مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال پانزدهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۲
ص ۳۶۰-۳۴۵
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2023.376647.1908

برآورد مقدار رسوبگذاری جادهٔ جنگلی با مدل فرسایش سطحی واشینگتن و ارزیابی میزان اثر ورود متغیر دیوارهٔ خاکریزی بر آن

علیرضا قمی معتضه[۱]، رامین نقدی[۲*]، ادریس تقوای سلیمی[۳] و عبدالله امین آکای[۴]

[۱] دانش‌آموخته دکتری جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
[۲] استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
[۳] استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
[۴] استاد گروه مهندسی جنگل، دانشکدهٔ فنی بورسا، ترکیه

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰)

چکیده

جاده‌های جنگلی یکی از منابع تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز کوهستانی محسوب می‌شوند که پیش‌بینی مقدار رسوبات حاصل از آنها اهمیت زیادی در فرایندهای مدیریتی دارد. یکی از کارامدترین مدل‌های تخمین مقدار رسوبات حاصل از جاده‌های جنگلی، مدل فرسایش سطحی واشینگتن است که در جنگل‌های ایالات متحده تولید و برای استفاده به کل جهان عرضه شد؛ اما محدودیت اصلی آن استفاده نکردن از داده‌های مربوط به دامنهٔ خاکریزی است. از این‌رو با توجه به ویژگی‌های خاص جنگل‌های شمال ایران از جمله شیب زیاد دامنه‌ها و نوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای، این عامل به‌عنوان فاکتور احتمالی در تغییر نتایج مدل بررسی شد. این پژوهش در سری سه طرح جنگلداری چلوند واقع در حوزه یک جنگل‌های شمال ایران انجام گرفت. طول کل جاده‌های بررسی‌شده ۵/۵ کیلومتر بود که به ۴۸ قطعه نمونه با ویژگی‌های همگن تقسیم و اطلاعات لازم برای اجرای مدل در آنها برداشت شد. نتایج مدل، مقدار تخمینی رسوبات حاصل از سطح جاده و دامنهٔ خاکبرداری را ۹۴/۷۸۶ تن در کیلومتر بر سال برآورد کرد. سپس اطلاعات مربوط به دامنهٔ خاکریزی نیز وارد و مدل دوباره اجرا شد. مقدار رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی ۳/۴ تن بر کیلومتر در سال پیش‌بینی شد. مقایسهٔ نتایج مدل در حضور و نبود اطلاعات دامنهٔ خاکریزی با استفاده از آزمون تی نشان داد که تفاوت مشاهده‌شده بین نتایج حاصل معنی‌دار نیست. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که اضافه کردن ویژگی‌های مربوط به دامنهٔ خاکریزی نمی‌تواند تأثیر معنی‌داری در تغییر نتایج نهایی حاصل از مدل در منطقهٔ پژوهش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: جادهٔ جنگلی، رسوب، فرسایش، مدل‌های پیش‌بینی.

مقدمه

مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز مستلزم شناخت کافی از جاده‌های موجود و اثر آنها بر منطقه است که آنها را به یکی از موضوعات مدنظر بسیاری از محققان در سراسر جهان بدل کرده است. (Luce & Wemple, 2001; Ramos-Scarron & MacDonald, 2007; Cao et al., 2015).

اگرچه تحقیقات اولیه تا اواسط قرن بیستم تا حدودی تجربی بود، به مرور زمان توانایی چشمگیری در تحقیق، درک و تفسیر فرایندهای زیربنایی روابط جنگل و آب ایجاد شد (Bonell & Bruijnzee, 2005). این درک پیچیده، به‌طور فزاینده‌ای به پذیرش گستردهٔ تأثیرات هیدرولوژیکی و درک بیشتر تأثیر

* نویسنده مسئول
شماره تماس: ۰۹۱۱۱۳۸۰۱۰۸
ایمیل: Rnaghdi@guilan.ac.ir

شیوه‌های مدیریت جنگل بر آن در جامعهٔ علمی منجر شد (Cassells&Bruijnzeel, 2005) و در ادامه به تحقیقات فراوانی در زمینهٔ فرسایش و رسوب انجامید. Akay et al. (2008) به‌منظور برآورد مقدار متوسط انتقال سالانهٔ رسوب از جاده به رودخانه در یک حوضهٔ آبخیز جنگلی ترکیه، دربارهٔ دو نوع جاده با رویهٔ شنی و آسفالته مطالعه کردند. نتایج نشان داد که فاکتورهای شیب، ترافیک و ارتفاع ترانشهٔ خاکبرداری مهم‌ترین عوامل مؤثر در رسوب تولیدی هر دو جاده بودند. Akbari mehr & Naghdi (2012) در تحقیق خود، عوامل اصلی فرسایش را شناسایی کرده و کیفیت روسازی جاده، شدت ترافیک و مقدار پوشش گیاهی دامنه‌ها را عوامل اصلی تولید رسوب معرفی کردند. Kristopher et al. (2013) در آمریکا مقدار رسوبات حاصل از جاده را با استفاده از مقدار رواناب و نمونه‌برداری رسوبات پیش‌بینی کردند. آنها از روش‌های مدل فرسایش سطحی واشینگتن (WARSEM[1]) و SEDMODEL2 و برداشت مستقیم رسوبات استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل هنگامی که سیلاب شدیدی در طول سال در منطقه اتفاق نمی‌افتد، مقدار رسوبات را با دقت خوبی پیش‌بینی می‌کنند، اما در زمان وقوع سیلاب‌های شدید اختلاف نتایج این مدل‌ها با مقدار واقعی رسوبات معنی‌دار بود.

Ramos-Scharrón (2018) در تحقیقات خود در پورتوریکو به این نتیجه رسید که مقدار رسوبات رسیده به جریان‌های آب در منطقهٔ تخریب‌شده بر اثر جاده‌سازی، دویست برابر منطقهٔ فاقد جاده‌سازی مجاور است. Yuksel et al. (2019) مقدار رسوبات رسیده از جاده به جریان‌های آب در ترکیه را با استفاده از مدل فرسایش سطحی واشینگتن پیش‌بینی کردند. آنها طبق دستورالعمل مدل مقدار رسوبات را اندازه‌گیری کرده و عنوان کردند که مدل فرسایش سطحی واشینگتن به‌علت قابلیت ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی و برداشت‌های صحرایی، توانایی مناسبی برای پیش‌بینی رسوبات در منطقهٔ مذکور دارد.

با وجود گذشت بیش از بیست سال از ورود مباحث مربوط به فرسایش و رسوب حاصل از جاده‌های جنگلی به ایران، این شاخهٔ علمی در مقایسه با کشوری مانند آمریکا که اطلاعات فرسایش و خاک همهٔ جاده‌های جنگلی آن موجود است و به‌عنوان یکی از معیارها در انتخاب تعداد تردد، احیای پوشش گیاهی، استفاده از روش‌های زیست‌مهندسی برای کنترل فرسایش در نظر گرفته می‌شود، هنوز راه درازی برای کاربردی شدن در پیش دارد.

از جمله پژوهش‌های انجام‌گرفته در ایران می‌توان به تحقیق Mohamadian & Sarvar (2008) اشاره کرد. آنها بر اساس مدل‌های رایج تجربی، فرسایش و رسوب را در حوضهٔ آبخیز گوهررود برآورد کردند و نتیجه گرفتند که مقادیر حاصل از مدل IPM با مقدار رسوب واقعی حوضه بسیار نزدیک و همسان است. از این‌رو آنها این روش را برای محاسبهٔ فرسایش و رسوب حوضه‌های مشابه گوهررود که فاقد ایستگاه‌های رسوب سنجی هستند مناسب دانستند. Servati et al. (2012) طی پژوهش خود در حوضهٔ آبخیز باغره به ارزیابی روش‌های تجربی مختلف برای تعیین مقدار فرسایش و رسوب پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که با توجه به دقت طبقه‌بندی‌های صورت‌گرفته، مدل MPSIAC برای تعیین شدت فرسایش در منطقه از دقت مناسبی برخوردار است.

در پژوهش دیگری Hosseini et al. (2012) با استفاده از SEDMODEL به بررسی مقدار رسوب به‌دست‌آمده از جاده‌های جنگلی در جنگل دارابکلا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در جاده‌های جنگلی منطقه فاکتورهای شیب، فاصلهٔ جاده از آبراهه و ارتفاع دیوارهٔ خاکبرداری مؤثرترین فاکتورها برای تولید رسوب و انتقال آن به آبراهه هستند. Asadollahi et al. (2012) رسوب ناشی از شبکهٔ جاده‌های موجود در کاربری‌های متفاوت حوضهٔ

1. Washington Road Surface Model

کجور را با استفاده از مدل تحویل رسوب و در محیط GIS تخمین زدند. مقدار تولید رسوب جادهٔ جنگلی در حدود ۵/۵۷ درصد رسوب خروجی حوضه برآورد شد. درحالی که جاده‌ها تنها ۰/۳۱ درصد سطح حوزه را شامل می‌شوند.

Vahabzadeh et al. (2015) به بررسی مقدار فرسایش و نسبت تحویل رسوب در جاده‌های خاکی و جنگلی دارابکلا با استفاده از SEDMODEL پرداختند و دریافتند که مدل مذکور دقت و کارایی مناسبی برای برآورد مقدار رسوب‌دهی جاده‌های جنگلی دارابکلا دارد. Mostafa & Shataee (2015) به بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل‌های برآورد فرسایش خاک در جاده‌های جنگلی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که تعداد پارامترهای مورد نیاز، مقیاس زمانی و محدودهٔ عملیاتی، مکان پیش‌بینی و نوع پیش‌بینی فرسایش یا رسوب مدل‌ها، مهم‌ترین مشخصه‌ها برای قضاوت دربارهٔ مدل‌هاست. نتیجه‌گیری کلی نشان داد که محدودیت اصلی این مدل‌ها شامل مشکلات فراهم شدن همهٔ داده‌های مورد نیاز مدل برای اجرا و همچنین غیرقابل استفاده بودن آنها در مناطق مختلف است. Farrokhzadeh et al. (2016) به برآورد فرسایش و رسوب از جاده‌های جنگلی با استفاده از SEDMODEL در منطقهٔ شبانکاره کرمانشاه پرداختند. بعد از ارزیابی شاخص‌ها و اجرای محاسبات مربوط به مدل و براساس نتایج آزمون پیرسون، مشخص شد که ارتفاع ترانشه‌های خاکبرداری و پوشش محافظ دیوارها به‌ترتیب شاخص‌های اصلی مؤثر بر مقدار فرسایش جاده‌ای هستند. Maghdami Rad (2017) به بررسی تأثیر شیب دامنهٔ بالادست جادهٔ جنگلی بر مقدار رواناب و هدررفت خاک در جنگل‌های کوهمیان آزادشهر با استفاده از مدل فرسایش سطحی واشینگتن پرداخت. آن تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار طبقهٔ شیب با چهار تکرار انجام گرفت. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مقدار رواناب و هدررفت خاک طبقات مختلف شیب دامنهٔ جاده وجود دارد. نتایج آزمون دانکن نیز نشان داد که با افزایش شیب، مقدار رواناب و رسوب به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. Yolmeh et al. (2021) نیز در پژوهش خود ضمن تأیید بیش‌تخمینی مدل فرسایش سطحی واشینگتن، اعلام کردند که این امر در جاده‌های دارای استانداردهای پیشرفته بسیار بیشتر از جاده‌های با استاندارد کم مانند جاده‌های جنگلی است. آنها بیان کردند که با افزایش رسوب، مقدار خطای این مدل کاهش می‌یابد.

پیش‌بینی مقدار رسوبات حاصل از شبکهٔ جاده همواره فعالیتی حیاتی و مهم تلقی می‌شود (Akay et al., 2008). از این‌رو داشتن اطلاعاتی کامل در خصوص رسوبات حاصل از جاده به طراحان جاده‌های جنگلی کمک می‌کند تا بهترین حالت را در هنگام طراحی جاده‌ها در نظر گیرند و نیز عملیات کنترل مناسب رسوب بعد از ساخت جاده را انتخاب و اجرا کنند که به کاهش رسوب تولیدی و کمترین خسارت به محیط زیست جنگل و کاهش آلودگی و زیستگاه‌های آبی منجر خواهد شد (Rahbari Sisakht et al., 2013).

مدل‌های زیادی برای تخمین مقدار رسوبات در پژوهش‌های گذشته استفاده و ارزیابی شده‌اند. درحالی که هر کدام از آنها مزیت‌های ویژه‌ای بر دیگر مدل‌ها دارند، اما هر کدام دچار محدودیت‌هایی نیز هستند. یکی از روش‌های بسیار رایج مدل WEPP[1] است. از محدودیت‌های این مدل که یکی از مدل‌های فیزیکی است می‌توان نیاز به جمع‌آوری داده‌های وسیع را نام برد. محدودیت دیگر این مدل نیاز به مشخصات اقلیمی دقیق هر منطقه است که تهیهٔ آن مستلزم پژوهش‌های است. همچنین در این مدل فرض بر این است که جاده‌ها فاقد پوشش گیاهی هستند، دامنهٔ خاکریزی دارای ۵۰ درصد پوشش گیاهی است و درختان حاشیهٔ جاده ۲۰ ساله هستند، درحالی که

1. Water Erosion Prediction Project

همهٔ جاده‌ها به‌طور کامل چنین مشخصاتی ندارند. بنابراین این روش در جاده‌های دارای ویژگی‌های متفاوت قابل استفاده نیست (Nearing & Nicks, 1998). از روش‌های رایج دیگر می‌توان به KINEROS2[1] اشاره کرد. این روش مدلی فیزیکی است که حجم زیاد و پیچیدگی داده‌های لازم و ناتوانی در محاسبهٔ رسوب تولیدشدهٔ قطعات جداگانهٔ شبکهٔ جاده از محدودیت‌های آن به شمار می‌رود. این مدل برای تخمین مقدار فرسایش در حوضه‌های آبخیز کوچک و زمین‌های کشاورزی و شهری طراحی شده است (Goodrich et al., 2012). ROADMOD مدل دیگری است که برای تخمین رسوبات تولیدی سالانه در شبکهٔ جاده به‌کار می‌رود. مقدار رسوب برآوردشده در این روش براساس رسوب جاده‌هایی است که سطح رویی آنها تخریب شده و موجب محدودیت آن در شرایط مختلف می‌شود. در این مدل رسوب ترانشه‌ها و جوی کناری در نظر گرفته نشده که یکی از ایرادهای مدل محسوب می‌شود (Anderson & Macdonald, 1998).

SEDMODL برای شناسایی بخش‌هایی از جاده که رسوبات تولیدی زیادی دارند استفاده می‌شود. در این مدل رسوبات حاصل از سطح جاده و آبراهه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرند. این مدل برای حوضه‌هایی که داده‌های زیادی از قبل ندارند مفید و استفاده از آن برای مدیرانی که تجربه یا منابع کافی برای استفاده از مدل‌های جامع‌تر را ندارند مناسب است؛ اما محدودیت اصلی آن این است که فقط برای یک قطعه جاده قابل اجراست و توانایی تخمین رسوبات کل شبکهٔ جاده را ندارد (Khalilpoor et al., 2008).

یکی از کارامدترین مدل‌هایی که بسیاری از محققان تاکنون از آن استفاده و آن را تأیید کرده‌اند مدل فرسایش سطحی واشینگتن است (Parsakhoo et al., 2014؛ Hosseini et al., 2013). مدل فرسایش سطحی واشینگتن مدلی تجربی است که به کاربر اجازه می‌دهد میانگین رسوبات حاصل از فرسایش سطحی جاده را در بلندمدت و در قالبی استاندارد، صرف‌نظر از نوع فرسایش محاسبه کند (Dube et al., 2004). از مزایای این مدل، تخمین رسوبات به‌صورت میانگین سالانه در دامنهٔ زمانی بلندمدت و در نظر گرفتن انواع رسوبات شامل رسوبات سطح جاده، زهکش‌ها و دامنه‌هاست. این مدل در سه بخش جوی کناری، سطح جاده و دامنه برای پیش‌بینی مقدار رسوب تولیدی استفاده می‌شود (Mostafa & Shataee, 2015). از دیگر مزایای این مدل می‌توان به ارزیابی کل یک شبکهٔ جاده یا چند جادهٔ مختلف یا یک قطعه از شبکهٔ جاده به انتخاب کاربر، سازگاری با انواع جاده، قابلیت تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی در صورت وجود اطلاعات کافی و همچنین سهولت استفاده اشاره کرد (Dube et al., 2004) اما محدودیت اصلی آن استفاده نکردن از اطلاعات دامنهٔ خاکریزی است که تأثیر آن را در تغییر نتایج مدل می‌توان در جنگل‌هایی با ویژگی‌های ساختاری متنوع ارزیابی کرد.

با توجه به گستردگی موضوع و تفاوت بسیار زیاد آب‌وهوایی در اقلیم‌های مختلف که سبب ایجاد شرایط متنوع در مناطق جنگلی شده است، همچنان نیاز به تحقیقات بیشتر و آزمودن مدل‌های متنوع ارائه‌شده مطلوب است؛ زیرا هر کدام از مدل‌های ارائه‌شده با توجه به آب‌وهوا و شرایط منطقه‌ای خاص تولید می‌شود و برای استفاده در مناطق دیگر باید آزمایش شده و در صورت نیاز تغییراتی در آنها اعمال شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ پژوهش سری سه حوزهٔ دو جنگل‌های شمال واقع در طرح جنگلداری چلوند کوچک است. این سری در ۱۷ کیلومتری مرکز شهرستان آستارا با مختصات جغرافیایی "۳۸ '۴۵ °۴۹ تا "۳۶ '۳۰ °۳۸ قرار دارد و در مجموع مساحتی بالغ بر ۱۸۰۰ هکتار را

1. Kinematic Runoff and Erosion Model

تشکیل می‌دهد که در داخل آن حدود ۱۳۰ هکتار اراضی مسکونی و کشاورزی وجود دارد. ارتفاع از سطح دریا در این سری از صفر تا ۷۰۵ متر است و بیشتر مناطق در ارتفاع بین ۵۰ تا ۲۵۰ متر از سطح دریا واقع شده‌اند. طول جاده‌های موجود در آن حدود ۵/۵ کیلومتر است که اوایل دههٔ ۱۳۷۰ ساخته شده (طرح جنگلداری سری سه آستاراچای، ۱۳۷۱) و آخرین عملیات تعمیر و نگهداری اساسی آن در اوایل دههٔ ۱۳۹۰ بوده است. مشخصات جاده‌های موجود در سری تحت بررسی در جدول ۱ آورده شده است. در حال حاضر به‌علت اجرای طرح تنفس جنگل‌های شمال در ایران بهره‌برداری و تردد ماشین‌آلات سنگین چوبکشی در داخل طرح‌ها صورت نمی‌گیرد، اما در این سری آبادی‌های پراکندهٔ متعددی وجود دارد که هنوز هم افراد و خانوارهای زیادی در آنها سکونت دائمی دارند و همواره از جاده‌های موجود برای رفت‌وآمد استفاده می‌کنند. از این‌رو تردد روزانهٔ وسایل نقلیه مانند وانت نیسان و موتورسیکلت در این جاده‌ها هنوز هم مشاهده می‌شود. در ضمن مقدار متوسط بارندگی سالیانهٔ منطقه ۱۲۱۸ میلی‌متر است. برای پژوهش‌های هواشناسی از آمار ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک آستارا (در ارتفاع ۲۱- متر از سطح دریا و ۱۰ کیلومتری منطقه) و تالش (در ارتفاع ۷ متر از سطح دریا و ۶۰ کیلومتری منطقه) استفاده شد.

جدول ۱- خلاصهٔ مشخصات شبکهٔ جادهٔ تحت بررسی

Table 1. Summary of the characteristics of the studied road network

نوع جاده Road type	سال ساخت Construction year	آخرین عملیات تعمیر Last overhaul	مصالح روسازی Pavement material	طول جاده (کیلومتر) Road length (km)	میانگین عرض (متر) Mean width (m)	میانگین شیب طولی (٪) Mean gradient (%)	نوع ساخت جاده Tread config	میانگین فاصله از جریان آب Average distance to stream
درجه دو Grade 2	اوایل دهه 70 شمسی Early1990s	2007	گراول Gravel	5.5	5.5	7	اکثراً داخلی* Mostly Insloped	112

* در ابتدا نوع ساخت جاده تاجدار بود که به‌علت نبود تعمیر و نگهداری صحیح (بیش از ۱۵ سال از آخرین تعمیر اصولی می‌گذرد) در بیشتر نقاط تاج جاده از بین رفته است و اکثر آب‌های جاری به داخل جوی تخلیه می‌شود.

*At first, the construction type of the road was crowned, which due to the lack of proper maintenance (more than 15 years have passed since the last basic repair), the crown of the road has been lost in most places, and most of the flowing water is discharged into the ditches.

محدودهٔ سری تحت بررسی از نهشته‌های پالئوژن و نئوژن پوشانده شده است که در چینه‌شناسی به سازند کرج معروف است. از نظر چینه‌شناسی حوزه دو آستارا اغلب مربوط به این سازند است و لیتولوژی سری‌های حوزهٔ دو را سنگ‌های آتشفشانی مربوط به مراحل مختلف آتشفشانی ائوسن تشکیل می‌دهد. توف‌های آندزیتی و توف‌های اسیدی با مقدار ناچیزی شیل و ماسه‌سنگ و آهک در داخل آنها، لیتولوژی سری سه این حوزه را تشکیل می‌دهد.

جنگل‌های این سری اغلب دانه‌زاد ناهمسال و در قسمت‌های پایین دانه-شاخه‌زاد است. عناصر شاخه‌زاد را گونهٔ انجیلی تشکیل می‌دهد. این سری به‌علت داشتن ساکنان دائمی و تک‌خانوارهای متعدد و دامداری‌های سنتی در جنگل، به مرور زمان تخریب شده است، به‌طوری که بیشتر درختان بلوط، افرا و ممرز، تاج نامتقارن و تنهٔ کج و معوج دارند. در جبهه‌های نورگیر به‌علت قطع شدید در زمان‌های گذشته بلوط‌ها و انجیلی غالب شده‌اند یا در نقاط مرطوب از تعداد توسکا، نمدار، راش و افرا کاسته شده است و به‌جای آنها خرمندی‌های جوان استقرار یافته‌اند.

شیوهٔ اجرای پژوهش

در این پژوهش از مدل فرسایش سطحی واشینگتن استفاده شد که براساس ارزیابی فرسایش

سطحی در فرایند مدیریت حوضهٔ آبخیز به‌منظور پایش جاده‌های موجود در حوزه طراحی شده است. هدف اولیه از طراحی آن ارزیابی وضعیت جاده‌های موجود و ایجاد تغییرات در نوع حفاظت از جاده‌ها بود که در نهایت به ایجاد مدلی منجر شد که می‌تواند به مدیران حوضهٔ آبخیز در برآورد میانگین مقدار رسوبات حاصل از شبکهٔ جاده در بلندمدت و برنامه‌ریزی برای کاهش آن کمک بسیاری کند (Dube et al., 2004). این مدل برای پیش‌بینی مقدار رسوبات رسیده به جریان‌های آب ویژگی‌های سطح جاده، ویژگی‌های جوی کناری و دامنهٔ خاکبرداری را بررسی می‌کند، اما یکی از محدودیت‌های چشم‌پوشی از تأثیر رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی و بی‌معنا فرض کردن تغییرات آن در نتایج کلی مدل است.

این مدل به‌منظور برآورد مقدار فرسایش سطحی از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ استفاده می‌کند:

رابطهٔ ۱ $TSD = (TS + DS + CS) \times Ragf$

رابطهٔ ۲ $TS + DS = GEf \times TSf \times Tf \times SL \times RW \times RGf \times RFf \times DLf$

رابطهٔ ۳ $CS = GEf \times CCf \times SL \times CH \times RFf \times) DLf$

در رابطه‌های بالا TSD مجموع رسوبات رسیده به جریان‌های آب حاصل از هر قطعه جاده (تن بر کیلومتر در سال)، TS رسوبات حاصل از سطح جاده (تن بر کیلومتر در سال)، DS رسوبات حاصل از جوی کناری (تن بر کیلومتر در سال)، CS رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکبرداری (تن بر کیلومتر در سال) و Ragf عامل سن جاده (بدون واحد) است. GEf عامل فرسایش زمین (بدون واحد)، TSf عامل فرسایش سطحی (بدون واحد)، Tf عامل ترافیک (بدون واحد)، SL طول جاده (متر)، RW عرض جاده شامل بستر عبور و جوی کناری (متر)، RGf عامل شیب طولی جاده (بدون واحد)، RFf عامل بارندگی (بدون واحد)، DLf عامل تحویل رسوب (بدون واحد) است. CCf عامل پوشش سطحی دامنهٔ خاکریزی (بدون واحد) و CH عامل ارتفاع دامنهٔ خاکبرداری (بدون واحد) است.

داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل شامل شمارهٔ قطعه، طول قطعه، سال ساخت (سن جاده)، مقدار بارندگی، زمین‌شناسی، شیب طولی، نوع ساخت جاده (شیب داخلی، شیب خارجی، تاجدار)، وضعیت روسازی، فرسایش‌پذیری سطح جاده، عرض عبور، میزان ترافیک عبوری، پوشش گیاهی دامنهٔ خاکبرداری، ارتفاع متوسط دامنهٔ خاکبرداری، عرض جوی کناری و نوع انتقال رسوب (تحویل مستقیم به جریان آب، فاصله تا ۳۰ متر و فاصله بین ۳۰ تا ۶۰ متر از جریان آب) است (Dube et al., 2004) که در این پژوهش به‌صورت کتابخانه‌ای و میدانی با روش نمونه‌برداری صددرصد (نمونه‌برداری در طول کل جاده) جمع‌آوری شد. در ضمن با توجه به هدف پژوهش که «ارزیابی تأثیر اطلاعات دامنهٔ خاکریزی در تغییر نتایج» بود، همزمان اطلاعات دامنهٔ خاکریزی نیز در عرصه یادداشت و سپس با توجه به ضرایب ارائه‌شده در دستورالعمل اجرایی (Dube et al., 2004) در مدل (جدول ۲) وارد شد.

با اینکه طراحان مدل فرسایش سطحی واشینگتن اعتقاد دارند که مقدار رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی تأثیر معنی‌داری در مقدار رسوبات وارد به جریان‌های آب در منطقه‌ای که این مدل تولید شده ندارد، این نکته را نیز بیان کرده‌اند که اگر محقق بخواهد تأثیر اطلاعات حاصل از دامنهٔ خاکریزی را در منطقهٔ پژوهش بیازماید و در مدل دخالت دهد، می‌تواند با رعایت نکات زیر این اطلاعات را در مدل وارد کند (Dube et al., 2004).

- دامنهٔ خاکریزی، قطعهٔ جداگانه در نظر گرفته شود.
- ضرایب ارائه‌شده برای درصد پوشش گیاهی دامنهٔ خاکبرداری، برای دامنهٔ خاکریزی نیز قابل استفاده است.
- میانگین ارتفاع ارائه‌شده برای دامنهٔ خاکبرداری، برای دامنهٔ خاکریزی نیز قابل استفاده است.

جدول ۲- ضرایب فاکتورهای جاده

Table 2. Factor values for the road mode

فاکتور Factor	طبقه Class	ضریب فاکتور Factor value
سن جاده Road age	0-1	10
	2	2
	>2	1
فرسایش‌پذیری سطح Geologic erosion*	کم Low	1
	متوسط Moderate	2
	زیاد High	5
وضعیت روسازی Tread surfacing	آسفالت Asphalt	0.03
	گراول Gravel	0.2
	گراول همراه با شیار Gravel with Ruts	0.4
	گراول مخلوط با سنگ‌های خردشده Pit run or Worn Gravel	0.5
	خاک مادری همراه با پوشش علفی Grassed Native	0.5
	خاک مادری Native Surface	1
	خاک مادری همراه با شیار Native with Ruts	2
ترافیک Traffic	سنگین (به‌طور میانگین پنج کامیون و بیشتر از پنج ماشین سبک) Heavy (average pass a day: truck >5 pickup/car >5)	120
	به‌نسبت سنگین (به‌طور میانگین چهار تا پنج کامیون و بیشتر از پنج ماشین سبک) Mod. Heavy (average pass a day: truck 4-5 pickup/car >5)	50
	متوسط (به‌طور میانگین سه تا چهار کامیون و پنج تا ده ماشین سبک) Moderate (average pass a day: truck 3-4 pickup/car 5-10)	10
	به‌نسبت سبک (به‌طور میانگین یک تا دو کامیون و یک تا پنج ماشین سبک) Mod. Light (average pass a day: truck 1-2 pickup/car 1-5)	2
	سبک (به‌طور متوسط یک کامیون و یک ماشین سبک) Occasional (average pass a day: truck <1 pickup/car <1)	1
	مسیر مسدود Abundant (blocked) (average pass a day: truck 0 pickup/car 0)	0.1
شیب طولی جاده Road gradient	<5%	0.2
	5-10%	1
	>10%	2.5
نوع تحویل رسوب Delivery factor	مستقیم به داخل جریان آب Directly to Stream	100
	فاصله تا ۱۰۰ فوت (۳۰/۴۵ متر) به جریان آب Within 100 feet (3.45 m) of the stream	35
	فاصله تا ۲۰۰ فوت (۶۰/۹۶ متر) تا جریان آب Within 200 (60.96 m) feet of the stream	10
درصد پوشش گیاهی دامنهٔ خاکبرداری Cutslope cover	90-100	0.1023
	70-90	0.2014
	50-70	0.3133
	30-50	0.4466
	10-30	0.6359
	0-10	0.8850

(Dube et al., 2004).

- طول قطعات نمونه برای دامنهٔ خاکبرداری و خاکریزی ثابت است.
- اگر نوع تخلیه رسوبات به جریان آب مستقیم باشد، باید نوع ساخت جاده به‌صورت شیب درونی در نظر گرفته شده و مقدار رسوبات وارد به جریان آب ۱۰۰ درصد لحاظ شود.
- اگر فاصلهٔ بین دامنهٔ خاکریزی تا جریان آب ۷/۶ متر (۲۵ فوت) باشد، مقدار رسوبات وارد به جریان آب باید ۳۵ درصد در نظر گرفته شود.
- اگر فاصلهٔ بین دامنهٔ خاکریزی تا جریان آب بین ۷/۶ متر (۲۵ فوت) تا ۱۵/۲۴ متر (۵۰ فوت) باشد، مقدار رسوبات وارد به جریان آب باید ۱۰ درصد در نظر گرفته شود.
- عرض جوی کناری و عرض عبور جاده باید صفر در نظر گرفته شود.
- عوامل دیگر نیز بین دامنهٔ خاکبرداری و خاکریزی مشترک است.

روش تحلیل

با توجه به اینکه هدف از پژوهش، برداشت قطعات در طول کل جاده با روش ۱۰۰ درصد بود، تعداد قطعات برای برداشت فاکتورهای دامنهٔ خاکریزی (شیب دامنه، درصد پوشش گیاهی و فاصله تا جریان آب) با توجه به طول جاده و محل‌های خروج آب، ۴۸ قطعه تعیین شد. طبق دستورالعمل اجرایی مدل در صورتی که فاصلهٔ بین جاده و جریان آب بیشتر از ۶۰ متر باشد مقدار رسوبات رسیده به جریان آب معنادار نخواهد بود؛ بنابراین از تعداد ۴۸ قطعهٔ انتخاب‌شده ۲۱ قطعه که فاصلهٔ بیشتر از ۶۰ متر با جریان آب داشتند حذف شدند و اطلاعات برداشت‌شده از ۲۷ قطعه نمونه که فاصلهٔ جاده در آنها با جریان آب کمتر از ۶۰ متر بود در مدل دخالت داده شد. برای تعیین معنی‌دار بودن یا معنی‌دار نبودن اختلاف بین نتایج حاصل از مدل اصلی و مدل اجراشده با فاکتورهای دامنهٔ خاکریزی از آزمون تی[1] در نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج برداشت‌های میدانی

نتایج برداشت‌های میدانی نشان داد که حداقل شیب طولی جاده ۳ و حداکثر ۱۵ درصد بود. براساس جدول ۲ ضریب عامل شیب طولی براساس شیب هر قطعه نمونه بین ۰/۲ تا ۲/۵ انتخاب و وارد مدل شد.

مدل فرسایش سطحی واشینگتن برای جاده‌های درجه دو جنگلی با عرض ۵/۵ متر (عرض عبور به‌علاوهٔ جوی کناری) استانداردهایی تعریف کرده است. بر این اساس چون میانگین ترافیک ماشین‌آلات سنگین در جاده‌های تحت بررسی در طول سال حداکثر دو مورد در روز و برای اتومبیل‌های سبک و موتورسیکلت‌ها در بیشتر مواقع سال به‌طور میانگین تا پنج مورد در روز در طول کل جاده است، عامل ترافیک عدد دو برای کل طول جاده انتخاب و در مدل وارد شد (جدول ۲). با توجه به اینکه تاج جاده در بیشتر نقاط از بین رفته و جاده به‌صورت شیب درونی درآمده است و با عنایت به اینکه مشاهدات میدانی نشان داد در بیشتر نقاط، عرض عبور جاده به‌علاوهٔ جوی کناری حدود ۵/۵ متر است، این عدد به‌منزلهٔ میانگین عرض جاده در قسمت‌های دارای شیب درونی در مدل وارد شد. از طرفی با توجه به اینکه تمام سطح جاده از جنس گراول است و بیش از حدود ۳۰ سال از ساخت اولیه و حدود ۱۵ سال از تعمیرات اساسی آن گذشته است، وجود شیارها در سطح جاده کاملاً نمایان است. از این‌رو وضعیت روسازی جاده به‌صورت گراول شیاردار در نظر گرفته شد و براساس جدول ۲ عدد ۰/۴ برای عامل وضعیت روسازی جاده در مدل وارد شد. دوران تشکیل سنگ‌های مادری منطقه، پالئوژن و نئوژن است که به دورهٔ کواترنری ختم می‌شود و به سازند کرج معروف است، این سازند شامل توف‌های سبزلایه در رسوبات شیلی- توفی است

1. Two-Sample Assuming Unequal Variances

(طرح جنگلداری سری سه چلوند کوچک، ۱۳۷۱). از این‌رو عامل نرخ فرسایش‌پذیری این جاده عدد ۵ انتخاب شد (جدول ۲). با عنایت به اینکه نوع زمین‌شناسی در کل منطقه یکسان است، این عدد برای کل قطعات نمونه، ثابت در نظر گرفته شد. در ادامه با توجه به اینکه جادهٔ بررسی‌شده در اواخر دههٔ ۱۳۶۰ و اویل دههٔ ۱۳۷۰ ساخته شده و آخرین تعمیرات اساسی در سال ۱۳۸۵ صورت گرفته است، عامل سن جاده برای همهٔ قطعات نمونه عدد ثابت ۱ در نظر گرفته شد. با توجه به داده‌های سازمان هواشناسی استان گیلان، میانگین بارندگی سالانه در منطقه ۱۴۴۹ میلی‌متر در سال است. از این‌رو با استفاده از رابطهٔ ۴، ارائه‌شده در دستورالعمل اجرایی مدل (Dube et al., 2004) عامل مقدار بارندگی برای قطعات نمونهٔ تحت بررسی عدد ۶/۸۹۳ تعیین و در مدل وارد شد.

رابطهٔ ۴

عامل مقدار بارندگی = ۰/۰۱۶ × (میانگین بارندگی سالانه به اینچ)$^{1/5}$ = ۶/۸۹۳

از ۴۸ قطعه نمونه، دو مورد تخلیهٔ مستقیم به رودخانه داشتند که در این مکان‌ها جاده و رودخانه کاملاً متقاطع بودند. در این حالت طبق دستورالعمل اجرایی مدل، کل رسوبات موجود به داخل جریان آب تخلیه می‌شود. در هشت مورد فاصلهٔ بین جاده تا جریان آب بین ۰ تا ۳۰ متر بود که ۳۵ درصد رسوبات به داخل جریان تخلیه می‌شود و ۱۷ قطعه نمونه نیز در فاصلهٔ بین ۳۰ تا ۶۰ متر از جریان آب قرار داشتند که در این حالت فقط ۱۰ درصد رسوبات به داخل جریان آب می‌رسد. در بقیهٔ نمونه‌ها یعنی ۲۱ مورد نیز فاصلهٔ بین جاده با جریان آب بیش از حدود ۶۰ متر بود که طبق دستورالعمل اجرایی مدل، مقدار رسوبات رسیده از این‌دست جاده‌ها به جریان آب معنی‌دار نیست؛ بنابراین در اجرای مدل، نرخ ورودی برای آنها صفر در نظر گرفته شد (جدول ۲).

در این پژوهش طبق جدول ۲، درصد پوشش گیاهی دامنهٔ خاکبرداری به طبقات صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۰، ۷۰ تا ۹۰ و بیشتر از ۹۰ درصد تقسیم شد و وجود پوشش گیاهی اعم از پوشش علفی، درختچه‌ای یا درختی برآورد شد. طبق مشاهدات و برآورد در ۶ قطعه نمونه، دامنهٔ خاکبرداری کاملاً عاری از هرگونه پوشش گیاهی بود که طبق جدول ۲ ضریب ۰/۸۸۵ گرفت. در ۱۱ قطعه نمونه مقدار پوشش گیاهی بین ۱۰ تا ۳۰ درصد برآورد شد و با ضریب ۰/۶۳۵ وارد مدل شد. در ۱۹ قطعه نمونه نیز مقدار تقریبی پوشش گیاهی ۳۰ تا ۵۰ درصد تخمین زده شد که طبق دستورالعمل اجرایی مدل ضریب آنها ۰/۴۴۶ در نظر گرفته شد. دامنهٔ خاکبرداری در ۹ قطعه نمونه نیز دارای پوشش گیاهی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد بود که ضریب در نظر گرفته‌شده برای آن نیز ۰/۳۱۳ خواهد بود. در ۳ قطعه نمونه، دامنه تقریباً پوشیده از انواع پوشش گیاهی بود که طبق برآورد مقدار پوشش گیاهی آنها در گروه ۷۰ تا ۹۰ درصد قرار گرفت و ضریب اختصاصی آنها نیز عدد ۰/۲۰۱ منظور شد.

در این پژوهش نیز میانگین شیب دامنه‌ها با استفاده از شیب‌سنج تعیین و میانگین شیب در طول نمونه به‌منزلهٔ شیب دامنهٔ خاکبرداری استفاده شد. ۴ قطعه نمونه شیب کمتر از ۱۵ درصد داشتند که ارتفاع آنها ۰/۷۶۲ متر در نظر گرفته شد. ۲۵ مورد از دامنه‌ها شیب بین ۱۵ تا ۳۰ درصد داشتند که ارتفاع آنها حدود ۱/۵۲۴ متر محاسبه شد. در ۱۲ مورد نیز شیب دامنهٔ خاکبرداری بین ۳۰ تا ۶۰ درصد برآورد شد که ارتفاع آنها در جدول ۳/۰۴۸ متر در نظر گرفته شد. در چهار قطعه نمونه نیز شیب دامنه بیشتر از ۶۰ درصد بود که در این حالت نیز ارتفاع ۷/۶۲۰ متر منظور شد.

برای تأیید یا رد نظر طراحان مدل و ارزیابی آن با توجه به شرایط جنگل‌های هیرکانی، هدف اصلی این پژوهش تعیین حد تأثیر عوامل مربوط به دامنهٔ خاکریزی در رسوبات وارد به جریان‌های آب با توجه به ویژگی‌های خاص جنگل‌های شمال ایران از قبیل نوع

پوشش و شیب زیاد دامنه‌هاست، از این‌رو اطلاعات مربوط به دامنهٔ خاکریزی نیز مدنظر قرار گرفت. با توجه به اینکه طراحان مدل حداکثر فاصلهٔ حمل رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی را ۱۵/۲۴ متر ذکر کرده و بیان کرده‌اند که حداکثر رسوبات رسیده تا این فاصله ۱۰ درصد کل رسوبات است و از طرفی مقدار رسوبات رسیده تا فاصلهٔ ۷/۶ متر را ۳۵ درصد بیان کرده‌اند، در این پژوهش فواصل گفته‌شده مبنای عمل قرار گرفت. برای ۳۹ قطعه نمونه که فاصلهٔ دامنهٔ خاکریزی تا جریان آب بیشتر از ۱۵/۲۴ متر بود تحویل رسوب از دامنهٔ خاکریزی، صفر در نظر گرفته شد. مقدار رسوبات تحویلی در قطعاتی که تخلیهٔ مستقیم به رودخانه داشتند ۱۰۰ درصد، در قطعاتی که فاصلهٔ آنها با جریان آب ۷/۶ متر بود ۳۵ درصد و در قطعات با فاصلهٔ تا ۱۵/۲۴ متر ۱۰ درصد در نظر گرفته شد.

مقدار پوشش دامنهٔ خاکریزی نیز همانند دامنهٔ خاکبرداری به شش دسته تقسیم شد. طبق برآوردها، مقدار پوشش گیاهی در دو قطعه نمونه ۳۰ تا ۵۰ درصد بود که با ضریب ۰/۴۴۶ وارد مدل شد. در۲۲ قطعه نمونه مقدار پوشش گیاهی دامنه بین ۵۰ تا ۷۰ درصد برآورد شد که ضریب آنها ۰/۳۱۳ در نظر گرفته شد. مقدار پوشش گیاهی دامنهٔ خاکریزی در ۲۴ قطعه نمونه نیز بین ۷۰ تا ۹۰ درصد بود. یعنی نزدیک به کل دامنه با انواع پوشش گیاهی اعم از علفی، درختچه‌ای با درختی پوشیده بود که ضریب آنها نیز طبق دستورالعمل عدد ۰/۲۰۱ اعمال شد. شایان ذکر است که در بین قطعات نمونه، دامنهٔ خاکریزی که فاقد پوشش گیاهی باشد مشاهده نشد.

در ضمن طبق دستورالعمل اجرایی مدل فرسایش سطحی واشینگتن (Dube et al., 2004) میانگین ارتفاع ارائه‌شده برای دامنهٔ خاکبرداری، برای دامنهٔ خاکریزی نیز قابل استفاده است. از این‌رو در این پژوهش پس از تعیین شیب دامنهٔ خاکریزی در هر قطعه نمونه، مقدار شیب دامنهٔ خاکریزی طبق جدول ۲ به چهار دسته تقسیم و ارتفاع دامنهٔ خاکریزی از روی آن محاسبه شد. طبق اندازه‌گیری انجام‌گرفته در طبیعت مقدار شیب دامنهٔ خاکریزی در سه قطعه نمونه کمتر از ۱۵ درصد بود که ارتفاع آن ۰/۷۶۲ متر در نظر گرفته شد. در ۱۳ قطعه نمونه شیب دامنهٔ خاکریزی بین ۱۵ تا ۳۰ درصد بود که ارتفاع آنها طبق جدول ۲ برابر ۱/۵۲۴ متر برآورد شد. در ۲۸ قطعه نمونه شیب دامنه بین ۳۰ تا ۶۰ درصد برآورد شد که ارتفاع آنها نیز ۳/۰۴۸ متر در نظر گرفته شد؛ اما فقط در چهار مورد مقدار شیب دامنهٔ خاکریزی بیشتر از ۶۰ درصد بود که ارتفاع آنها ۷/۶۲۰ متر در نظر گرفته شد.

مقدار رسوبات پیش‌بینی‌شده توسط مدل

پس از تعیین ضرایب مربوط به هر یک از عوامل مؤثر در ایجاد رسوب براساس بررسی‌های صورت‌گرفته در این تحقیق، همهٔ ضرایب در مدل فرسایش سطحی واشینگتن تعریف و مدل اجرا شد. طبق پیش‌بینی مدل میزان رسوبات رسیده از دامنهٔ خاکبرداری و رسوبات حاصل از سطح جاده در مجموع ۹۴/۷۸۶ تن بر کیلومتر در سال است. در مدل اصلی پیشنهاد شده است که از مقدار رسوبات دامنهٔ خاکریزی چشم‌پوشی شود. اما از طرفی سازندگان مدل پیشنهاد کرده‌اند که تأثیر این عامل در جنگل‌های مختلف اندازه‌گیری شود. با در نظر گرفتن استانداردهای ارائه‌شده در دستورالعمل اجرایی مدل، مقدار رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی نیز ۳/۴ تن بر کیلومتر در سال برآورد شد.

برای تعیین معنی‌دار بودن یا نبودن اختلاف بین نتایج از آزمون تی در نرم‌افزار اکسل استفاده شد. مطابق جدول ۴ در صورتی که t Critical two-tail- t Stat> باشد، فرض تهی را رد می‌کنیم. بنابراین با توجه به اینکه ۰/۹۸۵۸۰۱۸۱۴>۰/۱۴۴۶۳۰۳۶۹- > ۰/۹۸۵۸۰۱۸۱۴- است، فرض تهی را رد نمی‌کنیم و تفاوت مشاهده‌شده بین نتایج معنی‌دار نیست (جدول ۴).

جدول ۳- مقدار رسوبات برآوردی هر قطعه (تن بر کیلومتر بر سال)

Table 3. Total predicted sediment per plot (ton/km/year)

رسوبات دامنهٔ خاکریزی FSD	رسوبات دامنهٔ خاکبرداری، سطح جاده و جوی کناری TSD	شمارهٔ قطعه Plot N.O	رسوبات دامنهٔ خاکریزی FSD	رسوبات دامنهٔ خاکبرداری، سطح جاده و جوی کناری TSD	شمارهٔ قطعه Plot N.O
0	0.428614144	25	0.235677002	2.216266138	1
0	0.998526297	26	0	0.433462156	2
0	0.667053087	27	0	0	3
0	0.650193234	28	0	0	4
0	0	29	0	0	5
0	0	30	0	0	6
0	0	31	0	0.733758396	7
0	0	32	0	0.457770867	8
0	0	33	0	0.363104934	9
0	0	34	0	0.320439607	10
0.292348918	10.92102024	35	0	0	11
0	0.503547954	36	0	0	12
0	0	37	0	0	13
0	0.268231298	38	0	0	14
0	0.550778968	39	0	0	15
0	0.591004303	40	0	0	16
0.091652167	1.206633786	41	0	0.715383722	17
0.0392795	5.365377914	42	0	0.689505021	18
0.274956502	5.212305115	43	0.374495584	6.880094032	19
0	1.056709464	44	0	0	20
0	0.591004303	45	0	0	21
0.342532877	2.068515062	46	0	0	22
0.036660867	2.413267572	47	0	0	23
0.114177626	2.654955706	48	0	0	24

* TSD: Total Sediment Delivered to a Stream from each Road Segment, FSD: Fillslope sediment delivery

جدول ۴- نتایج آزمون تی

Table4. T-test analyses results

	متغیر ۱ Variable 1	متغیر ۲ Variable 2
میانگین Mean	0.994494834	1.057485508
واریانس Variance	4.376811404	4.63495608
تعداد مشاهدات Observations	48	48
میانگین تفاوت فرضی Hypothesized Mean Difference	0	
Df	93	
t Stat	-0.144630369	
P(T<=t) one-tail	0.442657845	
t Critical one-tail	1.661403674	
P(T<=t) two-tail	0.88531569	
t Critical two-tail	1.985801814	

بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که اضافه کردن ویژگی‌های مربوط به دامنهٔ خاکریزی نمی‌تواند تأثیر معنی‌داری در تغییر نتایج نهایی حاصل از مدل در پیش‌بینی مقدار رسوبات رسیده به جریان‌های آب در منطقهٔ پژوهش داشته باشد و در این مورد نظر طراحان مدل در جنگل‌های این منطقه نیز تأیید می‌شود.

بحث

شبکهٔ جاده‌های جنگلی، تأثیر مهمی در تحقق اهداف مدیریتی در اکوسیستم‌های جنگلی دارند و با وجود اجرای طرح تنفس جنگل، حفاظت از آنها را نمی‌توان متوقف کرد (Ahrari et al., 2021). از این‌رو ارزیابی عوامل مختلف از جمله مقدار رسوبات تولیدی جاده‌ها همواره باید مدنظر قرار گیرد. در این زمینه یکی از کارامدترین مدل‌ها، مدل فرسایش سطحی واشینگتن است. اما این مدل نیز با وجود مزایای فراوان محدودیت خاص خود را دارد. به گفتهٔ طراحان این مدل، ویژگی‌های دامنهٔ خاکریزی تأثیر معنی‌داری در تغییر نتایج مدل ندارد (Dube et al., 2004) که دلیل آن را وجود پوشش گیاهی متراکم و نزدیک به ۱۰۰ درصد روی بیشتر این دامنه‌ها می‌دانند. همان‌طور که پیشتر نیز گفته شد، این مدل ابتدا در ایالت واشینگتن آمریکا تولید و بعدها در اکثر جنگل‌ها و حوضه‌های آبخیز در سراسر جهان استفاده و آزموده شد. بنابراین با توجه به تفاوت‌های ساختاری اساسی بین جنگل‌های شمال ایران و جنگل‌های واشینگتن این احتمال که ویژگی‌های دامنهٔ خاکبرداری نیز در پیش‌بینی مقدار رسوبات تعیین‌کننده باشد، دور از ذهن نبود. بدین منظور اطلاعات مربوط به دامنهٔ خاکریزی (شیب و مقدار پوشش گیاهی) به مدل وارد و یک بار دیگر مدل اجرا شد که مقدار رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی ۳/۴ تن در کیلومتر در سال برآورد شد که با توجه به نتایج آزمون تی، افزودن این رقم به مقدار کل رسوبات (۹۴/۷۸۶) تغییر معنی‌داری در نتایج کلی ایجاد نمی‌کند. دلیل این موضوع ممکن است سن زیاد جاده‌های بررسی‌شده و دخالت نکردن و بر هم نزدن خاک دامنه‌ها در سال‌های اخیر باشد. زیرا با افزایش سن جاده از مقدار مواد سست و لغزنده در سطح جاده و دیواره‌ها به‌خصوص دیوارهٔ خاکریزی کاسته می‌شود. از این‌رو این قسمت‌ها در جاده‌های قدیمی‌تر از پایداری و ثبات بیشتری برخوردارند. از طرفی با افزایش سن جاده، مقدار پوشش گیاهی در دامنهٔ خاکریزی که به‌مراتب شیب کمتری نسبت به دامنهٔ خاکبرداری دارد افزایش می‌یابد و مقدار محافظت از خاک توسط اندام‌های خارجی، ریشه و همچنین هوموس حاصل از بقایای گیاهی نیز تقویت می‌شود.

دلیل دیگر ممکن است فاصلهٔ بین دامنه‌های خاکریزی و جریان‌های آب در منطقه باشد؛ زیرا با افزایش فاصلهٔ جاده از رودخانه، احتمال رسیدن رسوبات از جاده و دامنه‌ها به جریان‌های آب کاهش می‌یابد. در این پژوهش در ۳۹ مورد از قطعات نمونه فاصلهٔ بین دامنهٔ خاکریزی و جریان‌های آب بیشتر از ۱۵ متر بود. با قرار دادن این عوامل در کنار هم یعنی عامل سن جاده، پوشش گیاهی متراکم و فاصلهٔ بین دامنه و جریان‌های آب، می‌توان دلیل این معنی‌دار نبودن را درک کرد.

نتایج حاصل از دامنهٔ خاکریزی با یافته‌های Surfleet et al. (2011)، Abyat et al. (2014) و Bohle & Dube (2015) همخوانی دارد، اما پژوهش‌های مذکور بدون آزمودن اطلاعات دامنهٔ خاکریزی و فقط با توجه به دستورالعمل مدل، آن را بی‌معنی فرض و از آن صرف‌نظر کرده‌اند؛ در صورتی که Megahan et al. (1991)، Ketcheson & Megahan (1996)، Kinnell (2000) و Sidle et al. (2014) بر تأثیر رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی در مقدار کل رسوبات تأکید دارند. Ketcheson & Megahan (1996) بیان کردند که به‌دلیل نزدیک بودن فاصلهٔ دامنهٔ خاکریزی به جریان‌های آب، احتمال رسیدن رسوبات آن به داخل جریان بسیار بیشتر از رسوبات حاصل از جاده و دامنهٔ خاکبرداری به داخل آب است. به‌دلیل فاصلهٔ حمل بیشتر برای رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکبرداری و بستر جاده، احتمال گیر افتادن آنها در مسیر، توسط پوشش گیاهی و نرسیدن به جریان آب بیشتر است. Megahan et al. (1991) نیز تأثیر رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی را در کل رسوبات رسیده به جریان آب معنی‌دار خواندند. البته آنها نیز بر اثر افزایش سن جاده در کاهش مقدار رسوبات حاصل از دامنهٔ

خاکریزی تأکید دارند. آنها اعلام کردند که هرچه سن جاده بیشتر باشد و از آخرین تعمیرات اساسی آن زمان بیشتری گذشته باشد، تأثیر رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی بر کل رسوبات رسیده به جریان‌های آب کاهش می‌یابد. Kinnell (2000) نیز بر تأثیر معنی‌دار میزان رسوبات حاصل از دامنه‌های خاکریزی تأکید کرده و میزان این تأثیر را منوط به میزان شیب دامنه، طول شیب و شدت بارندگی دانسته است و از این‌رو از استفادهٔ بدون آزمون فاکتورهای دامنهٔ خاکریزی در مدل‌ها انتقاد قرار کرده و اظهار داشته که تأثیر ویژگی‌های دامنهٔ خاکریزی در مناطق مختلف باید آزموده شود. Sidle et al. (2014) نیز ضمن تأیید تأثیر معنی‌دار رسوبات حاصل از دامنهٔ خاکریزی بر مقدار کل رسوبات در منطقهٔ تحت بررسی خود بیان کردند که این تأثیر می‌تواند در مناطق مختلف با توجه به ویژگی‌های دامنه‌ها، عمق خاکبرداری و خاکریزی و مقدار انباشت موارد در دامنهٔ خاکریزی متفاوت باشد. آنها تأکید کردند که در مناطق مختلف، پیش از اجرای مدل‌ها باید میزان تأثیر ویژگی‌های دامنهٔ خاکریزی در نتایج کلی نیز آزموده شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه علاوه بر مسائل و مشکلات اقتصادی ناشی از فرسایش و رسوب، خسارت‌های محیط‌زیستی آن از قبیل خسارات ناشی از این پدیده در کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش توان تولیدی عرصه‌های طبیعی، خسارت به کیفیت آب‌ها و آبزیان نیز قابل‌توجه است، تخمین میزان رسوبات حاصل از جاده‌های جنگلی "که منبع اصلی تولید رسوب در جنگل است" از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مطالعه حاضر میزان تأثیر اطلاعات دامنه خاک‌ریزی در تغییر نتایج مدل در منطقه موردمطالعه معنی‌دار نبود، اما توجه به منابع مختلف نشان می‌دهد که این نتیجه مطلق نبوده و این عامل باید در مناطق دیگر نیز هنگام استفاده از مدل وارسم مورد آزمون قرار گیرد.

References

Abyat, S., Arab Khodri, A., & Ahmadi, A. (2014). Estimation of road sediment production by combining statistical sampling methods with my model. *Watershed research, 108,* 26-39. (In Persian)

Ahrari, SH., Najafi, A., & Hoseinzade Kashan, A. (2021). Predicting the deterioration of the forest road network by employing the Markov chain (Case study: Forest road in the western part of Haraz). *Iranian Journal of Forest, 13*(1), 73-85. (In Persian)

Akay, A.E., Erdas, O., Reis, M., & Yuksel, A. (2008). Estimating Sediment Yield from a Forest Road Network by Using a Sediment Prediction Model and GIS Techniques. *Building and Environmen,t 43*(5), 687–695. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2007. 01.047.

Akbari mehr, M., & Naghdi, R. (2012). Reducing erosion from forest roads and skid trails by management practices. *Journal of forest science, 58*(4), 165–169. https://doi.org/ 10. 17221/136/2010-JFS.

Anderson, D., & Macdonald, L. (1998). Modeling road surface sediment production using a vector geographic information system. *Earth Surface Processes and Landforms, 23*, 95-107.

Asadollahi, Z., Niazi, A., Yousefi, P., & Mohammadi, M. (2012). Determining the contribution of roads in watershed sediment production using sediment delivery model and GIS. *Scientific-research journal of environmental erosion*, *3*(10), 13-26. http://magazine. hormozgan. ac.ir/article -144-1-fa.html.

Bohle, T., & Dubé, K. (2015). Cedar River Watershed Road Sediment Study. SPU Watershed Services Division. 43P.

Bonell, M., & Bruijnzeel, L.A. (2005). *Forests, water and people in the humid tropics: past present and future hydrological research for integrated land and water management.* UNESCO, International Hydrology Series. Cambridge: Cambridge University Press.

Cassells, D.S., & Bruijnzeel, L.A. (2005). Guidelines for controlling vegetation, soil and water impacts of timber harvesting in the humid tropics. In: M. Bonell and L.A. Bruijnzeel, eds. Forests, water and people in the humid tropics: past present and future hydrological research for integrated land and water management. UNESCO, International Hydrology Series. Cambridge: Cambridge University Press, 840-865P.

Cao, L., Zhang, K., Dai, H., & Liang, Y. (2015). Modeling inters rill erosion on unpaved roads in the Loess Plateau of China. Land Degradation & Development, *26*(8), 825-832. https://DOI.org/10.1002/ldr.2253

Dubé, K., Megahan, W.F., & McCalmon, M. (2004). Washington Road Surface Erosion Model. State of Washington Department of Natural Resources, Olympia.

Farrokhzadeh, B., Ghasemi Aghbash, F., & Kerami, A. (2016). Estimation of erosion and sediment from a forest road. *Journal of Environmental Erosion Research, 3*(27), 70-85. http://magazine.hormozgan.ac.ir/article374-1fa.html. (In Persian)

Goodrich, D.C., Burns, I.S., Unkrich, C.L., Semmens, D.J., Guertin, D.P., Hernandez, M., Yatheendradas, S., Kennedy, J.R., & Levick, L.R. (2012). KINEROS2/AGWA: Model use, calibration and validation. *Transactions of the ASABE, American Society of Agricultural and Biological Engineers*, *55*(4), 1561-1574.

Hosseini, S.A., Omidvar, E., Naghavi, H., & Parsakhoo, A. (2012). Estimation of Sediment Yield from Forest Roads Using SEDMODL. *Journal of Wood & Forest Science and Technology, 19*(1), 23-41. (In Persian)

Kinnell, P.I.L. (2000). The Effect of Slope Length on Sediment Concentrations Associated with Side-Slope Erosion. Soil Science Society, *64*, 1004–1008.

Ketcheson, G.L., & Megahan, W.F. (1996). Sediment Production and Downslope Sediment Transport from Forest Roads in Granitic Watersheds. United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. Research Paper. INT-RP-486.

Khalilpoor, H., Hosseini. S.A., Lotfalian, M., & Kooch, Y. (2008). The Assessment of Sediment Production Yield from Forest Road Using Sediment Prediction Model. *Journal of Applied Sciences, 8*, 1944-1949.

Kristopher, R., Brown, M., Kevin, W., & McGuire, J. (2013). Sediment delivery from bare and graveled forest road stream crossing approaches in the Virginia Piedmont. *Forest Ecology and Management, 310*, 836-846.

Luce, C.H., & Wemple, B.C. (2001). Introduction to special issue on hydrologic and geomorphic effects of forest roads. Earth Surface Processes and Landforms, *26*(2), 111-113. https://DOI.org/10.1002/1096-9837(200102)26:2<111::AID-ESP165>3.0.CO;2-2

Maghdami Rad, M., Abdi, A., Moayeri, M.H., & Ghorbani, H. (2017). The effect of the slope of the forest road upstream on the amount of runoff and soil wastage. *Forest and wood products*, *71*(2), 105-115. DOI: 10.22069/jwsc.2018.12464.2719. (In Persian)

Megahan, W.F., Monsen, S.B., & Wilson, M.D. (1991). Probability of sediment yields from surface erosion on granitic road fills in Idaho. Journal of Environmental Quality, *20*, 53-60.

Megahan, W.F., & Ketcheson, G.L. (1996). Predicting Downslope Travel of Granitic Sediments from Forest Roads in Idaho. *Water Resources Bulletin*, *32*(2), 371-382.

Mohamadian Shuili, M.H., & Sarvar, J. (2008). Erosion and sediment estimation methods based on common experimental models in the Gohar Rood watershed, Proceedings of the 4th National Conference of Iran Watershed Engineering Sciences, Watershed Management, Tehran, University of Tehran, 176-157. (In Persian)

Mostafa, M., & Shataee, SH. (2015). Investigation of abilities and limitations of estimation model of forest roads erosion soil. *Extension and Development of Watershed Management, 3*(11), 29-39. (In Persian)

Nearing, M.A., & Nicks, A.D. (1998). Evaluation of the Water Erosion Prediction Project (WEPP) Model for Hillslopes. In: Boardman J., Favis-Mortlock D. (eds) Modelling Soil Erosion by Water. NATO ASI Series (Series I: Global Environmental Change).

Parsakhoo, A., Lotfalian, M., Kavian, A., & Hosseini, S.A. (2014). Prediction of the soil erosion in a forest and sediment yield from road network through GIS and SEDMODL. *International Journal of Sediment Research, 29*(1), 118-25.

Rahbari Sisakht, S., Abdi, E., Moghadami Rad, M., Majnounian, B., & Yousef Zadeh, H. (2013). Sensitivity analysis of CULSED model to provide strategies for forest roads sediment control. *Iranian Journal of Forest, 5*(3), 219-228. (In Persian)

Ramos-Scharron, C.E., & MacDonald, L.H. (2007a). Development and application of a GIS-based sediment budget model. *Journal of Environmental Management, 84*(2), 157–172. DOI: 10.1016/j.jenvman.2006.05.019

Ramos-Scharrón, C.E., & MacDonald, L.H. (2007b). Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Islands. *Earth Surface Processes and Landforms, 30*(10), 1283-1304. DOI: 10.1002/esp.1201

Ramos-Scharrón, C.E. (2018). Land disturbance effects of roads in runoff and sediment production on dry-tropical settings. Geoderma, *310*, 107-119, 10.1016/j.geoderma. 2017.08.035. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.08.035.

Servati, M., Nazari Samani, A., & Nurmohammadi, A. (2012). Application of experimental models and multivariate statistical methods in evaluating water erosion severity (case study: Baghera Basin, Razavi Khorasan). *Journal of natural resources of Iran, 64*(2), 166-178. (In Persian)

Sidle, R.C., Ghestem, M., & Stokes, A. (2014). Epic landslide erosion from mountain roads in Yunnan, China challenges for sustainable development. *National Hazards Earth System Science, 14*, 3093–3104. DOI:10.5194/nhess-14-3093-2014

Surfleet, G., Skaugset, E., & Meadows, W. (2011). Road runoff and sediment sampling for determining road sediment yield at the watershed scale. *Canadian journal of forest research*, *41*, 1970-1980. https://DOI:org/10.1139/x11-104.

Vahabzadeh, G., Safari, A., Farhoudi, M., Abdollahi, H., Fathizad, H., & Khosravi, G. (2015). Assessment of Erosion Value and Sediment Delivery Ratio in the Unsealed and Forest Roads. Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources. *Water and Soil Sciences, 18*(70), 295-313 URL: http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2941-fa.html.

Yolmeh, G., Parsakhoo, A., Sheikh, V., & Mohamadi, J. (2021). Investigating the performance of the empirical models of SEDMODL2, STJ-EROS and WARSEM in estimating sediment yield from forest roads with different standards. *Journal of Wood & Forest Science and Technology, 28*(2), 18407.1890. http://jwfst.gau.ac.ir. DOI: 10.22069/jwfst.2021. (In Persian)

Yüksel, K., Dindaroğlu, T., & Gülci, N. (2019). Prediction of the sediment delivery from the forest road surface using WARSEM model: A case study Baskonus forest management unit. International Mediterranean Forest and Environment Symposium, Kahramanmaras, TURKEY.

Iranian Journal of Forest
Vol. 15, No. 3, Autumn 2023
pp. 345-360

DOI: 10.22034/ijf.2023.376647.1908

Research Article

Estimating the amount of forest road sedimentation employing Washington Surface Erosion Model and evaluating the effect of fillslope variables on it

A. Ghomi Motazeh[1], R. Naghdi[2*] E. Taghvaye Salimi[3], and A.E. Akay[4]

[1] Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran
[2] Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran
[3] Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed management, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran
[4] Prof., Dept. of Forest Engineering and Technologies, Bursa Technical University, Bursa, Turkey

(Received: 21 December 2022; Accepted: 30 January 2023)

Abstract

Forest roads are recognized as one of the primary sources of sediment production in mountainous watersheds. Predicting the amount of sediment they produce is crucial for effective management. The WARSEM model, developed in the forests of the United States and used globally, is one of the most efficient models for estimating sediment from forest roads. However, a significant limitation of this model is the lack of fillslope data. Given the unique characteristics of the northern forests of Iran, such as steep slopes, this study investigated the potential impact of this factor on the model's results. The study was conducted in the third district of the Chelavand forestry project, located in the natural resources area of Astara city in Northwestern Iran. The total length of the roads studied was 5.5 km, divided into 48 samples with homogeneous characteristics. Essential information was collected for the implementation of the model. The model estimated the amount of road and cutslope sediment to be 94.786 tons per kilometer per year. After incorporating information about the fillslope area, the model was run again. The predicted amount of sediment from the fillslope area was 3.4 tons/km per year. A t-test analysis revealed that the observed difference between the results was not significant. Therefore, it can be concluded that adding features related to the fillslope area does not significantly affect the final results of the model in the study area.

Keywords: Forest road, Erosion, Predictive models, Sedimentation.

*Corresponding author Tell: +98 9111380108 Email: Rnaghdi@guilan.ac.ir