نشریه جنگل و فراورده‌های چوب. مجله منابع طبیعی ایران
دوره ٦٦، شماره ٢، تابستان ١٣٩٢

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۱۲

بهینه‌سازی زهکش‌های عرضی شبکهٔ جادهٔ جنگلی با استفاده از مدل CULSED

(مطالعهٔ موردی: بخش نم‌خانه، جنگل خیرود)

❖ **احسان عبدی** *؛ استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
❖ **مصطفی مقدمی‌راد**؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
❖ **سعید راهبری سی‌سخت**؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
❖ **باریس مجنونیان**؛ استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
❖ **فاطمه موسوی**؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران

Archive of SID

چکیـــده

جاده‌های جنگلی مهم‌ترین عامل تولید رسوب در اکوسیستم‌های جنگلی‌اند. به‌سبب اهمیت این موضوع، تاکنون مدل‌های زیادی بر اساس روابط تجربی به‌منظور برآورد رسوب تهیه شده است. در این مطالعه، میزان رسوب سالانهٔ حاصل از شبکهٔ جادهٔ جنگلی بخش نم‌خانه به‌صورت تن در سال و با استفاده از مدل CULSED در نرم‌افزار ArcGIS برآورد شد. لایه‌های مکانی پایه شاملِ توپوگرافی، آبراهه‌ها، جاده‌ها، و آبروها، و داده‌های تکمیلی نیز شامل نوع سنگ مادر، میزان پوشش گیاهی، متوسط بارش، عمر جاده، میزان ترافیک، نوع روسازی، و شیب جاده بودند که در مدل استفاده شدند. ابتدا پایگاه داده‌های رقومی مورد نیاز مدل تشکیل و مدل بر اساس آن اجرا شد. سپس مکان‌هایی که میزان رسوب بالایی داشتند، مشخص شدند و با تعیین آبروهای اضافی در مکان‌های مناسب، سعی شد تولید و ورود رسوب به شبکهٔ هیدروگرافی منطقه کاهش یابد. نتایج نشان داد مقدار رسوب با توجه به ۳۸ آبروی موجود در منطقه ۱۳/۲ تن در سال است که با افزودن ١٦ آبروی پیشنهادی در قسمت‌های دارای رسوب بالا، مقدار رسوب به ۸/۵ تن در سال، یعنی حدود ٣٦ درصد، کاهش یافت. بنابراین، با توجه به اهمیت کاهش رسوب حاصل از جاده‌ها در جنگل، مهندسان برای یافتن تعداد و مکان بهینهٔ آبروها، می‌توانند قبل از ساخت جاده‌ها از این ابزار استفاده کنند. البته با توجه به داده‌های مکانی موجود و فقدان مدل بومی، قطعیت کافی در نتایج وجود نخواهد داشت که باید در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: آبرو، رسوب، رودخانه، شبکهٔ جادهٔ جنگلی، CULSED.

* نویسنده مسئول تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۲
E. mail: Abdie@ut.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

جاده‌ها در مدیریت جنگل ضرورتی انکارناپذیرند و بدون آن‌ها امکان دست‌یابی به اهداف گوناگون مدیریتی وجود ندارد. اهداف اقتصادی، حفاظتی، و خدماتی فقط با ساخت شبکهٔ مناسبی از جاده‌های دسترسی به جنگل ممکن است. در تمام مراحل تهیهٔ پروژه و ساخت جاده‌های جنگلی سعی بر این است که شبکهٔ جاده‌ای طراحی و ساخته شود که علاوه بر دسترسی آسان به تمام سطح جنگل، کمترین صدمه را به محیط زیست بزند. هرگونه کوتاهی در این زمینه به آسیب فراوان و تخریب خاک جنگل، به‌ویژه به‌وسیلهٔ جریان تند آب و فرسایش ناشی از آن، منجر خواهد شد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که جاده‌های جنگلی بیشترین میزان رسوب را در جنگل تولید و وارد رودخانه می‌کنند [۱، ۲، ۳]. فرسایش فرایند ژئومورفولوژیکی طبیعی است که همواره در سرتاسر زمین دیده می‌شود، اما تشدید این فرایند به‌سبب فعالیت‌های بشری، چون جاده‌سازی، تأثیرات منفی زیادی در کیفیت آب، خاک، محیط زیست، و اقتصاد ملی می‌گذارد و عامل اصلی بحث و مجادله بین جنگلداران و طرفداران محیط زیست است. مهم‌ترین دلایل طرفداران محیط زیست برای انتقاد از جاده‌سازی در جنگل، تخریب جامعهٔ گیاهی، جانوری، و بافت خاک است که به‌طور چشمگیر باعث افزایش میزان رسوب‌گذاری می‌شود [٤]. این رسوبات وارد رودخانه‌ها می‌شود و موجب برخی نتایج سوء بر کیفیت آب (افزایش دمای آب و کاهش اکسیژن)، سیلتی‌شدن بستر رودخانه، و در نهایت کاهش تخم‌گذاری و زنده‌مانی ماهی‌ها می‌شود [٥]. میزان فرسایش حاصل از جاده‌ها در مقایسه با مناطق بدون جاده، حدود ۳۰ـ۳۰۰ برابر گزارش شده است [٤]. در نتیجه، فهم فرایند فرسایش برای برآورد رسوب انتقالی از جاده‌ها به رودخانه‌ها، به‌ویژه در شمال کشور، با وجود شش‌هزار کیلومتر جادهٔ جنگلی مهم است [٦]. بنابراین، در مدیریت شبکهٔ جاده‌های جنگلی علاوه بر هزینه‌های کلی جاده، باید به آثار محیط زیستی ساخت و استفاده از جادهٔ جنگلی نیز توجه کرد.

به‌منظور کاهش پتانسیل رسوب‌گذاری از جاده‌های تازه‌ساخت، باید ترانشه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی سریعاً پس از ساخت جاده با پوشش گیاهی احیا شوند یا با جابه‌جایی یا اضافه‌کردن زهکش‌های عرضی (آبرو) در جاده‌هایی که قبلاً ساخته شده‌اند تولید رسوب را کاهش داد [۷]. در سال‌های اخیر به‌سبب افزایش رسوب ناشی از فعالیت‌های بشری توجه ویژه‌ای به آلودگی رودخانه‌های جنگلی شده است. بنابراین، به ابزارهای برآورد و شبیه‌سازی برای کنترل رسوب و مدیریت بهینهٔ منابع جنگلی نیاز است. در دههٔ گذشته، با پیشرفت فنّاوری و نیز توسعهٔ ابزار GIS، تعدادی مدل که گاه بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی داده‌ها را پردازش می‌کنند، برای تعیین تأثیر جاده‌ها بر تولید رسوب و همچنین مقدار فرسایش ناشی از جاده‌های جنگلی توسعه و معرفی شده است. یکی از این مدل‌ها FROSAM[1] است که به‌عنوان مدلی عملی برای برآورد میزان رسوب ناشی از جاده‌های جنگلی برای یافتن راهکارهای عملی مدیریتی در جهت کاهش میزان رسوب ارائه شده است [۸]. عامل‌های مؤثر درنظرگرفته‌شده در این مدل شامل روسازی جاده، آبروها، شیب ترانشهٔ خاک‌برداری و خاک‌ریزی، شیب جاده، و ترافیک است.X-DRAIN[2] مدل دیگری است که عواملی نظیر موقعیت آب‌وهوایی، شیب دامنه، و مسافت جریان را در نظر می‌گیرد. این مدل توانایی ارزیابی بخش‌هایی از جاده با پتانسیل رسوب‌گذاری بالا را ندارد [۹]. مدل WEPP برای برآورد رسوب حاصل از فرسایش دامنه‌ها و حوزه‌های آبخیز کوچک توسعه یافت و بیشتر برای استفاده‌های کشاورزی کاربرد داشت [۱۰]. در پژوهش بعدی، از اصلاحاتی که در مورد مدل WEPP انجام شد، این مدل برای برآورد رسوب حاصل از جاده‌های جنگلی استفاده شد [۱۱]. مدل اصلاح‌یافته برای آزمایش در حوضه‌ای فرضی در Pacific Northwest به‌کار برده شد و در

1. The Forest Road Sediment Assessment Methodology
2. The Water Erosion Prediction Project

Archive of SID

www.SID.ir

نهایت الگوریتم شبیه‌سازی مقدار نفوذ عمقی آب در خاک و همچنین الگوریتم جریان زیر سطحی اصلاح شد. نتایج نشان داد که مدل اصلاح‌یافته در مقایسه با مدل قبلی مقدار فرسایش و رسوب از جاده‌های جنگلی را دقیق‌تر برآورد می‌کند. در پژوهشی دیگر مدلی به نام FORECALT[1] با استفاده از مدل WEPP توسعه یافت [۱۲]. نتایج این مدل در Coromandel Peninsula نیوزیلند نشان داد که با اصلاح شبکهٔ جاده، تأثیر منفی محیط زیستی بر شبکهٔ رودخانه کاهش خواهد یافت. مدل CULSED[2] به‌عنوان ضمیمه‌ای در نرم‌افزار ArcGIS برای تعیین محل و فاصلهٔ بهینهٔ آبروها توسعه یافته است [۱۳]. این مدل به کاربر توانایی بررسی مسیر جاده از طریق جابه‌جاکردن یا اضافه‌کردن آبرو و در نهایت ارزیابی دینامیکی از کل رسوب تولیدی و آنالیز شبکهٔ جاده را در محیط GIS می‌دهد. با اضافه‌کردن آبرو و حرکت‌دادن آن‌ها بر مسیر جاده می‌توان بهترین مکان (حداقل‌کردن رسوب) برای نصب آن‌ها را تعیین کرد. بنابراین، مزیت این مدل در مقایسه با مدل‌های قبلی در این است که علاوه بر برآورد رسوب، کلاسه‌بندی آن، و نمایش موقعیت مکانی، به کاربر امکان کاهش و حداقل‌کردن میزان رسوب را با تغییر تعداد و محل آبروها می‌دهد.

با توجه به نکات ذکرشده، هدف از این پژوهش برآورد میزان رسوب تولیدی با درنظرگرفتن سیستم زهکشی موجود و حداقل‌کردن رسوب تولیدی از طریق بهینه‌کردن سیستم زهکشی عرضی با استفاده از مدل CULSED است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ بررسی‌شده

منطقهٔ بررسی‌شده در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در حوزهٔ آبخیز ۴۵ جنگل‌های شمال واقع است. این جنگل در ۱۰ کیلومتری شرق شهرستان نوشهر در استان مازندران قرار گرفته است. این منطقه در تقسیم‌بندی طرح جنگل‌داری به هشت بخش تفکیک شده که یکی از آن‌ها بخش نم‌خانه است که منطقهٔ مورد پژوهش است. مقدار بارش در این بخش بین ۱۳۰۰ـ۱۶۰۰ میلی‌متر است. از نظر زمین‌شناسی بخش نم‌خانه از سنگ‌های آهکی متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی و عموماً از لایه‌های سخت شکاف‌دار تشکیل شده است.

روش انجام پژوهش

در این پژوهش، مدل برآورد رسوب CULSED به‌عنوان یک ضمیمهٔ نرم‌افزار ArcGIS به‌کار رفت. فرمول‌ها و روابط به‌کارگرفته‌شده در مدل بر اساس روابط تجربی بین عامل‌های مؤثر در فرسایش جاده از قبیل ترافیک جاده، نوع روسازی جاده، شیب جاده، عمر جاده، نوع سنگ مادری، و تراکم پوشش جنگلی در ترانشهٔ خاک‌برداری و خاک‌ریزی است. لایه‌های اصلی مکانی مورد نیاز شامل آبراهه‌ها، شبکهٔ جاده، آبروها (زهکش‌های عرضی)، و DEM[3] منطقه است. در این مدل، از ArcGIS برای پردازش داده‌های مورد نیاز از قبیل لایهٔ توپوگرافی، شبکهٔ آبراهه‌ها، و جاده استفاده شد. ابتدا برای لایهٔ جاده، جدول توصیفی با عرض بستر ۶ متر، پوشش گیاهی ۸۰ درصد، و سن ۲۴ سال تنظیم شد؛ سپس لایهٔ DEM با اندازهٔ تفکیک مکانی ۲۰ متر از نقشهٔ توپوگرافی سال ۱۳۸۳ سازمان نقشه‌برداری ایجاد شد. با روش بصری خطاهای احتمالی موجود بررسی و تصحیح شدند. سپس در بازدیدهای میدانی میزان درصد پوشش گیاهی حاشیهٔ جاده‌ها به‌صورت بصری برآورد و با استفاده از GPS [۱۴، ۱۵]، نقشهٔ آبروهای منطقه تهیه شد. اطلاعات دیگر از قبیل نوع سنگ مادر و میزان بارندگی از دفترچهٔ طرح بخش نم‌خانه استخراج شد و مدل با فراهم‌بودن کلیهٔ اطلاعات مورد نیاز، اجرا شد. در ابتدا مقدار رسوب حاصل از شبکهٔ جاده به‌صورت تن در سال، با توجه به آبروهای موجود در منطقه، محاسبه و پراکنش و مقدار آن‌ها با توجه به موقعیت مکانی

1. Forest Road Erosion Calculation Tool
2. Culvert Locator for Sediment Production
3. Digital Elevation Model

Archive of SID

www.SID.ir

مشخص شد. سپس منوی اضافه‌کردن آبرو[1] از مدل فعال شد و با حرکت موس[2] (موش‌واره) در روی شبکهٔ جاده به اضافه‌کردن آبروها در قسمت‌هایی از شبکهٔ جادهٔ موجود، که دارای بیشترین میزان رسوب بودند، اقدام شد. با جابه‌جایی آبروهای اضافه‌شده در روی جاده بهترین و مناسب‌ترین محل، به‌طوری‌که برآورد میزان رسوب به کمک مدل کمینه شود، انتخاب شد و در نهایت، گزینه‌ای که کمترین میزان رسوب را دارا بود به‌عنوان بهترین تعداد و موقعیت آبروها در منطقه انتخاب شد (مدل به‌صورت تعاملی[3] بوده و با تغییر مکان آبرو، دائماً میزان رسوب برآوردی تغییر می‌کند تا کاربر بتواند بهترین مکان را مشخص کند). از آنجا که این روند نوعی روند آزمون و خطاست، لازم است برای رسیدن به مقدار کمینهٔ رسوب مکان‌های گوناگون بررسی شوند.

نتایج

طول جاده‌های موجود در بخش نم‌خانه ۱۵/۶کیلومتر و تعداد آبروهای کارگذاشته‌شده در این جاده‌ها ۳۸ عدد است. وضعیت و موقعیت مکانی آبروهای موجود شبکهٔ جادهٔ بخش نم‌خانه با توجه به مقدار رسوب انتقالی هر آبرو در شکل ۱ دیده می‌شود. شایان ذکر است که بزرگ‌تربودن دوایر نشان‌دهندهٔ حجم بالاتر رسوب انتقالی در آبروهای مورد نظر می‌باشد.

نتایج مربوط به وضعیت تولید رسوب با درنظرگرفتن آبروهای موجود و آبروهای پیشنهادی اضافه‌شده در شکل ۲ آمده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که مقدار رسوب انتقالی بعضی آبروها کاهش چشمگیری داشته است. در واقع، بیشتر آبروهای پیشنهادی به‌منظور تعدیل و کاهش رسوب در آبروهای با حجم بالای رسوب تعیین شدند.

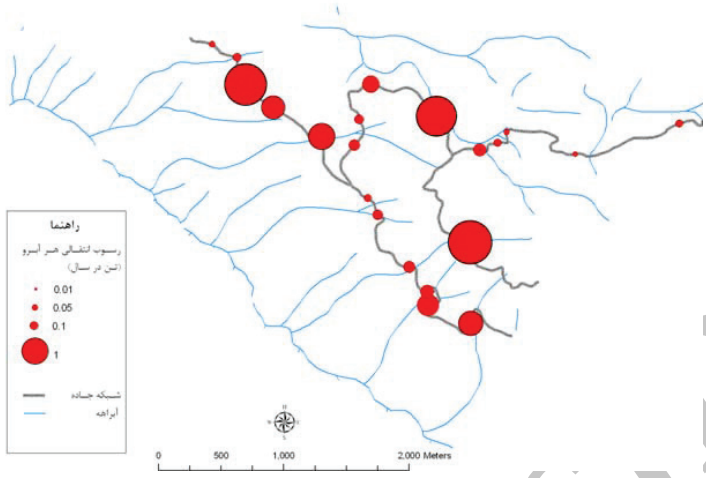
حداکثر و حداقل فاصلهٔ آبروهای موجود در منطقه به‌ترتیب ۶۸۴ و ۶۰ متر است. با اضافه‌کردن آبروهای جدید به کمک مدل CULSED حداکثر و حداقل فاصلهٔ آبروها از هم به ۵۴۰ و ۳۰ متر کاهش یافت. موقعیت مکانی آبروهای پیشنهادی اضافه‌شده در شکل ۳ آمده است.

نتایج نشان داد که مقدار رسوب ایجادشده با درنظرگرفتن آبروهای موجود در منطقه براساس برآورد مدل ۱۳/۲ تن در سال است. پس از پیشنهاد و طراحی ۱۶ آبروی جدید در شبکهٔ جاده در موقعیت‌های بهینه (از نظر کاهش تولید رسوب) طبق برآورد مدل، مقدار رسوب تولیدی با کاهش ۳۶ درصدی به ۸/۵ تن در سال خواهد رسید.

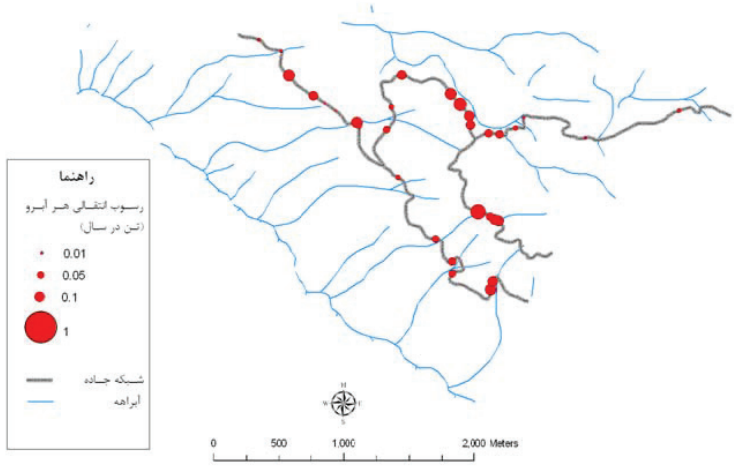
در این پژوهش، متوسط رسوب سالانه از شبکهٔ جاده در یک بخش جنگل بر حسب تن در سال بر اساس مدل CULSED برآورد شد. محاسبه با این نرم‌افزار نسبتاً ساده و انعطاف‌پذیر است؛ در ضمن، این مدل قادر به شناسایی قسمت‌های مختلف جاده با پتانسیل‌های متفاوت رسوب‌گذاری است. امکان استفاده از ArcGIS، به‌عنوان نرم‌افزاری قوی در زمینهٔ GIS برای مدیریت، تولید و پردازش اطلاعات مکانی از قبیل DEM، آبراهه، جاده، و آبرو از نقاط قوت مدل است [۱۳]. همچنین به‌سبب امکان استفاده از GPS در تولید داده‌های مکانی می‌توان لایه‌های مورد نیاز را تهیه و در پردازش‌ها استفاده کرد [۱۶]. این امر به برنامه‌ریزی و مدیریت سریع و مؤثر کاهش رسوب جاده‌های جنگلی کمک می‌کند و موفقیت در کاهش میزان رسوب از طریق آبروهای پیشنهادی را به دنبال خواهد داشت. نتایج بیانگر آن است که بالاترین میزان رسوب در قسمت تقاطع آبراهه‌ها با جاده است که با نتایج دیگر پژوهشگران همخوانی دارد [۱۳]. به‌همین‌علت پیشنهاد شده که بهترین موقعیت برای آبروهای پیشنهادی بر روی شبکهٔ جاده، قبل از رسیدن به آبرو (بالادست)، تقاطع جاده و آبراهه باشد [۱۳] که این نکته در پیشنهاد آبروهای جدید مد نظر قرار گرفت. در مطالعه‌ای اثر

1. Add Culvert
2. Mouse
3. Interactive

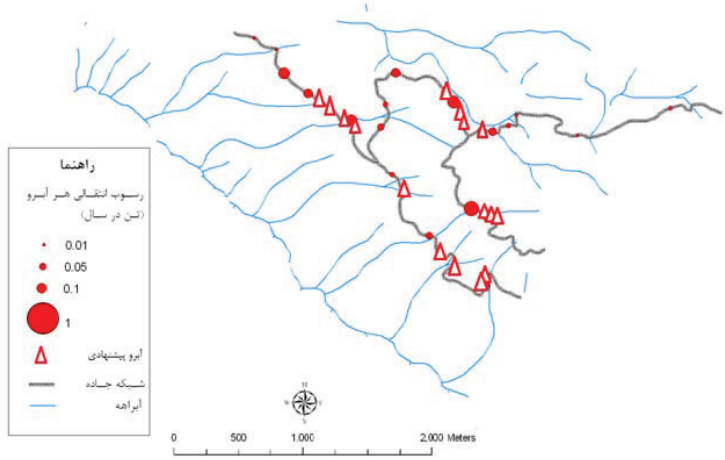
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱. آبروهای موجود و مقدار رسوب تولیدی در بخش نم‌خانه



شکل ۲. کاهش رسوب انتقالی هر آبرو بر اثر اضافه‌شدن آبروهای جدید به شبکهٔ جادهٔ جنگلی



شکل ۳. موقعیت آبروهای پیشنهادی بر روی شبکهٔ جاده

www.SID.ir

شیب جاده بر میزان رسوب تولیدی از هر واحد طولی جاده معنی‌دار گزارش شده [۱۷] که در این پژوهش نیز بیشتر آبروهای اضافه‌شده در قسمت‌های پرشیب‌تر جاده قرار گرفتند. در مطالعه‌ای متوسط رسوب سالانهٔ جاده برای دو سناریوی مختلف محاسبه شد و نتایج نشان داد که میزان رسوب حاصل از بخشی از جاده با شیب بیش از ۸ درصد، بیشتر از میزان رسوب بخشی از جاده بود که دارای شیب کمتر از ۸ درصد است [۱۸] که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

نتایج استفاده از مدل نشان داد که مدل چارچوب مناسب و ساده‌ای برای تحلیل و بهینه‌سازی زهکش‌های عرضی و در نتیجه کاهش مقدار رسوب جاده‌های جنگلی فراهم می‌کند، اما به‌هرحال محدودیت‌هایی در مدل محاسبهٔ رسوب وجود دارد. چنانچه اطلاعات مربوط به توپوگرافی، بارندگی، و نوع روسازی و سنگ مادر صحیح نباشد، میزان رسوب برآوردشده دارای خطا خواهد بود. به‌علاوه، این مدل در مقایسه با دیگر مدل‌ها اطلاعات بیشتری نیاز دارد و این موضوع یکی از عوامل محدودیت‌ساز مدل و در عین حال نقطهٔ مثبت آن هم تلقی می‌شود. چون وقتی عامل‌های مختلف در محاسبات در نظر گرفته می‌شود، دقت و اعتماد به نتایج مدل نیز افزایش می‌یابد. خروجی مدل، متوسط رسوب تولیدشده در سال است که به کارشناسان و مدیران این امکان را می‌دهد که نه‌تنها قبل از ساخت جاده سیستم زهکشی عرضی را بهینه کنند، بلکه بخش‌های حساس به فرسایش در هر بخش از جادهٔ موجود را نیز شناسایی و تمهیداتی برای کاهش رسوب در آن مکان‌ها در نظر بگیرند و همچنین مقدار رسوب کاهش‌یافته بر اثر سناریوهای مختلف مدیریتی را تعیین کنند. از طرفی، به‌علت محدودیت منابع مالی واحدهای جنگل‌داری، می‌توان با استفاده از این مدل اصلاح پروژهٔ جاده‌های موجود را بر اساس میزان فرسایش و انتقال رسوب اولویت‌بندی کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مدل CULSED به کمک GIS کارایی چشمگیری در رابطه با تعیین موقعیت مکانی لوله‌گذاری‌ها و بهینه‌کردن زهکش‌های عرضی در جاده‌های جنگلی دارد. با توجه به نامعلوم‌بودن صحت داده‌های مکانی موجود، مخصوصاً نقشه‌های توپوگرافی که مبنای اصلی محاسبات‌اند و همچنین با توجه به اینکه این مدل‌ها تاکنون در موقعیت ایران به مقدار کافی آزمون نشده‌اند، نتایج حاصل باید بعد از بررسی‌های مکانی با احتیاط به‌کار گرفته شوند. بدیهی است با اعتماد به داده‌ها و درصورتی‌که این مدل در موقعیت ایران به تعداد کافی آزمون و با شرایط تطبیق داده شود، نتایج به‌صورت مستقیم قابل استفاده خواهند بود.

سپاس‌گزاری

نگارندگان مراتب قدردانی و سپاس خود را از داوران ارجمند، که با ارائهٔ پیشنهادهای ارزندهٔ خود موجب بهبود این پژوهش شدند، اعلام می‌دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1]. Megahan, W.F. (1972). Logging, erosion, sedimentation - are they dirty words? Journal of Forestry, 70:403-407.

[2]. King, J., and Gonsior, M. (1980). Effects of forest roads on stream sediment. In Symposium on Watershed Management. Boise, Idaho: ASCE, Southern Idaho Section. 9 pp.

[3]. Croke, J., Wallbrink, P., Fogarty, P., Hairsine, P., Mockler, S., McCormack, B. and Brophy, J. (1999). Managing Sediment Sources and Movement in Forests: the Forest Industry and Water Quality. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Industry Report 99/11.

[4]. United States Department of Agriculture. (2000). Forest Roads: A synthesis of scientific information. 117 pp.

[5]. Riedel, M.S., and Vose, J.M. (2003). Collaborative research and watershed management for optimization of forest road best management practices. In: CL Irwin, P Garrett, and KP McDermott (eds.) Proceedings of the international conference on ecology and transportation. Raleigh, NC: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, pp. 148-158.

[6]. Khatibi, N. (2004). Ancient forests in the north ahead farewell. Enteshar stock co, Tehran, Iran, 150 pp.

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

[8]. Washington Forest Practices Board (1997). Washington Forest Practices Board Manual: standard methodology for conducting watershed analysis, Version 4.0.

[9]. Elliot, W.J., Hall, D.E. and Scheele, D.L. (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.

[10]. Elliot, W.J., Hall, D.E., and Scheele, D.L. (1999). WEPP Interface for predicting Forest Road Runoff, Erosion and Sediment delivery. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, San Dimas Technology and Development Center.

[11]. Wu, J., and Elliot, J.W. (2002). Adapting WEPP (Water Erosion Prediction Project) for Forest Watershed Erosion Modeling. 12th ISCO Conference, Beijing, pp. 349-355.

[12]. Cochrane, T.A., Egli, M., Phillips, C., and Acharya, G. (2007). Development of a forest road erosion calculation GIS tool for forest road planning and design. Christchurch, New Zealand: Modsim 2007. International Congress on Modeling and Simulation: Land. Water, & Environmental Management: Integrating Systems for Sustainability. 1273-1279.

[13]. Damian, F. (2003). Cross-drain placement to reduce sediment Delivery from roads to streams. MS Thesis, University of Washington, Seattle, WA. 207 pp.

[14]. Bruner, J. (2006). GPS Culvert Inventory. GIST Symposium. Columbus Ohio, 6 pp.

[15]. Bisio, R. (2008). Caltrans culvert maintenance program mitigates expensive failures and

Archive of SID

www.SID.ir

repairs. California culvert inspection program. http://www.cenews.com/magazine-article-cenews.com-april-2008mapping_asset_conditions-5730.html (17/05/2011).
[16]. Verd, K. (2009). Chehalis Resurvey Culvert Assessment. Final report. Lewis County Conservation District. 70 pp.
[17]. Luce, C.H., and Black, T.A. (1999). Sediment production from forest roads in western Oregon. Water Resources Research, 35 (8): 2561-2570.
[18]. Akay, A.E., and Sessions, J. (2005). Roading and transport operation chapter. In: Burkey J, Evans J, Youngquist JA, editors. Encyclopedia of forest sciences. Oxford, UK: Elsevier. 240 pp.

Archive of SID

www.SID.ir