

## ارزیابی قابلیت مدل وپ در تخمین تولید رسوب جاده جنگلی (مطالعه موردی: جنگل کوهمیان - آزادشهر)

- ◀ **مصطفی مقدمی راد\***؛ دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ◀ **احسان عبدی**؛ استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ◀ **محسن محسنی ساروی**؛ استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ◀ **حامد روحانی**؛ استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، ایران
- ◀ **باریس مجنونیان**؛ استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۲۵)

### چکیده

جاده‌های جنگلی دارای پتانسیل انتقال رسوب به رودخانه بوده و باعث کاهش کیفیت آب و آثار منفی زیست‌محیطی بر حیات جانوران و گیاهان هستند. به عبارت دیگر، جاده‌های جنگلی یکی از مهم‌ترین منابع تولید رسوب در مناطق جنگلی به‌شمار می‌آیند. مطالعه‌ای در جنگل کوهمیان واقع در محدوده شهرستان آزادشهر استان گلستان با هدف برآورد مقدار رسوب تولیدی جاده جنگلی در یک سطح مشخص با استفاده از مدل وپ و عملیات صحرایی انجام شد. در این مطالعه مقدار رسوب تولیدی ترانسه خاکبرداری و بستر جاده با استفاده از روش صحرایی و با استفاده از توری رسوب‌گیر در خروجی آبرو جمع‌آوری شد. همچنین مقدار رسوب تولیدی ترانسه خاکریزی با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران و سطح پلات ۱ مترمربعی اندازه‌گیری شد. ارزیابی کارایی مدل وپ عملکرد ۵۲ درصدی تخمین رسوب تولیدی جاده را قبل از واسنجی پارامترهای خاک و ۹۱ درصدی را پس از واسنجی این پارامترها نشان داد. به طوری که مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ترانسه خاکبرداری، خاکریزی و بستر جاده در سطحی به مساحت ۵۴۶ مترمربع جمعاً برابر با ۳۷/۶۳ کیلوگرم و با استفاده از مدل وپ ۳۵/۱۴ کیلوگرم برآورد شد. نتایج نشان داد که مقدار برآوردی مدل ۹۳ درصد مقدار اندازه‌گیری شده به‌طور مستقیم است. لذا مدل وپ قابلیت مناسبی در برآورد مقدار رسوب جاده جنگلی در منطقه مورد مطالعه دارد. بنابراین مدل وپ به‌عنوان یک ابزار مهم در مدیریت شبکه جاده به‌منظور بررسی راه‌کارهای مدیریتی کاهش رسوب قبل و بعد از طراحی و ساخت جاده جنگلی توصیه می‌شود.

**کلمات کلیدی:** جاده جنگلی، توری رسوب‌گیر، باران ساز، رسوب تولیدی، مدل وپ.

## مقدمه

از آنجا که اکثر جاده‌های جنگلی در مناطق کوهستانی احداث می‌شوند، این امر باعث تغییر در رفتارهای هیدرولوژیکی دامنه‌های جنگلی می‌شود (Gucinski *et al.*, 2001). احداث جاده در مناطق جنگلی یکی از منابع مهم تولید رسوب و آلودگی رودخانه‌های جنگلی به‌شمار می‌رود (Cornish, 2001; Elliot *et al.*, 2009). پاک‌تراشی جنگل و تبدیل آن به سایر کاربری‌ها و ایجاد جاده در جنگل سبب ایجاد آثار نامطلوبی بر روی محیط زیست می‌گردد که از آن جمله می‌توان به افزایش رواناب و فرسایش، کاهش کیفیت آب، افزایش تولید رسوب و پر شدن مخازن سدها از رسوب و غیره اشاره کرد (Rafahi, 2006). روش‌های متعددی به‌منظور اندازه‌گیری مقدار رسوب تولیدی جاده‌جنگلی وجود دارد. توری‌های رسوب‌گیر<sup>۱</sup> یکی از مهم‌ترین گزینه‌های قابل استفاده به‌منظور جمع‌آوری مقدار رسوب ناشی از فرسایش خاک در مناطق جنگلی است که جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز با این روش و نصب آن در منطقه، ساده و هزینه کمتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد (Dissmeyer, 1982). باران‌ساز نیز یک وسیله تحقیقاتی مفید به‌منظور مقایسه و کمی کردن فرآیندهای رواناب و فرسایش خاک به‌شمار می‌آید. به‌طور کلی از این روش می‌توان به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های فرسایشی فیزیکی بر پایه باران استفاده کرد (Seeger, 2007). از طرف دیگر توسعه مدل‌های فرسایش خاک در دنیا به‌عنوان ابزار مدیریتی در زمینه کنترل بهتر خاک و منابع آبی و همچنین کاهش اثرات منفی زیست-محیطی می‌باشد (Forsyth *et al.*, 2006). مدل نمادی از واقعیت است که مهمترین ویژگی‌های دنیای واقعی را به‌صورتی ساده و کلی بیان می‌کند (Rafahi, 2006). برای درک و شناخت دقیق یک پدیده یا ترکیبی از پدیده‌ها، امروزه مدل‌ها به‌عنوان مهم‌ترین ابزار در بررسی‌های تجربی مدنظر قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر مطالعه‌های زیادی جهت توسعه مدل‌های پایه فیزیکی جهت تخمین هدررفت خاک و تولید

رسوب انجام شده است که پروژه تخمین فرسایش آبی (وپ<sup>۲</sup>) یکی از مدل‌های رایج شده می‌باشد. این مدل به‌وسیله اداره کشاورزی آمریکا (USDA<sup>۳</sup>) در سال ۱۹۸۵ به‌منظور حفاظت آب و خاک و طراحی زیست محیطی توسعه یافت (Flanagan *et al.*, 2007) که در سال‌های بعد توسط محققین توسعه داده شد و نسخه جدید آن در ۲۸ ژانویه سال ۲۰۱۰ ساخته و در اختیار کاربران قرار گرفت (Moghadamirad, 2011). این مدل از نوع مدل‌های فیزیکی تک رخداد و پیوسته است که با دریافت اطلاعات خصوصیات بارندگی و درجه حرارت، مشخصات جاده، خاک و پوشش گیاهی نتایج را در قالب فایل خروجی نشان می‌دهد. Robichaud و Brown (۲۰۰۲) به‌منظور اندازه‌گیری فرسایش دامنه‌های جنگلی از توری‌رسوب-گیر استفاده کردند. سپس نتایج حاصل از اندازه‌گیری توری رسوب‌گیر را با رسوب حاصل از مخازن آبی که در منطقه به‌منظور جمع‌آوری رسوب نصب شده بود مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که توری‌های رسوب‌گیر کارایی خوبی در اندازه‌گیری رسوب به شرط طراحی و نصب مناسب دارند. Ramos-Scharron و MacDonald (۲۰۰۷) به بررسی اندازه‌گیری رسوب از جاده‌های جنگلی با استفاده از توری رسوب‌گیر در جزایر ورجین آمریکا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که حجم مقدار رسوب انتقالی به رودخانه به‌طور متوسط ۱۲ مترمکعب در هر کیلومتر از جاده بوده است. Peranich (۲۰۰۵) به بررسی اندازه‌گیری و مدل‌سازی فرسایش از ۴ جاده روستایی شوسه با استفاده از مدل وپ و توری‌رسوب‌گیر و فلوم‌های اچ در منطقه آمریکا پرداخت. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که مدل وپ قابلیت برآورد ۵۰ درصدی نسبت به روش‌های مستقیم اندازه‌گیری در این جاده-ها را دارد. Forsyth و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی مقدار سالانه فرسایش خاک در جنگل‌کاری‌های کاج استرالیا در دو جاده شن‌ریزی شده و فاقد شن‌ریزی با استفاده از فلوم و مقایسه این اندازه‌گیری‌ها با نتایج

2- Water erosion prediction project  
3- United state department of agriculture

1- Silt fence

مقدار رسوب تولیدی جاده به عنوان ابزاری مناسب در مدیریت شبکه جاده مورد استفاده قرار گرفته و حائز اهمیت باشد.

### مواد و روش‌ها

طرح جنگل‌داری کوهمیان در قالب یک سری با مساحتی بالغ بر ۳۶۷۱ هکتار در حوزه آبخیز ۸۹ از تقسیمات جنگل‌های شمال کشور (طرح جامع مقدمات) در حوزه اداره کل منابع طبیعی استان گلستان گرگان و در ۳ کیلومتری شرق شهرستان آزادشهر واقع شده است و از ارتفاع حدود صفر تا ۱۶۰۰ متری از سطح دریا گسترش دارد. اقلیم منطقه مورد نظر در طبقه‌بندی آمبرژه، از نوع نیمه مرطوب و معتدل تا مرطوب معتدل و حداقل دمای متوسط ۱۰/۶۸، حداکثر دمای متوسط ۲۲/۹۸ و متوسط دمای ۱۶/۸۳ درجه سلسیوس می‌باشد. در این جنگل ۲ شبکه جاده وجود دارد. جاده ۱ به طول ۱۳ کیلومتر است و زمان پایان ساخت این جاده به سال ۱۳۷۳ بر می‌گردد. شبکه جاده دیگر (جاده ۲) به طول ۸/۵ کیلومتر است که در سال ۱۳۸۴ ساخته شده است که پژوهش حاضر در این قسمت انجام گرفته است (شکل ۱). عمده گونه‌های درختی غالب در منطقه انجیلی، مرمر و بلوط می‌باشد. جاده‌های جنگلی منطقه از نوع اصلی جنگلی بوده که عرضی حدود ۵/۵ متر دارند. سطح رویه جاده‌های منطقه مورد مطالعه از نوع مصالح شنی و متوسط میزان نزولات در این جنگل ۷۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد (Kouhmian's Forest Management Plan, 1995).

### روش انجام پژوهش

این پژوهش در دو بخش مجزا انجام گرفت. در بخش اول رسوب بخش انتخابی جاده (سطح جاده و ترانشه- خاکبرداری) توسط توری رسوب‌گیر در خروجی زهکش عرضی و ترانشه‌خاکریزی توسط باران‌ساز (شکل ۲) اندازه‌گیری و در بخش دوم رسوب کل جاده با استفاده از مدل وپ برآورد شد.

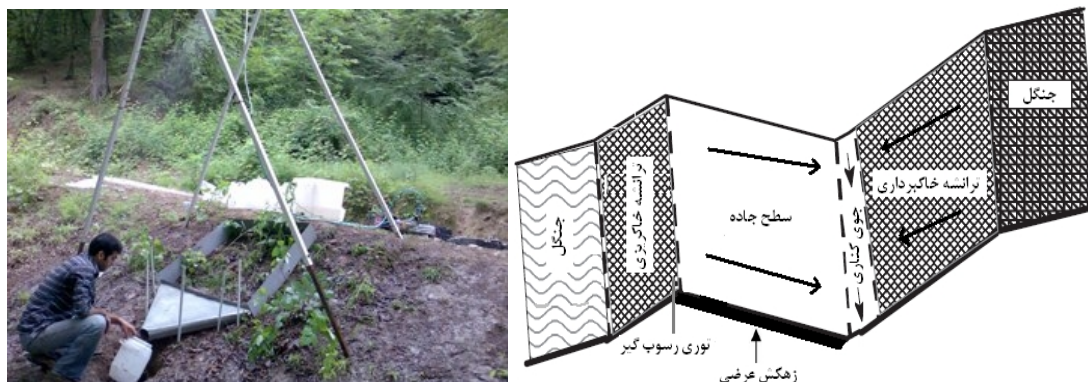
مدل وپ پرداختند. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که مقدار فرسایش اندازه‌گیری شده برای جاده-های شن‌ریزی شده و فاقد شن‌ریزی به ترتیب ۱۷۲ و ۱۵۵۱ تن و مقدار برآوردی مدل به ترتیب ۱۴۷ و ۱۱۳۸ تن در ۸۵۰ کیلومتر جاده طی یک دوره دو ساله بود. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل وپ از کارایی در برآورد مقدار رسوب برخوردار بوده و ابزاری مناسب به منظور برآورد مقدار رسوب در مقیاس‌های بزرگ منطقه‌ای می‌باشد. Welsh (۲۰۰۸) به بررسی رسوب تولیدی و انتقالی جاده‌های جنگلی با استفاده از توری رسوب‌گیر و مقایسه نتایج اندازه‌گیری با مدل-های وپ و سدمدل (SEDMODL) پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل وپ نسبت به سدمدل کارایی بیشتری در برآورد مقدار رسوب از جاده‌های جنگلی دارد. Melton (۲۰۰۸) به بررسی اثر شیب بر روی فرسایش خاک در مسیرهایی با ترافیک کم و زیاد در شرق منطقه جنگلی آلباما با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم رواناب و رسوب به وسیله پلات‌های کوچک طراحی شده در زمان بارندگی و مقایسه آن با نتایج مدل وپ پرداخت. در ابتدا مقدار برآوردی مدل با مقدار اندازه‌گیری واقعی رسوب تفاوت داشت ولی پس از واسنجی پارامترهای خاک مدل نظیر: فرسایش-پذیری شیلی<sup>۱</sup>، فرسایش‌پذیری بین‌شیلی<sup>۲</sup>، تنش برشی بحرانی<sup>۴</sup> و هدایت هیدرولیکی مؤثر<sup>۵</sup>، مقدار برآوردی مدل به مقدار مشاهده‌ای رسوب نزدیک و همبستگی خوبی را نشان داد.

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از این مطالعه ارزیابی قابلیت مدل وپ در برآورد تولید رسوب ناشی از جاده جنگلی است. از آن جایی که نسخه جاده‌ای مدل وپ بر اساس فرآیندهای تولید رواناب، جدایش، انتقال و حمل ذرات در جاده بکار گرفته و در نهایت کل مقدار رسوب تولیدی جاده را برآورد می‌کند، لذا ارزیابی این نسخه می‌تواند در صورت برآورد صحیح

- 1- Road sediment delivery model
- 2- Rill Erodibility
- 3- Interrill Erodibility
- 4- Critical Shear
- 5- Effective Hydraulic Conductivity



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- دیاگرام پلات جاده و اندازه‌گیری رسوب سطح جاده و ترانسه خاکبرداری از خروجی آبرو (شکل راست) و اندازه‌گیری رسوب ترانسه خاکریزی (شکل چپ)

استفاده از شیب سنج سونتو به ترتیب برابر ۵، ۸۰ و ۶۰ درصد اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر الگوی جاده مورد مطالعه یک‌طرفه و به سمت ترانسه خاکبرداری<sup>۱</sup> می‌باشد که به منظور جمع‌آوری رسوب ترانسه خاکبرداری و بستر جاده از طریق آبرو مناسب بود. در انتهای مقطع انتخابی آبرویی وجود داشت که در خروجی آن مقدار رسوب جاده و ترانسه خاکبرداری توسط توری رسوب‌گیر در زمان بارندگی در مدت

### اندازه‌گیری رسوب با استفاده از توری رسوب‌گیر و باران‌ساز

در این قسمت مقطعی از سطح جاده به منظور اندازه‌گیری رسوب به طور طبیعی (سطح جاده و ترانسه- خاکبرداری) و با استفاده از باران‌ساز (ترانسه خاکریزی) Deltalab Eid330 انتخاب شد. این مقطع دارای میانگینی از مشخصات هندسی در جاده مورد مطالعه از نظر شیب بستر و ترانسه‌های خاکبرداری و خاکریزی است، که طبق بررسی‌های میدانی و با

1- Inslope

### برآورد رسوب با استفاده از مدل وپ

مدل وپ به منظور برآورد رسوب جاده از اطلاعات ورودی چهار بخش که شامل: اقلیم منطقه، شیب، خاک و مدیریت شبکه جاده استفاده می‌کند که پارامترهای ورودی هر بخش پس از اندازه‌گیری‌ها و قرار دادن مقادیر در معادلات مورد نیاز مدل بدست آمد. با توجه به تعداد زیاد پارامترهای مدل و نیز روابط موجود در مدل و نحوه محاسبات آن‌ها در این مطالعه، از آوردن روابط و پارامترها به دلیل حجم بسیار زیاد آن‌ها خودداری گردید و تنها به توضیح اطلاعات بنیادی ورودی مدل وپ بسنده شده است. اطلاعات کامل‌تر در گزارش Flanagan و همکاران (۲۰۰۲) آمده است.

### اطلاعات ورودی بخش اقلیم

به منظور تهیه فایل اقلیم (کلاپژن)<sup>۱</sup> از داده‌های ایستگاه هواشناسی نوده که نزدیکترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Moghadamirad *et al.*, 2014)، طبق دستورالعمل تهیه فایل اقلیم (Nicks *et al.*, 1995) تهیه گردید. جهت ساخت این فایل، پارامترهایی نظیر: متوسط و انحراف معیار بارندگی ماهانه، احتمال یک روز مرطوب پس از یک روز مرطوب، احتمال یک روز مرطوب پس از یک روز خشک، ضریب چولگی ماهانه، متوسط حداکثر و حداقل دمای روزانه و انحراف معیار حداکثر و حداقل دمای روزانه مورد نیاز می‌باشد. کلیه این اطلاعات از ایستگاه هواشناسی نوده و از روی دستورالعمل کلاپژن محاسبه شد. سپس شاخصه‌های آماری محاسبه شده وارد مدل و تحت برنامه کلاپژن شبیه‌سازی گردید که مقادیر بارندگی و درجه حرارت در دوره ۲۵ ساله برای منطقه بدست آمد (Kelarestaghi *et al.*, 2009).

### اطلاعات ورودی بخش شیب

به منظور ساخت فایل شیب مدل نیاز به طول، عرض، جهت و مقدار شیب مقطع انتخابی جاده (بستر، ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی) است که این

زمان ۳۰ دقیقه و با سه تکرار جمع‌آوری شد. به منظور جلوگیری از تأثیر رسوب و رواناب بالادست ترانشه خاکبرداری و مناطق جنگلی، جوی‌های بالای ترانشه- خاکبرداری که در هنگام جاده‌سازی در منطقه احداث شده بودند، رواناب بالادست در این جوی‌ها جمع‌آوری و از منطقه مورد نظر خارج می‌شد. طول و عرض ترانشه خاکبرداری با استفاده از متر اندازه‌گیری و مساحت هر قسمت محاسبه شد. داده‌های بارش نیز از ایستگاه نوده که به فاصله ۴ کیلومتر از منطقه مورد مطالعه قرار دارد، گرفته شد. شدت بارش در زمان اندازه‌گیری رسوب توسط توری رسوب‌گیر برابر با ۸۱ میلی‌متر بر ساعت بود. با توجه به این نکته و استفاده از شدت برابر، بارشی برابر با بارش طبیعی منطقه با کمک باران‌ساز به منظور اندازه‌گیری رسوب تولیدی ترانشه خاکریزی شبیه‌سازی شد. برای این منظور از باران‌ساز با پلات یک مترمربعی و به صورت تصادفی استفاده شد. مدت زمان جمع‌آوری رسوب با استفاده از باران‌ساز نیز همانند توری رسوب‌گیر ۳۰ دقیقه و با سه تکرار انجام شد. در این روش مقدار رواناب تولیدی با استفاده از ظرفی در خروجی پلات مورد استفاده جمع‌آوری شد. در پایان شبیه‌سازی، حجم کل رواناب در سطح یک مترمربع محاسبه و یک نمونه ۵۰۰ میلی‌لیتری (Sheridan *et al.*, 2008) از رواناب کل به منظور اندازه‌گیری رسوب و انتقال به آزمایشگاه گرفته شد. همچنین نمونه‌های حاصل از توری‌های رسوب‌گیر پس از جمع‌آوری در محیط خشک شده و نمونه‌های حاصل از باران‌ساز نیز پس از عبور از کاغذ صافی در دستگاه اون به مدت یک شبانه‌روز در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و عمل توزین انجام گرفت (Foltz *et al.*, 2009). با تعمیم مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ۵۰۰ میلی‌لیتر نمونه‌های باران‌ساز به نمونه کل رواناب، رسوب حاصل از ترانشه خاکریزی در یک مترمربع بدست آمد که با توجه به سطح کل مقدار رسوب تولیدی ترانشه خاکریزی محاسبه شد. مجموع مقدار رسوب حاصل از توری رسوب‌گیر و باران‌ساز به عنوان مقدار رسوب کل جاده در یک مقطع در نظر گرفته شد.

(۲۰۰۰)، Gronsten و Lundekvam (۲۰۰۶) و Moriasi و همکاران (۲۰۰۷) ارایه شده است و حالتی استاندارد از تابع حداقل مربعات خطاهاست که نسبت واریانس باقیمانده به واریانس اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2}$$

$Y_i^{obs}$ : مقادیر مشاهده‌ای رسوب

$Y_i^{sim}$ : مقادیر برآورد شده رسوب

$Y^{mean}$  = میانگین مقادیر مشاهده‌ای و  $n$  تعداد مشاهده‌ها است.

تغییرات NSE از  $-\infty$  تا  $+1$  بوده و هر چه شبیه‌سازی بهتر انجام گرفته باشد، مقدار آن به یک نزدیکتر است. تغییرات بین  $0$  تا  $+1$  قابل قبول می‌باشد.  $0$  تا  $0/5$  رابطه ضعیف،  $0/5$  تا  $0/75$  رابطه متوسط و  $0/75$  تا  $1$  رابطه خوب مدل و روش اندازه‌گیری مستقیم دارند. مقدار منفی در این رابطه غیر قابل قبول است.

### نتایج

**اندازه‌گیری مقدار رسوب حاصل از خروجی آبرو**  
پس از جمع‌آوری رسوب از خروجی آبرو و خشک کردن آن در آون، متوسط مقدار رسوب دو بخش بستر جاده به‌همراه ترانسه خاکبرداری  $29/05$  کیلوگرم اندازه‌گیری شد. جدول (۱) مقدار رسوب و ویژگی‌های این دو بخش از جاده را نشان می‌دهد.

فاکتورها با استفاده از متر، جهت‌نما و شیب‌سنج سونتو محاسبه شد و به مدل وارد شد.

### اطلاعات ورودی بخش خاک

به‌منظور استفاده از مدل وپ نیاز به یک‌سری پارامترهای خاک شامل: بافت خاک<sup>۱</sup>، ظرفیت تبادل کاتیونی<sup>۲</sup> و درصد موادآلی<sup>۳</sup> خاک است. به‌منظور اطمینان بیشتر تعداد ۱۰ نمونه خاک به روش تصادفی از قسمت‌های مختلف جاده جنگلی با رعایت اصول نمونه‌برداری برداشت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، این پارامترها به‌ترتیب توسط روش آب-سنجی (Bouyoucos, 1962)، روش Chapman (Chapman, 1965) و روش Black و Walkley (1934) اندازه‌گیری شد. بعضی پارامترها نظیر: فرسایش شیاری و بین شیاری، تنش برشی بحرانی، هدایت هیدرولیکی نیز به‌وسیله روابط موجود در مدل محاسبه شد (Melton, 2008).

### اطلاعات ورودی بخش مدیریت

این فایل حاوی ۲ قسمت است. قسمت اول شامل: جاده Inslope که مجموع ترانسه خاکبرداری و بستر جاده را در نظر گرفته و قسمت دوم شامل: ترانسه-خاکریزی است. مجموع این دو قسمت برابر با مقطع انتخابی جاده می‌باشد. پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، مدل اجرا گردید و مقدار رسوب برآوردی در بخش مورد مطالعه محاسبه شد. در نهایت مقدار رسوب حاصل از مدل وپ با مقدار رسوب حاصل از مطالعه‌های صحرائی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

### ارزیابی کارایی نسخه جاده‌ای مدل وپ

رایج‌ترین تابع هدف استفاده شده برای واسنجی مدل-های آب‌شناختی، ضریب ناش-ساتکلیف است (Nash-Sutcliffe, 1970) که در تحقیقات Yu و همکاران

- 1- Soil texture
- 2- Cation exchange capacity
- 3- Organic matter

جدول ۱ - متوسط مقدار رسوب اندازه‌گیری شده از خروجی آبرو

مشخصات جاده	طول (متر)	عرض ترانشه (متر)	مساحت ترانشه (مترمربع)	رسوب کل (کیلوگرم)
بستر جاده	۶۰	۵/۵	۳۳۰	
ترانشه خاکبرداری	۵۴	۱/۹	۱۰۲/۶	
جمع کل			۴۳۲/۶	۲۹/۰۵

$$۳۷/۶۳ = ۲۹/۰۵ + ۸/۵۸$$

بنابراین مجموع مقدار رسوب حاصل از جاده به مساحت ۵۴۶ مترمربع که شامل ترانشه‌های خاکبرداری، خاکریزی و بستر جاده می‌باشد برابر ۳۷/۶۳ کیلوگرم بود. این مقدار رسوب با نتایج مدل وپ مورد مقایسه قرار گرفت.

#### فاکتورهای اندازه‌گیری شده خاک

##### بافت خاک

بافت خاک تأثیر فراوانی بر مقدار فرسایش خاک دارد. خاک‌هایی با درصد سیلت بیشتر نسبت به فرسایش حساس‌تر هستند (Rafahi, 2006). ذرات شن و رس مقاومت بیشتری نسبت به ذرات سیلت در مقابل فرسایش پذیری دارند (Rafahi, 2006). با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌گردد که مقدار سیلت در ترانشه خاکبرداری بیش از بستر جاده و ترانشه خاکریزی است که با توجه به این نکته می‌توان دریافت که مقدار رسوب ترانشه خاکبرداری ممکن است بیش از بخش‌های دیگر باشد. درصد ذرات و نوع بافت خاک در هر قسمت از جاده در جدول (۳) آمده است.

#### اندازه‌گیری مقدار رسوب حاصل از باران‌ساز در ترانشه خاکریزی

میانگین مقدار رسوب تولیدی این ترانشه به‌ازای نمونه ۵۰۰ میلی‌لیتری ۲/۰۸ گرم اندازه‌گیری شد و مقدار رسوب کل ترانشه با توجه به مقدار رواناب تولیدی بدست آمد. متوسط مقدار رواناب ۱۸/۲ لیتر به‌ازای یک مترمربع جمع‌آوری شد که مقدار رسوب آن ۷۵/۷۱ گرم بوده است. طول ترانشه خاکریز ۵۴ متر تا آبرو بوده است. چون در مسیر انتخابی ۶۰ متر نقاطی هم سطح جاده بودند که خاکبرداری و خاکریزی نشده بودند. عرض ترانشه نیز به‌طور متوسط ۲/۱ متر بوده که بنابراین مساحت آن برابر ۱۱۳/۴ مترمربع محاسبه شد. مقدار رسوب کل این ترانشه تا آبرو ۸/۵۸ کیلوگرم اندازه‌گیری شد که در جدول (۲) آمده است.

#### مقدار رسوب کل

با توجه به مجموع رسوب حاصل از ترانشه خاکریزی و رسوب خروجی آبرو (بستر جاده + ترانشه خاکبرداری) مقدار رسوب کل بخش انتخابی بدست آمد و جهت مقایسه با مدل مورد استفاده قرار گرفت. مجموع رسوب بخش انتخابی (کیلوگرم) = رسوب حاصل از خروجی آبرو + رسوب ترانشه خاکریزی

جدول ۲ - متوسط مقدار رسوب اندازه‌گیری شده توسط باران‌ساز در ترانشه خاکریزی

طول ترانشه (متر)	عرض ترانشه (متر)	مساحت ترانشه (مترمربع)	رواناب (لیتر)	رسوب کل (کیلوگرم)
۵۴	۲/۱	۱۱۳/۴	۱۸/۲	۸/۵۸

جدول ۳- میانگین درصد فراوانی ذرات خاک در قسمت‌های مختلف جاده

قسمت‌های جاده	درصد شن	درصد رس	درصد سیلت	بافت خاک
ترانشه خاکبرداری	۲۵	۴۱	۳۴	رسی
ترانشه خاکریزی	۴۰	۳۵	۲۵	لومی رسی
بستر جاده	۹۱	۵	۴	شنی

جدول ۴- مقدار متوسط ماده آلی در هر بخش جاده

قسمت‌های جاده	متوسط ماده آلی (درصد)
ترانشه خاکبرداری	۱/۳
ترانشه خاکریزی	۱/۹
بستر جاده	۰

تولیدی خواهد شد. بنابراین با توجه به کاهش مقدار ماده آلی در بستر جاده و تراکم آن در حین ساخت، می‌توان دریافت که مقدار رواناب آن بیش از ترانشه-های خاکبرداری و خاکریزی است. بنابراین باید به مسئله زهکش عرضی در منطقه با توجه به تعداد و فواصل مناسب آب‌روها توجه کرد که اصول و قواعد آن در دستورالعمل سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۴) آمده است.

#### ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

Doran و Parkin (۱۹۹۴) ظرفیت تبادل کاتیونی را یکی از پارامترهای مهم کیفیت خاک می‌دانند. در اثر جاده‌سازی در جنگل این پارامتر مهم خاک در اثر کاهش ماده آلی کاهش می‌یابد که کمترین آن در بستر جاده به دلیل استفاده از مصالح شنی و ترافیک وسایل نقلیه است (جدول ۵). مقدار متوسط ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌گیری شده در هر قسمت از جاده در جدول (۵) آمده است.

احیا پوشش گیاهی و استفاده از مقطوعات بر روی ترانشه‌های خاکبرداری و همچنین به منظور کاهش رسوب تولیدی، در ترانشه‌های ناپایدار خاکریزی می‌توان از گابیون استفاده نمود. گابیون‌بندی قابلیت زهکشی و انعطاف پذیری مناسبی در این امر دارد (IPBO, 2000).

#### ماده آلی خاک

مقدار متوسط ماده آلی اندازه‌گیری شده در هر قسمت از جاده در جدول (۴) آمده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد درصد ماده آلی در ترانشه خاکریزی بیشتر از ترانشه خاکبرداری و بستر جاده است. مواد آلی خاک از طریق تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین کنترل فعالیت‌های میکروبی، نقش کلیدی در خاک ایفا می‌کنند (Solomon et al., 2002). وجود ماده آلی در خاک موجب افزایش تخلخل و نفوذپذیری بیشتر خاک (Siegrist et al., 1998) و کاهش حجم رواناب

جدول ۵- مقدار متوسط ظرفیت تبادل کاتیونی در هر بخش جاده

قسمت‌های جاده	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بر کیلوگرم)
ترانشه خاکبرداری	۱۰/۶
ترانشه خاکریزی	۱۴/۳
بستر جاده	۱/۵



### اجرای مدل (قبل و بعد واسنجی)

اجرای مدل از طریق ورود ۴ فایل اقلیم، شیب، مدیریت و خاک صورت گرفت. میانگین مقدار تخمینی رسوب تولیدی شبکه جاده توسط مدل وپ قبل و بعد واسنجی به ترتیب ۲۳/۸۳ و ۳۵/۱۴ کیلوگرم بدست آمد که کمتر از مقدار مشاهده‌ای (۳۷/۶۳) بود.

### ارزیابی کارایی مدل

برای ارزیابی کارایی مدل از رابطه ناش - ساتکلیف که در قسمت روش تحقیق به آن اشاره شده بود، استفاده گردید. ارزیابی کارایی مدل نشان داد که قبل از واسنجی پارامترهای خاک، کارایی ۵۲ درصدی در برآورد رسوب جاده دارد. کارایی مدل پس از واسنجی پارامترهای خاک از جمله: فرسایش‌پذیری شیاری و بین شیاری، تنش برشی بحرانی و هدایت هیدرولیکی به ۹۱ درصد افزایش یافت که با نتایج Forsyth و همکاران (۲۰۰۶) و Melton (۲۰۰۸) همسو و با نتایج Peranich (۲۰۰۵) مغایرت دارد. می‌توان گفت که مدل وپ در صورت واسنجی پارامترهای خاک قابلیت برآورد مقدار رسوب تولیدی شبکه جاده را دارا است. اگرچه مدل وپ تمایل به برآورد کمتر مقدار رسوب جاده‌ای نسبت به مقادیر مشاهده‌ای دارد.

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اندازه‌گیری رسوب تولیدی بخشی از جاده‌جنگلی با استفاده از توری‌های رسوب‌گیر و باران-

ساز و مقایسه آن با نتایج مدل وپ در جنگل کوهمیان آزادشهر مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی کارایی مدل وپ عملکرد ۵۲ درصدی تخمین رسوب تولیدی جاده را قبل از واسنجی پارامترهای خاک و ۹۱ درصدی را پس از واسنجی این پارامترها نشان داد. از نتایج بدست‌آمده طی پژوهش یاد شده علاوه بر تأیید امکان استفاده از مدل وپ برای تخمین رسوب تولیدی شبکه جاده در جنگل کوهمیان با استفاده از ویژگی‌های اقلیمی، خاک، مدیریت و شیب، می‌توان جمع‌بندی نمود که استفاده از مدل مناسب منطقه‌ای و مبتنی بر مقادیر مشاهداتی فرسایش و رسوب از ضروریات بوده و زمینه‌ساز مدیریت برتر جاده‌های جنگلی می‌باشد. اگرچه تعمیم نتایج پژوهش فعلی به سایر جاده‌های جنگلی ایران، مستلزم انجام پژوهش‌های گسترده‌تر در بخش‌های دیگر مملکت امکان‌پذیر خواهد بود.

### تشکر و قدردانی

در پایان از دکتر واحدبردی شیخ به خاطر در اختیار گذاشتن دستگاه باران‌ساز و خانم‌ها قره محمودلی و ترکاشوند دانشجویان کارشناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس به خاطر همکاری در کارهای صحرایی و آزمایشگاهی قدردانی می‌شود. از دکتر ویلیام ج الیوت و دکتر راندی ب فولتز اعضای خدمات جنگل اداره کشاورزی آمریکا (USDA Forest Service) به خاطر راهنمایی‌های فراوان در انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

## منابع

1. Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method for making particle size analysis of soils, *Agronomy Journal*, 54 (5): 464-465.
2. Chapman, H.D., 1965. Cation exchange capacity. In: *methods of soil analysis. Part 2.* Black, C.A. (Ed). American society of agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 890p.
3. Cornish, P.M., 2001. The effects of roading, harvesting and forest regeneration on stream water turbidity levels in a moist eucalypt forest, *Forest Ecology and Management*, 152: 293-312.
4. Dissmeyer, G.E., 1982. How to use fabric dams to compare erosion from forestry practices. *Forestry Rep. SA-FR 13.* Atlanta, GA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeast Areas., 11p.
5. Doran, J.W. and parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W., Coleman, D.C., Bezdicek, D. F., and Steward, B.A., (Eds) *defining soil quality for a sustainable environment.* SSSA. Special publication, 250p.
6. Elliot, W.J., Foltz, R.B. and Robichaud, P.R., 2009. Recent findings related to measuring and modeling forest road erosion. In *Proc. 18th World IMAC/MODSIM Congress Cairns, Australia*, 4078-4084.
7. Flanagan, D.C. and Frankenberger, J.R., 2002. Water erosion prediction project (WEPP) windows interface tutorial. USDA-Agricultural research service & purdue University National Soil Erosion Research Laboratory West Lafayette, Indiana, USA. 75p.
8. Flanagan, D.C., Gilley, J.E. and Franti, T.G., 2007. Water erosion prediction project (WEPP): development history, model capabilities, and future enhancements. *Trans. ASABE*, 50(5): 1603-1612.
9. 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, *Journal of Environmental Management*, 90: 2542-2550.
10. 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 Ecology and Management*, 221: 194-206.
11. Gronsten, H.A. and Lundekvam, H., 2006. Prediction of surface runoff and soil loss in Southeastern Norway using the WEPP Hillslope Model, *Soil and Tillage Research*, 5: 186-199.
12. Gucinski, H., Furniss, M.J., Ziemer, R.R. and Brookes, M., 2001. *Forest roads: A synthesis of scientific information.* Gen. Techn. Rep. PNW-GTR-509. US Department of Agriculture. Portland, Forest Service, 103p.
13. Iranian Plan and Budget Organization (IPBO), 2000. *Guidelines for design, execute and using forest roads No: 131.* (2rd Ed.). Office of the Deputy for technical affairs. Bureau of technical affairs and standards, 200p.
14. Kelarestaghi, A., Ahmadi, H., Jafari, M., Jafaryan, Z., Ghodosi, J. and Gholkarian, A., 2009. Evaluation of WEPP model in predicting runoff and sediment rangeland plots. *Journal of Rangeland, Iranian Journal of Natural Resources*, 3(3): 317-332.
15. Kouhmian's Forest management Plan Booklet., 1995. 250p.
16. Melton, J.D., 2008. Evaluation of slope effects on soil erosion of off- road vehicle trails using WEPP, M.S.C thesis, Auburn University, USA, 143p.
17. Moghadamirad, M., 2011. Measuring and modeling of sediment production from forest roads in Kohmian – Azadshahr forest. M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 60p.
18. Moghadamirad, M., Abdi, E., Mohseni Saravi, M., Rouhani, H. and Majnounian, B., 2014. Effect of forest road gradient on amount of runoff and sediment. *Journal of Forest and Wood Products*, 64(4): 389-399.

19. Moriasi, N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of ASABE. In press.
20. Nash, J. E. and Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I: a discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282–290.
21. Nicks, A.D., Lane, L.J. and Gander, G.A., 1995. Weather generator, technical documentation of USDA- Water Erosion Prediction Project (WEPP), chapter2, 22p.
22. Peranich, C.M., 2005. Measurement and modeling of erosion from four unpaved road segments the still water creek watershed bachelor of science, Delaware Valley College of science and agriculture, Doylestown, Pennsylvania, 117p.
23. Ramos-Scharron, C.E. and MacDonald, L.H. 2007. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, U.S. Virgin Islands, Catena, 71: 250–266.
24. Robichaud, P.R. and Brown, R.E., 2002. Silt fences: an economic technique for measuring hillslope soil erosion. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-95, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, 24p.
25. Rafahi, H.Gh., 2006. Water erosion and conservation. University of Tehran Press (5 Ed), 671p.
26. Seeger, M., 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations, Catena, 71: 56-67.
27. Sheridan, G., Noske, P., Lane, P. and Sherwin, C., 2008. Using rainfall simulation and site measurements to predict annual inter rill erodibility and phosphorus generation rates from unsealed forest roads: Validation against in-situ erosion measurements, Catena, 73: 49-62.
28. Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L. and Mader, P., 1998. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long- term field study on loess in Switzerland, Agriculture, Ecosystems and Environment, 69: 253-264.
29. Solomon, D., Fritzsche, F., Tekalign, M., Lemann, J. and Zech, W., 2002. Soil organic matter composition in sub humid Ethiopian highlands as influenced by deforestation and agricultural management, Soil Science Society American Journal, 66: 68-82.
30. Wackley, H. and Black, I.A., 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid method, Soil Science, 37: 29–38.
31. Welsh, M.J., 2008. Sediment production and delivery from forest roads and off-highway vehicle trails in the upper South Platte River watershed, Colorado, Unpublished M.S thesis, Fort Collins, co: Colorado state university, 237p.
32. Yu, B., Ciesiolka, C.C.A., Rose, C.W. and Coughlan, K.J., 2000. A validation test of WEPP to predict runoff and soil loss from a pineapple farm on a sandy soil in subtropical Queensland Australia, Australian Journal of Soil Research, 38: 537-554.

## Evaluation of WEPP model in estimating amount of sediment from forest road (Case study: Kohmiyan- Azadshahr forest)

- **M. Moghadami Rad\***; Ph.D. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
- **E. Abdi**; Assistant professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
- **M. Mohseni Saravi**; Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
- **H. Rouhani**; Assistant professor, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Gonbad e Kavous, Iran
- **B. Majnounian**; Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: 05- Dec- 2013 Accepted: 16- Aug- 2014)

### Abstract

Forest roads have a significant role in sediment delivery to rivers and causes water quality reduction. This study was performed in *Kohmian* forest in Golestan province to estimate the amount of sediment production from forest roads using WEPP model and field measurement. The inputs of the model were precipitation, temperature, road template, soil and vegetation. To calibrate the model amount of sediment production of cut slope and roadbed were measured by sediment fences that were installed in culvert outlet. Then amount of sediment production of fill slope was measurement by rainfall simulation with plot area of 1 m<sup>2</sup>. The amount of sediment production in cut slope, fill slope and roadbed for a 546 m<sup>2</sup> segment was 37.63 kg. The estimation of WEPP model for the segment was 35.14 kg. The results showed that the amount of sediment in model was 93% of amount of sediment from field study. Therefore, WEPP model may have high capability in estimation of sediment from forest roads in the study area. WEPP model can be used as a good tool for forest manager for risk assessment if the next studies also show the suitability of the model for Iran.

**Keywords:** forest roads, sediment trap, rainfall simulator, sediment production, WEPP model.