSEM نیز برآورد و با مقدار واقعی مقایسه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار رس، فاصله سرچشمه رواناب تا آبرو، مقدار سیلت، نوع پوشش کف جوی، میانگین خاک لخت شیروانی، کیفیت رویه جاده و شدت ترافیک به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان تحویل سالانه

* مسئول مکاتبه: parsakhoo@gau.ac.ir

رسوب از جاده‌ها هستند. مقدار تحویل سالانه رسوب از جاده‌هایی که استاندارد پایین دارند (۰/۳۵ تن در سال) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از جاده‌های استاندارد متوسط (۰/۲٤ تن در سال) و استاندارد بالا (۰/۲۷ تن در سال) بود. مقدار واقعی رسوب تولیدشده از قطعات جاده (۰/۲۷ تن در سال) به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کم‌تر از مقدار برآورد شده توسط مدل‌های SEDMODL2 (۱/۷٤ تن در سال)، STJ-EROS (۱/۳۲ تن در سال) و WARSEM (۱/۵۸ تن در سال) بود. بررسی‌های آماری نشان داد که فقط در مورد جاده‌های با استاندارد پایین تفاوت معنی‌داری بین مقدار واقعی رسوب و مقدار برآورد شده توسط مدل‌ها وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: از یافته‌های این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که هیچ‌یک از مدل‌های تجربی موردبررسی قادر نبودند میزان تحویل سالانه رسوب جاده‌های جنگلی منطقه موردمطالعه را با دقت قابل‌قبول برآورد نمایند و همگی مقدار رسوب را بسیار بیش‌تر از واقعیت میدانی تخمین زدند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود ضمن بررسی مدل‌های دیگر نسبت به بومی‌سازی مدل‌ها بر حسب شرایط منطقه‌ای اقدام شود.

واژه‌های کلیدی: استاندارد فنی جاده، تله رسوب‌گیر، شیروانی خاک‌برداری، قطعات جاده

مقدمه

جاده‌های جنگلی یکی از مهم‌ترین منابع بالقوه تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز جنگلی شناخته می‌شوند (۱). ساخت جاده‌های جنگلی سبب عریان شدن خاک و تغییر هیدرولوژی دامنه‌ها شده و با تحویل رسوب به شبکه جریانات سطحی باعث تغییر خواص شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی آب، جذب آلاینده‌ها، دگرگونی درجه حرارت، سطح اکسیژن، اسیدیته و کاهش نرخ فتوسنتز گیاهان آبزی می‌گردد (٤، ۵، ۱۲). رعایت استانداردهای طراحی و ساخت جاده سبب ارتقاء کیفیت رواناب و کاهش رسوب‌دهی خواهد شد (۱۲، ۱۵). مقدمی‌راد و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تأثیر شیب طولی جاده‌های جنگلی بر مقدار رواناب و رسوب در جنگل کوهمیان- آزادشهر پرداختند. نتایج نشان داد که در جاده‌های جنگلی درجه دو با فاصله گرفتن شیب طولی از محدوده استاندارد، مقدار رواناب و رسوب افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که در کلاس شیب ۱ (٦-۳ درصد)، کلاس شیب ۲ (۹-٦ درصد) و کلاس شیب ۳ (۱۲-۹) درصد متوسط رواناب به ترتیب ۲۱/۰، ۳۵/٦ و ۵۱/۱ لیتر در مترمربع و غلظت رسوب نیز به ترتیب ۳/۵٤، ۸/۱۱، ۱۲/۱۱ گرم بر لیتر برآورد شد (۱۵). پژوهش‌های میدانی و تعیین سطح استاندارد قسمت‌های مختلف ساختمان جاده، اطلاعات ارزشمندی را درباره نرخ رسوب‌دهی ماهانه جاده‌های جنگلی با مشخصات فنی مختلف ارائه می‌دهد و از این طریق می‌تواند به مدیران جنگل در این‌که بودجه اندک مرمت و نگهداری جاده‌ها را چه زمانی، کجا و چگونه صرف کنند، کمک می‌کند (۲، ۹). ساختمان جاده جنگلی متشکل از عرض سواره‌رو، شانه‌ها، جوی کناری، شیروانی خاک‌برداری و شیروانی خاک‌ریزی می‌باشد (۲۰). سطح جاده به‌دلیل متفاوت بودن میزان فشردگی، جنس و دانه‌بندی مصالح عملکرد متنوعی در تولید رواناب و رسوب و ایجاد شیارهای طولی دارد (۳). شریدان و ناسکی (۲۰۰۷) میزان تحویل رسوب از سطح جاده‌های شن‌ریزی شده در کشور استرالیا را اندازه‌گیری کردند و دریافتند که بیشینه نرخ تحویل رسوب ۳۷ تن در هکتار در سال بود (۲۱). شیروانی خاک‌ریزی در مدت زمان کوتاهی توسط گونه‌های گیاهی منطقه پوشیده و احیا می‌شود (۱۰).

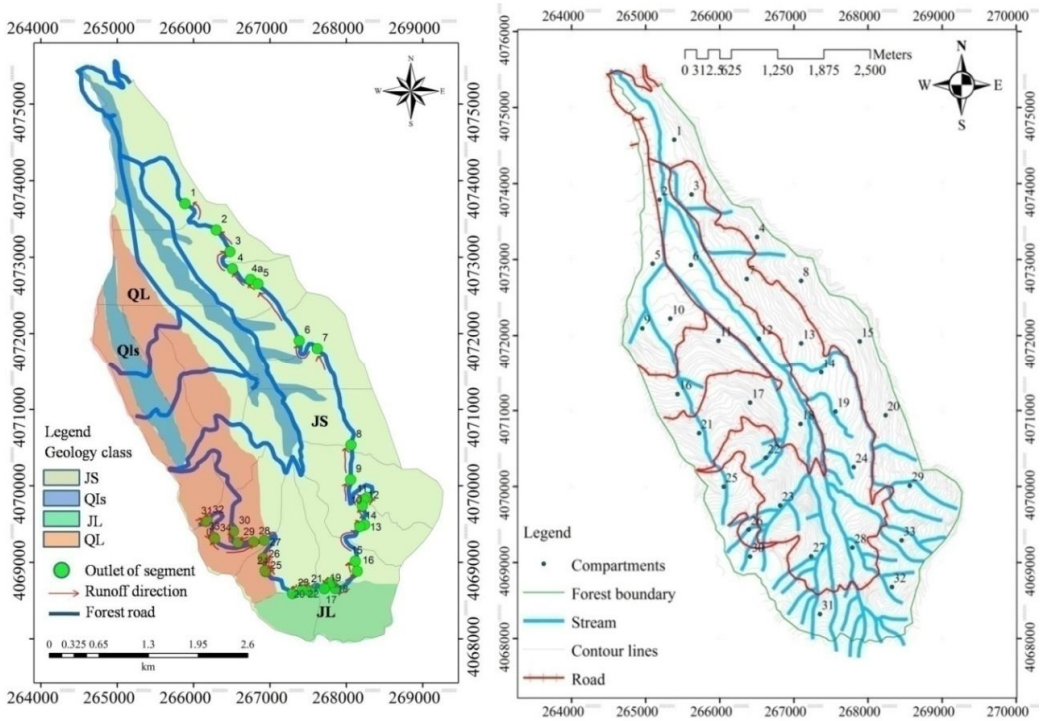
جردن لُپز و همکاران (۲۰۰۹) میزان رواناب و رسوب جاده‌های پارک طبیعی سیرادی آراکینا اسپانیا را به کمک یک دستگاه باران‌ساز سیار با شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر در ساعت مورد مطالعه قرار دادند. مقدار هدر رفت خاک از سطح شیروانی خاک‌برداری ٤٨٦/٧ گرم در مترمربع در ساعت برآورد شد که به ترتیب ۳ و ۱۸ برابر سطح جاده و شیروانی خاک‌ریزی بود (۱۱).

به‌منظور برآورد میزان تحویل رسوب جاده‌های جنگلی روش‌های متفاوتی از جمله استفاده از توری رسوب‌گیر و نمونه‌گیری از بار معلق جوی (١٤) تحت بارندگی طبیعی و یا شبیه‌سازی‌شده (۷) وجود دارد که بسیار وقت‌گیر، دشوار و پرهزینه هستند. مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب ابزاری مقرون‌به‌صرفه و سریع در برآورد نرخ رسوب‌دهی جاده‌های جنگلی بوده و از دقت بالایی نیز برخوردارند (٦). هرچند که کارآمدی و دقت این مدل‌ها هنوز به‌طور دقیق برای جاده‌های جنگلی شمال ایران مورد ارزیابی قرار نگرفته است. بر اساس نظرسنجی و بررسی‌های داف (۲۰۱۰) مدل‌های SEDMODL، STJ-EROST، WEPP و WARSEM در مقایسه با مدل‌های KINEROS2، SEDD و ROADMOD از وزن و محبوبیت بالاتری برخوردار هستند (٦). نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان می‌دهد که WARSEM نرخ فرسایش خاک را بیش‌تر از میزان واقعی آن برآورد می‌کند (۸). درحالی‌که مدل WEPP در مقایسه با مدل‌های SEDMODL و STJ-EROS نزدیکی بیش‌تری با واقعیت دارد (٦). اسکاگست و همکاران (۲۰۱۱) میزان تولید رسوب ٤٤ قطعه از جاده‌های جنگلی مناطق معتدله و مرطوب ایالت ارگون و کالیفرنیا آمریکا را به کمک مدل‌های WARSEM، SEDMODL2، WEPP و RUSLE برآورد نمودند. مدل‌های یادشده، میزان تولید رسوب را ۲ تا ۸ مرتبه بزرگ‌تر از مقدار واقعی ارائه دادند. مقادیر به‌دست‌آمده توسط این چهار مدل برای هر قطعه از جاده بسیار متنوع بود (۲۳). لانگ (۲۰۱٦) بخشی از جاده‌های جنگلی ایالت ویرجینیا آمریکا را به ۳۰ قطعه تقسیم کرده و سطح استاندارد هر قطعه را از نظر مشخصات فنی تعیین نمود. سپس با نصب آب‌بندهای لاستیکی در انتهای هر قطعه و نصب تله رسوب‌گیر نسبت به اندازه‌گیری میزان تحویل رسوب هر قطعه همگام با پایش داده‌های بارندگی سالانه اقدام نمود. هم‌چنین وی از این طریق توانست کارآمدی مدل‌های USLE، RUSLE و WEPP در برآورد میزان تحویل رسوب را سنجش نماید. نتایج نشان داد که پیک تحویل رسوب در ماه جولای اتفاق افتاد و مدل WEPP قدرت برآورد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشت (۱۳). پارساخو و همکاران (۲۰۱٤) با برآورد میزان تحویل رسوب جاده‌های جنگلی سری‌های لولت و لت‌تالار توسط SEDMODL و مقایسه آن با مقدار واقعی حاصل از شبیه‌سازی باران دریافتند که مدل تجربی مقدار رسوب را بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد نمود (۱۸). در مقابل نقدی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی در جنگل‌های هیرکانی دریافتند که SEDMODL مقدار رسوب حاصل از جاده‌های جنگلی را ۸ درصد کم‌تر از مقدار واقعی برآورد کرد (۱۷). با توجه به مطالب اشاره‌شده مشاهده می‌شود که مطالعات اندکی درباره میزان تحویل سالانه رسوب به تفکیک سطح استاندارد جاده‌های جنگلی صورت گرفته و هم‌چنین در اغلب مواد کالیبره کردن مدل‌های تجربی مبتنی بر شبیه‌سازی باران و یا چند واقعه محدود بارندگی بوده است (۱۱، ۱۷، ۱۸). درحالی‌که در پژوهش حاضر کالیبره کردن مدل‌های تجربی از طریق مطالعات میدانی رسوب‌دهی قطعات جاده پس از هر بار بارندگی طبیعی در طول یک سال صورت گرفت. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر سطح استاندارد فنی راه بر مقدار تحویل رسوب جاده‌های جنگلی و هم‌چنین بررسی و مقایسه قابلیت مدل‌های

تجربی در برآورد میزان تحویل سالانه رسوب جاده‌های جنگلی است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه موردمطالعه: سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا با وسعتی برابر ۱۷۱۳/۳ هکتار در جنوب غربی شهرستان گرگان قرار دارد. این طرح بین ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه و ۶ ثانیه و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۲۷ ثانیه عرض جغرافیایی و ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه و ۲۶ ثانیه و ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه و ۵۷ ثانیه طول جغرافیایی قرار دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به ترتیب ۲۱۰ و ۹۹۵ متر از سطح دریا است. مساحت قابل بهره‌برداری سری ۱۶۳۱/۵ هکتار می‌باشد. تیپ غالب این رویشگاه راش- ممرزستان (*Carpinus betulus* L و *Fagus orientalis* Lipsky) و متوسط شیب زمین ۲۵ درصد است. طول کل جاده‌های جنگلی طرح جنگل‌داری دکتر بهرام نیا برابر با ۳۰/۳ کیلومتر و میزان تراکم طولی ۱۷/۶۸ متر در هکتار می‌باشد. جاده‌های موردبررسی در دهه هفتاد هجری شمسی ساخته‌شده و از نوع جاده‌های جنگلی درجه دو محسوب می‌شوند. میانگین شیب طولی این جاده‌ها ۶/۵ درصد بوده و میانگین طول شیروانی‌ها ۲/۳ متر و اغلب پوشیده از گیاه تمشک است. میانگین بارندگی و درجه حرارت سالیانه به‌ترتیب ۶۸۶ میلی‌متر و ۱۸ درجه سانتی‌گراد و نوع اقلیم نیمه‌مرطوب می‌باشد. متوسط شیب عرضی ۳ درصد، عرض بستر ۵/۶ متر، عرض جوی ۱/۳ متر، عمق جوی ۰/۵ متر و همچنین جوی کناری از نوع ذوزنقه‌ای بود. قسمت‌هایی از جاده که مستقل از آبراهه‌های جنگلی هستند در طول سال تحت تنش برشی رواناب قرار داشته و رسوب فراوانی تولید می‌کند. نقشه آبراهه‌های جنگلی و طبقات زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- نقشه آبراهه‌ها و طبقات زمین‌شناسی سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا.

Figure 1. Map of streams and geological classes in district 1 of Bahramnia forestry plan.

کلاسه‌بندی قطعات جاده بر اساس سطح استاندارد: در این پژوهش ابتدا کل جاده‌های جنگلی درجه دو طرح جنگل‌داری آموزشی- پژوهشی دکتر بهرام‌نیا مورد بازدید قرار گرفته و ۳۰ قطعه مناسب از نظر امکان نصب تله رسوب‌گیر مشخص شد. قطعات با توجه به مشخصات شیب طولی، درصد خاک لخت شیروانی‌های خاک‌برداری، سطح جاده و جوی کناری، فاصله از سرچشمه رواناب تا نزدیک‌ترین آبرو، شدت ترافیک، وضعیت روسازی، طول و شیب شیروانی‌های خاک‌برداری، عرض روسازی، عرض و عمق جوی، نوع پوشش کف جوی و درصد تاج پوشش در سه کلاسه استاندارد پایین، استاندارد متوسط و استاندارد بالا طبقه‌بندی شدند (جدول ۱). فاصله سرچشمه رواناب تا نزدیک‌ترین آبرو از طریق اندازه‌گیری و متراژ فاصله رأس قوس گنبدی تا کف قوس کاسه‌ای که معمولاً لوله‌گذاری انجام می‌شود، مشخص گردید (۱۳).

جدول ۱- سطح استاندارد جاده‌های جنگلی درجه دو (۱۳، ۲۰).

Table 1. Standard level of secondary forest roads in the study area (13 and 20).

پایین Low	متوسط Moderate	بالا Standard	مشخصات جاده Road characteristics
>10	6-9	<5	شیب طولی (درصد) Road slope (%)
51-100	26-50	<25	میانگین خاک لخت جاده (درصد) Bare soil of road (%)
51-100	26-50	<25	میانگین خاک لخت جوی (درصد) Bare soil of ditch (%)
51-100	26-50	<25	میانگین خاک لخت شیروانی (درصد) Bare soil of cutslope (%)
>201	151-200	<150	فاصله سرچشمه رواناب تا آبرو (متر) Distance of runoff to culvert (m)
مستعمل Logged	خیلی اوقات Often	به‌ندرت Seldom	شدت ترافیک Traffic volume
فاقد روسازی None	شن‌ریزی سطحی Sparsely gravelled	شن‌ریزی Gravelled	وضعیت روسازی Surfacing status
>2.1	1.6-2	<1.5	طول شیروانی خاک‌برداری (متر) Cutslope height (m)
<100	100-150	>150	شیب شیروانی خاک‌برداری (درصد) Cutslope gradient (%)
4.7<W<3.9	4-4.3	4.4-4.7	عرض روسازی (متر) Surfacing width (m)
0.36<D<0.24	0.25-0.30	0.31-0.35	عمق جوی کناری (متر) Depth of ditch (m)
0.7<W<1.2	0.8-0.9	1-1.2	عرض جوی کناری (متر) Width of ditch (m)
خاکی Earthy	چمنی Grass	سنگی Stony	نوع پوشش کف جوی Type of ditch coverage
<25	26-50	51-100	درصد تاج پوشش Canopy cover (%)

اندازه‌گیری میدانی مقدار تحویل سالانه رسوب از هر قطعه: در این مرحله نسبت به اندازه‌گیری میزان تحویل رسوب پس از هر بار بارندگی در طول یک سال از طریق تله‌گذاری در انتهای هر قطعه اقدام شد. اندازه‌گیری‌ها از فروردین‌ماه ۱۳۹۸ آغاز و تا پایان اسفند همان سال ادامه یافت. در این مدت ۱۶ مورد بارندگی که منجر به تولید رسوب شد اتفاق افتاد. برای تله‌گذاری در انتهای هر قطعه، کانال باریکی با زاویه ۳۰ الی ٤٥ درجه نسبت به محور مرکزی جاده به‌صورت دستی حفر و یک بند لاستیکی ضخیم که حدود ۱۵ سانتی‌متر از سطح جاده بیرون‌زدگی داشته باشد، نصب شد. محل تله‌گذاری در پایین‌ترین نقطه ارتفاعی و مجاور آبرو بود. رواناب و رسوب تولیدشده از جریانات بالادست توسط بند لاستیکی به جوی کناری و یا تله رسوب‌گیر مجاور آبرو منحرف و انباشته شد (۱۳). در داخل هر تله، ۵ شاخص مدرج برای تکرار اندازه‌گیری‌ها نصب گردید (شکل ۲). طی هر بازدید ارتفاع رسوب (متر) و سطح رسوب‌گذاری (مترمربع) جهت محاسبه حجم رسوب (هم‌چون حجم استوانه که از حاصل‌ضرب مساحت قاعده در ارتفاع به دست می‌آید) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در انتهای سال سه نمونه به‌کمک سیلندر (قطر داخلی سیلندر ٤٦ میلی‌متر و طول آن ٦١ میلی‌متر) از هر تله رسوب‌گیر جهت اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری رسوب تهیه شد. طول سیلندر بر اساس حداقل ارتفاع رسوب انباشته‌شده در تله‌ها انتخاب شد. برای محاسبه جرم رسوب در هر مرحله اندازه‌گیری، حجم رسوب در وزن مخصوص ضرب گردید. درنهایت از تجمیع اندازه‌گیری‌ها در طول سال میزان تحویل سالانه رسوب از هر قطعه محاسبه شد. هم‌چنین از هر قطعه جاده سه عدد نمونه خاک هر یک به وزن یک کیلوگرم توسط بیلچه از ترانشه خاک‌برداری جمع‌آوری و جهت تعیین درصد شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری به آزمایشگاه خاک منتقل گردید.

شکل ۲- بند لاستیکی و تله رسوب‌گیر.

Figure 2. Rubber conveyor belt and sediment trap.

برآورد مقدار تحویل سالانه رسوب از هر قطعه به کمک مدل‌های تجربی: در این مرحله کارآمدی مدل‌های SEDMODL2، STJ-EROS و WARSEM در برآورد میزان تحویل رسوب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

$$STJ\text{-}EROS\text{-}E=R_S+C_S$$
$$STJ\text{-}EROS\text{-}R_S=([0.432+4.73\times S^{1.5}\times P]\times L\times W\times 1.204)/1000$$
$$STJ\text{-}EROS\text{-}C_S=0.09R_S$$
$$SEDMODL2\text{-}E=(R_S+C_S)\times A_F$$
$$SEDMODL2\text{-}R_S=G_E\times R_F\times T\times L\times W\times S_F\times R$$
$$SEDMODL2\text{-}C_S=G_E\times C_F\times C_H\times L\times D_F$$
$$WARSEM\text{-}E=(R_S+C_S)\times A_F$$
$$WARSEM\text{-}R_S=G_E\times R_F\times T\times L\times W\times S_F\times R\times D_F$$
$$WARSEM\text{-}C_S=G_E\times C_F\times C_H\times L\times R\times D_F$$
$$R=(\frac{I}{1524})^{0.8}$$

که در آن R_S رسوب تولیدشده توسط سطح جاده (تن در سال)، C_S رسوب تولیدشده از شیروانی خاک‌برداری (تن در سال)، AF فاکتور سن جاده (میزان این فاکتور برای جاده‌ای که یک سال از ساخت آن می‌گذرد ۱۰ و برای جاده‌ای که بیش از ۲ سال از ساخت آن‌ها گذشته باشد ۲ است)، S شیب جاده (درصد)، P بارش سالیانه (سانتی‌متر)، L طول جاده (متر)، W عرض جاده (متر)، G_E فاکتور فرسایش زمین‌شناسی (جدول ۲)، R_F فاکتور سطح جاده (جدول ۳)، T فاکتور ترافیک (جدول ٤)، S_F فاکتور شیب جاده (جدول ٥)، R فاکتور بارندگی، C_F فاکتور پوشش شیروانی خاک‌برداری (جدول ٦)، C_H ارتفاع شیروانی خاک‌برداری، D_F فاکتور انتقال رسوب، I بارش سالیانه (میلی‌متر) (٦، ١٣).

جدول ۲- G_E فاکتور فرسایش زمین‌شناسی (٦، ١٣).

Table 2. Geological erosion factor (G_E) (6, 13).

کد Code	سن زمین‌شناسی Geological age	سنگ‌شناسی Lithology	طبقه فرسایشی Erosion class	فاکتور زمین‌شناسی Geological factor
JL	مزوزوئیک Mesozoic	آهک دولومیتی، آهک و دولومیت Dolomite lime, lime and dolomite	رسوبات سخت Hard sediment	37
JS	مزوزوئیک Mesozoic	آهک Lime	رسوبات سخت Hard sediment	37
Qls	پرکامبرین Precambrian	شیست Schist	-	148
QL	کواترنری Quaternary	لس Loess	رسوبات نرم Soft sediment	74

جدول ۳- R_F فاکتور سطح جاده (٦، ١٣).

Table 3. Road surface factor (R_F) (6, 13).

نوع سطح Surface type	آسفالت Asphalt	شن Gravel	خاک درهم Earthy	پوشش علفی Grass cover	بستر طبیعی Native surface	بستر طبیعی همراه با شیار Native with ruts
عامل سطح Surface factor	0.03	0.2	0.5	0.5	1	2

جدول ٤- T فاکتور ترافیک (٦، ١٣).

Table 4. Traffic factor (T) (6, 13).

نوع جاده Road type	بزرگراه Highway	اصلی Main	شهری Urban	درجه ۱ primary	درجه ۲ Secondary	فرعی Super road	متروکه و از رده خارج Logged
عامل ترافیک Traffic factor	120	120	50	10	2	1	0.1

جدول ٥- S_F فاکتور شیب جاده (٦، ١٣).

Table 5. Road slope factor (S_F) (6, 13).

درصد شیب Slope percentage	<5%	5-10%	>10%
عامل شیب Slope factor	0.2	1	2.5

جدول ٦- C_F فاکتور پوشش شیروانی خاک‌برداری (٦، ١٣).

Table 6. Cutslope cover factor (C_F) (6, 13).

درصد پوشش گیاه یا سنگ Vegetation or stone cover (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
عامل پوشش Coverage factor	1	0.77	0.61	0.52	0.44	0.37	0.31	0.25	0.20	0.15	0.01

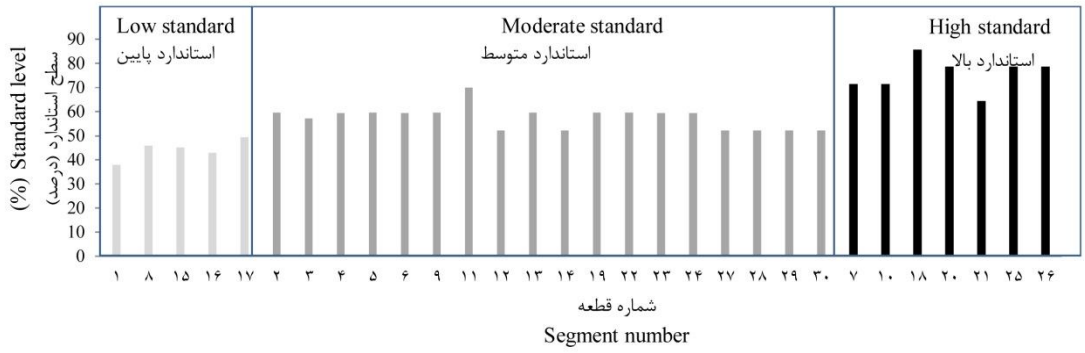
تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها: نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk test) و تساوی واریانس‌ها با آزمون لون (Levene's test) بررسی شد. آنالیز همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه مشخصات فنی راه با سطح استاندارد و مقدار تحویل رسوب و آزمون T جفتی برای مقایسه جفتی عملکرد مدل‌ها با مقدار واقعی در نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر سطح استاندارد جاده بر میزان تحویل سالانه رسوب: این پژوهش از ابتدای فروردین سال ۱۳۹۸ آغاز و تا پایان اسفند همان سال به طول انجامید. رسوب‌دهی قابل‌ملاحظه ساختمان جاده‌های جنگلی منطقه موردمطالعه هنگام وقوع ریزش‌های جوی، نگارندگان مقاله را بر آن داشت تا با هدف بررسی تأثیر سطح استاندارد فنی راه بر مقدار تحویل رسوب جاده‌های جنگلی و هم‌چنین بررسی قابلیت مدل‌های تجربی در برآورد میزان تحویل سالانه رسوب این پژوهش را به اجرا درآورند. بنابراین ابتدا سطح استاندارد همه قطعات جاده بر اساس تطبیق مشخصه‌های فنی آن‌ها با استانداردهای موجود بر حسب درصد مشخص گردید، به‌طوری‌که ۵ قطعه دارای استاندارد پایین، ۱۸ قطعه دارای سطح استاندارد متوسط و ۷ قطعه دارای استاندارد بالا بودند (شکل ۳). در میان مشخصه‌های فنی، پهنای جاده، شیب

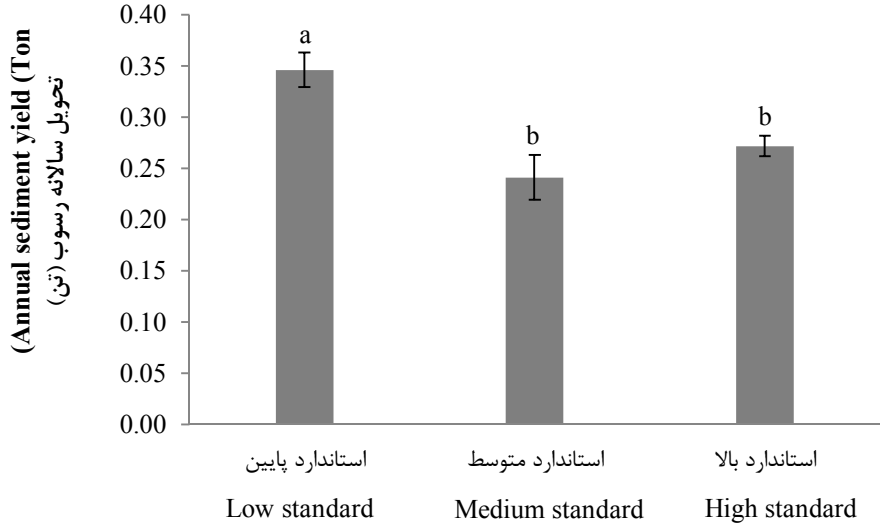
شیروانی خاک‌برداری، میانگین خاک لخت شیروانی و درصد تاج پوشش به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر سطح استاندارد جاده‌های جنگلی تعیین شدند. هم‌چنین در بررسی همبستگی مقدار سیلت و رس ساختمان راه و مشخصه‌های فنی جاده با میزان تحویل رسوب مشخص گردید که مقدار رس، فاصله سرچشمه رواناب تا آبرو، مقدار سیلت، نوع پوشش کف جوی، میانگین خاک لخت شیروانی، کیفیت رویه جاده و شدت ترافیک به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان تحویل سالانه رسوب از جاده‌ها بودند (جدول ۷). لیوس و بلک (۱۹۹۹) نشان دادند که خاک با بافت ریزتر ٤ تا ۹ برابر رسوب بیش‌تری نسبت به خاک با بافت درشت‌تر تولید می‌کند (١٤).

بر اساس یافته‌های پژوهش، مقدار تحویل سالانه رسوب از جاده‌هایی که استاندارد پایین دارند ٤٣/٥ درصد بیش‌تر از جاده‌های با استاندارد متوسط و ٢٧/٢ درصد بیش‌تر از جاده‌های استاندارد بالا بود (شکل ٤). از دلایل این موضوع می‌تواند این باشد که ساختمان جاده‌های با استاندارد پایین اغلب خاک لخت، شیب طولی، سطح مشارکت‌کننده و ترافیک بیش‌تری داشته و این موضوع سبب فرسایش و رسوب‌دهی بیش‌تر می‌شود (٤ و ٢٤). هم‌چنین مقدار رسوب‌دهی قطعات با استاندارد بالا کمی بیش‌تر از قطعات با استاندارد متوسط بود که احتمالاً این موضوع به دلیل شیب تند شیروانی خاک‌برداری است که جهت رعایت استاندارد فنی راه و کاهش عرض عملیات خاکی در نظر گرفته شد. مصطفی و همکاران (٢٠١٦) به مقایسه مشخصه‌های فنی جاده‌های حوزه آبخیز جنگلی چهل‌چای با استانداردهای موجود پرداختند و تأثیر آن را روی میزان رواناب بررسی کردند. نتایج نشان داد که جاده‌های با استاندارد پایین میزان تولید رواناب را ۳۹ درصد افزایش می‌دهد (١٦). لانگ (٢٠١٦) در پژوهش‌های خود در جنگل‌های ایالت ویرجینیا آمریکا نشان داد که مقدار بار رسوب حاصل از جاده جنگلی با استاندارد پایین به میزان ٤٥١/٥ کیلوگرم بیش‌تر از بار رسوب جاده‌های با استاندارد متوسط (۱۹/۳ کیلوگرم) و استاندارد بالا (١/٤ کیلوگرم) بود (١٣).



شکل ۳- کلاسه‌بندی قطعات جاده بر اساس سطح استاندارد.

Figure 3. Road segment classification based on standard level.



شکل ٤- مقایسه میزان تحویل رسوب در استانداردهای مختلف جاده.

Figure 4. Comparison of the sediment yield from different standards of road.

جدول ۷- همبستگی مشخصات جاده با سطح استاندارد و میزان تحویل رسوب قطعه‌های مختلف جاده.

Figure 7. Correlation of road characteristics with standard level and sediment yield from different road segments.

میزان تحویل رسوب Sediment yield		سطح استاندارد Standard level		مشخصات جاده Road characteristics
P-value	ضریب همبستگی	P-value	ضریب همبستگی	
0.197	-0.242	0.381	-0.166	خاک لخت جوی Bare soil of ditch
0.687	0.077	0.775	-0.054	عرض جوی کناری Width of ditch
0.014	0.443	0.626	-0.093	فاصله سرچشمه رواناب تا آبرو Distance of runoff to culvert
0.906	0.022	0.022	0.418	درصد تاج پوشش Canopy percent
0.104	0.303	0.008	0.475	پهنای جاده Road width
0.774	0.155	0.011	-0.458	شیب شیروانی خاک‌برداری Cutslope gradient
0.865	-0.032	0.140	-0.276	شیب طولی جاده Longitudinal slope of road
0.122	0.289	0.267	0.209	عمق جوی کناری Ditch depth
0.946	-0.013	0.516	-0.123	طول شیروانی خاک‌برداری Cutslope height
0.033	0.390	0.014	-0.445	خاک لخت شیروانی Bare soil on cutslope
0.035	0.386	0.174	0.255	کیفیت رویه جاده Road surface quality
0.017	0.433	0.079	0.325	نوع پوشش کف جوی Type of ditch coverage
0.035	0.386	0.174	0.255	شدت ترافیک Traffic volume
0.014	0.444	0.292	-0.199	مقدار سیلت Silt
0.001	-0.558	0.919	-0.019	مقدار رس Clay
0.304	0.194	0.202	0.240	مقدار شن Sand

کارایی مدل‌های تجربی در برآورد میزان تحویل سالانه رسوب: نتایج نشان داد که مقدار رسوب برآورد شده توسط مدل‌ها به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از مقدار واقعی اندازه‌گیری شده در قطعات با استاندارد متوسط و بالا بود (شکل ۵). حال آن‌که در مورد جاده‌های با استاندارد پایین تفاوت معنی‌داری بین مقدار واقعی رسوب و مقدار برآورد شده توسط مدل‌ها وجود نداشت (جدول ۸)؛ بنابراین می‌توان در این خصوص ادعا نمود که هر یک از مدل‌های SEDMODL2، STJ-EROS و WARSEM کارایی لازم برای برآورد میزان تحویل رسوب از جاده‌های با استاندارد پایین را در منطقه موردمطالعه با اقلیم نیمه‌مرطوب دارا می‌باشند. این موضوع احتمالاً به‌دلیل آن است که با افزایش میزان رسوب، خطای مدل‌های مورداستفاده کاهش می‌یابد. در همین راستا فیو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که WARSEM نرخ فرسایش خاک را بیش‌تر از میزان واقعی آن برآورد می‌کند (۸). داف (۲۰۱۰) در بررسی‌های خود در جاده‌های جنگل‌های حاره‌ای برزیل دریافت که خروجی مدل WEPP در مقایسه با مدل‌های SEDMODL و STJ-EROS نزدیکی بیش‌تری با واقعیت دارد که دلیل این موضوع تطبیق بهتر این مدل و ضرایب آن با شرایط واقعی منطقه موردمطالعه اشاره شده است (٦). اسکاگست و همکاران (۲۰۱۱) میزان تولید رسوب ٤٤ قطعه از جاده‌های جنگلی مناطق معتدله و مرطوب ایالت اورگون و کالیفرنیا آمریکا را به کمک مدل‌های WARSEM، SEDMODL2، WEPP و RUSLE برآورد نمودند. مدل‌های یادشده، میزان تولید رسوب را ۲ تا ۸ مرتبه بزرگ‌تر از مقدار واقعی ارائه دادند (۲۳). سارفلیت و همکاران (۲۰۱۱) در یک حوزه آبخیز در ایالت آورگون آمریکا از مدل‌های DHSVM، WARSEM و SEDMODL2 برای برآورد میزان رواناب و رسوب استفاده کردند. نتایج اندازه‌گیری‌های صحرایی نشان داد که میزان تحویل رسوب توسط شبکه جاده ٦/٥ تن در سال بود. با بهره‌گیری از DHSVM میزان تحویل رسوب ٦/٩ تن در هکتار در سال برآورد شد، درحالی‌که با SEDMODL2 و WARSEM، میزان تحویل رسوب به ترتیب ۲۸ درصد و ٣٤ درصد کم‌تر از مقدار واقعی به دست آمد (۲۲). تفاوت‌های بین مقادیر برآورد شده توسط مدل‌ها به دلیل تفاوت بین فاکتورها و ضرایب آن‌ها می‌باشد. به‌عنوان‌مثال در برآورد رسوب حاصل از شیروانی خاک‌برداری توسط مدل‌های WARSEM و SEDMODL2 مشاهده می‌شود که WARSEM یک فاکتور اضافی با نام فاکتور بارندگی (R) در خود جای داده است، ولی در فاکتورهای فرسایش زمین‌شناسی، پوشش شیروانی خاک‌برداری، ارتفاع شیروانی، طول جاده و انتقال رسوب با SEDMODL2 مشترک است. در مورد STJ-EROS دلیل اصلی تفاوت آن است که اساساً این مدل رسوب حاصل از شیروانی خاک‌برداری را به‌صورت درصدی از رسوب سطح جاده ارائه می‌دهد. تفاوت بین فاکتورها و ضرایب آن‌ها از دلایل تفاوت بین مقادیر برآورد شده توسط مدل‌ها در ارتباط با سطح جاده است.

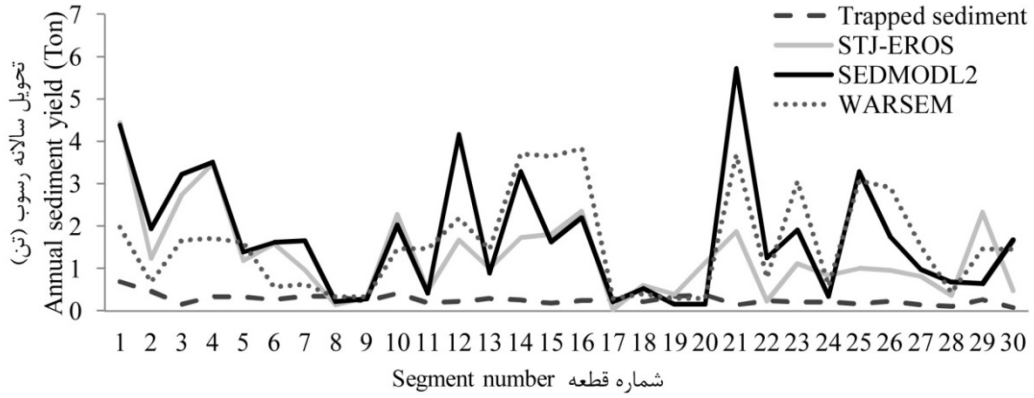
جدول ۸- مقایسه مقدار رسوب برآورد شده توسط مدل‌ها با مقدار واقعی در سطوح مختلف استاندارد جاده (تن در سال).

Figure 8. Comparison of the sediment estimated by models with the real values in different standards of road (Ton per year).

سطح استاندارد Standard level	متغیرها Variables	میانگین‌ها Means	اشتباه معیار Standard error	T
پایین Low	مقدار واقعی STJ-EROS –Real value	0.35-1.75	0.09-0.81	1.869 ns
	مقدار واقعی SEDMODL2 –Real value	0.35-1.73	0.09-0.77	1.958 ns
	مقدار واقعی WARSEM –Real value	0.35-2.01	0.09-0.77	2.100 ns
متوسط Moderate	مقدار واقعی STJ-EROS –Real value	0.24-1.22	0.02-0.21	4.751**
	مقدار واقعی SEDMODL2 –Real value	0.24-1.57	0.02-0.29	4.626**
	مقدار واقعی WARSEM –Real value	0.24-1.39	0.02-0.22	5.171**
بالا High	مقدار واقعی STJ-EROS –Real value	0.27-1.26	0.04-0.22	4.585**
	مقدار واقعی SEDMODL2 –Real value	0.27-2.16	0.04-0.71	2.757*
	مقدار واقعی WARSEM –Real value	0.27-1.78	0.04-0.53	2.674*
کل Total	مقدار واقعی STJ-EROS –Real value	0.27-1.32	0.02-0.19	5.970**
	مقدار واقعی SEDMODL2 –Real value	0.27-1.74	0.02-0.26	5.621**
	مقدار واقعی WARSEM –Real value	0.27-1.58	0.02-0.21	5.967**

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری اثر تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد و ns عدم معنی‌داری است.

* and ** shows the significant effect of treatments at probability level of 95 and 99%, respectively. ns is not significant.



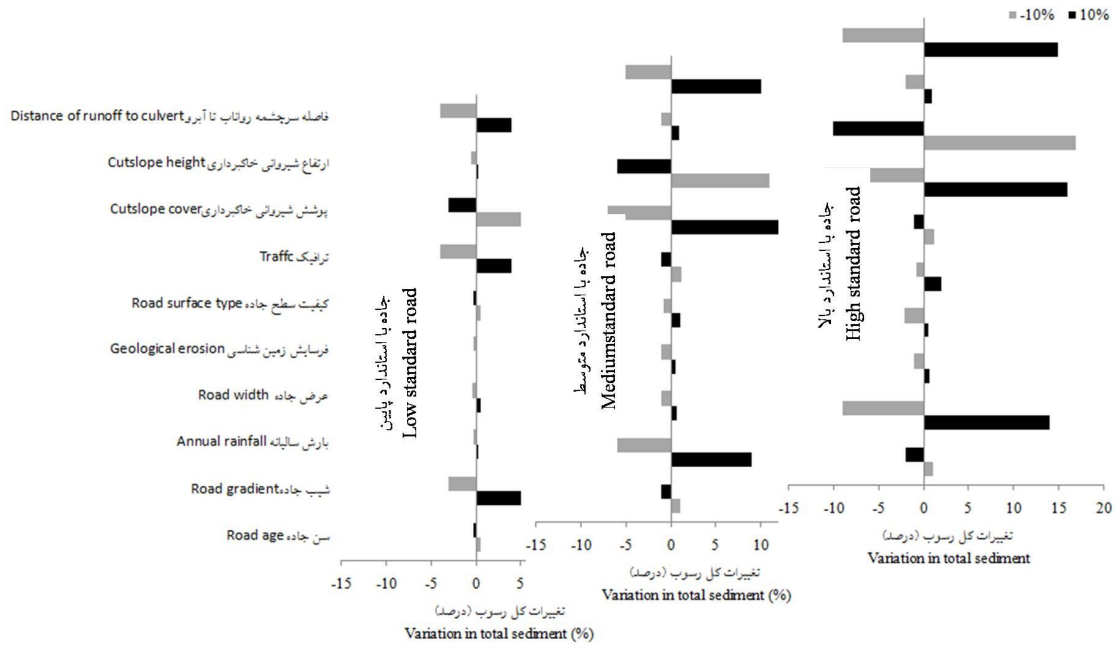
شکل ۵- مقدار تحویل سالانه رسوب قطعات مختلف جاده.

Figure 5. Annual sediment yield from different road segment.

توصیه‌های مدیریتی: در مدل‌های موردبررسی فاکتورهایی وجود دارند که با تغییر آن‌ها می‌توان کیفیت جاده‌های جنگلی را از منظر رسوب‌دهی و کارکرد بهبود بخشید. فاکتور ترافیک، فاکتور سطح جاده، سطح مشارکت‌کننده در تولید رسوب و طول قطعات از جمله فاکتورهای قابل اصلاح هستند. با

بازسازی و شن‌ریزی مجدد جاده‌های جنگلی می‌توان رقم فاکتور سطح جاده را کاهش داد. هم‌چنین با کاهش ترافیک، خرابی و اختلال کم‌تری در سطح جاده ایجادشده و نرخ رسوب‌دهی کاهش خواهد یافت. با تغییر شکل تاج جاده و افزایش سهم قطعاتی که شیب عرضی آن‌ها رو به دره می‌باشد (البته با رعایت ملاحظات ایمنی و استانداردهای فنی) می‌توان سطح مشارکت‌کننده در تولید رسوب را کاهش داد. از سوی دیگر با نصب تعداد بیش‌تر آبروهای عرضی و کم‌تر کردن فاصله بین این آبروها، طول قطعات نیز کاهش یافته و درنتیجه حجم رواناب و رسوب حاصل کاهش می‌یابد.

با آنالیز حساسیت مدل‌های تجربی مورداستفاده در پژوهش حاضر مشخص گردید که این مدل‌ها در جاده‌های با استاندارد بالا و متوسط به‌شدت به پارامترهای فاصله سرچشمه رواناب تا آبرو، پوشش شیروانی خاک‌برداری، ترافیک و شیب جاده حساس هستند و با ۱۰ درصد تغییر در این متغیرها میزان کل رسوب برآورد شده به‌شدت تغییر می‌کند و این تغییر به سمت بیش برآورد کردن کل رسوب تمایل دارد. درحالی‌که مدل‌ها در جاده‌های با استاندارد پایین حساسیت کمی به متغیرهای یادشده دارند (شکل ٦).



شکل ٦- آنالیز حساسیت مدل‌های تجربی نسبت به متغیرهای ورودی.

Figure 6. Sensitivity analysis of empirical models to the input variables.

نتیجه‌گیری کلی

جاده‌های جنگلی به‌عنوان منبع مهم انتشار رسوب، نیازمند مدل‌های کارآمد برای تسهیل برآورد مقدار رسوب در بخش‌های مختلف هستند. در این پژوهش کارایی مدل‌های تجربی SEDMODL2، STJ-EROS و WARSEM برای قطعات جاده با استانداردهای مختلف مورد ارزیابی واقع شد. یافته‌ها نشان داد که بیش‌تر رسوبات تولیدشده توسط شبکه جاده‌های جنگلی از جاده‌های با استاندارد پایین نشأت می‌گیرد. بنابراین مدیریت و بهبود مشخصه‌های فنی این قطعات می‌تواند به شکل مقرون‌به‌صرفه‌ای سبب کاهش رسوب‌دهی آنها شود. هم‌چنین در این پژوهش برای ارزیابی کارایی مدل‌ها از روش اندازه‌گیری‌های میدانی و نصب تله‌های رسوب‌گیر استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های یادشده تنها برای برآورد میزان رسوب‌دهی جاده‌های با سطح استاندارد پایین کارآمد بودند و در مورد جاده‌های با استاندارد متوسط و بالا مقدار رسوب را بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد کردند. بدین‌ترتیب این مدل‌ها در شکل فعلی مناسب جاده‌هایی هستند که در اقلیم‌های بسیار مرطوب و حاره‌ای واقع‌شده و یا به‌دلیل استانداردهای پایین سالانه مقادیر زیادی رسوب تولید می‌کنند. ضمن آن‌که این مدل‌ها دارای نواقصی نیز هستند و برخی از متغیرها مانند شیب شیروانی خاک‌برداری و جنس خاک شیروانی‌ها در آن‌ها جایگاهی ندارد. در مورد سایر متغیرها نیز فاکتورهای در نظر گرفته‌شده دقت کافی ندارند، به‌عنوان‌مثال جنس مصالح لایه رویه جاده‌های جنگلی از طریق دانه‌بندی مشخص می‌شود و تنها با یک عبارت ساده مانند شنی یا خاکی نمی‌توان فاکتوری برای آن در نظر گرفت. این مسأله در مورد شدت ترافیک و فاکتور زمین‌شناسی نیز صدق می‌کند. این مدل‌ها برای آن‌که قابل استناد باشند باید بهینه‌سازی و کالیبره شده و متغیرهای آن بسته به شرایط محلی انتخاب و ضریب داده شوند.

منابع

1. Aust, W.M., Bolding, M.C., and Barrett, S.M. 2015. Best management practices for low-volume forest roads in the Piedmont region: Summary and implications of research. Transportation Research Record: J. of Transportation Research Board. 2472: 51-55.
2. Brown, K.R., Aust, W., and McGuire, K. 2013. Sediment delivery from bare and graveled forest road stream crossing approaches in the Virginia Piedmont. Forest Ecology and Management. 310: 836-846.
3. Cao, L., Zhang, K., and Zhang, W. 2009. Detachment of road surface soil by flowing water. Catena. 76: 155-162.
4. Croke, J., Mockler, S., Fogarty, P., and Takken, I. 2005. Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. Geomorphology. 68: 3. 257-268.
5. Dymond, S.F., Aust, W.M., and Prisley, S.P. 2014. Application of a distributed process-based hydrologic model to estimate the effects of forest road density on stormflows in the southern Appalachians. Forest Science. 60: 6. 1213-1223.
6. Duff, M.J. 2010. Evaluation of road erosion prediction models applied to unpaved roads in a small tropical watershed in Eastern Brazil. M.Sc. Thesis, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in Partial fulfillment, Biological Systems Engineering, 152p.
7. 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. of Environmental Management. 90: 2542-2550.

8.Fu, B., Newham, L.T.H., and Field, J.B. 2009. Modelling erosion and sediment delivery from unsealed roads in southeast Australia. Mathematics and Computers in Simulation. 79: 2679-2688.
9.Grace, J.M. 2005. Forest operations and water quality in the south. Trans. ASAE. 48: 2. 871-880.
10.Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., and Li, Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. Progress in Physical Geography. 29: 198-217.
11.Jordán-López, A., Martínez, L., and Bellinfante, N. 2009. Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. Total Environment. 407: 937-944.
12.Jones, J.I., Murphy, J.F., Collins, A.L., Sear, D.A., Naden, P.S., and Armitage, P.D. 2011. The impact of fine sediment on macro-invertebrates. River Research and Applications. 28: 8.1055-1071.
13.Lang, A.J. 2016. Soil erosion from forest Haul roads at stream crossings as influenced by road attributes. Thesis, Doctor of Philosophy in Forest Resources and Environmental Conservation, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 158p.
14.Luce, C.H., and Black, T.A. 1999. Sediment production from forest roads in western Oregon. Water Resources Research. 35: 8. 2561-2570.
15.Moghadamirad, M., Abdi, E., Mohseni Saravi, M., Rouhani, H., and Majnounian, B. 2013. Effect of forest road gradient on amount of runoff and sediment (Case study: Kohmiyan-Azadshahr forest). J. of Forest and Wood Product. 66: 389-399. (In Persian)
16.Mostafa, M., Shataee Jouibary, S., Lotfalian, M., and Sadoddin, A. 2016. Comparison of geometric characteristics chehel-chay forest watershed roads with rural road standards with an emphasis of runoff products. J. of Wood and Forest Science and Technology. 23: 123-145. (In Persian)
17.Naghdi, R., Dalir, P., Gholami, V., and Pourghasemi, H.R. 2017. Modeling of sediment generation from forest roads employing SEDMODL and its calibration for Hyrcanian forests in northern Iran. Environmental Earth Sciences. 24: 118-125.
18.Parsakhoo, A., Lotfalian, M., Kavian, A., and Hosseini, S.A. 2014. Prediction of the soil erosion risk in a forest and sediment yield from road network through GIS and SEDMODL. International J. of Sediment Research. 29: 1. 118-125.
19.Provencher, Y. 1995. Optimizing road maintenance intervals. In Proceedings of the Sixth International Conference on Low-Volume Roads, Volume I, Minneapolis, Minnesota, June 25-29, 1995.
20.Sarikhani, N., and Majnonian, B. 1994. Forest roads plan, performance and utilization guide line. Published by Program and Budget Organization of Iran (PBOI). 131: 132-175. (In Persian)
21.Sheridan, G.J., and Noske, P.J. 2007. Catchment-scale contribution of forest roads to stream exports of sediment, phosphorus and nitrogen. Hydrological Processes. 21: 23. 3107-3122.
22.Surfleet, C.G., Skaugset, A.E., and Meadows, M.W. 2011. Road runoff and sediment sampling for determining road sediment yield at the watershed scale. Canadian J. of Forest Research. 41: 10. 1970-1980.
23.Skaugset, A.E., Surfleet, C.G., Meadows, M.W., and Amann, J. 2011 Evaluation of Erosion Prediction Models for Forest Roads. Low-Volume Roads, Transportation Research Record: J. of the Transportation Research Board. 1: 3-12.
24.Ziegler, A.D., Negishi, J.N., Sidle, R.C., and Gomi, T. 2007. Persistence of road runoff generation in a logged catchment in Peninsular Malaysia. Earth Surface Processes and Landforms. 32: 13. 1947-1970.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 28 (2), 2021
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2021.18407.1890

Investigating the performance of the empirical models of SEDMODL2, STJ-EROS and WARSEM in estimating sediment yield from forest roads (Case study: Dr. Bahramnia forestry plan)

Gh. Yolmeh[1], A. Parsakhoo[*2], V. Sheykh[3] and J. Mohamadi[4]
[1]Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
[2]Associate Prof., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
[3]Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
[4]Assistant Prof., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Received: 12.23.2020; Accepted: 05.18.2021

Abstract
Background and Objectives: Forest roads are recognized as potential source of sediment production in forested watersheds. Sediment estimation models are rapid and cost effective tools for estimating sediment yield from forest roads. The efficiency and accuracy of these models has not been studied for forest roads in north of Iran. The aims of this research was to determine the performance of the empirical models in estimating sediment yield from forest roads and investigate the effect of technical standards of road on sediment yield.

Materials and Methods: In the forest roads of Bahramnia forestry plan, 30 segments which were suitable for sediment trap installation were selected. These segments were classified into low standard, standard and high standard segments based on technical characteristics of road slope, bare soil of road, ditch and cutslope, distance of runoff to culvert, traffic volume, surfacing status, cutslope height and gradient, surfacing width, depth of ditch, width of ditch, type of ditch coverage and canopy cover. Sediment yield from segments were measured after each 16 rainfall events (from March 2019 to February 2020) with the use of trap at the end of each segment. Then estimated sediment yield by SEDMODL2, STJ-EROS and WARSEM was compared to real field values.

Results: Results indicated the amount of clay, distance of runoff to culvert, amount of silt, ditch cover, bare soil on cutslope, road surface quality and traffic volume were respectively effective factors in sediment yield from roads. Annual sediment yield from roads with low standard (0.35 ton per year) was significantly more than standard roads (0.24 ton per year) and high standard roads (0.27 ton per year). The measured sediment yield from road segments (0.27 ton per year) was considerably less than estimated values by SEDMODL2 (1.74 ton per year), STJ-EROS (1.32 ton per year) and WARSEM (1.58 ton per year) models. Statistical analysis showed that only in low standards roads there wasn't significant difference between measured values and estimated values by models.

Conclusion: From the results of this study it can be concluded that none of the studied models can estimate the annual sediment yield from forest roads and all of them shows values more than real measured values. It is suggested that other models should be evaluated and localized according to local properties.

Keywords: Cutslope, Road segments, Road technical standard, Sediment trap

*Corresponding author: parsakhoo@gau.ac.ir