Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره دوم، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

بررسی و برآورد میزان تحویل و انتقال رسوب به آبراهه‌ها و رودخانه‌ها توسط جاده‌های جنگلی دارابکلا

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

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

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۹

چکیده

در این پژوهش، با در نظر گرفتن اهمیت موضوع فرسایش و تولید رسوب در جاده‌های جنگلی، که کم‌تر مورد توجه پژوهشگران به‌ویژه در ایران بوده، به بررسی و برآورد تحویل و انتقال رسوب به آبراهه‌ها و رودخانه‌ها توسط جاده‌های جنگلی حوزه آبخیز جنگلی دارابکلا با استفاده از مدل WARSEM، پرداخته شد. به این منظور، برداشت میدانی و اندازه‌گیری مستقیم عوامل ورودی مدل در ٦٣ قطعه مختلف در مسیری به طول ۱۲ کیلومتر از جاده‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه انجام پذیرفت. سپس به‌منظور بررسی و ارزیابی نتایج مدل مورد استفاده، به‌صورت مستقیم میزان رسوب‌دهی در بخش‌های مختلف جاده‌های نام‌برده با استفاده از شبیه‌ساز باران اندازه‌گیری گردید. همچنین، برای ارزیابی نتایج از آزمون t جفتی، ضریب ناش- ساتکلایف، BIAS و RMSE استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان تحویل رسوب به آبراهه‌ها از سطح این جاده‌ها طبق مدل WARSEM، ۳۲۸ تن در سال و طبق شبیه‌ساز باران ۱۷٤ تن در سال و میزان رسوب‌دهی جاده‌های مورد مطالعه براساس برآورد مدل و اندازه‌گیری واقعی به‌ترتیب ۹/۹ و ٤/۱ کیلوگرم در مترمربع در سال به‌دست آمد. نتایج روش‌های آماری ناش- ساتکلایف، BIAS و RMSE برای مدل نام‌برده نیز به‌ترتیب ۰/۳، ۰/۲ و ٤/٥ بوده و اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بین داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی مشاهده نگردید. بنابراین مدل نام‌برده دقت و کارایی مناسب برای برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب از

* مسئول مکاتبه: ataollah.kavian@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

سطح جاده‌های جنگلی دارابکلا و آبخیزهای جنگلی با شرایط مشابه را دارا می‌باشد. همچنین، پس از بررسی مقدار رسوب مشاهده‌ای در خروجی حوزه مشخص گردید که با توجه به نتایج مدل WARSEM و اندازه‌گیری مستقیم به‌ترتیب ١٦ و ٩ درصد رسوب تولیدی و انتقال‌یافته در حوزه، از سطح جاده‌های جنگلی مورد مطالعه تولید شده است.

واژه‌های کلیدی: جاده‌های جنگلی، تحویل رسوب، دارابکلا، شبیه‌ساز باران، WARSEM

مقدمه

جنگل‌ها یکی از مؤلفه‌های اصلی کربن جهانی و از نظر اکولوژی زیستگاه بسیاری از گونه‌های گیاهی، جانوری و منبع اقتصادی بسیار مهمی برای بشر می‌باشند. هر گونه دخالت در این اکوسیستم حیاتی، عملکرد آن را با مخاطره مواجه می‌سازد (محمدی، ٢٠٠٧). سالیانه حدود ٨٠٠ هزار مترمکعب چوب، از عرصه‌های جنگلی شمال کشور برداشت می‌شود (سلطانی، ٢٠٠٧) که این امر مستلزم احداث و ساخت جاده‌هایی در میان این جنگل‌ها برای حمل، نقل و خروج مقطوعات می‌باشد. با احداث و استفاده از جاده‌های جنگلی به پوشش گیاهی مستقر در محدوده عملیات ساختمانی جاده آسیب فراوانی وارد شده و عرصه در معرض فرسایش قرار می‌گیرد (بینکلی و براون، ١٩٩٣). مطالعات نشان داده است که جاده‌های احداث شده، منبع اصلی انتقال رسوب به رودخانه‌ها در این جنگل‌ها می‌باشند (کول و لاندرز، ١٩٩٦). افزایش میزان رسوب ورودی به رودخانه‌ها باعث ایجاد خسارت‌های جبران‌ناپذیری به کیفیت آب و اکوسیستم موجودات آبزی می‌شود. بنابراین کنترل بار رسوبی ورودی به منابع آبی یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد بررسی در مدیریت کیفیت آب است (صادقی و همکاران، ٢٠٠٨). امروزه به‌منظور بررسی سیستم زهکشی عرضی و کاهش حجم انتقال رسوب به‌دست آمده از جاده‌های جنگلی به رودخانه‌ها، مدل‌های مختلفی تهیه و ارایه شده است (آکای و سشن، ٢٠٠٥). مدل فرسایش سطح جاده واشنگتن (WARSEM)[1] با بهره‌گیری از رابطه‌های تجربی مرتبط با کاربری جاده، زمین‌شناسی زیرسطحی، بارندگی، سطح جاده، شیب جاده، پوشش دامنه خاکبرداری، سن جاده و فاصله و نزدیکی به آبراهه، متوسط سالانه تولید و تحویل رسوب به رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، ناشی از فرسایش در سطح جاده‌های جنگلی، را برآورد می‌کند (دوب و همکاران، ٢٠٠٤؛ فو و همکاران، ٢٠١٠).

1- Washington Road Surface Erosion Model

www.SID.ir

Archive of SID

فرسیت و همکاران (۲۰۰٦)، در جنگل‌های استرالیا و در شرایط بارندگی طبیعی، مقدار کل رسوب تولیدی توسط جاده شن‌ریزی شده را طی یک دوره دوساله، ۵/۷ تن در کیلومترمربع و برای جاده بدون شن‌ریزی ۳/۹ تن در کیلومترمربع برآورد کردند. ریجسدیجک و همکاران (۲۰۰۷)، مقدار رسوب به دست آمده از جاده‌های روستایی، راه‌های مالرو و مناطق مسکونی حوزه آبخیز کنتو اندونزی را به‌ترتیب ۱/۹، ۲/۵ و ۲/٤ کیلوگرم در مترمربع در سال به‌دست آوردند. فو و همکاران (۲۰۰۹)، مدل WARSEM را در حوزه‌های آبخیز مورویا- دوا و توروس در استرالیا به‌کار بردند، نتایج نشان داد که تولید رسوب برآورد شده در حوزه‌های آبخیز نام‌برده، به‌ترتیب ۳۵ و ۲۱ هزار تن در کیلومترمربع در سال و تحویل رسوب به رودخانه نیز به‌ترتیب ٦ و ۹ درصد بوده است.

هر ساله هزاران کیلومتر جاده جنگلی احداث می‌شود که به‌دنبال آن میلیون‌ها مترمکعب خاک جابه‌جا و هزاران مترمکعب درخت قطع می‌شوند. با توجه به این‌که یکی از مهم‌ترین پیامدهای جاده‌سازی فرسایش خاک و تخریب خاک می‌باشد، شناخت نوع و مقدار فرسایش تحت‌تأثیر جاده، امری ضروری برای مدیریت همه‌جانبه حوزه آبخیز می‌باشد (فو و همکاران، ۲۰۱۰). جنگل‌های شمال کشور اهمیت ویژه‌ای از نظر اقتصادی، تجاری و تفرجی دارند، بنابراین حفاظت از این جنگل‌ها و مدیریت همه‌جانبه آن‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. هدف از این پژوهش، با توجه به اهمیت موضوع بررسی مسأله فرسایش در مقیاس جاده، برآورد میزان متوسط تولید و تحویل رسوب توسط جاده‌های جنگلی دارابکلا با استفاده از مدل WARSEM بوده و سپس به‌منظور ارزیابی آن، اندازه‌گیری مستقیم فرسایش و تولید رسوب در سطح جاده‌های نام برده با استفاده از شبیه‌ساز باران با ویژگی‌های خاصی مانند ارتفاع نازل ۳ متر و ابعاد پلات ۲ مترمربع انجام پذیرفت. همچنین، با در نظر گرفتن میزان رسوب مشاهده‌ای در خروجی حوزه، میزان مشارکت این جاده‌ها در رسوب‌دهی حوزه تعیین گردید.

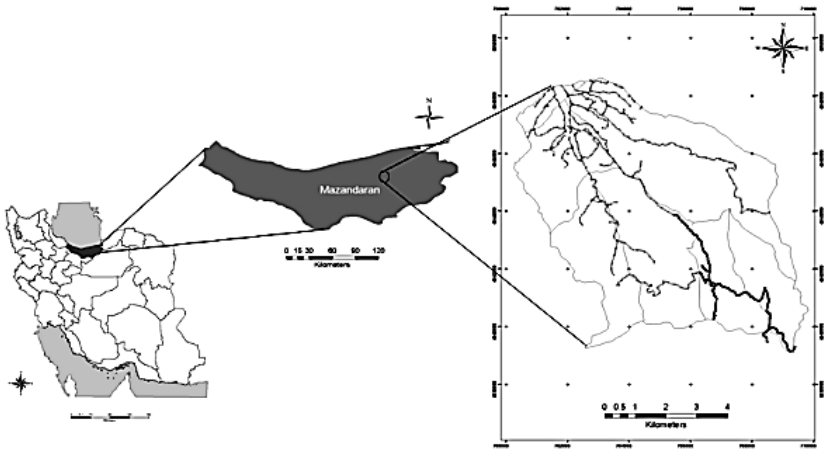
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش، در حوزه آبخیز جنگلی دارابکلا واقع در استان مازندران، در محدوده جغرافیایی ۳٦ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳٦ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی انجام پذیرفت. متوسط بارندگی سالانه این منطقه ۷۳۰/۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱٦/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تیپ پوشش جنگلی منطقه ممرز- انجیلی بوده و دارای خاک راندزین با بافت غالباً لومی، رسی لومی و نوع سنگ مادر مارن، ماسه‌سنگ آهکی، آهک

www.SID.ir

Archive of SID

مارنی و آهک می‌باشد (کتابچه طرح جنگلداری دارابکلا، ۲۰۰۳). تراکم جاده در هر هکتار ۹ متر و از نوع درجه ۱ جنگلی و انشعابات داخلی آن به‌طور عمده از نوع درجه ۲ و ۳ جنگلی می‌باشد. همچنین شیب متوسط جاده‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه به‌طورکلی ٥/٦ درصد می‌باشد. به‌منظور انتخاب سایت مورد مطالعه، کل جاده‌های جنگلی موجود در منطقه، طی بازدیدهای صحرایی اولیه و همچنین بررسی نقشه‌ها در محیط GIS، مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص گردید که مسیر انتخاب شده برای انجام نمونه‌برداری و برداشت‌های میدانی، دارای استعداد بیش‌تری از نظر فرسایش و تولید رسوب می‌باشد. طول جاده‌های جنگلی تحت بررسی در این پژوهش، ۱۲ کیلومتر و به‌طور عمده از نوع درجه ۲ بوده و وضعیت تردد و ترافیک در این مسیر سبک و در بعضی موارد به‌نسبت سبک می‌باشد (کتابچه طرح جنگلداری دارابکلا، ۲۰۰۳). موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان.

مدل فرسایش سطح جاده واشنگتن (WARSEM): این مدل، یک مدل تجربی است که برای برآورد میانگین بلندمدت تولید و تحویل رسوب از جاده به رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه ساختار کلی مدل، رابطه‌ها و پارامترهای مورد نیاز آن شرح داده شده است:

www.SID.ir

Archive of SID

متوسط سالانه مقدار تحویل رسوب به یک آبراهه از هر بخش جاده براساس رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود (دوب و همکاران، ۲۰۰٤؛ فو و همکاران، ۲۰۱۰).

$$E=(R_s + C_s) \times A_g \quad (۱)$$

که در آن، E: کل تحویل رسوب به یک آبراهه از هر بخش جاده با ویژگی‌های ساختاری همگن (تن در سال)، R_s: پارامتر کف جاده و نهر، C_s: پارامتر دامنه خاکبرداری و A_g: فاکتور سن جاده.
پارامتر کف جاده و نهر طبق رابطه ۲، به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$R_s=G \times S_f \times T \times L \times W \times S \times E_r \times SDR_{R-S} \quad (۲)$$

که در آن، R_s: پارامتر کف جاده و نهر، G: فاکتور فرسایش زمین‌شناسی، S_f: فاکتور سطح جاده، T: فاکتور ترافیک، L: فاکتور طول جاده (طول قطعات مشخص جاده)، W: فاکتور عرض جاده (کف + نهر)، S: فاکتور شیب جاده، E_r: فاکتور بارش و SDR_{R-S}: فاکتور تحویل.
پارامتر دامنه خاک‌برداری (شیروانی جاده) طبق رابطه ۳، به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$C_s=G \times C_f \times L \times H \times E_r \times SDR_{R-S} \quad (۳)$$

که در آن، C_s: پارامتر دامنه خاک‌برداری (شیروانی جاده)، G: فاکتور فرسایش زمین‌شناسی، C_f: فاکتور پوشش شیروانی جاده، L: فاکتور طول شیروانی جاده، H: فاکتور ارتفاع شیروانی جاده، E_r: فاکتور بارش و SDR_{R-S}: فاکتور تحویل.

عوامل و ورودی‌های مدل WARSEM

- **عامل فرسایش زمین‌شناسی (G)**: قابلیت فرسایش‌پذیری خاک توسط اندازه ذرات خاک و انسجام آن تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (گلدمن و همکاران، ۱۹۸٦). عامل فرسایش زمین‌شناسی طبق جدول‌های مربوطه تعیین و در مدل در نظر گرفته می‌شود (دوب و همکاران، ۲۰۰٤؛ فو و همکاران، ۲۰۰۹).
- **عامل سطح جاده (S_f)**: نوع و کیفیت سطح در یک جاده، تأثیر بزرگی در چگونگی نگهداری جاده در برابر استفاده ترافیک دارد (سوایف، ۱۹۸٤). عامل سطح برای تیمارهای مختلف جاده توسط جدول‌های خاصی تعیین می‌شود (دوب و همکاران، ۲۰۰٤؛ فو و همکاران، ۲۰۰۹).

www.SID.ir

Archive of SID

- **عامل ترافیک (T) و عرض جاده (W)**: عرض جاده و مقدار ترافیک در یک جاده، هر دو در مقدار فرسایش سطحی تولید شده از کف جاده تأثیر دارند (سولیوان و دانکن، ١٩٨٠). مدل فرسایش جاده به کاربر این اجازه را می‌دهد تا ترافیک یک بخش خاص و مقادیر عرض جاده اندازه‌گیری شده را وارد مدل نماید.

- **عامل شیب جاده (S)**: گرادیان یا شیب یک بخش جاده، میزان فرسایش را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (لوس و بلک، ١٩٩٩). مدل فرسایش جاده، عامل شیب جاده را برای هر بخش جاده، براساس وضعیت شیب کف جاده در نظر گرفته، که توسط کاربر وارد مدل می‌شود.

- **عامل ارتفاع دامنه خاکبرداری (H)**: براساس برنامه SEDMODL، برای بخش‌های جاده‌ای، ارتفاع‌های از پیش‌تعیین‌شده‌ای براساس شیب دامنه خاک‌برداری تعریف شده است. برنامه SEDMODL محاسبه های شیب دامنه و گروه‌های آن را در ٤ طبقه انجام داده است (مگاهان و همکاران، ٢٠٠١). همچنین، این عامل می‌تواند با اندازه‌گیری مستقیم ارتفاع شیروانی جاده توسط کاربر تعیین و وارد مدل گردد.

- **عامل پوشش دامنه خاکبرداری (C_f)**: اثربخشی نسبی پوشش زمین در کاهش میزان فرسایش در دامنه‌های خاک‌برداری، تابعی از درصد زمین محافظت شده و نحوه تماس پوشش با سطح زمین و مقاومت ریشه است (گروه منابع طبیعی واشنگتن، ١٩٩٧). عامل پوشش دامنه خاک‌برداری براساس درصد پوشش گیاهی یا پوشش سنگ تعیین شده توسط کاربر، وارد مدل می‌شود.

- **عامل بارندگی (E_r)**: بارش باران و ذوب برف مکانیزم‌های غالب در فرسایش و انتقال بوده و بر فرسایش سطح جاده در بیش‌تر مناطق تأثیرگذار است (وین‌سنت، ١٩٨٥). عامل بارندگی در مدل WARSEM، با استفاده از رابطه ٤، به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\text{Rain Factor}=٠/٠١٦\ [\text{Average Annual Rainfall (inches)}]^{١/٥} \qquad (٤)$$

- **عامل تحویل رسوب ($SDR_{R\text{-}S}$)**: رسوبات فرسایش‌یافته از یک بخش جاده که منابع آبی را تحت‌تأثیر قرار داده و در مدل WARSEM در نظر گرفته شده، باید از جاده به یک آبراهه یا رودخانه منتقل شود. در مدل نام‌برده، جاده‌های با فاصله بیش‌تر از ٢٠٠ فوت (٦٠/٩٦ متر) از رودخانه، برای تحویل رسوب فرض شده به آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، در نظر گرفته نمی‌شوند. به‌جز

www.SID.ir

Archive of SID

گالی‌های موجود در بین جاده و کانال رودخانه، که به انتقال رسوب از جاده به رودخانه کمک می‌کنند (هاویت، ۱۹۵۹). در این پژوهش، با توجه به فاصله انتهای هر قطعه جاده نسبت به نزدیک‌ترین آبراهه، مقادیر تحویل رسوب براساس جدول‌های مربوطه (دوب و همکاران، ۲۰۰٤) برای هر قطعه به‌صورت جداگانه محاسبه و وارد مدل گردید، که متوسط این میزان برای تمامی قطعات جاده‌ای حدود ۳۹ درصد برآورد گردید.

- **عامل سن جاده (A_g)**: پژوهش‌ها نشان داده است که جاده‌های جدید یا بازسازی شده، میزان فرسایش بالاتری در طی ۲-۱ سال اول پس از ساخت نسبت به سال‌های بعدی دارند (کچسون و همکاران، ۱۹۹۹). به‌طورکلی، باید سال ساخت هر یک از بخش‌های جاده تعیین گردد و سپس برای هر بخش از جاده، طبق جدول های مربوطه، مقادیر فاکتور سن جاده مشخص شده و وارد مدل شود (دوب و همکاران، ۲۰۰٤؛ فو و همکاران، ۲۰۰۹).

عملیات صحرایی و برداشت میدانی داده‌های مدل WARSEM: در این پژوهش، فاکتورهای طول و عرض هر قطعه، عرض نهر و شیب طولی هر قطعه، ارتفاع و پوشش دیواره خاک‌برداری، سطح جاده، شکل و پیکربندی هر بخش و سایر عوامل مانند تعیین مختصات کالورت‌ها و گالی‌ها در طول مسیر مورد مطالعه و ابتدا و انتهای هر قطعه (توسط GPS)، از طریق اندازه‌گیری مستقیم و بازدید میدانی تعیین و ثبت گردید. قابل توضیح است که برای استفاده از WARSEM، لازم است که طول، عرض و شیب همه بخش‌های جاده در شبکه جاده‌ای را بدانیم (فو و همکاران، ۲۰۰۹) که این مقادیر برای هر قطعه به‌صورت جداگانه از طریق اندازه‌گیری میدانی در منطقه به‌دست آمد. فاکتورهای فرسایش زمین‌شناسی و فاصله و نزدیکی به آبراهه (فاکتور تحویل) نیز از نقشه‌های پایه توپوگرافی، زمین‌شناسی، شبکه آبراهه و شبکه جاده با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در محیط GIS استخراج گردید. همچنین، فاکتورهای وضعیت ترافیکی منطقه، میزان بارندگی سالیانه، مشخصات سطح و سن جاده از کتابچه طرح جنگلداری دارابکلا (۲۰۰۳) به‌دست آمد. لازم به ذکر است که برای تعیین دقیق عامل بارندگی، براساس ۳۱ سال آمار ایستگاه هواشناسی دارابکلا میزان بارندگی سالیانه برای هر قطعه به‌صورت جداگانه با استفاده از Kriging در محیط GIS محاسبه و اعمال گردید و مقادیر مختلف عامل بارندگی برای هر قطعه مشخص، استخراج و در مدل در نظر گرفته شد. همچنین، به‌منظور تعیین فاکتور تحویل برای هر قطعه، فاصله انتهای هر قطعه تا نزدیک‌ترین آبراهه، از طریق آنالیز داده‌های

www.SID.ir

Archive of SID

DEM در محیط GIS محاسبه گردید (فو و همکاران، ٢٠٠٩) که بر این اساس، مقدار تحویل رسوب برای فاصله های بیش‌تر از ٦١ متر صفر در نظر گرفته شده و برای فاصله های کم‌تر از آن مطابق با جدول های مربوطه تعیین و وارد مدل گردید (دوب و همکاران، ٢٠٠٤). کل جاده مورد مطالعه با طول ١٢ کیلومتر به ٦٣ قطعه با شرایط و ویژگی‌های یکسان از نظر شیب، وجود و نبود دیواره خاک‌برداری، ارتفاع و پوشش دیواره خاک‌برداری، شکل و پیکربندی و شبکه زهکشی تقسیم‌بندی گردید و داده‌ها و اندازه‌گیری‌های مورد نیاز در مدل، برای هر بازه همگن به‌صورت جداگانه طی عملیات صحرایی گسترده، انجام و برداشت شد.

اندازه‌گیری مستقیم رسوب‌دهی در جاده‌های جنگلی مورد مطالعه با استفاده از شبیه‌سازی باران: با به‌کارگیری دستگاه باران‌ساز صحرایی و تولید باران مصنوعی بر روی ساختمان جاده جنگلی می‌توان رفتار سطح جاده را از نظر نگهداشت و نفوذ آب و تولید رواناب و فرسایش مورد بررسی قرار داد (پارساخو، ٢٠١٢). استفاده از باران‌ساز سیار برای مطالعات صحرایی به‌ویژه مطالعه روی عوارض مصنوعی مانند جاده‌های جنگلی که انتقال بخش‌های مختلف آن به آزمایشگاه غیرممکن است، ضروری به‌نظر می‌رسد (صفری، ٢٠١٢). بنابراین در این پژوهش، باران‌ساز با ارتفاع ٣ متر که در گروه باران‌سازهای بزرگ پژوهشی قرار می‌گیرد، مورد استفاده واقع شده است. نازل مورد استفاده نیز از نوع BEX مدل 1/4 S 6.5 با مخروط بارش ١٠٠-١٥ درجه می‌باشد. در شکل ٢ عملیات صحرایی و برداشت‌های میدانی صورت گرفته به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای مدل WARSEM و همچنین اندازه‌گیری مستقیم فرسایش و تولید رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران نشان داده شده است.

به‌منظور دست‌یابی به شرایط بارندگی موجود در منطقه و انجام عملیات شبیه‌سازی مطابق با بارندگی‌های غالب و طبیعی در منطقه مورد مطالعه از داده‌های بلندمدت بارندگی (آمار ٣١ ساله) مربوط به ایستگاه هواشناسی دارابکلا واقع در داخل حوزه آبخیز دارابکلا بهره‌گیری شد. مطابق با این داده‌ها، حداکثر شدت بارش موردنظر در تداوم تعیین شده، از مدل قهرمان و آبخضر (٢٠٠٤) استخراج گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل نام‌برده طبق داده‌های هواشناسی ایستگاه دارابکلا، بارش با شدت ٥٤ میلی‌متر در ساعت و تداوم ٢٠ دقیقه بر روی قاب گالوانیزه (پلات باران‌ساز) به ابعاد ٢٠٠×١٠٠ سانتی‌متر (٢ مترمربع) به اجرا در آمد. رواناب و رسوب خروجی از قاب فلزی، در هر ٥ دقیقه توسط ظروف مدرج جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. در نهایت، مقدار بار رسوب و نرخ فرسایش خاک محاسبه گردید (آرنائز و همکاران، ٢٠٠٤؛ کردا، ٢٠٠٧؛ جوردن‌لوپز و همکاران، ٢٠٠٩).

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲- تصاویری از عملیات صحرایی و برداشت‌های میدانی صورت گرفته در این پژوهش.

رسوب مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در خروجی حوزه: در این پژوهش، ایستگاه هیدرومتری دارابکلا که در خروجی حوزه قرار داشته و مشخصات آن در جدول ۱ آمده است، برای تحلیل‌های آماری رسوب و اندازه‌گیری میزان رسوب مشاهده‌ای به‌عنوان ایستگاه معرف انتخاب گردید. یکی از روش‌های دقیق اندازه‌گیری میزان رسوب تولیدی حوزه‌های آبخیز استفاده از اندازه‌گیری مستقیم دبی آب و رسوب می‌باشد که در این پژوهش از آمار ایستگاه دارابکلا که از سال ۱۳۷۱ تا سال ۱۳۸۵ به‌مدت ١٤ سال دارای آمار روزانه قابل دسترس می‌باشد، استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه.

رودخانه	ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
دارابکلا	دارابکلا	۰۱۷-۱۳	٥٣-١٤	٣٦-٣٣	١٤٠

www.SID.ir

Archive of SID

اصولاً بین رسوب و رواناب رابطه لگاریتمی وجود دارد که معمولاً به‌صورت رابطه نمایی زیر نوشته می‌شود:

$$Q_s = Kq^n \qquad (٥)$$

که در آن، Q_s: دبی رسوب بر حسب تن در روز، n و K: ضرایب ثابت و q: دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه.

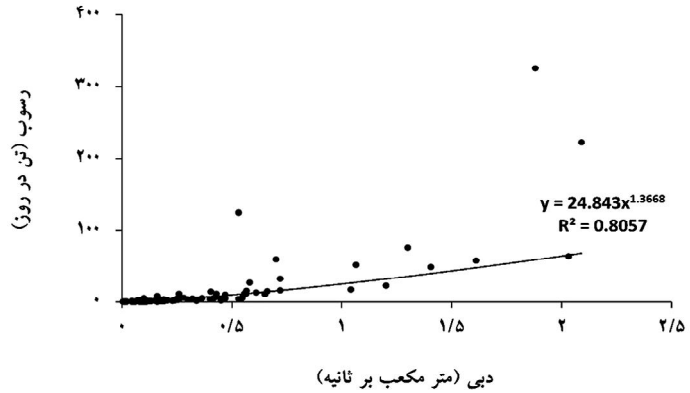
ضرایب n و K از طریق ایستگاه‌های هیدرومتری و یا ایستگاه‌های اندازه‌گیری فرسایش و رسوب تعیین می‌گردند. برای تعیین این ضرایب لازم است آمارهای مرتبط با دبی آب و دبی رسوب در دسترس باشد و پس از آن با تحلیل آماری رگرسیون رابطه های موجود بین رسوب و آب در منطقه موردنظر، ضرایب n و K مشخص می‌گردند.

برای ایستگاه هیدرومتری دارابکلا رابطه دبی رسوب با دبی آب به‌صورت رابطه ٦ و شکل ٣ تعیین و ارایه گردیده است (شرکت سازه آب شفق، ٢٠١٠).

$$Q_S = ٢٤ / ٨٤ Q_W{}^{١/٣٧} \qquad (٦)$$

که در آن، Q_s: دبی رسوب روزانه بر حسب تن در روز و Q_w: دبی روزانه آب بر حسب مترمکعب بر ثانیه.

با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه دارابکلا و بررسی رسوب مشاهده‌ای براساس رابطه بالا، میزان تولید رسوب سالانه در منطقه مورد مطالعه، ٢٠٥٠/٩٥ تن در سال به‌دست آمده است (شرکت سازه آب شفق، ٢٠١٠).



شکل ٣- رابطه رسوب و دبی روزانه ایستگاه دارابکلا.

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های آماری مورد استفاده برای مقایسه و ارزیابی مدل: در این پژوهش، به‌منظور بررسی و ارزیابی نتایج، از آزمون t جفتی، ضریب کارایی ناش- ساتکلایف (NS)، میانگین اختلاف (BIAS) و میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده گردید که در ادامه به‌طور مختصر به آن‌ها اشاره شده است.

- **آزمون t جفتی:** رابطه کلی این آزمون به‌صورت زیر می‌باشد:

$$t = \frac{\overline{d}}{S_{\overline{d}}} \qquad (۷)$$

$\overline{d}$: میانگین تفاضل جفت مشاهده‌ها و $S_{\overline{d}}$: اشتباه معیار تفاوت‌ها.

- ضریب کارایی ناش- ساتکلایف (NS)

$$NS = ۱ - \frac{\sum_{i=۱}^{n}\left(Y_{observed} - Y_{estimated}\right)^۲}{\sum_{i=۱}^{n}\left(Y_{observed} - \overline{Y}_{observed}\right)^۲} \qquad (۸)$$

که در آن، $Y_{observed}$: مقادیر مشاهده‌ای، $Y_{estimated}$: مقادیر برآوردی و $\bar{Y}_{observed}$: میانگین مقادیر مشاهده‌ای.

- میانگین اختلاف (BIAS)

$$BIAS = \frac{۱}{n}\sum_{i}^{n} \frac{E_o - E_e}{E_o} \qquad (۹)$$

که در آن، E_o: مقادیر مشاهده‌ای، E_e: مقادیر برآوردی و n: تعداد نمونه.

- میانگین مربع خطا (RMSE)

$$RMSE = \left|\frac{۱}{n}\sum_{i}^{n} \frac{(Q_o - Q_e)^۲}{Q_o}\right|^{\frac{۱}{۲}} \qquad (۱۰)$$

که در آن، Q_o: مقادیر مشاهده‌ای، Q_e: مقادیر برآوردی و n: تعداد نمونه.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

مشخصات آماری داده‌های برداشت شده طی عملیات‌های صحرایی: در این پژوهش، طی انجام عملیات‌های صحرایی مختلف در منطقه مورد مطالعه، داده‌هایی مانند طول و عرض جاده، شیب طولی جاده، عرض نهر کنار جاده، سطح مشارکت جاده، ارتفاع و پوشش دیواره خاک‌برداری از ٦٣ بازه و قطعه همگن جاده‌ای برای اجرای مدل WARSEM و همچنین پارامترهایی مانند حجم رواناب، آستانه ظهور رواناب، ضریب رواناب، بار رسوب، غلظت رسوب و هدررفت خاک طی عملیات شبیه‌سازی باران در سطح جاده‌های نام‌برده اندازه‌گیری و برداشت گردید که مشخصات آماری آن‌ها در جدول‌های ٢ و ٣ به تفکیک نشان داده شده است.

جدول ٢- مشخصات آماری برخی از داده‌های اندازه‌گیری شده طی عملیات صحرایی برای مدل WARSEM.

فاکتور	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
طول جاده (متر)	١٩٠/١٤	٦١٠	٢٦	١١٦/٦٥	٦١
عرض جاده (متر)	٦/٦٣	١١/٥	٤/٢٠	١/٤١	٢١
شیب طولی جاده (درصد)	٥/٦	١٢/٢٤	٠/٠٩	٣/٠٢	٥٤
عرض نهر (متر)	٠/٧٤	٢/٤	٠/٣	٠/٣٧	٤٩
ارتفاع دیواره خاک‌برداری (متر)	٣/٦٢	١٥	٠/٥	٣/٢٧	٩٠
پوشش دیواره خاک‌برداری (درصد)	٣٩/٩٢	٩٥	٠	٤١/٦٣	١٠٤
سطح مشارکت جاده (مترمربع)	١٣٠٧/٨٧	٤٦٨١/٨	١٤٠/٤	٩٣٣/٥٠	٧١

جدول ٣- مشخصات آماری پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده طی عملیات شبیه‌سازی باران.

متغیر اندازه‌گیری شده	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
حجم رواناب (لیتر)	٣/٩٥	١٣/٠٢	١/٠٦	٣/١٦	٨٠/١٩
آستانه ظهور رواناب (دقیقه)	٣/٩٤	٧/٣٥	١/٢٨	٣/٦٥	٩٢/٨٤
ضریب رواناب (درصد)	١١/٢٤	٢٤/٧٠	٠/٣٤	٧/١٤	٦٣/٤٩
بار رسوب (گرم)	٢٣/٣٨	٧٧/٣٦	١٢/٩١	١٧/٢٤	٧٣/٧٥
غلظت رسوب (گرم در لیتر)	٧/٨٤	٤٦/٨٩	٥/٦٤	٧/٨٠	٩٩/٤٦
هدررفت خاک (گرم در مترمربع)	١٥/٠٥	٦١/٦٤	٧/٢٢	١٢/٨٩	٨٥/٦٨

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه و برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب جاده‌ای توسط مدل WARSEM و شبیه‌سازی باران: پس از تهیه و جمع‌آوری تمامی داده‌ها و اطلاعات لازم، برای هر قطعه به‌صورت جداگانه، مدل WARSEM اجرا و میزان رسوب‌دهی برآورد گردید. علاوه‌بر آن، پس از انجام عملیات شبیه‌سازی باران و نمونه‌برداری در سایت‌های مختلف و انجام عملیات آزمایشگاهی، میزان فرسایش و تولید رسوب به‌صورت مستقیم در سطح جاده‌های جنگلی مورد مطالعه تعیین و اندازه‌گیری شد. نتایج کلی به دست آمده از بررسی‌های انجام شده در این پژوهش در جدول ٤ ارایه گردیده است. همچنین، مقادیر تحویل رسوب برآورد شده توسط مدل WARSEM به تفکیک بازه‌ها و قطعات مختلف جاده‌ای در شکل ٤ نشان داده شده است.

جدول ٤- میزان رسوب‌دهی برآوردی و مشاهده‌ای در جاده‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه.

ابزار اندازه‌گیری	کل رسوب جاده (تن در سال)	متوسط رسوب جاده (تن در سال)	رسوب ویژه (کیلوگرم در مترمربع در سال)	تحویل رسوب (تن در سال)	انتقال رسوب (درصد)
WARSEM	٨٣٧/٦٠٤	١٣/٣١٢	٩/٩١٨	٣٢٨/١٠٣	٣٩
شبیه‌ساز باران	٣٤١/١٩٣	٥/٦٨٧	٤/١٤١	١٧٤/٠٢١	٥١

تجزیه و تحلیل آماری نتایج مدل WARSEM با مقادیر مشاهده‌ای به دست آمده از شبیه‌سازی باران: نتایج به‌دست آمده از روش‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش برای ارزیابی مدل WARSEM و بررسی نتایج آن در جدول‌های ٥ و ٦ ارایه گردیده است. همان‌طورکه نتایج جدول‌های ٤، ٥ و ٦ نشان می‌دهد بین داده‌های برآوردی مدل و داده‌های واقعی و اندازه‌گیری شده توسط شبیه‌ساز باران اختلاف معنی‌دار در سطح ٩٥ درصد وجود نداشته اما به‌طورکلی، مدل مقادیری بیش‌تر از واقعیت تخمین و ارایه نموده است، به‌عبارتی مدل دارای بیش‌تخمینی نسبت به داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٥- نتایج آماری آزمون t جفتی برای مدل WARSEM با داده‌های مشاهده‌ای در جاده‌های مورد مطالعه.

مدل مورد آزمون	میانگین	انحراف معیار	اشتباه معیار اختلاف میانگین	درجه آزادی	فاصله اطمینان ٩٥ درصد		آماره t	سطح معنی‌دار
					حد پایین	حد بالا		
WARSEM	١٦٩/٩٤	٢٨٢/٧٤	١٦٣/٢٤	٤٠	-٥٣٢/٤٢	٨٧٢/٢٩	١/٠٤١	٠/٤٠٧

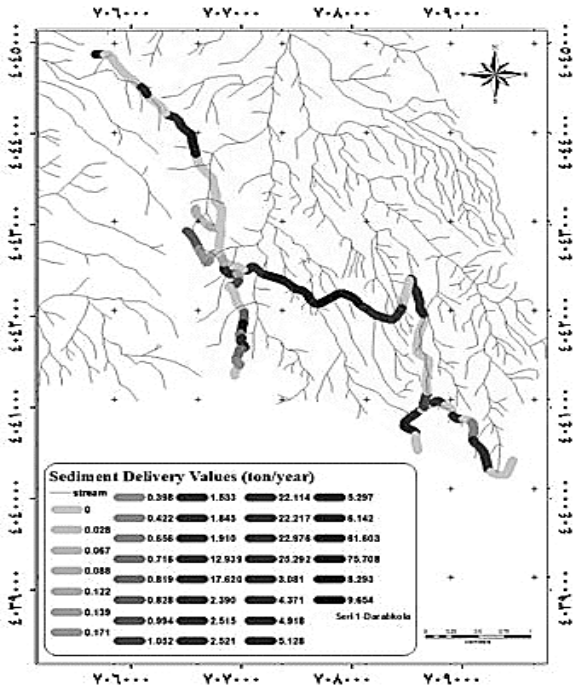
جدول ٦- نتایج روش‌های آماری NS، BIAS و RMSE برای مدل WARSEM در جاده‌های مورد مطالعه.

مدل مورد آزمون	NS	BIAS	RMSE
WARSEM	٠/٢٩	٠/٢٣	٤/٤٨

بررسی تعیین سهم مشارکت جاده در تولید رسوب حوزه آبخیز جنگلی دارابکلا: میزان تحویل رسوب از سطح جاده‌های جنگلی دارابکلا به رودخانه‌ها و آبراهه‌ها طبق مدل WARSEM و اندازه‌گیری مستقیم به‌ترتیب حدود ٣٢٨ و ١٧٤ تن در سال محاسبه و برآورد گردید. همچنین، با توجه به بررسی‌ها و تحلیل مقادیر رسوب مشاهده‌ای در محل خروجی حوزه، میزان رسوب اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه هیدرومتری موجود، معادل ٢٠٥٠ تن در سال بوده است. با ایجاد تناسب بین مقادیر بالا و با فرض این‌که تمامی رسوب وارد شده به آبراهه‌ها و رودخانه‌های موجود در منطقه توسط این جاده‌ها، به خروجی حوزه رسیده باشد می‌توان به این نتیجه رسید که براساس مدل WARSEM و اندازه‌گیری واقعی با استفاده از شبیه‌ساز باران به‌ترتیب ١٦ و ٩ درصد رسوب تولیدی و انتقال یافته در حوزه، توسط جاده‌های جنگلی مورد مطالعه تولید و انتقال یافته است. لازم به ذکر است که نتیجه‌گیری بالا بر مبنای فرض ارایه شده در بالا بوده که با واقعیت موجود و طبیعت تطابق و هم‌خوانی نداشته و باید بحث انقطاع رسوب و ترسیب آن نیز در نظر گرفته شود، بنابراین می‌توان گفت موضوعی غیرقابل بررسی بوده و چنین نتیجه‌گیری غیرقابل استناد می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- میزان تحویل رسوب در قطعات مختلف جاده جنگلی دارابکلا براساس مدل WARSEM.

نتیجه‌گیری کلی

احداث جاده‌ها در مناطق جنگلی یکی از عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش و تولید رسوب می‌باشد که نقش بسیار مهمی در تولید رسوب در مناطق جنگلی دارد. در این پژوهش، طی عملیات صحرایی انجام شده در مسیری به طول ۱۲ کیلومتر از جاده‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه، پارامترها و داده‌های مورد نیاز در مدل WARSEM اندازه‌گیری و برداشت گردیده و برای تجزیه و تحلیل وارد مدل شد. در ادامه به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل، با استفاده از دستگاه باران‌ساز سیار، میزان رسوب‌دهی در سطح این جاده‌ها به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری گردید.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از اجرای مدل، میزان رسوب‌دهی و تحویل رسوب سطح جاده‌های مورد مطالعه، ۳۲۸/۱۰۳ تن در سال (۹/۹ کیلوگرم در مترمربع در سال) بوده که به آبراهه‌ها و رودخانه‌های موجود در حوزه تحویل و انتقال‌یافته است، در حالی‌که این مقدار براساس اندازه‌گیری

www.SID.ir

Archive of SID

مستقیم توسط شبیه‌ساز باران معادل ١٧٤/٠٢١ تن در سال (٤/١ کیلوگرم در مترمربع در سال) به‌دست آمد. مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای به‌دست آمده در این پژوهش (جدول‌های ٤، ٥ و ٦) بیانگر بیش‌تخمینی مدل WARSEM نسبت به مقادیر مشاهده‌ای و واقعیت موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. اما با توجه به نتایج آزمون‌های آماری انجام گرفته، این بیش‌تخمینی و اختلاف بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای معنی‌دار نبوده و می‌توان کارایی و دقت به‌نسبت مناسب مدل WARSEM را برای برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در سطح جاده‌های جنگلی شمال ایران با ویژگی‌های مشابه با حوزه آبخیز جنگلی دارابکلا تأیید و پیشنهاد نمود.

منابع

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

2.Akay, A.E., and Sessions, J. 2005. Applying the decision support system, TRACER, to forest road design. West J. Appl. Forest. 20: 3. 184-191.

3.Binkley, D., and Brown, T.C. 1993. Forest practices as nonpoint sources of pollution in North America. Water Res. Bull. 29: 5. 729-740.

4.Cole, D.N., and Landres, P.B. 1996. Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs. Ecol. Appl. 6: 168-184.

5.Cerdà, A. 2007. Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. Science of the Total Environment. 378: 151-155.

6.Dube´, K., Megahan, W., and Mccalmon, M. 2004. Washington Road Surface Erosion Model (WARSEM) Manual. Department of Natural Resources, State of Washington, 189p.

7.Forest Management Plan Handbook of Darabkola. 2003. The natural resources general office of Mazandaran province. Department of Forests and Rangelands, 325p. (In Persian)

8.Forsyth, A.R., Bubb, K.A., and Cox, M.E. 2006. Runoff, sediment loss and water quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain Pinus plantation. Forest Ecol. Manage. 221: 194-206.

9.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.

10.Fu, B., Newham, L.T.H., and Ramos-Scharro´n, C.E. 2010. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. Environmental Modelling and Software. 25: 1-14.

www.SID.ir

Archive of SID

11. Goldman, S.J., Jackson, K., and Bursztynsky, T.A. 1986. Erosion and Sediment Control Handbook. Mc-Graw Hill: New York.
12. Ghahraman, B., and Abkhezr, H.R. 2004. Correction of the rainfall intensity-duration-frequency equations in Iran. J. Sci. Tech. Esfahan Agric. Natur. Resour. 8: 2. 1-13. (In Persian)
13. Haupt, H.F. 1959. Road and Slope Characteristics Affecting Sediment Movement from Logging Roads. J. Forest. 57: 329-332.
14. Jordán-López, A., Martinez-Zavala, L., and Bellinfante, N. 2009. Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. J. Sci. Total Environ. 407: 937-944.
15. Ketcheson, G.L., Megahan, W.F., and King, J.G. 1999. R1-R4 and BOISED Sediment Prediction Model Tests using Forest Roads in Granitics. J. Amer. Water Resour. Assoc. 35: 1. 83-98.
16. Luce, C.H., and Black, T.A. 1999. Spatial and Temporal Patterns in Erosion from Forest Roads. In: Wigmosta, M.S., and S.J. Burges (eds.), the Influence of Land Use on the Hydrologic-Geomorphic Responses of Watersheds. AGU Monographs.
17. Megahan, W.F., Wilson, M.D., and Monsen, S.B. 2001. Erosion on steep, granitic roadcuts in Idaho. Earth Surface Processes and Landforms. 26: 2. 153-163.
18. Mohamadi, J. 2007. Investigation of the possibility of estimation of some quantitative characteristics to submit spacial models using satellite data of Landsat TM. M.Sc. Thesis, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, 99p. (In Persian)
19. Parsakhoo, A. 2012. Investigation of the runoff and soil loss rate of different segments of forest road structure using rainfall simulation. Ph.D. Thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources, 169p. (In Persian)
20. Rijsdijk, A., Sampurno Bruijnzeel, L.A., and Kukuh Sutoto, C. 2007. Runoff and sediment yield from rural roads, trails and settlements in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia. Geomorphology. 87: 28-37.
21. Sullivan, K.O., and Duncan, S.H. 1980. Sediment Yield from Road Surfaces in Response to Truck Traffic and Rainfall. Weyerhaeuser Technical Report 042-402.80. Weyerhaeuser Company, Technical Center, Tacoma, WA 98477.
22. Swift, L.W.J. 1984. Gravel and Grass Surfacing Reduces Soil Loss from Mountain Roads. Forestry Science. 30: 657-670.
23. Soltani, F. 2007. Evaluation of the effects of forest harvesting on recreation (Case study: Dolonak district in Guilan province). M.Sc. Thesis, Mazandaran University, Faculty of Natural Resources in Sari, 71p. (In Persian)
24. Sadeghi, S.H., Gholami, L., and Khaledi darvishan, A. 2008. Comparision of the estimation methods of sediment delivery in Chehel Gazi in Kordestan province. Agricultural industry and sciences, especial for soil and water. 22: 1. 23-29. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

25. Shafagh Water Enginnering Company. 2010. Reports of erosion and sediment of Darabkola watershed. Mid-comprehensive study of operational general office of natural resources in Sari, 143p. (In Persian)
26. Safari, A. 2012. Soil loss and runoff measurement in the Darabkola forest roads. M.Sc. Thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources, 97p. (In Persian)
27. Vincent, K.R. 1985. Runoff and Erosion from a Logging Road in Response to Snowmelt and Rainfall. Unpublished Master's thesis, University of California Berkley.
28. Washington Department of Natural Resources. 1997. Standard Methodology for Conducting Watershed Analysis, Version 4.0. Washington Forest Practices Board.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(2), 2014
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Investigation and estimation of the sediment delivery and transmit to streams and rivers via forest roads of Darabkola

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

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

Received: 02/03/2013; Accepted: 10/01/2013

Abstract

In this study, considering the importance of erosion and sedimentation in the forest roads, especially, sediment delivery and transmit to streams and rivers via forest Roads of the Darabkola forest watershed was studied using WARSEM. Therefore, field and direct measurements of the model input factors for 63 different segments of the path length of 12 kilometer of forest roads in the study area was done. In order to evaluate model resultants, erosion and sedimentation rate in the road surface and their different parts was measured using a rain simulator. Also, to evaluate results, paired t-test, Nash-Sutcliffe coefficient, BIAS and RMSE were used. Results showed that the rate of sediment delivery from road surface to streams and rivers the conventional WARSEM and rainfall simulator was 328 and 174 ton per year and sediment production of study roads was 9.9 and 4.1 kilograms per square meter per year respectively. The results of the statistical methods of Nash-Sutcliffe coefficient, BIAS and RMSE for the model were as well as 0.3, 0.2 and 4.5 respectively and in 95% confidence level, there was not any significant differences between observation data and estimation data. Therefore, aforesaid model have the appropriate accuracy and efficiency to estimate the rate of erosion and sediment product of the Darabkola forest roads surface and forested watersheds with a similar Conditions. Also, after assessment and analysis of observed sediment rate in watershed outlet it was specified that according to WARSEM model and direct measurement 16% and 9% of produced and transmitted sediment has been originated from study forest roads surface.

Keywords: Forest roads, Sediment delivery, Darabkola, Rainfall simulator, WARSEM

* Corresponding Authors; Email: ataollah.kavian@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir