

بینه‌سازی زهکش‌های عرضی شبکه جاده جنگلی با استفاده از

مدل CULSED

(مطالعه موردی: بخش نم‌خانه، جنگل خیرود)

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

چکیده

جاده‌های جنگلی مهم‌ترین عامل تولید رسوب در اکوسیستم‌های جنگلی‌اند. به سبب اهمیت این موضوع، تاکنون مدل‌های زیادی بر اساس روابط تجربی به منظور برآورد رسوب تهیه شده است. در این مطالعه، میزان رسوب سالانه حاصل از شبکه جاده جنگلی بخش نم‌خانه به صورت تن در سال و با استفاده از مدل CULSED در نرم‌افزار ArcGIS برآورد شد. لایه‌های مکانی پایه شامل 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 شبکه 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 ۱۶ آبروی پیشنهادی در قسمت‌های دارای رسوب بالا، مقدار رسوب به ۸/۵ تن در سال، یعنی حدود ۳۶ درصد، کاهش یافت. بنابراین، با توجه به اهمیت کاهش رسوب حاصل از جاده‌ها در جنگل، مهندسان برای یافتن تعداد و مکان بهینه 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، شبکه جاده جنگلی، CULSED.

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 شبکه مناسبی از جاده‌های دسترسی به جنگل ممکن است. در تمام مراحل تهیه پروژه و ساخت جاده‌های جنگلی سعی بر این است که شبکه 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 به‌وسیله 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 جامعه گیاهی، جانوری، و بافت خاک است که به‌طور چشمگیر باعث افزایش میزان رسوب‌گذاری می‌شود [۴]. این رسوبات وارد رودخانه‌ها می‌شود و موجب برخی نتایج سوء بر کیفیت آب (افزایش دمای آب و کاهش اکسیژن)، سیل‌شدن بستر رودخانه، و در نهایت کاهش تخم‌گذاری و زنده‌مانی ماهی‌ها می‌شود [۵]. میزان فرسایش حاصل از جاده‌ها در مقایسه با مناطق بدون جاده، حدود ۳۰-۳۰۰ برابر گزارش شده است [۴]. در نتیجه، فهم فرایند فرسایش برای برآورد رسوب انتقالی از جاده‌ها به رودخانه‌ها، به‌ویژه در شمال کشور، با وجود شش‌هزار کیلومتر جاده جنگلی مهم است [۶]. بنابراین، در مدیریت شبکه جاده‌های جنگلی علاوه بر

هزینه‌های کلی جاده، باید به آثار محیط زیستی ساخت و استفاده از جاده 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 بهینه منابع جنگلی نیاز است. در دهه گذشته، با پیشرفت فناوری و نیز توسعه 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 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 در نظر گرفته‌شده در این مدل شامل روسازی جاده، آبروها، شیب ترانشه خاک‌برداری و خاک‌ریزی، شیب جاده، و ترافیک است. X-DRAIN 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

مازندران قرار گرفته است. این منطقه در تقسیم بندی طرح جنگل داری به هشت بخش تفکیک شده که یکی از آن ها بخش نم خانه است که منطقه مورد پژوهش است. مقدار بارش در این بخش بین ۱۳۰۰-۱۶۰۰ میلی متر است. از نظر زمین شناسی بخش نم خانه از سنگ های آهکی متعلق به دوران دوم زمین شناسی و عموماً از لایه های سخت شکاف دار تشکیل شده است.

روش انجام پژوهش

در این پژوهش، مدل برآورد رسوب CULSED به عنوان یک ضمیمه نرم افزار ArcGIS به کار رفت. فرمول ها و روابط به کار گرفته شده در مدل بر اساس روابط تجربی بین عامل های مؤثر در فرسایش جاده از قبیل ترافیک جاده، نوع روسازی جاده، شیب جاده، عمر جاده، نوع سنگ مادری، و تراکم پوشش جنگلی در ترانشه خاک برداری و خاک ریزی است. لایه های اصلی مکانی مورد نیاز شامل آبراهه ها، شبکه جاده، آبروها (زهکش های عرضی)، و DEM^۳ منطقه است. در این مدل، از ArcGIS برای پردازش داده های مورد نیاز از قبیل لایه توپوگرافی، شبکه آبراهه ها، و جاده استفاده شد. ابتدا برای لایه جاده، جدول توصیفی با عرض بستر ۶ متر، پوشش گیاهی ۸۰ درصد، و سن ۲۴ سال تنظیم شد؛ سپس لایه DEM با اندازه تفکیک مکانی ۲۰ متر از نقشه توپوگرافی سال ۱۳۸۳ سازمان نقشه برداری ایجاد شد. با روش بصری خطاهای احتمالی موجود بررسی و تصحیح شدند. سپس در باز دیدهای میدانی میزان درصد پوشش گیاهی حاشیه جاده ها به صورت بصری برآورد و با استفاده از GPS [۱۴، ۱۵]، نقشه آبروهای منطقه تهیه شد. اطلاعات دیگر از قبیل نوع سنگ مادر و میزان بارندگی از دفترچه طرح بخش نم خانه استخراج شد و مدل با فراهم بودن کلیه اطلاعات مورد نیاز، اجرا شد. در ابتدا مقدار رسوب حاصل از شبکه جاده به صورت تن در سال، با توجه به آبروهای موجود در منطقه، محاسبه و پراکنش و مقدار آن ها با توجه به موقعیت مکانی

نهایت الگوریتم شبیه سازی مقدار نفوذ عمقی آب در خاک و همچنین الگوریتم جریان زیر سطحی اصلاح شد. نتایج نشان داد که مدل اصلاح یافته در مقایسه با مدل قبلی مقدار فرسایش و رسوب از جاده های جنگلی را دقیق تر برآورد می کند. در پژوهشی دیگر مدلی به نام FORECALT^۱ با استفاده از مدل WEPP توسعه یافت [۱۲]. نتایج این مدل در Coromandel Peninsula نیوزیلند نشان داد که با اصلاح شبکه جاده، تأثیر منفی محیط زیستی بر شبکه رودخانه کاهش خواهد یافت. مدل CULSED^۲ به عنوان ضمیمه ای در نرم افزار ArcGIS برای تعیین محل و فاصله بهینه آبروها توسعه یافته است [۱۳]. این مدل به کاربر توانایی بررسی مسیر جاده از طریق جابه جاکردن یا اضافه کردن آبرو و در نهایت ارزیابی دینامیکی از کل رسوب تولیدی و آنالیز شبکه جاده را در محیط GIS می دهد. با اضافه کردن آبرو و حرکت دادن آن ها بر مسیر جاده می توان بهترین مکان (حداقل کردن رسوب) برای نصب آن ها را تعیین کرد. بنابراین، مزیت این مدل در مقایسه با مدل های قبلی در این است که علاوه بر برآورد رسوب، کلاسه بندی آن، و نمایش موقعیت مکانی، به کاربر امکان کاهش و حداقل کردن میزان رسوب را با تغییر تعداد و محل آبروها می دهد.

با توجه به نکات ذکر شده، هدف از این پژوهش برآورد میزان رسوب تولیدی با در نظر گرفتن سیستم زهکشی موجود و حداقل کردن رسوب تولیدی از طریق بهینه کردن سیستم زهکشی عرضی با استفاده از مدل CULSED است.

مواد و روش ها

منطقه بررسی شده

منطقه بررسی شده در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در حوزه آبخیز ۴۵ جنگل های شمال واقع است. این جنگل در ۱۰ کیلومتری شرق شهرستان نوشهر در استان

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

جدید به کمک مدل CULSED حداکثر و حداقل فاصله 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 در نظر گرفتن آبروهای موجود در منطقه براساس برآورد مدل ۱۳/۲ تن در سال است. پس از پیشنهاد و طراحی ۱۶ آبروی جدید در شبکه 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 شبکه 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 زمینه GIS برای مدیریت، تولید و پردازش اطلاعات مکانی از قبیل DEM، آبراهه، جاده، و آبرو از نقاط قوت مدل است [۱۳]. همچنین به سبب 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]. به همین علت پیشنهاد شده که بهترین موقعیت برای آبروهای پیشنهادی بر روی شبکه 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

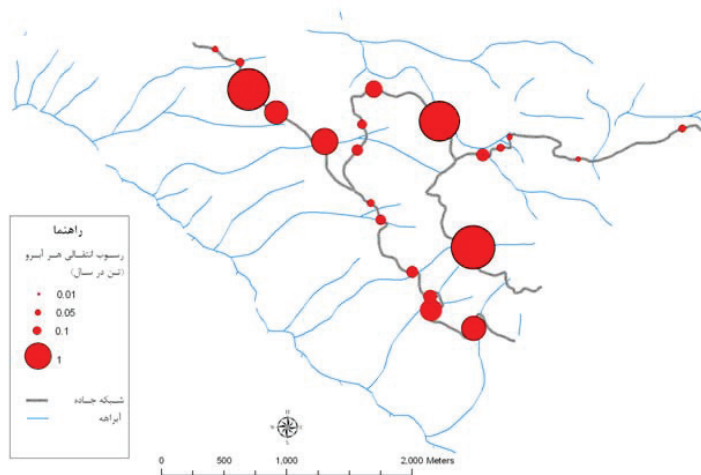
مشخص شد. سپس منوی اضافه‌کردن آبرو^۱ از مدل فعال شد و با حرکت موس^۲ (موش‌واره) در روی شبکه جاده به اضافه‌کردن آبروها در قسمت‌هایی از شبکه جاده موجود، که دارای بیشترین میزان رسوب بودند، اقدام شد. با جابه‌جایی آبروهای اضافه‌شده در روی جاده بهترین و مناسب‌ترین محل، به‌طوری‌که برآورد میزان رسوب به کمک مدل 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^۳ 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 کمینه رسوب مکان‌های گوناگون بررسی شوند.

نتایج

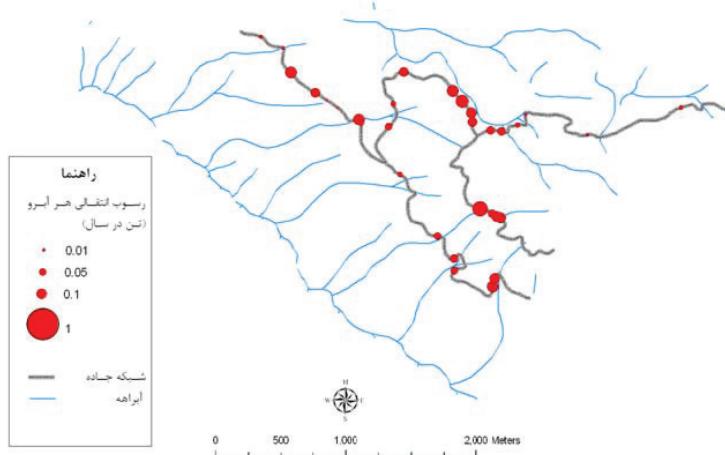
طول جاده‌های موجود در بخش نم‌خانه ۱۵/۶ کیلومتر و تعداد آبروهای کارگذاشته‌شده در این جاده‌ها ۳۸ عدد است. وضعیت و موقعیت مکانی آبروهای موجود شبکه جاده بخش نم‌خانه با توجه به مقدار رسوب انتقالی هر آبرو در شکل ۱ دیده می‌شود. شایان ذکر است که بزرگ‌تر بودن دواير نشان‌دهنده حجم بالاتر رسوب انتقالی در آبروهای مورد نظر می‌باشد.

نتایج مربوط به وضعیت تولید رسوب با در نظر گرفتن 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.

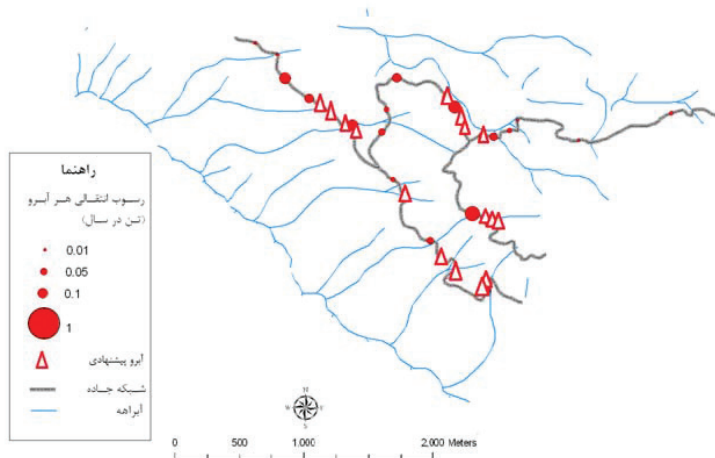
حداکثر و حداقل فاصله آبروهای موجود در منطقه به ترتیب ۶۸۴ و ۶۰ متر است. با اضافه‌کردن آبروهای



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



شکل ۲. کاهش رسوب انتقالی هر آبرو بر اثر اضافه شدن آبروهای جدید به شبکه جاده جنگلی



شکل ۳. موقعیت آبروهای پیشنهادی بر روی شبکه جاده

و تمهیداتی برای کاهش رسوب در آن مکان‌ها در نظر بگیرند و همچنین مقدار رسوب کاهش یافته بر اثر سناریوهای مختلف مدیریتی را تعیین کنند. از طرفی، به علت محدودیت منابع مالی واحدهای جنگل‌داری، می‌توان با استفاده از این مدل اصلاح پروژه 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 نامعلوم بودن 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 به کار گرفته شوند. بدیهی است با اعتماد به داده‌ها و در صورتی که این مدل در موقعیت ایران به تعداد کافی آزمون و با شرایط تطبیق داده شود، نتایج به صورت مستقیم قابل استفاده خواهند بود.

سپاس‌گزاری

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

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 سالانه 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 به هر حال محدودیت‌هایی در مدل محاسبه رسوب وجود دارد. چنانچه اطلاعات مربوط به توپوگرافی، بارندگی، و نوع روسازی و سنگ مادر صحیح نباشد، میزان رسوب برآوردشده دارای خطا خواهد بود. به علاوه، این مدل در مقایسه با دیگر مدل‌ها اطلاعات بیشتری نیاز دارد و این موضوع یکی از عوامل محدودیت‌ساز مدل و در عین حال نقطه مثبت آن هم تلقی می‌شود. چون وقتی عوامل‌های 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 نه تنها قبل از ساخت جاده سیستم زهکشی عرضی را بهینه کنند، بلکه بخش‌های حساس به فرسایش در هر بخش از جاده موجود را نیز شناسایی

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*

- 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). Roding and transport operation chapter. In: Burkey J, Evans J, Youngquist JA, editors. *Encyclopedia of forest sciences*. Oxford, UK: Elsevier. 240 pp.