تحلیل حساسیت مدل CULSED به منظور ارایه راهکارهای کنترل رسوب جاده‌های جنگلی (مطالعهٔ موردی بخش نمخانه، جنگل خیرود)

سعید راهبری سی سخت[۱]، احسان عبدی[۲*]، مصطفی مقدمی راد[۱]، باریس مجنونیان[۳] و حامد یوسف زاده[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
[۲] استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۳] استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۴] استادیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۲۴)

چکیده

جاده‌های جنگلی از مهمترین منابع تولید رسوب در جنگل‌ها محسوب می‌شوند. رسوب حاصل از جاده‌های جنگلی سبب بروز مشکلات محیط‌زیستی و آلودگی منابع آب حوضه‌ها و ایجاد خطر برای زندگی آبزیان می‌شود. عوامل زیادی در مقدار تولید رسوب جاده‌های جنگلی نقش دارند که حد تأثیر آنها با یکدیگر متفاوت است. در این پژوهش تأثیر چهار عامل عرض بستر روسازی، شیب طولی جاده، سن جاده و درصد پوشش گیاهی در تولید رسوب توسط مدل CULSED و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بررسی شد. برای نشان دادن مقدار حساسیت رسوب تولیدی به هر یک از چهار عامل، از تحلیل حساسیت، و برای بررسی نوع و مقدار همبستگی، از ضریب همبستگی اسپیرمن و تحلیل سناریو استفاده شد. با برازش انواع توابع، تابع مناسب برای نشان دادن رابطه هر عامل با مقدار رسوب انتخاب شد. بر پایه نتایج بیشترین حساسیت به ترتیب مربوط به عرض بستر روسازی، شیب، پوشش و سن است. نوع همبستگی عرض بستر و شیب با مقدار رسوب مثبت، و نوع همبستگی، پوشش و سن با مقدار رسوب، منفی است. این نتایج به طراحان جاده‌های جنگلی کمک می‌کند که در مراحل اولیهٔ طراحی، عوامل را در نظر داشته باشند و از طرفی بعد از ساخت نیز با اجرای سیاست‌های مدیریتی مناسب، برای کنترل و کاهش فرسایش و رسوب اقدام کنند که در نهایت به کاهش اثرهای منفی جاده‌ها در آلودگی منابع آب منجر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، تحلیل سناریو، جاده‌های جنگلی، رسوب، CULSED.

[*] نویسنده مسئول تلفن: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴ email: abdie@ut.ac.ir

مقدمه و هدف

جاده‌های جنگلی علاوه بر اینکه زیرساخت مدیریتی در حوضه‌های آبخیز جنگلی هستند، به عنوان منبع اصلی تولید رسوب در این حوضه‌ها به شمار می‌روند (Mac Donald *et al.*, 2001; Luce & Wample, 2001). جاده‌های جنگلی با تغییر شکل طبیعی دامنه‌ها، قطع جریان‌های زمینی و زیرزمینی، کاهش پوشش گیاهی و ایجاد فشردگی خاک در سطح جاده سبب فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های جنگلی می‌شوند (Tague & Band, 2001). در مدیریت، بهره‌برداری و حفاظت از جنگل‌ها، جاده‌های جنگلی عامل دسترسی محسوب می‌شوند، اما تولید رسوب، افزایش فرسایش، ایجاد آشفتگی در اکوسیستم جنگلی از عوامل مخرب و تاثیرگذار جاده‌های جنگلی به حساب می‌آیند، به‌همین دلیل در بسیاری از منابع، جاده‌ها به عنوان عامل ایجاد فرسایش و آلودگی منابع آبی جنگل ذکر شده‌اند (Megahan, 1972; Luce & Wample, 2001). فرسایش و تولید رسوب در جاده‌های جنگلی به عوامل مختلفی از جمله شیب دامنه (Packer, 1967)، شیب جاده (Burroughs & King, 1989)، مقدار، زمان و نوع استفاده از جاده (Reid & Dunne, 1984)، فاصلهٔ بین زهکش‌های عرضی (Packer, 1967)، خصوصیات فیزیکی سطح جاده (Burrough & King, 1984)، مقدار و شدت بارندگی (Megahan *et al.*, 1972; Jha *et al.*, 2006)، شیب و جهت شیب جاده (Packer, 1967)، وضعیت میکروتوپوگرافی سطح جاده (Campbell & Stednick, 1983)، پوشش گیاهی دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی، جوی‌های کناری (Lopez *et al.*, 2008)، زمین‌لغزش، فرسایش سطح جاده ، نوع و روش استفاده از وسیلهٔ نقلیه (Jha *et al.*, 2006)، بستگی دارد. بنابراین در نظر داشتن موارد یاد شده و حد تأثیر آنها بر تولید رسوب، می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارا در اختیار طراحان جاده‌ها به‌منظور به‌حداقل رساندن تاثیرات منفی محیط-زیستی و کاهش آلودگی منابع آبی قرار گیرد. از این رو بررسی عوامل موثر بر تخریب محیط‌زیستی جاده-های جنگلی می‌تواند به طراحی جاده‌های بهینه در آینده منجر شود و به طراحان این جاده‌ها برای در نظر گرفتن آثار مختلف هر عامل در ایجاد آشفتگی حوضه‌های جنگلی دید کافی و مناسب بدهد. از طرفی دانستن حد تأثیر هر عامل می‌تواند به مدیر جنگل در اولویت‌بندی بهینهٔ تخصیص منابع و امکانات طرح برای کنترل رسوب جاده‌های ساخته شده کمک شایانی کند. تحلیل حساسیت[1] ابزاری مناسب برای این منظور است که از طریق آن وابستگی خروجی یک مدل با ورودی(های) آن مشخص می‌شود. در واقع تحلیل حساسیت نقش عوامل مختلف تأثیرگذار بر یک فرایند را نشان می‌دهد. پژوهش‌هایی چند در زمینهٔ جاده‌های جنگلی در جهان صورت گرفته است. Lopez *et al.* (2008) تأثیر قسمت‌های مختلف جاده‌های جنگلی در تولید رسوب در جنگل‌های مدیترانه‌ای را بررسی کردند و دریافتند که عوامل در تولید رسوب، به ترتیب ترانشهٔ خاکبرداری و سطح جاده‌ها هستند. دلیل این مسئله، حذف یا کاهش پوشش‌گیاهی طی ساخت و نیز ترافیک وسایل نقلیه ذکر شده است. Foltz *et al.* (2009) با بررسی تأثیر پوشش‌گیاهی در سطح جاده‌های جنگلی در حال استفاده و رهاشده، نشان دادند که تولید رسوب در جاده‌های در حال استفاده، به‌خصوص در محل رد چرخ‌های کامیون‌های حمل چوب هشت برابر تولید رسوب جاده‌های جنگلی رها شده است. Arnaez *et al.* (2004) انواع مختلف روسازی سطح جاده را در تولید رسوب جاده‌های جنگلی از نظر شیب، جنس بستر و پوشش گیاهی بررسی کردند و نشان دادند که به‌ترتیب شیب جاده، پوشش گیاهی و بستر، عوامل تولید رسوب در سطح جاده‌ها هستند. Jha *et al.* (2006) اثر عوامل مختلف در تولید رسوب

1. Sensitivity analysis

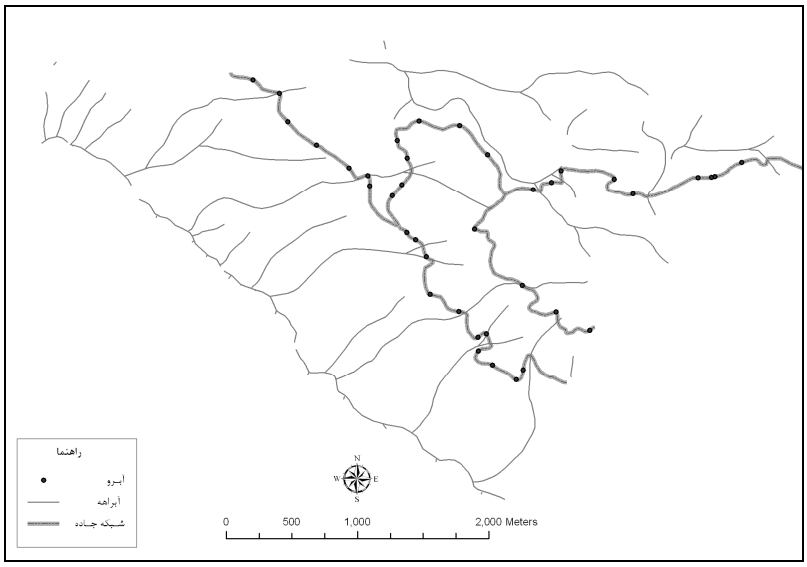
در جاده‌های حوضه‌های جنگلی استرالیا را از راه تحلیل حساسیت جاده به عوامل فرسایش و با آنالیز همبستگی اسپیرمن مقایسه کردند و نشان دادند که عرض بستر جاده‌های جنگلی بیشترین تأثیر را در تولید رسوب جاده دارد و پس از آن به‌ترتیب ضریب رواناب، ضریب فرسایش پذیری، مقدار بارندگی، ترافیک و در نهایت شیب طولی از عوامل مؤثر در این زمینه محسوب می‌شوند. Akay *et al.* (2008) با کمک GIS و مدل پیش‌بینی تولید رسوب SEDMODL، شش جاده با شرایط مختلف را بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که جاده‌های جنگلی با روسازی آسفالت و با متوسط شیب هفت درصد و عرض بستر ده متر، بیشترین مقدار رسوب تولیدی را در مقایسه با دیگر جاده‌های جنگلی دارند.

تاکنون در ایران پژوهش‌هایی جامع در زمینهٔ تأثیر جاده‌های جنگلی در فرسایش و تولید رسوب صورت نگرفته است. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر تغییرات چهار عامل عرض بستر روسازی، شیب طولی جاده، سن و پوشش گیاهی جاده‌های جنگلی در مقدار تولید رسوب حوضه‌های آبخیز جنگلی با استفاده از مدل CULSED و نرم‌افزار ArcGIS است. با رتبه‌بندی این عوامل در تولید رسوب، مشخص خواهد شد که کدام یک از عوامل ذکرشده نقش بیشتری در تولید رسوب دارد. آگاهی از این مطلب برای مدیران در طراحی بهینهٔ جاده‌ها و اعمال سیاست‌های مناسب بعد از ساخت با هدف کاهش رسوب تولیدی و جلوگیری از آلودگی منابع آبی حوضه‌های جنگلی کمک شایانی خواهد بود.

مواد و روش‌ها

- معرفی منطقه

برای اجرای این تحقیق بخش نمخانه از جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود دانشگاه تهران انتخاب شد (شکل ۱). این جنگل در ده کیلومتری شرق شهرستان نوشهر در استان مازندران قرار گرفته است. بخش نمخانه دومین بخش از جنگل خیرود با مساحت ۱۰۷۹ هکتار است. ارتفاع این بخش از سطح دریا ۱۳۰۰-۴۵۰ متر است. مقدار بارش سالانه ۱۶۰۰-۱۳۰۰ میلی‌متر است. سنگ مادر آهکی و بیشتر خاک‌های این منطقه از نوع آهکی اسکلتی و قهوه‌ای جنگلی است (عبدی، ۱۳۸۴). مقدار جاده‌های ساخته شده و در حال بهره برداری این بخش ۱۵/۶ کیلومتر و تراکم آن ۱۹/۸ متر در هکتار است.



شکل ۱- وضعیت شبکهٔ جاده و آبروهای بخش نمخانه، جنگل خیرود

شیوه اجرای پژوهش

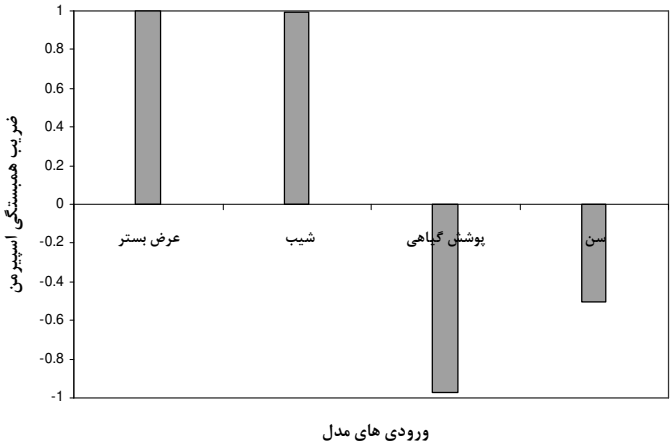
در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و مدل CULSED، ابتدا مقدار رسوب کل و سپس تغییرات آن به ازای تغییرات ورودی‌های مدل بر حسب تن در سال محاسبه شد. به این منظور لایه‌های اصلی مورد نیاز مدل CULSED شامل آبراهه، جاده، آبروها[1] و DEM[2] منطقه تهیه شد. با جنگل‌گردشی، درصد پوشش گیاهی حاشیه جاده‌ها حدود ۸۰ درصد برآورد شد (شایان ذکر است که در طرح جنگلداری بخش نمخانه ۱۳۷۹ نیز درصد پوشش بین ۸۰-۷۵ درصد ذکر شده است) و آبروها با یک دستگاه GPS برداشت شدند. دیگر اطلاعات مانند سنگ مادر و مقدار بارندگی منطقه نیز از دفترچه طرح بخش نمخانه استخراج شد (طرح جنگلداری بخش نمخانه، ۱۳۷۸). برای لایهٔ جادهٔ بخش نمخانه یک جدول اطلاعات توصیفی با سناریوهای مختلف از چهار عامل شیب طولی جاده، سن جاده، تراکم تاج‌پوشش گیاهی در دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی جاده و عرض بستر روسازی جاده جنگلی ایجاد شد. شیب در بازهٔ ۱۱-۱ درصد و با گام‌های ۰/۵ درصد، سن جاده در دامنهٔ ۲۱-۱ سال و در بازهٔ یکساله، پوشش گیاهی در دامنه ۱۰۰- ۰ درصد و با گام‌های پنج درصد و در نهایت عرض بستر روسازی جاده در بازهٔ ۷/۵ – ۵/۵ متر و در فواصل ۰/۱ متری سناریوهای تعریف شده بودند. زمانی که یک عامل در دامنهٔ تعریف شده تغییر داده می‌شد، برای بقیه عوامل مقدار میانگین آنها در نظر گرفته می‌شد (میانگین شیب ۵/۵ درصد، پوشش‌گیاهی ۵۰ درصد، سن ۱۱ سال و عرض بستر ۶/۵ متر). تحلیل حساسیت مدل با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT و همبستگی مقدار رسوب با هر عامل از طریق آزمون همبستگی اسپیرمن بررسی شد (Jha *et al.,* 2006). برای تأیید آزمون همبستگی اسپیرمن از تحلیل سناریو[3] نیز استفاده شد (Jha *et al.,* 2006). تحلیل سناریو در دو مرحله با ۲۵ درصد ابتدایی و ۲۵ درصد انتهایی خروجی مدل برای هر عامل به‌عنوان مرحلهٔ اول و ده درصد انتهایی به عنوان مرحلهٔ دوم خروجی مدل برای هر عامل انجام گرفت (Jha *et al.,* 2006). برای مشخص شدن مقدار معناداری روابط بین تغییرات عوامل ورودی مدل و مقدار رسوب تولیدی به کمک آنالیز تجزیهٔ واریانس رگرسیون، روند تغییرات رسوب به ازای تغییرات ورودی‌های مدل مشخص شد. در نهایت به‌منظور اطمینان از نتایج حاصل و تجزیه و تحلیل حساسیت مدل CULSED و بررسی اثر ورودی‌های مدل در مقدار رسوب تولیدی، مدل با تغییرات ۵۰- درصد و ۵۰+ درصد میانگین ورودی‌ها دوباره به اجرا درآمد و تغییرات رسوب آنها برآورد شد (Sadeghi *et al.,* 2008).

نتایج

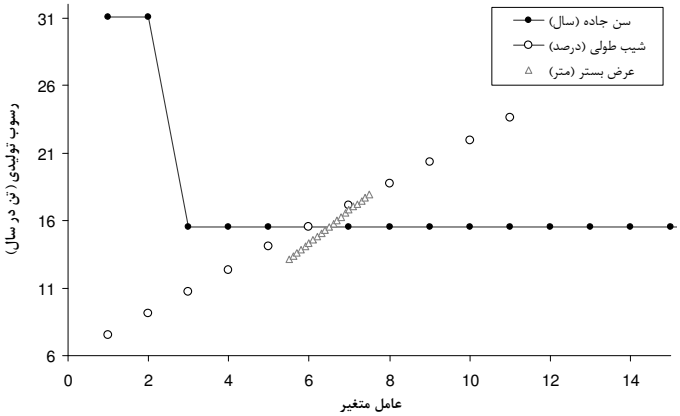
تعداد ۳۸ عدد آبرو در طول ۱۵/۶ کیلومتر از جاده-های بخش نمخانهٔ جنگل خیرود برداشت شد. مقدار رسوب تولیدی این جاده‌ها به ازای شیب ۵/۵ درصد، عرض ۶/۵ متر، سن ۱۱ سال و پوشش ۵۰ درصد (مقادیر متوسط) به‌وسیلهٔ مدل CULSED ۱۵/۴ تن در سال برآورد شد که معادل ۰/۸۱ تن به ازای هر هکتار جادهٔ جنگلی است. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نشان داد که به‌ترتیب عرض بستر روسازی، شیب جاده، پوشش‌گیاهی و در نهایت سن جاده در تولید رسوب موثرند به‌گونه‌ای که عرض بستر روسازی، بیشترین همبستگی را دارد که این همبستگی افزاینده است، یعنی با افزایش عرض بستر جاده‌های جنگلی، مقدار رسوب تولیدی نیز تا حد زیادی افزاینده است و سن جاده، کمترین مقدار همبستگی را با روندی کاهنده دارد، یعنی با افزایش سن جاده‌های جنگلی، مقدار تولید رسوب نیز کاهش می‌یابد. آنالیز تجزیهٔ واریانس رگرسیون نیز نشان داد که مقدار رسوب تولیدی با تغییرات عرض بستر جاده رابطهٔ مستقیم و با تغییرات سن جاده رابطهٔ معکوس دارد. ضرایب

1. Culvert
2. Digital Elevation Model
3. Scenario Analysis

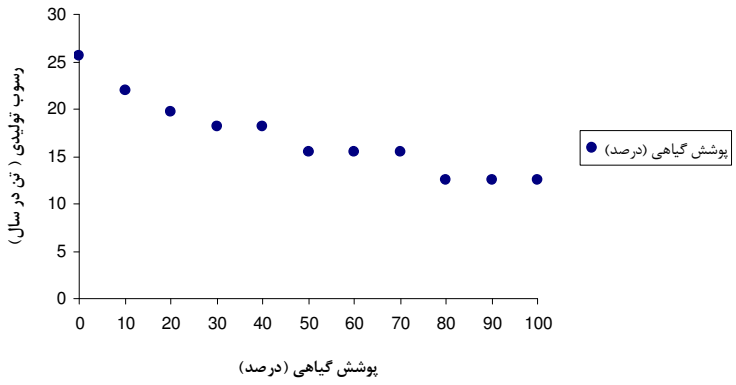
همبستگی اسپیرمن و نتایج تحلیل روند تولید رسوب به‌وسیلهٔ آنالیز تجزیهٔ واریانس رگرسیون در شکل‌های ۲ تا ۴ مشخص شده است. مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیونی برای نشان دادن رابطهٔ هر عامل با مقدار رسوب بر اساس بیشترین ضریب تبیین تصحیح شده و کمترین مقدار اشتباه معیار برآورد انتخاب شد. نتایج نشان داد بهترین مدل برای عرض بستر جاده و شیب طولی جاده، مدل خطی برای پوشش گیاهی، درجهٔ سه و برای سن جاده، مدل توانی است.



شکل۲- نتایج آنالیز همبستگی اسپیرمن بین ورودی‌های مدل و رسوب تولیدی



شکل ۳- روند تولید رسوب نسبت به تغییرات عرض بستر، شیب طولی و سن جاده



شکل ۴- روند تولید رسوب نسبت به تغییرات پوشش گیاهی جاده

جدول ۱ معادلات رگرسیونی هر یک از مولفه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- معادلات و ضرایب تشخیص روابط رگرسیونی

مولفه جاده	*معادله رگرسیونی*
عرض بستر (متر)	$Y = 2.393X - 0.0187$
شیب طولی (درصد)	$Y = 1.579X + 5.9402$
پوشش گیاهی (درصد)	$Y = -0.1204X + 23.07$
سن جاده (سال)	$Y = -4.218Ln(x) + 26.135$

جدول ۲، ضرایب تبیین روابط رگرسیونی هر یک از موارد بالا نشان داده شده است.

جدول ۲- ضریب تبیین رابطهٔ رگرسیونی و ضرایب همبستگی برای مولفه‌های بررسی شده

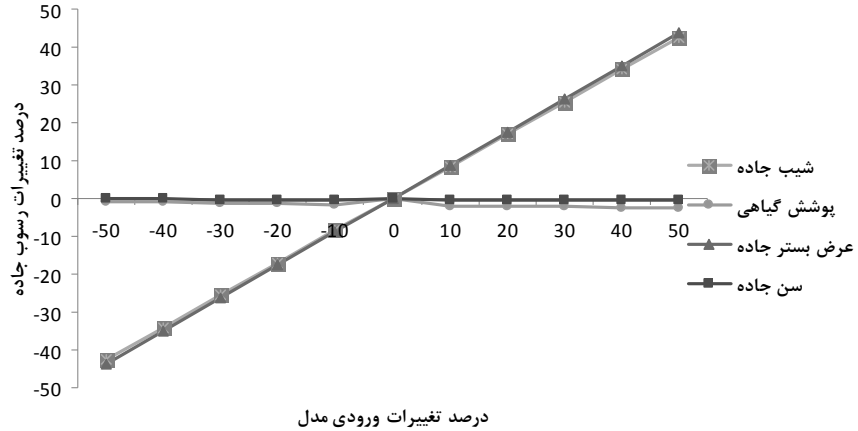
مولفه جاده	اشتباه معیار برآورد	ضریب تبیین تصحیح شده	ضریب تبیین	ضریب همبستگی
عرض بستر	۰/۰۹۴	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰**
شیب طولی جاده	۳/۱۶	۰/۹۹۶	۰/۹۹۷	۰/۹۹**
پوشش گیاهی	۰/۹۲۹	۰/۹۵۱	۰/۹۶۱	-۰/۹۸**
سن جاده	۱/۱۵۰	۰/۸۳۳	۰/۸۴۱	-۰/۹۱*

با توجه به جدول بالا ملاحظه می‌شود که به جز سن جاده که در سطح ۹۵ درصد معنادار است، در دیگر موارد رابطه‌ها در سطح ۹۹، درصد معنادار است. بر اساس نتایج تحلیل سناریو بیشترین همبستگی بین عرض بستر جاده و رسوب تولیدی است و پس از آن به‌ترتیب شیب جاده، پوشش‌گیاهی دامنه‌ها و در نهایت، سن جاده، همبستگی کمتری دارند. جدول ۳ نتایج تحلیل سناریو را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج تحلیل سناریو رسوب تولیدی برای تأیید نتایج آنالیز همبستگی اسپیرمن

متغیر ها	مراحل تحلیل سناریو	نتایج تحلیل سناریو
عرض بستر روسازی	≤۲۵درصد	۱/۰۰
	≥۷۵درصد	۰/۹۷۵
	≥۱۰درصد	۱/۰۰
شیب طولی	≤۲۵درصد	۰/۸۹۴
	≥۷۵درصد	۰/۸۹۴
	≥۱۰درصد	۱/۰۰
پوشش گیاهی	≤۲۵درصد	-۰/۹۴
	≥۷۵درصد	-
	≥۱۰درصد	-
سن	≤۲۵درصد	-۰/۸۶
	≥۷۵درصد	-
	≥۱۰درصد	-

در شکل ۵، نتایج تحلیل حساسیت مدل CULSED به ازای درصد تغییرات ورودی‌های مدل و درصد تغییرات رسوب حاصل از جادهٔ جنگلی در منطقهٔ تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۵- نمودار تحلیل حساسیت مدل CULSED برای منطقهٔ تحقیق

نتایج تحلیل حساسیت تغییرات ۵۰- درصد و ۵۰+ درصد میانگین ورودی‌ها نیز نشان داد که مقدار حساسیت به تولید رسوب به ازای تغییرات ورودی‌های مدل به ترتیب از عرض بستر روسازی، شیب طولی جاده‌ها، پوشش گیاهی و سن جاده کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که مقدار تغییرات رسوب تولیدی، بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات عرض بستر روسازی جاده و کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات سن جاده دارد (شکل ۵).

بحث

جاده‌های جنگلی با تغییر رفتار هیدرولوژیک دامنه‌ها، موجب ایجاد فرسایش می‌شوند. جاده‌های جنگلی مقدار رسوب تولیدشده در سطح دامنه را تا بیش از چهار برابر حالت طبیعی افزایش می‌دهند (Ramos-scharron & Mac Donald, 2005). در حالی‌که پژوهش‌ها نشان داده‌اند جنگل‌های طبیعی و دست‌نخورده رسوب بسیار اندکی حتی نزدیک به صفر تولید می‌کنند (Elliot *et al.*, 1999). با وجود این، بخش‌های مختلف جاده‌های جنگلی به مقدار متفاوتی در تولید رسوب موثرند. Akay *et al.*(2008) نشان دادند که مقدار رسوب بخشی از جاده با مصالح باکیفیت، شیب هفت درصد و عرض بستر ده متر، بیشتر از رسوب بخشی از جاده است که دارای مصالح بی‌کیفیت، شیب ۱۲ درصد و عرض ۵ متر است، بنابراین بیان شد که تأثیر عرض جاده بر تولید رسوب، بیشتر از تأثیر شیب و نوع مصالح سطح جاده است. این موضوع با نتایج پژوهش حاضر که تأثیر عرض را مهمتر از شیب می‌داند، مطابقت دارد. همچنین تحقیقات آن‌ها نشان داد که تأثیر شیب جاده بیشتر از نوع پوشش گیاهی دامنه‌هاست که این نتیجه نیز با نتایج تحقیقات ما کاملا مطابقت دارد، به‌طوری‌که با توجه به جدول‌های ۱ و۲ و همچنین شکل‌های ۲ و ۵، شیب جاده پس از عرض بستر جاده عامل مؤثر در تولید رسوب است. بنابراین با توجه به اهمیت عرض بستر روسازی و شیب جاده‌های جنگلی در تولید رسوب، هنگام طراحی این جاده‌ها باید برای جلوگیری از ایجاد آشفتگی و ناهماهنگی در طبیعت و نیز کاهش هزینه‌های ساخت عرض بستر روسازی در کمترین حد (۵/۵ متر) در نظر گرفته شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۴). این عمل به مقدار زیادی در کاهش فرسایش و رسوب تولیدی

جاده‌ها مؤثر است. همچنین با توجه به نتایج حاصل در زمینهٔ اهمیت زیاد شیب جاده‌ها در تولید رسوب (Akay *et al.*, 2008; Burroughs & king, 1989)، در طراحی جاده‌های جنگلی نباید از حداکثر شیب مجاز تجاوز شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۴) و در مناطق حساس به فرسایش، تا حد امکان شیب جاده‌ها باید حداقل در نظر گرفته شود تا از جاری شدن آب روی سطح جاده و سرعت گرفتن آن که سبب افزایش تنش برشی آب و رسوب تولیدی می‌شود جلوگیری کرد (Jha *et al.*, 2006).

Lopez *et al.* (2008) بیشترین مقدار فرسایش را در دامنه‌های خاکبرداری محاسبه کردند و نشان دادند که مقدار فرسایش دامنهٔ خاکبرداری سه‌برابر سطح جاده و هجده برابر دامنهٔ خاکریزی است. آنها بیان کردند که نقش دامنه‌های خاکریزی و خاکبرداری در تولید رسوب تا زمانی شایان توجه است که سطح آنها هنوز عاری از پوشش گیاهی است و این اتفاق، اغلب در دو سال اول ساخت جاده‌ها رخ می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد تأثیر مخرب ساخت جاده در دو سال ابتدایی ساخت در تولید رسوب در بیشترین حد خود است که دلیل آن از بین رفتن پوشش گیاهی به‌عنوان محافظ ذکر شده است (Lopez *et al.*, 2008). Luce & Black (1999) نیز نشان دادند که بیشترین رسوب حاصل از جاده‌های تازه تأسیس، در دو سال اول و تا زمانی که بر روی دامنه‌ها و جوی‌های کناری پوشش گیاهی بروید تولید می‌شود. این نتیجه با یافته‌های پژوهش حاضر کاملا مطابقت دارد (شکل ۳)، به‌طوری‌که در زمینه تغییرات سن جاده در طول دورهٔ استفاده از جاده به جز دو سال اول، کمترین تأثیر در تولید رسوب توسط مدل CULSED برآورد شد. با بررسی شکل‌های ۲، ۳ و۴ مشاهده می‌شود که رابطهٔ افزایش سن جاده و درصد پوشش با مقدار رسوب معکوس است و با افزایش سن جاده، پوشش گیاهی دوباره تثبیت می‌شود و روند تولید رسوب را کاهش می‌دهد. ازاین‌رو برای کاهش فرسایش و جلوگیری از تولید مقدار زیادی رسوب در سال‌های ابتدایی ساخت جاده، مدیران و بهره‌برداران جاده‌های جنگلی باید برای حفاظت از دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی، بلافاصله پس از ساخت جاده-ها اقدام کنند. اقداماتی مانند استفاده از روش‌های زیست مهندسی[1] شامل بذرکاری و کاشت گیاهان مناسب و تندرشد (Lopez *et al.*, 2008)، استفاده از لایه‌های هوموسی و مازاد مقطوعات (FAO, 2006) و همچنین استفاده از بافته‌های پلاستیکی درشت‌بافت، به تثبیت دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی در سال‌های ابتدایی ساخت جاده، بسیار کمک می‌کند. در این زمینه بیل هیدرولیکی با قابلیت مانور زیاد و امکان قرار دادن مصالح و مازاد مقطوعات در جای دلخواه، می‌تواند به‌عنوان وسیله‌ای مناسب و با حداقل تخریب محیط زیست در مرحلهٔ ساخت مطرح باشد (FAO, 2006).

این پژوهش نشان داد که از بین چهار عامل عرض بستر روسازی، شیب طولی جاده، پوشش گیاهی و سن جاده، عرض بستر روسازی بیشترین تأثیر را در تولید رسوب جاده‌های جنگلی در مدل پیش بینی رسوب CULSED دارد و سن جاده به جز در دو سال ابتدایی ساخت، کمترین تأثیر را در تولید رسوب جادهٔ جنگلی داراست. در پایان باید به این نکته توجه شود که با توجه به این موضوع که نتایج این مدل‌ها صددرصد قابل اطمینان نیست در شرایط فعلی که انتخاب محل آبروها سلیقه‌ای است، این مدل به‌عنوان حداقل ابزار کمکی می‌تواند کاربرد داشته باشد. این نتایج 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 منجر به کاهش رسوب تولیدی و حداقل خسارت به محیط زیست جنگل و کاهش آلودگی و زیستگاه‌های آبی خواهد شد.

1. Bioengineering

منابع

بی‌نام، ۱۳۷۸. طرح جنگلداری بخش نمخانه جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۴۰ ص.

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۴. دستورالعمل تهیه پروژه راه‌های جنگلی. چاپ دوم. ۲۰۰ ص.

عبدی، احسان، ۱۳۸۴. طراحی شبکه جاده جنگلی با حداقل هزینه ساخت با استفاده از GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۸۳ ص.

Akay, A.E., E.M. Erdas, M. Reis & A.Yuksel, 2008. Estimating sediment yield from forest road network by using a sediment model and GIS techniques, *Building and Environment*, 43: 678-695.

Arnaez, J., V. Larrea & L. Ortigosa, 2004. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain, *Catena*, 57:1–14.

Burroughs, E.R. & J.G. King, 1989. Reduction of soil erosion on forest roads. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, Utah. General Technical Report INT, 246 pp.

Campbell, D. H. & I. D. Stednick, 1983. Transport of road-derived sediment as a function of slope characteristics and time, Final report submitted to USDA Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado (Contract 28-2-214), 46 pp.

Elliot, W.j., D.E. Hall & D. L. Scheele, 1999. The X-DRAIN cross drain Spacing and sediment Yield Program Version 2.00. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, San Dimas Technology and Development Center, 90 pp.

FAO, 2006. Guidelines for soil description. 4th edition, Rome, 108 pp.

Foltz RB, Copeland NS, Elliot WJ, 2009. Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters, *Journal of Environmental Management*, 90(8): 2542–2550.

Jha, S., A. Western, D. May, J. Turner & G. Gardiner, 2006. A Monte Carlo analysis of sediment load from unsealed forest road crossing. International congress on modeling and simulation society of Australia and Newzeland, 2390–2394.

Lopez, A.J., L. Martinez-Zavala & N. Bellinfante, 2008. Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Meditrranean area, *Science of the Total Environment*, 4(7): 937–944.

Luce, C.H., & B.C. Wemple, 2001. Introduction to special issue on hydrologic and geomorphic effects of forest roads, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 111–113.

Luce, C.H., & T.A. Black, 1999. Sediment production from forest roads in western Oregon, *Water Resources Research*, 35(8): 2561–2570.

MacDonald, L.H., R.W. Sampson & D.M. Anderson, 2001. Runoff and road erosion at the plot and road segment scales, St. John, US Virgin Islands, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 251–272.

Megahan, W.F, 1972. Logging, erosion, sedimentation - are they dirty words?, *Journal of Forestry*, 70: 403–407.

Packer, P. E, 1967. Criteria for designing and locating logging roads to control sediment, *Forest Science*, 13(1): 1-8.

Ramos-Scharron, C.E., & L.H., MacDonald, 2005. Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Islands, *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(10): 1283–1304.

Reid, L.M., T. Dunne, 1984. Sediment production from forest road surfaces, *Water Resources Research*, 20: 1753-1761.

Sadeghi, S.H.R, M. Azari & B. Ghaderivangah, 2008. Filed evaluation of the Hillslope erosion model (HEM) in Tran, *Biosystem Engineering*, 99: 304-311.

Tague, C., & L. Band, 2001. Simulating the impact of road construction a forest harvesting on hydrological response, *Earth Surface Processes and Landform*, 26:131–145.

Sensitivity analysis of CULSED model to provide strategies for forest roads sediment control

S. Rahbari Sisakht[1], E. Abdi[2*], M. Moghadami Rad[1], B. Majnounian[3], and H. Yousef Zadeh[4]

[1]Forest Engineering student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[2]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[3] Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[4]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

(Received: 13 March 2011; Accepted: 14 June 2012)

Abstract

Forest roads are the most important factor to access the watershed; nevertheless they are the main sources of sediment production. The delivered sediment by forest roads cause environmental problems and pollution of water resources and are dangerous for aquatic life. Many factors play roles in the amount of sedimentation produced by forest roads with different levels. In this study four factors including road width, road slope, vegetation cover and road age were investigated in sediment production by CULSED model and ArcGIS. Sensitivity analysis was used for identifying the sensitivity of the produced sediment to the mentioned factors and for studying the kind of relativity and its value using Spearman rank correlation test and scenario analysis. Results showed that maximum sensitivity belongs to road width, road gradient, vegetation cover and road age, respectively. The Spearman rank correlation has a direct relativity with road width and its slope, vegetation cover and age have a negative relation with sediment production. These results help the forest roads designers to note the most important factors during the initial stages of the designing process and at the other hand when the road is constructed, they could use the suitable management to control and reduce erosion and sediment yield causing negative effects of roads on the water resource pollution.

Keywords: CULSED, Forest roads, Scenario analysis, Sediment, Sensitivity analysis.

[*]Corresponding Author Tel: +982632223044 email: abdie@ut.ac.ir