

برآورد فرسایش و رسوب از جاده‌ی جنگلی (منطقه مورد مطالعه حوضه شبانکاره کرمانشاه)

به‌نوش فرخزاده*: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر
 فرهاد قاسمی آقباش: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر
 آهو کرمی: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۹)

چکیده

جاده‌های جنگلی یکی از بزرگترین منابع انتقال رسوب به شبکه آبراهه حوضه به شمار می‌رود؛ بنابراین برآورد رسوبات ناشی از شبکه جاده، عاملی مهم در ارزیابی اثرات جاده‌سازی است. در این مطالعه از مدل پیش‌بینی و تحویل رسوب جاده (SEDMODL)، برای برآورد فرسایش از یک جاده‌ی جنگلی آسفالتی در ۲۴ کیلومتری شمال غربی شهرستان روانسر در استان کرمانشاه استفاده شده‌است. جاده‌ی مذکور به ۵ قطعه تقسیم شد و در هر بخش عواملی مانند زمین‌شناسی، ارتفاع و پوشش ترانشه‌های خاک‌برداری، ترافیک جاده‌ای، فاصله از آبراهه و بارندگی که از پارامترهای مؤثر مدل در برآورد میزان رسوب تولیدی هستند، حاصل شد. بعد از ارزیابی شاخص‌ها و اجرای محاسبات مربوط به مدل، میزان فرسایش و رسوب تحویلی به آبراه در ۵ قسمت جاده به دست آمد. نتایج نشان داد بخش پنجم جاده دارای بیشترین رسوب انتقالی به آبراهه در بین سایر بخش‌ها است. علاوه بر این، مشخص شد که جاده‌ی مزبور با سهم ۰/۰۳ درصد از کل مساحت حوزه‌ی آبخیز، ۱۱/۹۲ تن تولید رسوب و ۲/۰۶ تن تحویل رسوب به آبراهه دارد. علاوه‌براین براساس نتایج آزمون پیرسون، ارتفاع ترانشه‌های خاک‌برداری و پوشش محافظ دیوارها به ترتیب به عنوان شاخص‌های اصلی مؤثر بر میزان فرسایش جاده‌ای شناخته شدند.

واژگان کلیدی: تحویل رسوب، جاده جنگلی، فرسایش، SEDMODL.

۱- مقدمه

جاده‌سازی‌های غیراصولی با از بین بردن نظم طبیعت و فروپاشی چرخه‌ی حیات کوهستان و حجم زیاد خاک‌برداری، نابودی زیستگاه‌های جانوری و گیاهی، کاهش ارزش‌های زیباشناسی و آسیب دیدگی مناطق حساس را در پی دارد (مجنونیان و همکاران، ۱۳۸۴). یکی از بزرگترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی در جنگل، ایجاد و افزایش اشکال مختلف فرسایش از قبیل فرسایش آب‌کندی و توده‌ای در اطراف جاده‌ها است. علت اصلی این فرآیند، از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه است (Carl and Li, 2006)؛ از این رو در طراحی جاده‌های جنگلی نه تنها میزان هزینه‌ها، بلکه مدیریت صحیح آب و خاک نیز باید لحاظ

شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که جاده‌های جنگلی، حجم بالایی از رسوبات مناطق جنگلی را تولید می‌کنند (Binkley and Brown, 1993 & Reid and Dunne, 1984).

رسوب‌دهی به کانال آبراهه‌ها، تأثیرات چشمگیری بر کیفیت آب و موجودات زنده و حشرات ساکن در آب دارد (Akay et al, 2008). مدیریت بهینه‌ی مناطق جنگلی، نیازمند داشتن شبکه جاده جنگلی با پراکنش مناسب در سطح جنگل است (Demir and Hasdemir, 2005)؛ از این رو، یکی از مهمترین عوامل هزینه بر در مدیریت جنگل به شمار می‌رود. جاده‌های جنگلی با جاده‌های روستایی و بزرگراه‌ها متفاوتند؛ ترافیک پایین و ماشین‌آلات عبوری سنگین دارند. در مناطقی که این جاده‌ها احداث می‌شود، معمولاً انواع مختلف فرسایش مشاهده می‌شود (Akay et al, 2005)؛ از این-رو، توانایی در پیشگویی درست و صحیح فرسایش و آورد رسوب جاده جنگلی به عنوان یک ضرورت، می‌تواند اثرات منفی رسوب‌زایی آنها را کاهش دهد (Sarykhany et al, 2005). در همین راستا مدل‌های متعددی به منظور تخمین رسوب و شناسایی نقاط حساس به فرسایش مانند^۱ WEPP،^۲ SEDMODEL و^۳ WARSEM معرفی شده‌اند (Christopher et al, 2005) که از مدل‌های متداول فرسایش سطح جاده در حوضه‌های جنگلی به شمار می‌روند. مدل مورد استفاده در این تحقیق، SEDMODEL یک برنامه‌ی مدل‌سازی مبتنی بر GIS است. این مدل قسمت‌هایی از یک جاده با پتانسیل رسوب‌دهی بالا را در سطح حوزه‌ی آبخیز جنگلی مشخص می‌کند. این روش بر پایه‌ی روابط تجربی بین فاکتورهای فرسایش از قبیل نوع استفاده از جاده، مواد، وضعیت سطح جاده (جنس سطح)، شیب طولی جاده، پوشش گیاهی ترانشه خاک‌برداری و میزان فاصله از آبراهه استوار است (Akay et al, 2008).

اسدالهی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی، رسوب ناشی از شبکه جاده‌های موجود در کاربری‌های متفاوت حوزه‌ی آبخیز کجور را با استفاده از مدل تحویل رسوب در محیط GIS برآورد کردند. نتایج این مطالعه، مقدار ۱۰۵۶۰ تن رسوب خروجی سالانه از حوضه را نشان می‌دهد؛ در حالی که جاده‌ی مورد مطالعه تنها ۰/۳۱ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شود. سهم آن در تولید رسوب خروجی از حوضه، ۵/۵۷ درصد بوده است.

Martinez and Jordan (2008) در مطالعه‌ای در جنوب اسپانیا، رواناب سطحی و فرسایش خاک را با استفاده از آزمایش‌های شبیه‌ساز باران در جاده‌های جنگلی آسفالت نشده مطالعه کردند. در این بررسی‌ها، جریان رواناب در محل ترانشه‌های خاک‌برداری زودتر از دو ناحیه‌ی بستر جاده و خاک‌ریزی روی داده و کل خاک فرسایش یافته در ترانشه‌های خاک‌برداری، ۵ تا ۶ برابر بیش از دو ناحیه‌ی مذکور بوده است. تجزیه و تحلیل‌های آماری در این بررسی نشان داد که پوشش گیاهی بر جریان رواناب در سه ناحیه‌ی خاک‌برداری، خاک‌ریزی و بستر جاده تأثیر قابل توجهی دارد.

Skaugset and Surfleet (2011)، به منظور تعیین آورد رسوب جاده‌ای از مدل‌های WARSEM و SEDMODL استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد مقادیر رسوب برآوردی حوضه در صورتی می‌تواند بهبود یابد که اندازه‌گیری‌های صحرائی و عرصه‌ای در آنالیزها و تجزیه تحلیل‌ها به کار گرفته شود.

¹ Water Erosion Prediction Project

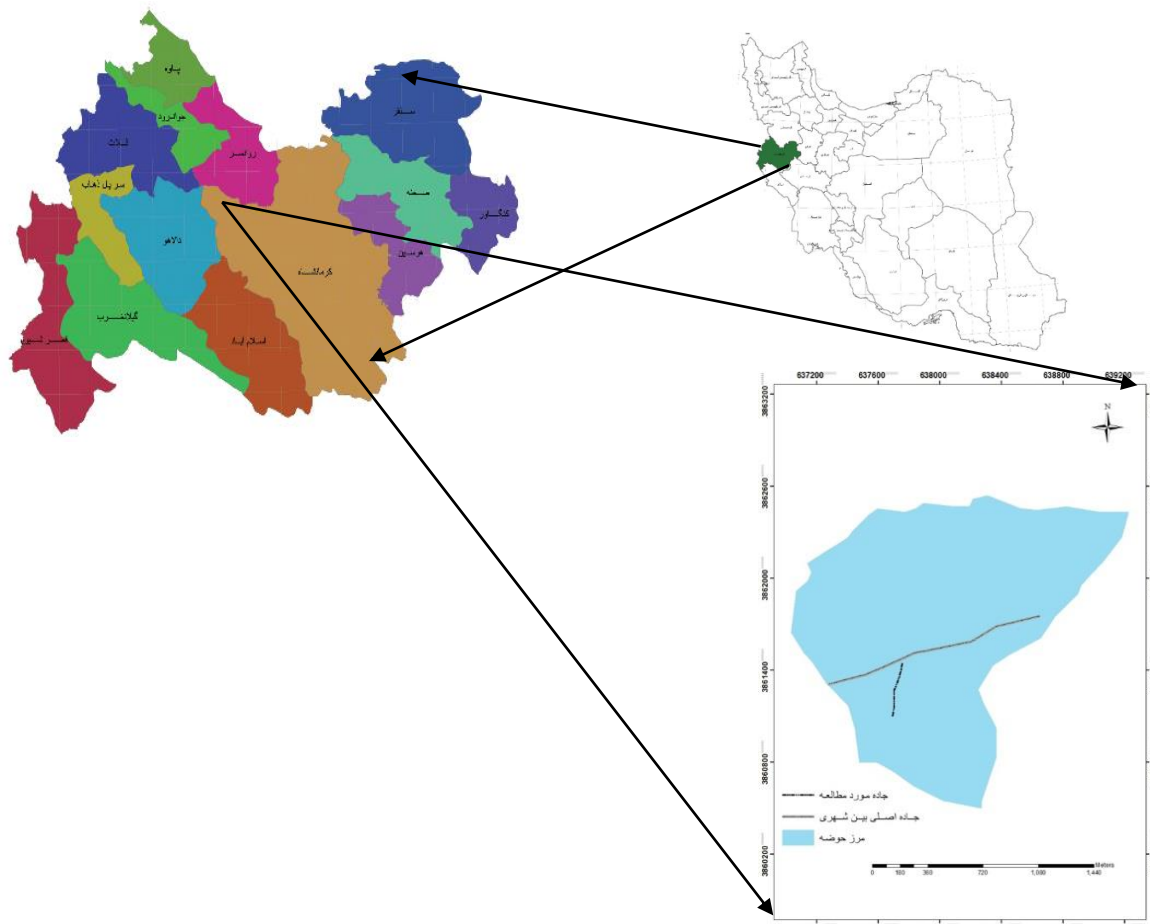
² Road Sediment Delivery Model

³ Washington Road Surface Erosion Model

پارساخو و همکاران (2014) به منظور طبقه‌بندی و تعیین درجه خطرهای فرسایش آبی و پیش‌بینی میزان رسوب از جاده‌ی جنگلی، از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و SEDMODEL استفاده کردند. نتایج این تحقیق از کارایی این مدل در تعیین و پیش‌بینی مقادیر غلظت رسوب به میزان ۹۶/۱ درصد حکایت می‌کند. اختلاف محاسبه شده در میزان پیش‌بینی مدل و مقادیر به دست آمده در آزمایش‌های شبیه‌سازی بارش، فقط ۳/۹ درصد عنوان شده‌است. ناحیه‌ی رویشی زاگرس از نظر وسعت تنوع زیستی، از نظر حفاظت از منابع آب و خاک یکی از مناطق مهم و با ارزش به شمار می‌رود. به دلیل وجود سیستم‌های ناپایدار تولید و بهره‌برداری و آسیب‌پذیری و حساسیت بالای این زیست بوم‌های طبیعی، جریان فرسایش و تخریب محیط زیست در این ناحیه، رویشی نگران‌کننده است و ادامه‌ی این جریان تبعات منفی زیادی خواهد داشت (دوستکامی و همکاران، ۱۳۹۲). از آنجایی که جاده‌های جنگلی یکی از منابع اصلی تولید رسوب و فرسایش در سیستم‌های جنگلی است، شناسایی و تشخیص بخش‌هایی از جاده که در تحویل رسوب به شبکه آبراهه مؤثر هستند، یک اصل ضروری در مدیریت بهینه‌ی مشکلات رسوب‌زایی در حوضه است؛ از این رو هدف این مطالعه، برآورد رسوب و فرسایش بخش‌های مختلف جاده جنگلی شبانکاره واقع در منطقه‌ی زاگرس و تعیین میزان نهایی آورد رسوب جاده‌ای، همچنین شناسایی بخش‌های با پتانسیل بالای تولید رسوب، توسط SEDMODEL است.

۲- منطقه مورد مطالعه

جاده‌ی مورد مطالعه، یک جاده‌ی آسفالت شده‌ی یک بانده (راه ارتباط روستایی) واقع در حوزه‌ی جنگلی شبانکاره، زیر حوزه‌ی ليله با مساحت ۲۳۸۷ هکتار در شمال استان کرمانشاه و محدوده‌ی جغرافیایی واقع در ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه و ۸۴ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه و ۴۹ ثانیه عرض شمالی است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه، ۵۲۵ میلی‌متر و پوشش جنگلی آن تراکم مناسبی از پایه‌های شاخه‌زاد درختان بلوط گونه‌ی دارمازو یا مازودار با وارپته‌ی شرقی (*Quercus infectoria ssp. boissieri*) است. شکل ۱، موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و جاده‌ی مورد مطالعه

۱-۲- مواد و روش

- مدل پیش‌بینی رسوب (SEDMODL)

چهار عامل اصلی تولید رسوب از جاده‌های جنگلی، سطح جاده، ترانشه‌ی خاک‌برداری، ترانشه‌ی خاک‌ریزی و شبکه هیدرولوژیکی منطقه است. اساس مدل SEDMODL، بر مبنای تقسیم کل رسوب تولیدی به دو بخش رسوب مربوط به سطح جاده و جوی کناری آن همچنین رسوب به دست آمده از دیواره‌ی خاک‌برداری است. زمانی که کانال کناری جاده به خوبی عمل کند، آب سطحی از ترانشه‌ی خاک‌ریزی به دور مانده و فرسایش این بخش کاهش می‌یابد. (Khalilpoor et al, 2008).

بر اساس تحقیقات میدانی، میزان رسوب تولیدی از ترانشه خاک‌ریزی جاده‌ی مورد مطالعه به واسطه‌ی استقرار پوشش گیاهی و تجدید حیات به میزان خیلی کم بوده که این مقدار هم قابل چشم‌پوشی است. میزان کل انتقال رسوب جاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود:

$$\text{Total Sediment (t/year)} = (\text{TS} + \text{CS}) \times \text{Af} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله، TS رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه‌های کنار جاده، CS رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاک‌برداری و شاخص AF نیز مربوط به سن جاده است که میزان رسوب کل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ذکر این امر لازم

است که بیشترین میزان تولید رسوب در جاده‌های جنگلی، مربوط به سال اول یا دوم احداث است و در سال‌های بعد کاهش می‌یابد. رسوب‌دهی جاده بر اثر عامل سن جاده (Af) در طی یکی دو سال ابتدایی ساخت آن تا زمانی که ترانسه‌های خاک‌برداری و پشته‌ی خاک‌ریزی تثبیت نشده باشد، حداکثر مقدار را دارد (ضریب) ۱۰، و از دو سال بیشتر ضریب ۲ را به خود می‌گیرد (Akay et al, 2008).

برای محاسبه‌ی TS از رابطه‌ی ۲ استفاده می‌شود:

$$TS = T_f G_f P_f D_f L_r W_r G_{Er} S_f \quad \text{رابطه (۲)}$$

براساس این رابطه، TS متأثر از عوامل طول جاده (L_r)، عرض جاده (W)، میزان فرسایش زمین‌شناسی (G_{Er})، جنس سطح جاده (S_f)، ترافیک (T_f)، شیب جاده (G_f)، بارندگی (P_f) و شاخص تحویل رسوب (D_f) است. همچنین طبق رابطه‌ی ۳، رسوب‌دهی ناشی از ترانسه خاک‌برداری (CS)، تابعی از عوامل زیر است: میزان فرسایش زمین‌شناسی (G_{Er})، پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده (CS_f)، ارتفاع ترانسه خاک‌برداری (CS_h)، طول جاده (L_r) و شاخص تحویل رسوب (D_f).

$$CS = G_{Er} CS_f CS_h L_r D_f \quad \text{رابطه (۳)}$$

- تهیه و پردازش نقشه‌ها

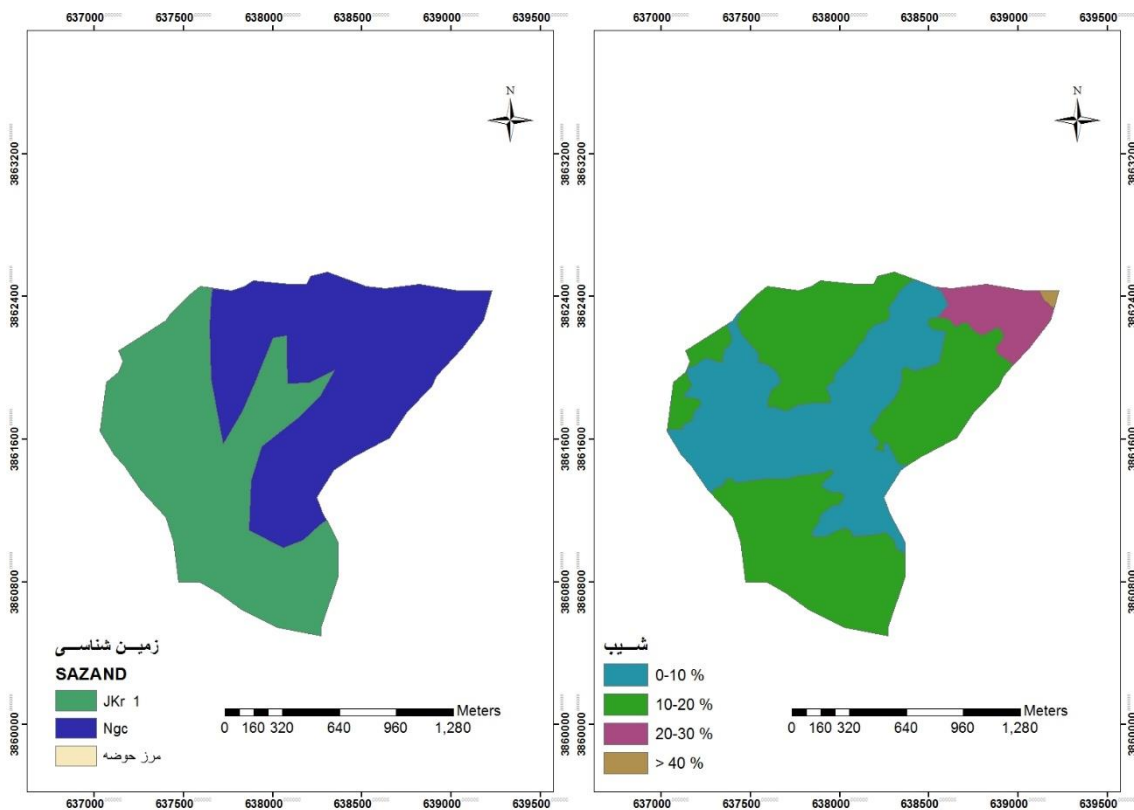
به منظور اجرای مدل نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، شیب، شبکه جاده و آبراهه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط ARC GIS تهیه شدند. در عملیات صحرایی، اطلاعات شیب طولی جاده، ارتفاع ترانسه خاک‌برداری، پوشش گیاهی و سنگی محافظ ترانسه‌های خاک‌برداری، جنس سطح جاده و طول و عرض آن، برداشت و جاده‌ی مورد مطالعه براساس ارتفاع دیواره‌ی خاک‌برداری، پوشش گیاهی و سنگی محافظ دیواره‌ها، شیب، ترافیک و جنس سطح جاده به پنج واحد تقسیم‌بندی شد. شکل ۲ نقشه‌های شبکه آبراهه، شیب و زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد.

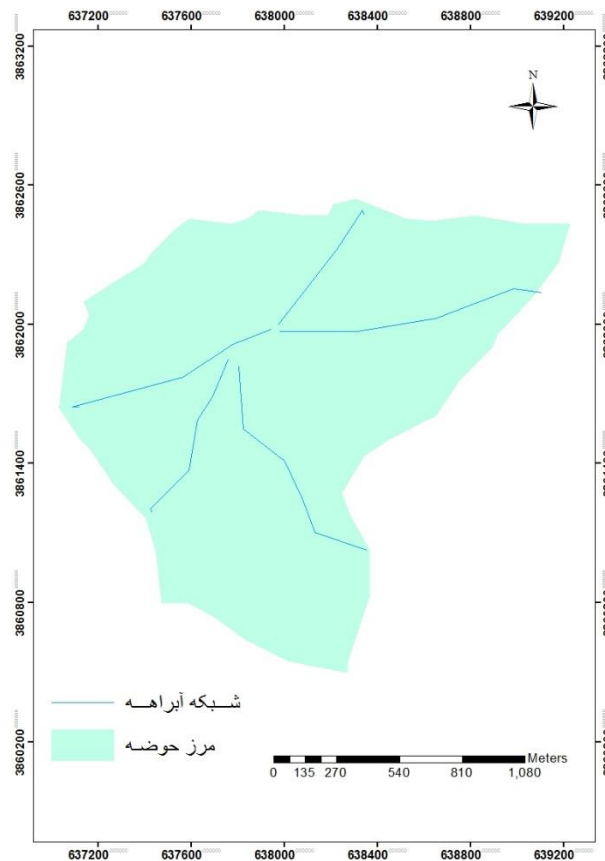
- عامل میزان فرسایش زمین‌شناسی (G_{Er})

پتانسیل تولید رسوب از بخش‌های مختلف جاده، تا حد زیادی به خصوصیات خاک و زمین‌شناسی بستگی دارد؛ به طور مثال، خاک‌های سیلتی مستعدترین نوع خاک نسبت به فرسایش است (ketcheson and Megahan, 1996). پس از مطالعه و بررسی خصوصیات زمین‌شناسی و سن سازندهای منطقه، میزان فرسایش براساس استانداردهای مدل، مطابق جدول ۱ به دست می‌آید (Riedel et al, 2002). مطابق جدول ۱ و خصوصیات زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، میزان فرسایش زمین‌شناسی در این تحقیق، ۳۷ تن در هکتار در سال در نظر گرفته شد.

جدول ۱: میزان فرسایش زمین‌شناسی براساس سنگ‌شناسی و سن سازند (تن در هکتار در سال)

سازندهای زمین‌شناسی					سنگ‌شناسی
کواترنری	ترشیاری	مزوزوئیک	پالئوزوئیک	پرکامبرین	
-	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	دگرگونی
-	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۸	شیست
۳۷	۳۷	۷۴	۷۴	۷۴	بازالت
۳۷	۳۷	۷۴	۷۴	۷۴	آندزیت
۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	خاکستر آتشفشانی
۱۲۴	۱۲۴	۷۴	۷۴	۷۴	توف
-	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	گابرو
-	۴۹	۷۴	۷۴	۷۴	گرانیت
-	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	سنگ‌های بیرون زده
-	۳۷	۳۷	۷۴	۷۴	رسوبات سخت
۳۷	۳۷	-	-	-	سنگ ریزه
۷۴	۷۴	-	-	-	رسوبات نرم
۱۴۸	۱۴۸	-	-	-	رسوبات نرم ریزدانه





شکل ۲: نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب و شبکه آبراهه‌ی حوضه

- عامل جنس سطح جاده (Sf)

کیفیت مواد مادری سطح جاده بر میزان رسوب‌دهی تأثیر مستقیمی دارد. میزان فرسایش سطح جاده برای بخش‌های مختلف مطابق جدول ۲ است (Foltz and Burroughs, 1990). میزان فرسایش برای این عامل در تمام بخش‌های جاده-ی مورد مطالعه، ۰/۰۳ در نظر گرفته شده‌است.

جدول ۲: میزان فرسایش بر مبنای عامل جنس سطح جاده

نوع سطح	آسفالت	شن	خاک درهم	پوشش علفی	بستر طبیعی	بستر طبیعی همراه با شیار
میزان فرسایش	۰/۰۳	۰/۲	۰/۵	۰/۵	۱	۲

- عامل ترافیک (Tf)

نوع استفاده از جاده و وضعیت ترافیک، بر میزان رسوب‌دهی جاده تأثیر دارد (Bilbey et al, 1989). با توجه به میزان ترافیک جاده‌ی مزبور به عنوان یک راه ارتباط روستایی با توجه به جدول شماره‌ی ۳ میزان فرسایش در منطقه، ۲ در نظر گرفته شد.

جدول ۳: میزان فرسایش فاکتور ترافیک جاده برای بخش‌های مختلف

میزان فرسایش	توضیحات	بخش‌های جاده
۱۲۰	بزرگراه اصلی	بزرگراه
۱۲۰	تحت استفاده زیاد در طول سال با ماشین‌های سنگین- مسیرهای ارتباطی اصلی	جاده‌های اصلی
۵۰	جاده‌های عریض در مناطق مسکونی پرتراکم	جاده‌های شهری
۱۰	جاده‌هایی با ترافیک زیاد تا متوسط در سال که بخش‌های مهم حوزه‌ی آبخیز را به هم وصل می‌کند	جاده‌های اولیه (درجه ۱)
۲	جاده‌هایی با ترافیک سبک در سال که گاهی به عنوان مسیرهای چوب‌کشی و تفرجگاهی با ماشین‌های سبک استفاده می‌شوند.	جاده‌های ثانویه (درجه ۲)
۱	جاده‌های فرعی برای دسترسی سریع‌تر به یک واحد	جاده‌های فرعی
۰/۱	جاده‌هایی که توسط خاک‌ریزی ماشین‌های سنگین مسدود شده و مدت زیادی استفاده نمی‌شود	جاده‌های رها شده و متروکه

- عامل شیب جاده (Gf)

شیب یکی از عواملی است که در میزان رسوب‌دهی نقشی مؤثر دارد. مطابق جدول ۴، میزان فرسایش به ازای طبقات مختلف شیب تعریف شده است (Reinig et al, 1991) و متعاقب آن در جدول ۵ برای طبقات شیب در جاده‌ی مطالعه شده، میزان فرسایش مربوط ذکر شده است.

جدول ۴: میزان فرسایش برای شیب‌های مختلف جاده جنگلی

بیش از ۱۰٪	۵ تا ۱۰٪	کمتر از ۵٪	٪ شیب
۲/۵	۱	۰/۲	میزان فرسایش (شاخص شیب)

جدول ۵: میزان فرسایش برای کلاس‌های مختلف شیب جاده مورد مطالعه

بخش‌های جاده	۱	۲	۳	۴	۵
درصد شیب	۵/۷	۶/۴	۴/۲	۸/۵	۵/۵
میزان فرسایش	۱	۱	۰/۲	۱	۱

- عامل بارندگی (Pf)

میزان پتانسیل رسوب‌دهی از هر بخش جاده، با میانگین بارش سالانه مرتبط است. با توجه به مدل مورد استفاده، عامل بارش برپایه‌ی میانگین بارش سالانه در حوضه، طبق رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود که در آن P_{avr} متوسط بارش سالانه است (Riedel et al, 2002).

$$Pf = \left(\frac{P_{avr}}{1542} \right)^{0.8} = \left(\frac{525}{1542} \right)^{0.8} = 0.4223$$

رابطه‌ی (۴)

- عامل تحویل رسوب (Df)

عامل تحویل رسوب، فاصله‌ی بین نزدیک‌ترین آبراهه تا بخشی از جاده است. بخش‌های مختلف جاده در فاصله‌ی دورتر، مقدار کمتری رسوب به آبراهه تحویل می‌دهند؛ زیرا بخش زیادی از رسوب تولیدی جاده پیش از رسیدن به آبراهه ته نشست می‌شود (Gardner, 1997). در این مدل میزان تحویل رسوب برای هر بخش از جاده، بر پایه‌ی فاصله‌ی نقاط میانی جاده از نقاط میانی نزدیک‌ترین آبراهه اندازه‌گیری می‌شود (همان). زمانی که جاده به طور مستقیم آبراهه را قطع کند، عامل انتقال رسوب ۱۰۰ درصد است، زمانی که فاصله‌ی مرکز جاده از مرکز آبراهه کمتر از ۳۰ متر باشد، عامل انتقال رسوب ۳۵ درصد و زمانی که این فاصله بین ۳۰ تا ۶۰ متر باشد، این شاخص ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. اگر جاده در فاصله‌ی بیش از ۶۰ متر از آبراهه قرار داشته باشد، رسوب تولیدی آن در بستر طبیعی جنگل ته‌نشین می‌شود و هیچ رسوبی به آبراهه راه نمی‌یابد و میزان تحویل رسوب نیز صفر در نظر گرفته می‌شود. در جدول شماره‌ی ۶، درصد تحویل رسوب مربوط به فاصله‌ی جاده از نزدیک‌ترین آبراهه برای هر بخش ذکر شده‌است.

جدول ۶: میزان فرسایش قطعات مختلف جاده مطالعه شده بر حسب فاصله از آبراهه

بخش‌های جاده	۱	۲	۳	۴	۵
فاصله از آبراهه	۲۸۵	۶۰	۱۵۱	۱۰۲	۰
درصد تحویل رسوب	۰	۱۰	۰	۰	۱۰۰

- عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده (CSf)

این عامل می‌تواند به عنوان درصدی از پوشش گیاهی و سنگی تخریب نشده در بخش ترانشه خاک برداری، پشته خاک ریزی و بستر جاده بیان شود (Luce and Black, 1999). بر این اساس، در جدول ۷ میزان فرسایش مربوط به درصد‌های مختلف پوشش گیاهی و سنگی ترانشه خاک برداری ذکر شده‌است (Akay et al, 2008). در جدول شماره‌ی ۸، میزان فرسایش در بخش‌های مختلف جاده‌ی مورد مطالعه با توجه به عامل فوق ذکر شده‌است.

جدول ۷: میزان فرسایش فاکتور پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده

درصد پوشش گیاهی سنگی	۱۰۰	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۰
میزان فرسایش	۰/۱۰۲۳	۰/۱۵۰۰	۰/۲۰۰۳	۰/۲۵۴۰	۰/۳۱۱۶	۰/۳۷۴۲	۰/۴۴۳۵	۰/۵۲۲۲	۰/۶۱۵۵	۰/۷۷۰۰	۰

جدول ۸: شاخص پوشش گیاهی و سنگی محافظ دیواره‌های خاک برداری جاده‌ی مطالعه شده

بخش‌های جاده	۱	۲	۳	۴	۵
درصد پوشش گیاهی و سنگی	۸۵	۷۰	۰	۰	۰
میزان فرسایش	۰/۲	۰/۲۵۴	۱	۱	۱

- فاکتور ارتفاع ترانسه خاک برداری (CSh)

ارتفاع دیواره‌ی خاک برداری با میزان فرسایش و رسوب دهی جاده ارتباط مستقیمی دارد و به افزایش فرسایش ورقه‌ای، خزش و لغزش خاک به داخل کانال آبراهه‌ی کناری منجر می‌شود (Wdner, 1995). براساس این مدل، نقشه‌ی شیب منطقه به ۴ کلاس ۰ تا ۱۵، ۱۵ تا ۳۰، ۳۰ تا ۶۰ و بیش از ۶۰ درصد طبقه‌بندی و به ترتیب میزان فرسایش ۰/۷۵، ۱/۵، ۳ و ۷/۵ در نظر گرفته می‌شود (Akay et al, 2008). طبق نقشه‌ی شیب منطقه، متوسط شیب ۱۲ درصد (بخش‌های ۱ و ۲) و شیب ۱۶ درصد برای بخش‌های ۳، ۴ و ۵ جاده، در نتیجه میزان فرسایش ۰/۷۵ و ۱/۵ به ترتیب برای این بخش‌ها در نظر گرفته شد. در ادامه با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون، تأثیر عوامل مؤثر در مدل بر میزان فرسایش و مشخصات آماری آنها بررسی شد.

۳- یافته‌ها (نتایج)

جدول ۹ مشخصات آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده در منطقه را نشان می‌دهد. نتایج بررسی نقشه‌ها و بازدیدهای صحرایی از منطقه نشان داد از کل ۱۵۰۰ متر طول جاده، ۴۹۱ متر دارای دو بخش با فاصله‌ی کمتر از ۶۰ متر از نزدیک‌ترین آبراهه است؛ به طوری که در قطعه‌ی دوم، این فاصله ۶۰ متر و در قطعه‌ی پنجم، این فاصله صفر است و جاده و آبراهه همدیگر را قطع می‌کنند. در کل ۳۲/۸ درصد از طول کل جاده، در رسوب خروجی از حوزه نقش دارند و حدود ۱۰۰۰ متر از طول جاده‌ی مزبور فقط به عنوان عامل فرسایش در حوزه است و رسوبی از طریق آن به آبراهه تحویل داده نمی‌شود.

جدول ۹: محاسبات آماری برخی از پارامترهای ارزیابی شده در عرصه

شاخص‌ها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	درصد ضریب تغییرات
طول جاده (متر)	۱۶۴	۴۶۹	۳۰۰	۱۱۴/۲۷	۳۸
عرض جاده (متر)	۵/۵	۵/۵	۵	۰	۰
شیب طولی جاده (درصد)	۴/۲	۸/۵	۶/۰۶	۱/۵۸	۲۶
شیب دیواره‌های خاک برداری (درصد)	۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۶	۱۸۰
ارتفاع ترانسه خاک برداری (متر)	۰	۳	۱/۴	۰/۹۶	۶۸/۵
پوشش گیاهی و سنگی دیواره‌ها (درصد)	۰	۸۵	۷۷/۵	۱۰/۶	۱۳/۶۷

در نهایت با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده در مدل، میزان تولید رسوب در جاده‌ی جنگلی منطقه به دست آمد. نتایج این محاسبات در قطعه‌های مختلف با استفاده از SEDMODL در جدول ۱۰ ارائه شده است. طبق محاسبات صورت گرفته کل میزان فرسایش در طول ۱/۵ کیلومتری جاده، ۱۱/۴۰۳ و میزان رسوب تحویلی به آبراهه، ۲/۰۶۸۸ تن در سال برآورد شده و بیشترین مقادیر فرسایش به ترتیب متعلق به بخش‌های سوم و چهارم جاده است. همچنین کل رسوبات تحویلی به آبراهه، تنها متعلق به بخش‌های دو و پنج جاده است. قطعه‌ی پنجم نسبت به سایر قطعات، دارای بیشترین میزان فرسایش و رسوب انتقالی ویژه است که این مسأله به دلیل تفاوت شاخص‌های مؤثر در فرسایش و تولید رسوب در بخش‌های مختلف جاده، مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱۰: برآورد میزان فرسایش و رسوب انتقالی به آبراهه در قطعه‌های جاده

بخش های جاده	طول (متر)	ارتفاع ترانشه خاکبرداری (متر)	پوشش دیواره‌ها (درصد)	شیب (درصد)	فاصله از آبراهه (متر)	فرسایش		رسوب انتقالی	
						ویژه تن/هکتار/ سال	فرسایش تن/سال	رسوب انتقالی تن/سال	ویژه تن/هکتار/ سال
۱	۳۰۷	تقریباً مسطح	۸۵	۵/۷	۲۸۵	۰/۴۹	۲/۹	--	--
۲	۳۲۷	تا ۱/۵	۷۰	۶/۴	۶۰	۰/۷۹۸	۳/۲	۰/۳۲	۰/۰۷۹۸
۳	۴۶۹	۳ تا ۲	۰	۴/۲	۱۵۱	۵/۳	۱۱/۸۸	--	--
۴	۲۳۳	۱/۵ تا ۳	۰	۸/۵	۱۰۲	۲/۸۲۶	۱۲/۷۶	--	--
۵	۱۶۴	۲ تا ۱/۵	۰	۵/۵	۰	۱/۹۹	۱۴/۲۵	۱۴/۲۶	۱/۹۹
مجموع کل تولید و رسوب‌دهی قطعات						۱۱/۴۰۳	۲/۰۶۸۸		

در این منطقه فاکتورهای طول جاده، شیب طولی، ترانشه‌های خاک‌برداری، پوشش گیاهی و سنگی دیواره‌ها و فاکتور تحویل رسوب، از عواملی هستند که در قطعات مختلف جاده متغیر بوده و به تفاوت در رقم فرسایش و تولید رسوب منجر شده‌اند؛ به این ترتیب که قطعه‌ی سوم جاده به دلیل داشتن بیشترین مقادیر طول جاده و ارتفاع دیواره و حداقل بودن پوشش، دارای بیشترین میزان فرسایش است و بعد از آن، بیشترین میزان فرسایش را قطعه‌ی چهارم به خود اختصاص داده‌است. این در حالی است که طول جاده در آن، کمتر از قطعات یک و دو است که دلیل آن ارتفاع زیاد دیواره‌های خاک‌برداری در قطعه‌ی چهارم، همچنین نداشتن پوشش محافظ دیواره نسبت به قطعات یک و دو است. با توجه به جدول شماره‌ی ۱۰، فقط قطعات دو و پنج به دلیل داشتن فواصل زیر ۶۰ متر از نزدیکترین آبراهه، در تحویل رسوب به جریان‌های آبی حوضه نقش دارند.

بالا بودن میزان فرسایش ویژه در قطعه‌ی پنجم نسبت به قطعات سوم و چهارم - که به ترتیب دارای بیشترین رقم- های فرسایش هستند - به علت حداقل بودن سطح تحت پوشش جاده‌ای در قطعه‌ی پنجم نسبت به دو قطعه‌ی مذکور است؛ زیرا مقدار فرسایش ویژه برای هر قطعه، از تقسیم رقم فرسایش مربوط به آن قطعه بر سطح جاده‌ی تحت پوشش آن محاسبه می‌شود.

۱-۳- نتایج آزمون پیرسون

همان‌طور که ذکر شد به منظور مطالعه‌ی نقش و میزان تأثیر پارامترهای اندازه‌گیری شده بر میزان فرسایش، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده و نتایج آن در جدول شماره‌ی ۱۱ ذکر شد. مطابق نتایج جدول، دو عامل ارتفاع و پوشش ترانشه‌های خاک‌برداری به ترتیب بیشترین مقادیر همبستگی و میزان تأثیرگذاری بر فرسایش جاده را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۱۱: ضرایب همبستگی و سطوح معنی داری عوامل و متغیرهای تأثیرگذار بر میزان فرسایش

متغیرها	طول قطعات	ارتفاع دیواره‌های		پوشش دیواره‌های		میزان
		خاک برداری	خاک برداری	شیب طولی	فرسایش	
طول قطعات جاده	۱	۰/۰۳۲	۰/۱۱۹	-۰/۵۴۷	۰/۵۲۲	میزان همبستگی (r) و سطح معنی داری
ارتفاع دیواره‌های خاک برداری	۰/۰۳۲	۱	-۰/۹۶	۰/۱۱۰	۰/۸۰۰	میزان همبستگی (r) و سطح معنی داری
پوشش دیواره‌های خاک برداری	۰/۱۱۹	-۰/۹۵	۱	-۰/۰۴۰	-۰/۷۶۷	میزان همبستگی (r) و سطح معنی داری
شیب طولی جاده	-۰/۵۴۷	۰/۱۱۰	-۰/۰۴۰	۱	-۰/۳۲۷	میزان همبستگی (r) و سطح معنی داری
میزان فرسایش	۰/۵۲۲	۰/۸۰۰	-۰/۷۶۷	-۰/۳۲۷	۱	میزان همبستگی (r) و سطح معنی داری

** سطح اطمینان ۱ درصد

۴- بحث و نتیجه گیری

احداث جاده در مناطق جنگلی، یکی از عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش و تولید رسوب است. همان طور که نتایج این بررسی نشان داد از توانمندی‌های مدل SEDMODL، شناسایی نقاط حساس به فرسایش است؛ به طوری که بخش سه و چهار جاده - که دارای ترانشه‌های خاک برداری عمیق و فاقد پوشش یا با پوشش فقیر (دیواره‌های با خاک تثبیت نشده) و شیب بالاتر بودند - و بخش‌های دو و پنج با فواصل کمتر از آبراهه، به عنوان بخش‌های با پتانسیل بالای تولید رسوب مشخص شدند. جاده‌ی مزبور با سهم ۰/۰۳ درصد از کل مساحت حوزه‌ی آبخیز، دارای ۱۱/۹۲ تن تولید رسوب و ۲/۰۶ تن تحویل رسوب به آبراهه است که با نتایج تحقیق اسداللهی و همکاران ۱۳۹۵ مطابقت دارد. مشابه نتایج این تحقیق (Parsakhoo, 2008 & Mena et al, 2014 & Akay et al, 2008) عامل افزایش شیب و ارتفاع ترانشه‌های خاک برداری را همراه با کاهش پوشش طبیعی ترانشه‌ها، عامل تفاوت میزان فرسایش در بخش‌های مختلف جاده دانسته اند. در همین راستا، (Carlos and Ramos, 2010) بالا بودن تولید رسوب در برخی نواحی جاده‌سازی شده را در اثر فقدان پوشش گیاهی کافی و سطوح تازه تخریب شده و (Jordan-Lopez et al, 2009) بیشترین میزان فرسایش خاک را مربوط به ترانشه خاک برداری می‌دانند؛ از این رو با توجه به نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه، لازم است در نواحی بالادست جاده‌ها که به دلیل بیشتر بودن شیب، پتانسیل فرسایش بالایی نسبت به قسمت‌های پایین دست دارند، همچنین در واحدهای پایین دست که به دلیل نزدیک بودن به آبراهه و داشتن شاخص انتقال رسوب، از جمله نقاط حساس به فرسایش محسوب می‌شوند، اقدامات کنترلی به منظور کاهش فرسایش در واحد سطح جاده صورت گیرد.

منابع

1. Akay, A. E.; Erdas, O.; Reis, M.; & A. Yuksel, 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques, *Building and Environment*, 43(5), 687-695.
2. Akay, A. E., & J. Sessions., (2005). Applying the decision support system, TRACER, to forest road design. *West. J. Appl. Forestry*. 20 (3), 91-184.
3. Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations, *Tectonophysics*, 229, 211-238.
4. Asadollahi1, Z.; Niazi, A.; Yosefi, S.; Asadollahi, Z.; & M. Mohammady, 2013. Determination of roads quota in watershed sediment yield using SEDMODEL and GIS. *E.E.R*, 3 (2), 13-26. (in Persian)
5. Asadollahi1, Z.; Yosefi, S.; & M. Mohammady, 2016. Sediment Yield Estimation Due to Forest Road Network Using SEDMDEL and GIS, *J.Env. Sci. Tech.*, Vol 18, No 2. (in Persian)
6. Bilby, RE.; Sullivan, K.; & SH. Duncan, 1989. The generation and fate of road surface sediment in forested watersheds in southwestern Washington, *Forest Sci*, 35(2), 453- 68.
7. Binkley, D., & TC. Brown., (1993). Forest practices as nonpoint sources of pollution in North America. *Water Res Bull*. 29(5), 729 - 40.
8. Boise Cascade Corporation, 1999. SEDMODL-Boise Cascade road erosion delivery model. *Technical documentation*, 19 p.
9. Carl, S. C., & C. Li., (2006), Impact of planting grass on terrene roads to avoid soil erosion. *Landscape and Urban Planning*. 78, 205-216.
10. Christopher, G.; Surfleet, Arne E.; Skaugset, & W. Matthew, Meadows Received 8 March 2011 .Road runoff and sediment sampling for determining road sediment yield at the watershed scale.
11. Cole, D. N., & P. B. Landres., (1996). Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs. *Ecol. Appl*. 6, 168-84.
12. Demir, M., & M. Hasdemir., (2005). Functional planning criterion of forest road network systems according to recent forestry development and suggestion in Turkey. *Am. J. Environ. Sci*. 1 (1), 22-8.
13. Dostkami, S.; khosropor, N.; & J. Mirzae, 2014. the Roles of Zagros forests in Sustainable Development, *The National Conference on Environmental Hazards of Zagros*. (in Persian)
14. Foltz, R. B., & E R. Burroughs., (1990). Sediment production from forest roads with wheel ruts. In: Proceedings of a symposium on watershed planning and analysis, July 9-11, 1989, *Durango CO, ASCE*, 266-75.
15. Gardner, RB., 1979. Some environmental and economic effects of alternative forest road designs, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1, 22(1), 63-8.
16. Jordan, A., & L. Mart´inez-Zavala., (2008). Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management*. 255, 913-919.
17. Ketcheson, GL., & WF. Megahan., Sediment production and downslope sediment transport from forest roads in granitic watersheds.

18. Khalilpoor, H.; Hosseini, SA.; Lotfalian, M.; & Y. Kooch, 2008. The Assessment of Sediment Production Yield from Forest Road Using Sediment Prediction Model, *Journal of Applied Sciences*, 8(10), 1944-9.
19. Luce, CH., & TA. Black., (1999). Sediment production from forest roads in western Oregon. *Water Resour Res.* 35(8), 2561-70.
20. Mena, M.; Lopez, J.; Almagro, M.; Boix-Fayos,C.; & J. Albaladejo, 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain, *Soil and Tillage Research*, 99 (1), 119-129.
21. Ouyang, D., & J. Bartholdi., (1997). Reducing sediment delivery ratio in Saginaw Bay Watershed. In: The 22nd national association of environmental professional's conference proceedings, *Orlando, FL*, p, 659-71.
22. Parsakhoo, A.; Lotfalian, M.; Kavian, A.; & SA. Hosseini, 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.
23. Reid, LM., & T. Dunne.,(1984). Sediment production from forest road surfaces. *Water Resour Res.* 20(11), 1753-61.
24. Reinig, L.; Beveridge, R.L.; Potyondy, J.P.; & F.M. Hernandez, 1991. BOISED user's guide and program documentation, *USDA Forest Service, Boise National Forest*, 12p.
25. Riedel, M.; Swift, Jr.; Emeritus, LW.; James, M.; Vose Barton, D.; & D. Clinton, 2002 Forest Road Erosion Research at the Coweeta Hydrologic Laboratory Coweeta Hydrologic Laboratory Southern Research Station, *USDA Forest Service, Otto, North Carolina*.
26. Sarykhany, N.A., & B. Mjnnunian., 2005. Second edition of the journal 148 projects in the forest instructions. *Publication Management and Planning*. 42 - 84, Tehran.
27. Surfleet, C.G.; Skaugset, A. E.; & M. W. Meadows, 2011, Road runoff and sediment sampling fo determining road sediment yield at the watershed scale, *Canadian Journal of Forest Research*, 41 (10), 1970-1980.
28. WDNR. 1995. Standard methodology for conducting watershed analysis, Version 3.0. *Washington Forest Practices Board*.
29. WFPB, 1997. Washington Forest Practices Board Manual: standard methodology for conducting watershed analysis, Version 4.0.
30. Williams, T., 1998. The unkindest cuts, *Audubon* (January-February), Pp 24-31.

An Estimation of the Sediment Yield from a Forest Road: A Case Study of Shabankare Watershed in Kermanshah, Iran

Behnoush farokhzadeh¹: Assistant Professor. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences Malayer University
Farhad Ghasemi Aghbash: Assistant Professor. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences Malayer University
Ahou karami: MSc. student in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University

Article History (Received: 2016/12/9 Accepted: 2017/10/21)

Extended abstract

1- Introduction

Forest roads are among the largest sediment transport sources to drainage network. So, estimating the sediments of the road network is an important factor in the evaluation of the impact of the road construction. One of the biggest problems caused by the road construction in the forest is the increase in various forms of erosion, such as Gully erosion and masses movements around the roads. The main cause of this process is the destruction of vegetation, soil destruction, increasing runoff rate and unstable slopes. Therefore, in designing forest roads, not only the costs, but also the proper management of the water and soil should be considered. Research results have shown that the forest roads produce a high volume of forest land sediments. An optimal management of forest areas requires having a forest road network with a proper distribution on the forest. Hence, it is one of the most important cost factors for the forest management. Forest roads differ from rural roads and highways. They have low traffic and heavy vehicles. In the areas where these roads are built, there are usually different types of erosion. Therefore, the ability to predict erosion correctly can reduce their negative sedimentation effects. Accordingly, the purpose of this study is to estimate the sediment and erosion of different parts of Shabankar forest road in Zagros region, and to determine the final rate of the road sediment yield, as well as to identify the high potential deposits of the sediments by SEDMODEL.

2- Methodology

In this study, Road Sediment Delivery Model (SEDMODL) was used to estimate the erosion of a paved forest road in 24 km northwest of the Rawansar in Kermanshah province. The road was divided into 5 parts and the factors such as geology, elevation and the cover of cut slope, road traffic, the distance from the streams and rainfall were estimated that were the effective parameters of the model. To estimate the amount of the sediment production, after an evaluation of the factors of the model, the erosion and sediment delivery amount to the streams were estimated in 5 sections of the road. In order to implement the model, the geological maps, topography, slope, road and waterway networks with a scale of 1: 50,000 were produced in the ARC GIS environment.

¹ Corresponding Author: b.farokhzadeh@malayeru.ac.ir

3- Results

The results showed that the fifth part of the road has more sediments delivery to the waterways among the other sectors. According to results, the total sediment production is 11.92 tons and the sediment delivery to the waterways is 2.06 tons while the area of this road makes about 0.03 percent of the total watershed. In addition, according to the Pearson correlation results, the height of the cut slope and the longitudinal slope of the road were recognized as the main factors affecting the erosion of the road. In this area, the factors such as the length of the road, longitudinal slope, cut slopes and vegetation, and sediment delivery factor were different in various parts of the road leading to differences in erosion and sediment production. The third part of the road, due to having the highest amount of road length and wall height and the minimum coverage, has the highest amount of erosion. After that, the highest erosion belongs to the fourth part, while the length of this sector of the road is less than the first and second parts, due to the high height of the excavation walls in the fourth part, as well as the absence of the wall coverings relevant to the parts one and two. According to Table 10, only the second and fifth parts, due to the intervals of less than 60 meters from the closest waterway, were involved in the delivery of the sediment to the currents of the basin. The high erosion rate in the fifth part is greater than the third and fourth parts due to the minimum level of road surface covered by the fifth part compared to that of the second.

4- Discussion & Conclusions

The construction of roads in the forest areas is one of the factors affecting erosion and sediment production. As the results of this study showed, one of the capabilities of the SEDMODL model is identifying the erosion-sensitive points. According to the results of this research and other similar studies, it is necessary for the erosion control activities to be done in the upstream of the roads having high erosion potential due to the steeper slope to the lower parts, as well as in downstream units due to being close to the waterways and having sediment transfer factor to reduce erosion per unit area of the road.

Key Words: Sediment delivery, Forest roads, Erosion, SEDMODL