

## تأثیر شیب بستر جاده‌های جنگلی بر مقدار رواناب و رسوب تولیدی

### (مطالعه موردی: جنگل کوهمیان-آزادشهر)

- ❖ **مصطفی مقدمی‌راد\***: کارشناس ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **احسان عبدی**: استادیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **محسن محسنی ساروی**: استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **حامد روحانی**: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد، ایران
- ❖ **باریس مجنونیان**: استاد گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

#### چکیده

جاده‌های جنگلی دسترسی به منابع جنگلی را آسان می‌کنند و بدون وجود آن‌ها نمی‌توان به‌خوبی عملیات بهره‌برداری، حمل‌ونقل، حفاظت، و اکوتوریسم را مدیریت کرد. جاده‌های جنگلی از مهم‌ترین منابع اصلی تولید رسوب در این مناطق به‌شمار می‌روند. امروزه، فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت این جاده‌هاست و به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. بنابراین، ساخت نامناسب جاده باعث آلودگی رودخانه‌های جنگلی و تهدید حیات آبیان می‌شود. از مهم‌ترین استانداردهای ساخت جاده شیب طولی جاده جنگلی است. تعیین ارتباط شیب جاده و مقدار رسوب تولیدی کمک مؤثری به مدیریت شبکه جاده برای احداث جاده‌های جدید جنگلی مطابق با شیب مناسب می‌کند. این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر شیب بستر جاده بر مقدار رواناب و رسوب تولیدی با استفاده از باران‌ساز در سطح پلات یک متر مربعی در قالب طرح کامل تصادفی در ۳ طبقه شیب ۶۳ درصد، ۹-۶ درصد، و ۱۲-۹ درصد و ۳ تکرار انجام گرفت. سپس در هریک از طبقات شیب مقدار رواناب و رسوب طی انجام شبیه‌سازی باران با شدت ثابت ۸۱ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. این سه بخش طوری انتخاب شد که پارامترهای دیگر از قبیل سطح رویه جاده، مقدار رفت‌وآمد، و بارندگی ثابت باشد و فقط به تأثیر شیب بر مقدار رواناب و رسوب تولیدی پرداخته شود. نتایج نشان داد متوسط رواناب ایجادشده در بخش ۱ (شیب ۶۳ درصد)، بخش ۲ (شیب ۹-۶ درصد)، و بخش ۳ (شیب ۱۲-۹ درصد) به ترتیب ۲۱/۰، ۳۵/۶۰، و ۵۱/۱۰ لیتر به‌ازای هر متر مربع و غلظت رسوب تولیدی ۳/۵۴، ۸/۱۱ و ۱۲/۱۱ گرم بر لیتر برآورد شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری در بین مقدار رواناب و رسوب طبقات شیب مختلف جاده وجود دارد و نتایج آزمون توکی نیز نشان داد که با افزایش شیب، مقدار رواناب و رسوب به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. نتایج این بررسی تأییدکننده این است که رعایت شیب مجاز جاده‌های جنگلی عامل مهمی در کاهش تأثیر منفی این زیرساخت‌هاست.

واژگان کلیدی: باران‌ساز، جاده‌های جنگلی، جنگل کوهمیان، رسوب، رواناب، شیب بستر.

## مقدمه

جاده‌های جنگلی باعث دسترسی آسان به مناطق جنگلی به منظور مدیریت بهره‌برداری، جنگل‌شناسی، جنگل‌داری، حفاظت از جنگل، و توریسم می‌شوند [۱]. از طرفی، عملیات جاده‌سازی در جنگل، با اختصاص حجم بالایی از سرمایه به خود، از مهم‌ترین فاکتورهای هزینه در مدیریت جنگل به‌شمار می‌رود [۲]. جاده‌ها، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی، به دلیل هزینه‌های سنگین مربوط به طراحی، احداث، نگهداری، و نیز آثار منفی بر محیط زیست و حیات وحش [۳-۶]، اهمیت زیادی دارند. از طرف دیگر، جاده‌سازی بزرگ‌ترین مداخله و دست‌اندازی در طبیعت زنده و پویای جنگل محسوب و با تغییر شکل طبیعی دامنه‌ها، قطع جریان‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش پوشش گیاهی، و ایجاد فشردگی خاک در سطح جاده، باعث تشدید فرسایش و تولید رسوب در حوزه‌های جنگلی می‌شود [۷]. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که جاده‌های جنگلی در حدود ۹۰ درصد از رسوب مناطق جنگلی را به خود اختصاص می‌دهند [۸-۱۰]. عوامل مختلفی در میزان رسوب تولیدی جاده‌های جنگلی نقش دارند که شیب بستر جاده یکی از مهم‌ترین عوامل است [۶، ۱۱، ۱۲]. به‌منظور برآورد مقدار رسوب و رواناب جاده‌های جنگلی، روش‌های متفاوتی، از جمله استفاده از مدل‌های تخمین رسوب [۶]، استفاده از توری‌های رسوب‌گیر<sup>۱</sup> [۱۳]، نمونه‌گیری از آبروها [۱۲]، و استفاده از باران‌ساز<sup>۲</sup> [۱۴-۱۷]، به‌کار رفته است. از آنجا که اندازه‌گیری مقدار فرسایش خاک تحت شرایط بارش طبیعی هزینه‌بر و زمان‌بر بوده [۱۶] و از طرفی از نظر زمانی کنترل‌ناپذیر است، باران‌ساز روش

مؤثری به‌منظور برآورد مقدار فرسایش خاک و رواناب در محدوده وسیعی از کاربری‌ها، از جمله کشاورزی [۱۸-۲۰]، مرتع [۲۱، ۲۲]، جنگل‌داری [۲۳]، و جاده‌های جنگلی [۲۴، ۲۵] است. استفاده از شبیه‌ساز باران کم‌هزینه است و قابلیت جمع‌آوری سریع مقدار زیادی اطلاعات را از قسمت‌های منطقه مورد بررسی دارد [۱۶]. در پژوهشی که با استفاده از شبیه‌ساز باران، رسوب و رواناب در بخش‌های مختلف جاده‌های جنگلی بررسی شد، مشخص شد که شیب بستر مهم‌ترین عامل تولید رسوب و رواناب در بستر جاده‌هاست [۱۵]. نتایج پژوهشی دیگر نیز در این زمینه نشان داد که بیشترین مقدار رسوب و رواناب پس از ترانشه‌های خاک‌برداری، مربوط به بستر جاده است [۲۶]. در این مطالعه، عوامل شیب و مقدار پوشش گیاهی نقش مهمی در مقدار رسوب و رواناب بخش‌های مختلف جاده دارند. پژوهشی نیز به‌منظور تعیین مقدار رسوب و رواناب در دو جاده جنگلی پرتراپیک و کم‌ترافیک در شمال امریکا، با استفاده از باران‌ساز، انجام شد [۱۷]. نتایج بیانگر آن است که مقدار رواناب و رسوب در جاده‌های جنگلی با تراپیک بالا به دلیل پوشش گیاهی کم و تغییر خواص فیزیکی خاک بیشتر است. در تحقیقی که با استفاده از باران‌ساز به‌منظور تعیین مقدار رواناب و رسوب در بخش‌های مختلف جاده‌های جنگلی در جنوب غربی اسپانیا انجام شد مشخص شد که بستر جاده بعد از ترانشه خاک‌برداری بیشترین مقدار رسوب و رواناب را دارد [۲۷].

علاوه بر موارد ذکرشده، پژوهش‌های دیگری نیز در زمینه رسوب و رواناب جاده‌های جنگلی انجام شده [۲۸-۳۳]، ولی در این زمینه در ایران تحقیقات کمی صورت گرفته است. با اینکه برآورد بهینه از مقدار رواناب و رسوب تولیدی جاده و بررسی تأثیر

1. Silt Fence
2. Rainfall simulator, Rainulator

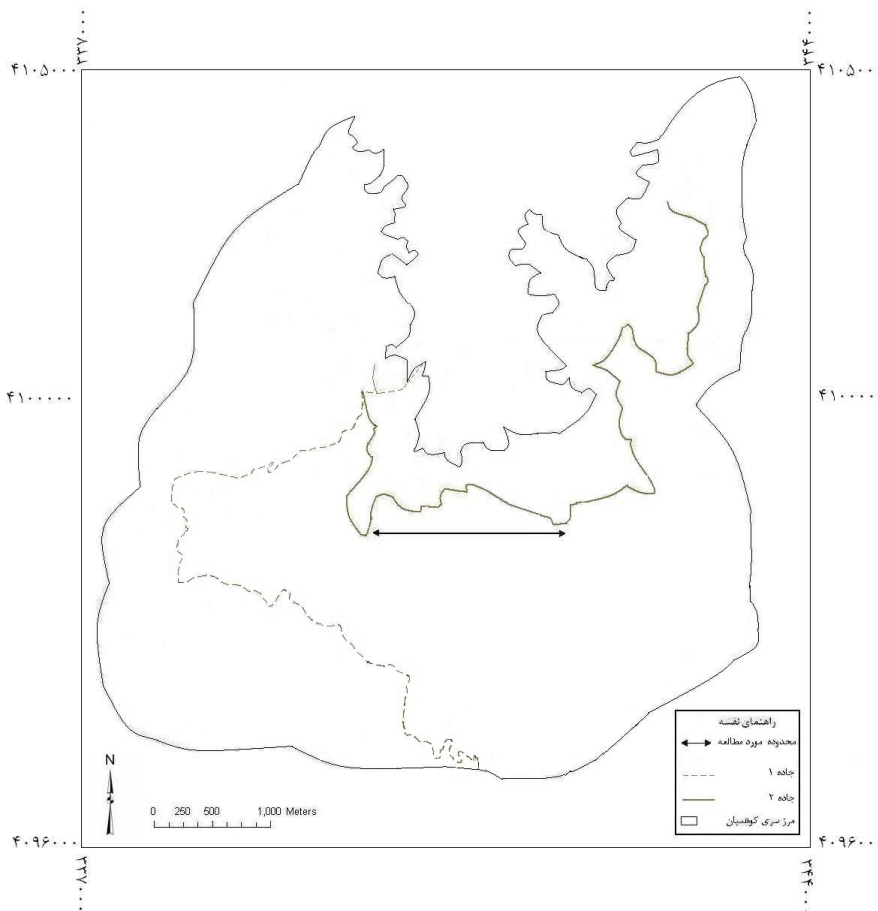
گلستان-گرگان و در سه کیلومتری شرق شهرستان آزادشهر واقع شده است. این محدوده از ارتفاع حدود صفر تا ۱۶۰۰ متری از سطح دریا گسترش دارد. در این جنگل دو شبکه جاده وجود دارد: جاده اول (جاده ۱) به طول ۱۳ کیلومتر است و زمان پایان ساخت آن به سال ۱۳۷۳ برمی‌گردد. شبکه جاده دیگر (جاده ۲) به طول ۸/۵ کیلومتر است که در سال ۱۳۸۴ ساخته شده و پژوهش حاضر در این قسمت انجام گرفته است (شکل ۱). عمده‌گونه‌های درختی غالب در منطقه انجیلی، ممرز، و بلوط است. جاده‌های جنگلی منطقه از نوع اصلی جنگلی‌اند که عرض حدود ۵/۵ متر دارند. سطح رویه جاده‌های منطقه مورد مطالعه از نوع مصالح شنی و میزان نزولات در این جنگل بین ۵۰۰-۹۰۰ میلی‌متر است [۳۴].

تغییرات شیب بستر روسازی در مقدار تولید آن‌ها در جاده‌های جنگلی شمال کشور ضروری به نظر می‌رسد، کمتر به آن توجه شده است. بنابراین، این پژوهش به دلیل اهمیت زیاد این موضوع در مدیریت جاده‌های جنگلی، به منظور بررسی و مقایسه رواناب و رسوب تولیدی جاده با استفاده از شبیه‌ساز باران و با پلات ۱ متر مربعی، صورت گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه

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



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

## روش انجام پژوهش

در این پژوهش با استفاده از باران‌ساز Deltalab Eid330، ساخت کشور فرانسه (شکل ۲)، اقدام به نمونه‌گیری رسوب و رواناب در طبقات شیب ۳-۶ درصد، ۶-۹ درصد، و ۹-۱۲ درصد به کمک پلات یک متر مربعی شد. به منظور دستیابی به ویژگی‌های بارندگی منطقه جنگلی موردنظر با استفاده از باران‌ساز، از داده‌های مربوط به ایستگاه هواشناسی نوده خاندوز، واقع در چهار کیلومتری منطقه، استفاده شد. با توجه به این داده‌ها، بیشینه شدت ۳۰ دقیقه‌ای [۱۵-۱۷] با دوره بازگشت ۲۵ سال با توجه به توزیع غالب (توزیع لوگ پیرسون تپ ۳) استخراج شد. با توجه به اینکه منطقه بررسی شده بالاترین شاخص فرسایش‌پذیری را در بین مناطق جنگلی شرق استان گلستان دارد، دوره بازگشت ۲۵ سال برای شروع حد آستانه فرسایش در منطقه، مناسب بوده است [۳۵]. شدت و مدت بارندگی برای کلیه آزمایش‌های باران‌ساز در طبقات شیب‌های مختلف ثابت و برابر ۸۱ میلی‌متر بر ساعت بود و به مدت ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. تجهیزات دستگاه باران‌ساز شامل منبع تغذیه بود که توسط باتری ۱۲ ولت با جریان ۴۰ آمپر، شارژر باتری، مخزن آب ۱۰۰ لیتری، و نازل مدل ۸۰۱۰۰ [۳۵]، وظیفه گردش آب با حرکت به طرفین چپ و راست و ریزش بارش در سطح پلات را بر عهده داشت. مزایای این مدل در این است که با تنظیم شدت باران و ویژگی‌هایی نظیر قطر قطره باران و انرژی قطرات باران نیز متناسب با آن تنظیم می‌شود. نازل باران‌ساز در ارتفاع سه متری از سطح زمین [۱۷]، که مناسب‌ترین ارتفاع برای باران‌ساز در مناطق جنگلی است [۳۶]، به کمک پایه‌های مخصوص قرار داده می‌شود و بارش همانندسازی شده از این ارتفاع بر سطح زمین ریزش

می‌کند. ارتفاع شیر برقی باران‌ساز وظیفه ثابت نگه داشتن دبی آب را در طول زمان بارش بر عهده دارد. قسمت کنترل دستگاه به دو صورت دستی و دیجیتالی عمل می‌کند و وظیفه زمان‌دهی و تنظیم درجه بارش به منظور شدت بارش همانندسازی شده را دارد. پلات مورد استفاده برای دستگاه باران‌ساز از ورق فولادی و به مساحت یک متر مربع ساخته شده تا استحکام و قابلیت کوبیدن در بستر جاده را داشته باشد. پلات تا عمق پنج سانتی‌متر در بستر جاده فرو برده شد تا بتواند تمامی رواناب ایجاد شده در داخل پلات را به خروجی پلات منتقل کند [۱۷]. با وجود این، از آنجا که بستر جاده سخت بود و فشردگی زیادی داشت، پلات به‌خوبی در داخل زمین قرار نمی‌گرفت. برای رفع این مشکل، دورتادور پلات با نایلون گرفته [۱۷] و بر روی آن، به دلیل چسبندگی با کناره پلات، از گل استفاده شد. قبل از آغاز همانندسازی، برای تعیین رطوبت خاک در جاده، از رطوبت‌سنج قابل حمل HB-2، که ساخت کشور ژاپن است، استفاده شد. مقدار رطوبت بستر جاده در همانندسازی اول برابر ۱۱ درصد بود. این مقدار رطوبت در همانندسازی‌های بعدی در روی بستر جاده مورد توجه قرار گرفت. همانندسازی بارش به صورت تصادفی در قسمت‌های مختلف جاده از جمله وسط و کناره‌ها صورت گرفت. پس از هر بار همانندسازی، نمونه‌های رواناب به‌طور مستقیم در خروجی پلات به کمک استوانه مدرج جمع‌آوری شد [۳۷]. پس از جمع‌آوری نمونه رواناب در مدت ۳۰ دقیقه، مقدار رواناب برآورد شد. سپس برای اندازه‌گیری رسوب آن، رواناب حاصل به هم زده شد تا رسوب ته‌نشین شده در ظرف به حالت معلق درآید و یک نمونه کوچک‌تر ۵۰۰ میلی‌لیتری [۱۶] از آن گرفته و به منظور اندازه‌گیری رسوب به آزمایشگاه منتقل شد. پس از عبور محلول از کاغذ صافی وات

رواناب و رسوب، از آزمون توکی به منظور مقایسه میانگین استفاده شد (جدول‌های ۳ و ۴).

همان‌طور که از نتایج پیداست، بین هر سه طبقه شیب از نظر میزان رواناب و رسوب تفاوت معنی‌داری وجود دارد و با افزایش شیب میزان رواناب و رسوب به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. در این پژوهش، با افزایش شیب بستر، رسوب و رواناب تولیدی نیز افزایش می‌یابد که با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت دارد [۳، ۶، ۳۸، ۳۹]. این نتایج نشان داد که اثر شیب جاده بر مقدار رسوب تولیدی از هر واحد طولی جاده معنی‌دار است که با نتایج دیگر پژوهشگران همخوانی دارد [۱۲]. افزایش شیب از طریق افزایش سرعت رواناب در سطح جاده، شست‌وشوی مواد سطحی جاده [۳]، خردشدن مواد سطحی جاده و تبدیل آن‌ها به ذرات ریز قابل حمل، و کاهش کیفیت سطح رویه جاده [۴۰، ۴۱]، در نهایت، موجب افزایش مقدار رسوب تولیدی جاده می‌شود. محققان در بررسی‌های خود به افزایش رسوب تولیدی جاده بر اثر افزایش شیب اشاره کرده‌اند و شیب‌های بیش از ۸ درصد را برای جاده‌های جنگلی نامناسب می‌دانند [۴۲]. بنابراین، با توجه به اینکه اکثر جاده‌های جنگلی در مناطق کوهستانی احداث می‌شوند [۱۵] و گاهی شیب تا ۱۲ درصد هم می‌رسد [۴۳] - که این بخش‌ها رسوب چشمگیری را از طریق رواناب به رودخانه‌های جنگلی وارد می‌کنند [۴۴] - مقدار تأثیر شیب بستر جاده بر رسوبات بیش از مقدار تأثیر دیگر عوامل مربوط به جاده، از قبیل سطح رویه و ترافیک، است [۶]. بنابراین، رعایت شیب مجاز در هنگام طراحی جاده‌های جنگلی از نکات مهم برای جلوگیری از فرسایش خاک به‌شمار می‌رود که این اصول و قواعد در نشریه ۱۳۱ [۴۳] آمده است.

من شماره ۴۲ و گذاشتن باقی‌مانده مواد روی کاغذ در دستگاه اون<sup>۱</sup> در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس [۱۷] به مدت ۲۴ ساعت و خشک و توزین کردن، وزن رسوب به‌دست آمد. ابتدا مقدار رسوب در هر کلاسه و سپس تغییرات آن به‌ازای تغییرات شیب بستر جاده محاسبه شد.



شکل ۲. استقرار باران‌ساز به‌همراه پلات فرسایشی در روی بستر جاده به‌منظور اندازه‌گیری مقدار رسوب و رواناب

## نتایج و بحث

در طبقات شیب ۳-۶ درصد، ۶-۹ درصد، و ۹-۱۲ درصد به‌ازای هر متر مربع سطح، میانگین مقدار غلظت رسوب به‌ترتیب ۳/۵۴، ۸/۱۱، و ۱۲/۱۱ گرم بر لیتر و متوسط مقدار رواناب به‌ترتیب ۲۱، ۳۵/۶۰، و ۵۱/۱۰ لیتر است. نتایج مربوط به تجزیه واریانس به‌منظور بررسی تفاوت بین رواناب و رسوب طبقات مختلف شیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است. با توجه به معنی‌دار شدن اثر شیب بر میزان تولید

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر شیب بر مقدار رواناب تولیدی بستر جاده

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رگرسیون	۲	۱۳۵۹/۷۲۴	۶۷۹/۸۶۲	۳۱۸۵/۶۹۲	۰/۰۰۰
باقی مانده	۶	۱/۲۸۰	۰/۲۱۳		
کل	۸	۱۳۶۱/۰۰۴			

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر شیب بر مقدار رسوب تولیدی بستر جاده

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رگرسیون	۲	۱۱۰/۳۳	۵۵/۱۶۵	۳۳۷۰/۵۶۴	۰/۰۰۰
باقی مانده	۶	۰/۰۹۸	۰/۱۶		
کل	۸	۱۱۰/۴۲۸			

جدول ۳. آزمون توکی مقدار رواناب طبقات شیب

گروه بندی توکی	میانگین $\pm$ انحراف معیار	تعداد	طبقه شیب (%)
A	۲۱/۰۰ $\pm$ ۰/۶۶	۳	۶-۳
B	۳۵/۰۶ $\pm$ ۰/۴۱	۳	۹-۶
C	۵۱/۱۰ $\pm$ ۰/۱۸	۳	۱۲-۹

جدول ۴. آزمون توکی مقدار رسوب سه طبقه شیب

گروه بندی توکی	میانگین $\pm$ انحراف معیار	تعداد	طبقه شیب (%)
A	۳/۵۴ $\pm$ ۰/۰۶	۳	۶-۳
B	۸/۱۱ $\pm$ ۰/۰۸	۳	۹-۶
C	۱۲/۱۱ $\pm$ ۰/۲۰	۳	۱۲-۹

جریان‌های آب زیرسطحی<sup>۲</sup> به بستر جاده، از بخش‌های مهم جاده در مقدار رسوب تولیدی و انتقالی جاده است [۴۵]، افزایش تراکم جاده در زمان ساخت به کمک ماشین‌آلاتی نظیر غلتک به دلیل جلوگیری از نفوذ آب به داخل روسازی و ریزش یا تخریب جاده صورت می‌گیرد [۴۶]. این کار باعث جاری شدن جریان آبی در روی سطح جاده می‌شود که به شست‌وشوی مصالح روسازی جاده و تولید و حمل رسوب منجر می‌شود [۴۷، ۴۸] و سپس رواناب ایجاد شده در جهت شیب جاده جریان می‌یابد. اگر

برآورد مقدار رسوب و رواناب هر طبقه شیب جاده کمک زیادی به مدیریت شبکه جاده در جهت کاهش مقدار این عوامل از طریق عملیات‌های احیایی می‌کند. این مسئله باید در زمان ساخت جاده‌های جنگلی مورد توجه قرار بگیرد. انتخاب شیب‌های مناسب و مجاز کمک شایانی به کاهش رسوب و رواناب تولیدی و جلوگیری از آلودگی منابع آبی حوزه‌های آبخیز جنگلی می‌کند. از آنجا که بستر جاده به علت عدم پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افزایش تراکم<sup>۱</sup> و شیب، گیرش سطحی<sup>۲</sup>، و ورود

1. Compaction
2. Interception

که باید در حین ساخت جاده‌های جنگلی به آن توجه کرد [۳]. الگوی تاجی رواناب حاصل از شبکه جاده را به دو طرف جاده زهکشی می‌کند و باعث پراکنش رواناب و کاهش سرعت آن می‌شود. الگوهای یک‌طرفه به سمت ترانشه خاک‌برداری و ترانشه خاک‌ریزی<sup>۷</sup> در مناطق پرشیب مناسب نیستند، زیرا این الگوها رواناب را در یک جهت خاص (ترانشه خاک‌برداری و خاک‌ریزی) متمرکز می‌کند و باعث افزایش آن می‌شود. بنابراین، توصیه می‌شود در جاده‌هایی با کلاسه شیب ۹-۱۲ درصد، از الگوی تاجی به‌عنوان طراحی بستر جاده استفاده شود [۳]. از طریق طراحی و ساخت مناسب جاده‌های جنگلی و تعمیر و نگهداری آن‌ها می‌توان آثار منفی و زیست‌محیطی جاده‌های جنگلی را تا حد زیادی کاهش داد. در طراحی و ساخت جاده‌های جنگلی باید به این موضوع توجه داشت تا تخریب محیط زیست جنگل بر اثر جاده‌سازی به حداقل ممکن برسد. از عواملی که در این رابطه نقش اصلی ایفا می‌کند رعایت اصول ساخت و قواعد جاده‌های جنگلی است که در نشریه‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور [۴۳] آمده است.

### نتیجه‌گیری

در این بررسی، با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در سطح یک متر مربع، تأثیر شیب بستر جاده بر مقدار رواناب و رسوب تولیدی سنجیده شد. نتایج این مطالعه نشان داد افزایش شیب باعث افزایش معنی‌دار رواناب و رسوب تولیدی جاده‌های جنگلی خواهد شد و نیز بر اهمیت رعایت اصولی و استانداردهای شیب جاده‌های جنگلی تأکید کرد. افزایش رواناب منجر به فرسایش بیشتر جاده‌های جنگلی می‌شود که این امر هزینه نگهداری جاده‌های جنگلی را بالا

الگوی جاده یک‌طرفه و به سمت ترانشه خاک‌برداری<sup>۱</sup> باشد، باعث جریان تندی بر اثر رواناب در جوی کناری و خروجی آبروها خواهد شد [۳] که نتیجه آن عمیق‌تر شدن جوی‌ها طی زمان و فرسایش خاک در مسیر خروجی آبروها خواهد بود. از عوامل مخرب دیگر رواناب خروجی از دهانه زهکش‌های عرضی<sup>۲</sup> می‌توان به از بین رفتن مواد آلی کف جنگل، حمل بذور درختان جنگلی، از بین رفتن پوشش گیاهی کف جنگل، ایجاد گالی، و انواع فرسایش اشاره کرد. از آنجا که جاده‌های منطقه مورد بررسی الگوی یک‌طرفه و به سمت ترانشه خاک‌برداری دارند، بنابراین پیشنهاد می‌شود از حوضچه‌های رسوب‌گیر<sup>۳</sup> و سنگ‌چین<sup>۴</sup> در خروجی آبروها و استقرار پوشش گیاهی در مسیرهای جوی کناری استفاده کرد که آثار منفی رسوب و رواناب را کاهش می‌دهد. همچنین یکی از راهکارهای مناسب کاهش آثار مخرب رسوب جاده قبل از رسیدن به رودخانه‌های جنگلی استفاده از توری‌های رسوب‌گیر<sup>۵</sup> است [۱۱]. از مزیت‌های این روش هزینه بسیار کم و نصب سریع و آسان آن در مقایسه با دیگر روش‌هاست. از آنجا که سطح رویه جاده طرح موردنظر از نوع مصالح شنی است و در بعضی نقاط این مواد سطحی فرسایش یافته و شسته شده‌اند، این مواد باید طی عملیات تعمیر و نگهداری جاده مجدداً به سطح جاده بازگردانده شود. استفاده از شن برای بستر جاده به منظور کاهش رسوب و نرسیدن آن به رودخانه عامل مؤثری است [۲۹، ۴۸]. در بخش‌های پرشیب، بهترین الگوی جاده در مناطقی که خطر رواناب حاصل از جاده زیاد می‌باشد الگوی تاجی جاده<sup>۶</sup> است

1. Insloped road
2. Culverts
3. Settling basin
4. Riprap
5. Silt fence
6. Crowned

دستیابی به یک زهکشی صحیح، طراحی و نصب آبروهای اضافی براساس اصول و ضوابط علمی ضروری است [۴۳].

### سپاسگزاری

از سرکار خانم عاطفه پهلوانزاده به سبب اندازه‌گیری مقدار رسوب در آزمایشگاه و همکاری‌شان در انجام این تحقیق سپاسگزاریم.

می‌برد. بنابراین، رعایت اصول ساخت جاده‌های جنگلی امری ضروری است. یکی دیگر از راهکارهای کاهش رسوب، که به‌طور کلی در منطقه به کار می‌رود، لوله‌گذاری و افزایش زهکش عرضی در جاده و در نقاط پرشیب جاده به‌منظور جلوگیری از افزایش سرعت رواناب در سطح جاده و شست‌وشوی بستر است. این کار باعث زهکشی به‌موقع رواناب موجود در جوی کناری و انتقال آن از طریق آبروهای موجود در منطقه خواهد شد. برای



## References

- [1]. Demir, M., and Hasdemir, M. (2005). Functional planning criterion of forest road network system according to recent forestry development. *Turkish Journal of engineering and environmental sciences*, 1 (2): 8- 22.
- [2]. Layton, D. A., LeDoux, C. B., and Hassler, C.C. (1992). Cost Estimators for Construction of Forest Roads in Central Appalachians. (Research Paper NE-665). NE Experiment Station: USFS.
- [3]. Elliot, W. J. and Tysdal, L.M. (1999). Understanding and reducing erosion from insloping roads. *Journal of Forestry*, 97(8): 30-34.
- [4]. 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.
- [5]. Elliot, W. J. (2004). WEPP Internet interfaces for forest erosion prediction. *Journal of the American Water Resources Association*, 40(2): 299-309.
- [6]. Akay, A.E., Erdas, E.M., Reis, M., and Yuksel, A. (2008). Estimating sediment yield from forest road network by using a sediment predication model and GIS techniques, *Building and Environment*, 43: 678-695.
- [7]. Tague, C., and Band, L. (2001). Simulating the impact of road construction a forest harvesting on hydrological response. *Earth Surface Process Landforms*, 26:131–151.
- [8]. Megahan, W. F. (1972). Logging, erosion, sedimentation: Are they dirty words? *Journal of Forestry*, 70(5): 403–407.
- [9]. Van Lear, D. H., Douglass, J.E., Cox, S. K., and Augspurgen, M. K. (1985). Sediment and nutrient export in runoff from burned and harvested pine watersheds in the South Carolina Piedmont. *Journal of Environmental Quality*, 14(2): 169-174.
- [10]. Appelboom, T. W., Chescheir, G. M., Skaggs, R.W., and Hesterberg, D.L. (2002). Management practices for sediment reduction from forest roads in the coastal plains. *Transactions of the ASAE (American Society of Association Executives)*, 45(2): 337–344.
- [11]. Burroughs, E.R., and King, J.G. (1989). Reduction of soil erosion on forest roads. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, Utah. General Technical Report INT, 246pp.
- [12]. Luce, C.H., and Black, T.A. (1999). Sediment production from forest roads in western Oregon. *Water Resources Research*, 35 (8):2561-2570.
- [13]. 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, 24 pp.
- [14]. Hamed, Y., Albergel, J., Pepin, Y., Asseline, J., Nasri, S., Zante, P., Betndtsson, R., El-Niazy, M., and Balah, M. (2002). Comparison between rainfall simulator erosion and observed reservoir sedimentation in an erosion-sensitive semiarid catchment. *Catena*, 50: 1-16.
- [15]. Arnaez, J., Larrea, V., and Ortigosa, L. (2004). Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. *Catena*, 57:1–14.
- [16]. 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.
- [17]. 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.
- [18]. Meyer, L.D., and Harmon, W.C. (1984). Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1152–1157.

- [19]. Elliot, W.J., Liebenow, A.M., Laflen, J.M., and Kohl, K.D. (1989). A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987 & 88. Report No. 3. USDA-ARS, National Soil Erosion Research Laboratory, W. Lafayette, IN. 316 p.
- [20]. Loch, R.J., Silburn, D.M., and Freebairn, D.M. (1989). Evaluation of the CREAMS Model. II. Use of rainulator data to derive soil erodibility parameters and prediction of field soil losses using derived parameters. *Australian Journal of Soil Research*, 27: 563–576.
- [21]. Lal, R., Ahmadi, M., and Bajracharya, R. M. (2000). Erosional impacts on soil properties and corn yield on alfisols in central Ohio. *Land Degradation and Development*, 11: 575- 585.
- [22]. Cantón, Y., Solé-Benet, A., Asensio, C., Chamizo, S., and Puigdefábregas, J. (2009). Aggregate stability in range sandy loam soils Relationships with runoff and erosion. *Catena*, 77: 192–199.
- [23]. Croke, J.C., Hairsine, P., and Fogarty, P. (1999b). Sediment transport, storage and redistribution on logged forest hillslopes. *Hydrological Processes*, 13: 2705–2720.
- [24]. Ziegler, A.D., Sutherland, R.A., and Giambelluca, T.W. (2000). Runoff generation and sediment production on unpaved roads, footpaths and agricultural land surfaces in Northern Thailand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 519– 534.
- [25]. Croke, J., Mockler, S., Hairsine, P., and Fogarty, P. (2006). Relative contributions of runoff and sediment from sources within a road prism and implications for total sediment delivery. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 457-468.
- [26]. Jordan, A., and Martinez-Zavala, L. (2008). Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management*, 255: 913–919.
- [27]. Jordan-Lopez, A., Martinez-Zavala, L., and Bellinfante, N. (2009). Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. *Science of the Total Environment*, 4 (7): 937-944.
- [28]. Swift, L.W. (1984). Soil losses from roadbeds and cut and fill slopes in the southern Appalachian Mountains. *Southern Journal of Applied Forestry*, 8 (4): 209–213.
- [29]. Kochenderfer, J. N., and Helvey, J.D. (1987). Using gravel to reduce soil losses from minimum–standard forest roads. *J. Soil and Water Conservation*, 42(1): 46–50.
- [30] Luce, C.H., and Cundy, T.W. (1994). Parameter identification for a runoff model for forest roads. *Water Resources Research*, 30 (4): 1057–1069.
- [31] Reidel, M.S., and Vose, J.M. (2002). Forest road erosion, sediment transport, and model validation in the southern Appalachians. In: Second Federal Interagency Hydrologic Modelling Conference, July 28–August 1, Las Vegas, NV, USA. pp.1 -13 .
- [32]. Clinton, B. D., and Vose, J.M. (2003). Differences in surface water quality draining four road surface types in the southern Appalachians. *Southern Journal of Applied Forestry*, 27 (2): 100–106.
- [33]. Sun, G., Riedel, M., Jackson, R., Kolka, R., Amatya, D., and Shepard, J. (2004). Influences of management on southern forests: water quantity and quality. In: Rauscher, H.M., Johnsen, K. (Eds.), USDA Forest Service, Southern Research Station, General Technical Report SRS-75, Asheville, NC, USA.
- [34]. Kouhmian's Forest Management Plan Booklet. (1995). 250pp.
- [35]. Kaviani, A., Fathollah Nejad, Y., Habibnejad, M., and Soleimani, K. (2011). Modeling Seasonal Rainfall Erosivity on a Regional scale: A case Study from Northeastern Iran. *International Journal of Environmental Research*, 5(4): 939-950.
- [36]. Bubenzer, G. D. (1979). Rainfall characteristics important for simulation. Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop, Tucson Arizona, March 7-9, U.S. Department of Agriculture Science and Education Administration Agricultural Reviews and Manuals, pp. 22-34.
- [37]. Marques, M.J., Bienes, R., Jiménez, L., and Pérez-Rodríguez, R. (2007). Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots. *Science of the Total Environment*, 378: 161-165.

- [38]. Anderson, D., and MacDonald, L. (1998). Modeling road surface sediment production using a vector geographic information system. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 95-107.
- [39]. Sidle, R.C., Sasaki, S., Otsuki, M., Noguchi, S., and Nic, A.R. (2004). Sediment pathways in a tropical Forest: Effects of logging roads and skid trails, *Hydrological Processes*, 18: 703- 720.
- [40]. Reid, L. M., and Dunne, T. (1984). Sediment production from forest road surfaces. *Water Resources Research*, 20 (11):1753-1761.
- [41]. Bilby, R. E., Sullivan, K., and Duncan, S. H. (1989). The generation and fate of roadsurface sediment in forested watersheds in southwestern Washington. *Forest Science*, 35(2):453-468.
- [42]. Akay, A.E., Boston, K., and Sessions, J. (2005). *Forest operations: roading and transport operations chapter*. In: Burley J, Youngquist Ja, editors. Encyclopedia of forest sciences, Oxford, Uk: Elsevier Limited.
- [43]. Iranian Plan and Budget Organization (IPBO). (2000). *Guidelines for design, execute and using forest roads No: 131*. (2<sup>nd</sup> ed.). Office of the Deputy for technical affairs. Bureau of Technical Affairs and Standards. 174pp.
- [44]. Beschta, R. L. (1978). Long-term patterns of sediment production following road construction and logging in the Oregon Coast Range. *Water Resources Research*, 14(6):1011-1016.
- [45]. Grace, J.M. (2002a). Effectiveness of vegetation in erosion control from forest road sideslopes. *Transactions of the ASAE (American Society of Association Executives)*, 45(3): 681-685.
- [46]. Commandeur, P.R. (1992). Soil erosion studies using rainfall simulation on forest harvested areas in British Columbia. In: Proceeding of the international symposium on Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions. IAHS publication No. 209, July 21-23 Chengdu, China, pp. 21-28.
- [47]. Adekalu, K.O., Okunade, D.A., and Osunbitan, J.A. (2006). Compaction and mulching effects on soil loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. *Geoderma*, 137: 226-230.
- [48]. Ursic, S. J., and Douglass, J.E. (1978). The effects of forestry on water resources. Proceedings of the W. Kelly Mosley environmental forum, May 10-11, Auburn University Press, pp. 33-49.