

The effect of technical characteristics of road-waterway intersection and protective measures on the amount of sediment in forest waterways (A case study of Minodasht flat design in Golestan province)

Milad Ghezselfloo¹, Aidin Parsakhoo², Sattar Ezzati^{*3}, Vahedberdi Sheikh⁴

1. M.Sc. Student of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: miladghezselfloo7068@gmail.com
2. Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: parsakhoo@gau.ac.ir
3. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sattar.ezzati@gau.ac.ir
4. Professor, Dept. of Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sheikh@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 06.29.2024
Revised: 08.06.2024
Accepted: 09.15.2024

Keywords:
Dead hedge,
Forest road,
Percentage of vegetation,
Protection of earthen slopes,
Soil-textile

ABSTRACT

Background and Objectives: The presence of a forest road intersecting a river or natural water body can trigger structural alterations, such as constriction in the watercourse's width, consequently elevating flow velocity and sediment generation. Instances where runoff surpasses the hydrological capacity of a bridge or culvert, or when the inlet pond becomes obstructed by sediments or vegetation, can lead to overflow onto the road, resulting in sediment production. This study aims to explore the impact of road surface conditions on sediment accumulation in forest waterways. It also seeks to analyze how the percentage of slope coverage near road-waterway junctions and traffic volume influence sediment levels in these water bodies. Additionally, the study investigates the effectiveness of soil protection interventions, including geotextiles and dead hedges, in mitigating sediment production at road-waterway intersections.

Materials and Methods: The study area falls within the forestry plan of watershed # 91. Initially, the forest roads were categorized into two classes based on traffic volume: high-traffic routes (with a minimum of 80 vehicles per day, predominantly mine access roads) and low-traffic routes (with a maximum of 5 vehicles per day). Within each traffic category, two road-waterway intersections with similar conditions were selected for analysis. Various characteristics of the surfaces contributing to sediment production were assessed, including the dimensions (length and width) of the gullies at the intersections, the composition and coverage percentage of the gullies, and the overall road conditions. Subsequently, protective measures such as geotextiles and dead hedges were implemented on the slopes adjacent to the road-waterway junctions. Runoff samples were collected both upstream (5 meters before entering the river) and downstream (5 meters after exiting the river) of each intersection before and after the application of the protection treatments.

Results: The results showed that the amount of suspended sediment load of forest waterways when crossing the road-waterway intersection increased by 64% and reached from 0.12 g/l to 0.33 g/l. The results of variance

analysis showed that traffic, the percentage of hilltops overlooking the road-waterway intersection, and the condition of the roads at the 95% confidence level had a significant effect on the amount of suspended sediment load of forest waterways. No significant effect was observed from the length of the earth slopes and interaction effects between other independent variables on the amount of suspended sediment load of waterways. As the amount of traffic increased as well as the amount of UPCI, the amount of suspended sediment load decreased. With the increase in the coverage percentage of the gables, the amount of suspended sediment load of the forest waterways at the road-waterway intersection decreased by 48%. Geotextile and dead hedge treatments were able to reduce the amount of suspended sediment load in waterways by 57 and 54%, respectively.

Conclusion: Adequate funding for restoration and reconstruction is imperative to maintain uninterrupted traffic flow on roads, thereby reducing the production of suspended sediment load at road-waterway intersections. Furthermore, the implementation of protective measures like geotextiles and dead hedges plays a crucial role in soil preservation. While both treatments demonstrated comparable effectiveness, dead hedge treatment emerges as the more cost-efficient option, aligning better with economic considerations.

Cite this article: Ghezselfloo, Milad, Parsakhoo, Aidin, Ezzati, Sattar, Sheikh, Vahedberdi. 2025. The effect of technical characteristics of road-waterway intersection and protective measures on the amount of sediment in forest waterways (A case study of Minodasht flat design in Golestan province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 31 (4), 179-194.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2025.22583.3740

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر مشخصات فنی تقاطع جاده-آبراهه و اقدامات حفاظتی بر مقدار رسوب آبراهه‌های جنگلی (مطالعه موردی طرح تخت مینودشت استان گلستان)

میلاد قزل‌سفلو^۱، آیدین پارساخو^۲، ستار عزتی^{۳*}، واحدبردی شیخ^۴

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: miladghzeelsefloo7068@gmail.com
۲. دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: parsakhoo@gau.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، استادیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: sattar.ezzati@gau.ac.ir
۴. استاد گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: sheikh@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله:</p> <p>مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۰۳/۰۴/۰۹</p> <p>تاریخ ویرایش: ۰۳/۰۵/۱۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۰۳/۰۶/۲۵</p> <p>واژه‌های کلیدی:</p> <p>جاده جنگلی، چپر مرده، حفاظت شیروانی‌های خاکی، درصد پوشش گیاهی، زمین‌پارچه</p>	<p>سابقه و هدف: عبور جاده جنگلی از مسیر رودخانه یا آبراهه‌های طبیعی می‌تواند تغییرات ساختاری از جمله تنگ شدن مسیر رودخانه و در نتیجه افزایش سرعت جریان و تولید رسوب را به دنبال داشته باشد. زمانی که رواناب عبوری از گنجایش هیدرولوژیکی آبرو و یا پل تجاوز نماید و یا حوضچه ورودی با رسوبات و یا شاخ و برگ مسدود گردد، جریان بر روی جاده سرریز می‌شود که منجر به تولید رسوب می‌گردد. هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر وضعیت رویه جاده بر مقدار رسوب آبراهه‌های جنگلی، بررسی تأثیر درصد پوشش شیب‌های مشرف به تقاطع جاده-آبراهه و میزان ترافیک بر مقدار رسوب آبراهه‌های جنگلی و هم‌چنین تأثیر تیمارهای حفاظتی زمین‌پارچه و چپر مرده بر مقدار رسوب تولیدشده در تقاطع جاده-آبراهه است.</p> <p>مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه جزء طرح جنگلداری تخت در حوزه آبخیز شماره ۹۱ است. در این پژوهش نخست جاده‌های جنگلی سری به دو کلاس مسیرهای دارای ترافیک زیاد (حداقل ۸۰ تردد در روز- جاده دسترسی به معدن) و ترافیک کم (حداکثر ۵ تردد در روز) طبقه‌بندی شد. در هر طبقه ترافیک دو تقاطع جاده-آبراهه با شرایط یکسان شناسایی شد. مشخصات سطح مشارکت‌کننده در تولید رسوب (طول و عرض شیروانی‌ها در محل تقاطع)، نوع و درصد پوشش شیروانی‌ها و وضعیت رویه جاده‌ها ارزیابی شد. در مرحله بعد تیمارهای</p>

حفاظتی چپر مرده و زمین پارچه کنفی روی شیب‌های مشرف به محل تقاطع جاده-آبراهه به اجرا درآمد. قبل و بعد از اجرا تیمارها، نمونه‌های رواناب ۵ متر قبل از ورود به آبرو و ۵ متر بعد از خروج از آبرو جمع‌آوری شد. در مجموع برای هر تیمار، ۱۰ تکرار نمونه‌برداری رواناب انجام شد. داده‌های گردآوری شده سپس جهت تجزیه و تحلیل وارد نرم‌افزار آماری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار بار معلق رسوب آبراهه‌های جنگلی هنگام عبور از تقاطع جاده-آبراهه به میزان ۶۴ درصد افزایش یافت و از ۰/۱۲ گرم در لیتر به ۰/۳۳ گرم در لیتر رسید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ترافیک، درصد پوشش شیروانی‌های مشرف به تقاطع جاده-آبراهه و وضعیت رویه جاده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر مقدار بار معلق رسوب آبراهه‌های جنگلی داشت. در حالی که هیچ اثر معنی‌داری از جانب طول شیروانی‌های خاکی و اثرات متقابل بین سایر متغیرهای مستقل بر مقدار بار معلق رسوب آبراهه‌ها مشاهده نشد. با افزایش مقدار ترافیک و هم‌چنین مقدار UPCI، مقدار بار معلق رسوب کاهش یافت. با افزایش درصد پوشش شیروانی‌ها، مقدار بار معلق رسوب آبراهه‌های جنگلی در محل تقاطع جاده-آبراهه به میزان ۴۸ درصد کاهش یافت. تیمارهای زمین‌پارچه و چپر مرده توانستند مقدار بار معلق رسوب آبراهه‌ها را به ترتیب ۵۷ و ۵۴ درصد کاهش دهند.

نتیجه‌گیری: داشتن بودجه کافی برای مرمت و بازسازی جهت تداوم جریان ترافیک عبوری از روی جاده امری ضروری است. این امر منجر به تولید بار معلق رسوب کمتر در تقاطع جاده-آبراهه می‌گردد. ضمن این‌که استفاده از تیمارهای حفاظتی مانند زمین‌پارچه و چپر مرده برای حفاظت خاک امری ضروری است. یافته‌ها نشان داد که کارایی این دو تیمار یکسان است اما به لحاظ کارکرد اقتصادی تیمار چپر مرده مقرون‌به‌صرفه‌تر است.

استناد: قزل‌سفلو، میلاد، پارساخو، آیدین، عزتی، ستار، شیخ، واحدبردی (۱۴۰۳). تأثیر مشخصات فنی تقاطع جاده-آبراهه و اقدامات حفاظتی بر مقدار رسوب آبراهه‌های جنگلی (مطالعه موردی طرح تخت مینودشت استان گلستان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۱ (۴)، ۱۹۴-۱۷۹.

DOI: 10.22069/jwsc.2025.22583.3740



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

جاده‌های جنگلی دسترسی آسان به مناطق جنگلی به‌منظور مدیریت همه‌جانبه جنگل اعم از عملیات بهره‌برداری، حفاظت از جنگل، جنگل‌شناسی، جنگل‌داری و توریسم را فراهم می‌کنند (۱ و ۲). از طرفی جاده‌های جنگلی با توجه به هزینه زیاد احداث و تعمیر و نگهداری آن‌ها، از مهمترین عوامل هزینه در مدیریت جنگل و در عین حال بزرگ‌ترین مداخله بشر در طبیعت زنده و پویای جنگل محسوب شده که با تغییر شکل طبیعی دامنه، کاهش پوشش گیاهی، قطع جریانات سطحی و زیرسطحی باعث اختلال در زهکشی، افزایش سرعت رواناب، تشدید فرسایش و تولید رسوب در حوزه‌های جنگلی می‌شود (۳ و ۴). میزان تحویل رسوب در زمان اجرای فعالیت‌های مدیریتی مانند بهره‌برداری و خروج فرآورده‌های جنگلی به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد (۵). عبور جاده از رودخانه یا آبراهه‌های طبیعی تغییراتی را در بستر اصلی آن‌ها ایجاد نموده و موجب تخریب می‌گردد. همچنین ایجاد خاکریز در بستر رودخانه برای ساخت بدنه جاده امری اجتناب‌ناپذیر است (۶ و ۷). این امر منجر به باریک شدن مسیر رودخانه و در نتیجه سرعت یافتن جریان و تولید رسوب می‌شود (۸ و ۹). معمولاً در تقاطع بین جاده و هرگونه جریان طبیعی، یک یا چند آبرو و یا یک پل تعبیه می‌شود. زمانی که سیلاب از ظرفیت هیدرولوژیک آبرو و یا پل تجاوز نماید و یا دهانه آبرو به‌وسیله رسوبات و شاخ و برگ درختان حاشیه جاده مسدود گردد، جریان بر روی بستر جاده سرریز می‌شود. این موضوع سبب فرسایش سطح جاده و خاک‌ریزها و در نتیجه تخلیه مقادیر زیاد رسوب به جریان رودخانه یا آبراهه خواهد شد (۱۰ و ۱۱). به‌طورکلی، انتقال رسوبات از جاده به رودخانه به چهار صورت

مسیرهای آبکندی^۱، مسیرهای نیمه آبکندی^۲، مسیرهای پراکنده^۳ و گذرگاه‌های جاده-جریان^۴ اتفاق می‌افتد. مسیرهای کاملاً آبکندی مستقیماً جاده را به رودخانه وصل می‌کنند و پتانسیل بالایی برای انتقال رسوب دارند و اغلب در پایین‌دست شیب‌های تند جاده‌ها رخ می‌دهند. مسیرهای نیمه آبکندی مسیرهای خندقی هستند که با خندق جزئی مشخص می‌شوند اما به دلیل اثرات بازدارنده پوشش گیاهی، شن یا سایر موانع در طول مسیر تحویل به نهرها نمی‌رسند (۱۲) و ظرفیت تحویل رسوب کم‌تری نسبت به مسیرهای آبکندی دارند (۱۳). مسیرهای پراکنده همیشه تحت‌تأثیر شیب، پوشش گیاهی، زبری سطح و بافت خاک قرار می‌گیرند و کم‌ترین راندمان انتقال رسوب و شدت فرسایش را در بین این مسیرها دارند (۱۴). بار معلق حاصل از شبکه جاده‌های جنگلی وارد آبراهه‌ها و رودخانه‌های اصلی شده و سپس با کاهش سرعت جریان آب به‌ویژه در پشت سدها و آب‌بندها و بستر کم‌شیب رودها به‌تدریج رسوب می‌کند (۱۵ و ۱۶). بار معلق رسوب‌قادر است بر شیمی آب تأثیر گذاشته و دمای آن را تغییر دهد. علاوه‌بر این رسوبات سبب کدر شدن جریانات و اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی گیاهان آبرزی شده و بدین‌ترتیب حیات اکوسیستم‌های آبی را با مخاطره مواجه سازند (۱۷ و ۱۸). بنابراین نخستین گام شناسایی مراکز اصلی تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز و برآورد نرخ هدررفت خاک در مناطق مستعد تولیدکننده است (۱۹). ساختمان جاده‌های جنگلی شامل شیروانی‌های خاک‌برداری، سطح جاده و شیروانی‌های خاک‌ریزی و جوی کناری است که از بخش‌های اصلی مولد رسوب در جنگل محسوب می‌شود. فاینر و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند

- 1- Flooded paths
- 2- Semi-flooded paths
- 3- Scattered paths
- 4- Road-stream crossings

که در شیروانی‌های مرتفع و شیب‌های تند مشرف به آبراهه، سرعت رواناب سطحی بیش‌تر بوده و در نتیجه میزان انحلال مواد و بار معلق رسوب نیز بیش‌تر است (۲۰). کلیتتون و وس (۲۰۰۳) گزارش دادند که تقاطع جاده-آبراهه حتی می‌تواند مسیر انتقال آلاینده‌های خودرو به جریان‌ات رودخانه را تسهیل نماید (۲۱). مطالعه آن‌ها نشان داد که غلظت بالای رسوب در جریان آبراهه‌ها نشان‌دهنده مقادیر بالای غلظت عناصر مضر بوده که این موضوع کاهش کیفیت آب را به دنبال دارد. وب و هانسون (۲۰۱۳) مطالعاتی را راجع به رابطه جاده‌ها و رودخانه با کیفیت آب در استرالیا انجام دادند (۲۲). نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که ایجاد فرسایش آبکندی در ورودی آبروهای عرضی جاده‌های جنگلی سبب انتقال مستقیم رسوب به جریان‌ات عبوری شده است. بدین‌ترتیب اجرای اقدامات حفاظتی جهت جلوگیری از انتقال رسوب به جریان آب در این مناطق را پیشنهاد دادند. لانگ و همکاران (۲۰۱۸) اشاره نمودند که نوع اقدامات حفاظتی و هم‌چنین مشخصات هندسی جاده تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر میزان تحویل رسوب به آبراهه‌ها در محل تقاطع دارد (۲۳). آن‌ها ۳۷ تقاطع جاده-آبراهه‌ها را با نصب تله‌های رسوب‌گیر در محل تقاطع هر دو ماه یک بار به مدت یک سال مورد پایش قرار دادند. نتایج نشان داد که در عرصه‌هایی که مدیریت کیفی جاده به‌نحو بهتری انجام شده و جاده از وضعیت مناسب‌تری برخوردار بوده و میزان تولید رسوب به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کم‌تر از بخش‌ها با اقدامات حفاظتی بوده است.

جاده‌های جنگلی با تغییر توپوگرافی، از بین بردن پوشش گیاهی و برهم زدن خاک به‌طور قابل‌توجهی بر فرآیندهای آب‌های سطحی تأثیر می‌گذارند و از این طریق موجب فرسایش خاک در اراضی حساس جنگلی را باعث می‌شوند. در حال حاضر، رهاسازی

جاده‌های جنگلی و عدم حفاظت و نگهداشت آن‌ها در طرح تنفس، به‌عنوان یک بحران زیست‌محیطی توجه بسیاری را به خود جلب کرده است؛ زیرا شیب تند مشرف به جاده‌ها به‌ویژه در محل تقاطع رودخانه-جاده همگرایی جریان را تسریع می‌کند و هیدرودینامیک جریان را افزایش می‌دهند که این امر منجر به فرسایش شدید مسیرهای تحویل رواناب به رود می‌شود (۲۴). بیش‌تر جاده‌های جنگلی شن‌ریزی شده و بدون آسفالت هستند و به‌عنوان منابع و کانال‌های انتقال رواناب و رسوب در محل‌های تلاقی عمل می‌کنند. چنین حمل‌ونقلی کیفیت آب را کاهش می‌دهد، زیستگاه جانداران اکوسیستم‌های آبی را مختل می‌کند و تنوع گونه آن را در حوزه‌های آبخیز کوهستانی کاهش می‌دهد (۲۵). با توجه به تأثیر منفی جاده‌های جنگلی در انتقال رسوب در حوزه‌های آبخیز کوهستانی، بررسی مکانیسم‌های فرسایش اجزای مختلف راه (واحدهای فرسایش) ضرورت پیدا می‌کند. فرسایش جاده بیش‌تر اوقات تأثیر محدودی بر خود ساختمان جاده دارد (اثر در محل)، در حالی‌که پیامدهای منفی آن بیش‌تر به‌صورت تأثیر «خارج از محل» بر اکوسیستم‌های آبی محلی است (۲۶ و ۲۷). در نتیجه، درک عوامل مؤثر در تولید رسوبات جاده‌ای، گامی ضروری برای حفاظت از محیط آبی رودخانه‌ها است؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر وضعیت رویه جاده بر مقدار رسوب آبراهه‌های جنگلی، بررسی تأثیر درصد پوشش شیب‌های مشرف به تقاطع جاده-آبراهه و میزان ترافیک بر مقدار رسوب آبراهه‌های جنگلی و بررسی تأثیر تیمارهای حفاظتی زمین‌پارچه و چپر مرده بر مقدار رسوب تولید شده در تقاطع جاده-آبراهه در حوزه‌های آبخیز کوهستانی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در طرح جنگلداری تخت و حوزه آبخیز شماره ۹۱ است. این منطقه در محدوده جنگل‌های نیمه مرطوب معتدل و در قسمت شمال شرقی استان گلستان، در فاصله ۱۳ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان مینودشت و ۲ کیلومتری روستای تخت قرار دارد. حدود جغرافیایی سری تخت در محدوده عرض جغرافیایی "۰۷' ۰۰" ۳۷° تا "۲۷' ۲۰" ۵۵° شمالی و طول جغرافیایی "۲۲' ۳۵" ۵۵° شرقی قرار داد. مساحت کل منطقه ۲۱۳۶ هکتار بوده که در دامنه ارتفاعی بین ۵۰۰ تا ۹۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط درجه حرارت در گرم‌ترین ماه سال ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در سردترین ماه سال ۱۰- درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالانه ۴۷۵ میلی‌متر بوده که بیش‌ترین آن در اسفندماه اتفاق می‌افتد. اکثر سطح سری از ماسه‌سنگ سیلتستون و آرژلیت تشکیل یافته‌اند. محدوده سری تخت دارای ۱۱ کیلومتر جاده جنگلی بوده که در سال‌های بین ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ احداث گردیده است. جنس رویه جاده‌ها از مصالح رودخانه‌ای بود. جنس خاک لومی رسی و پوشش شیروانی‌ها غالباً تمشک بود. در این پژوهش، نخست جاده‌های جنگلی سری تخت بر اساس شرایط موجود در منطقه، به دو کلاسه مسیرهای دارای ترافیک زیاد (حداقل ۸۰ تردد در روز) و ترافیک کم (حداکثر ۵ تردد در روز) طبقه‌بندی شد. اطلاعات مربوط به میزان تردد در جاده‌ها از نگرهبانی‌های مستقر در ورودی جنگل اخذ گردید. نوع وسایل تردد ماشین‌های سواری بود. در هر طبقه ترافیک دو تقاطع جاده-آبراهه شناسایی و مشخصات آن‌ها شامل نوع،

قطر، وضعیت سلامت، جنس و وجود گوشواره‌ها ثبت گردید. در مرحله بعد مشخصات سطح مشارکت‌کننده در تولید رسوب (طول شیروانی‌ها در محل تقاطع)، نوع و درصد پوشش شیروانی‌ها (روش آنالیز پیکسل‌های تصویر)، بافت خاک و وضعیت رویه جاده‌ها مشخص شد. طول شیروانی‌ها با متر، درصد پوشش شیروانی‌ها به کمک آنالیز تصویر و ابزار Fishnet در محیط ArcMap ثبت گردید. مشخصات بافت خاک پس از برداشت ۳ نمونه از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری هر تقاطع به روش هیدرومتری تعیین شد. هنگام اندازه‌گیری درصد پوشش در برنامه الحاقی فیشنت از شبکه‌ای با اندازه سلول‌های ۰/۲۵ سانتی‌متر مربع استفاده شد. موقعی که قسمت اعظم مربع در داخل پوشش گیاهی شیروانی‌ها باشد، به‌طور کامل حساب شده و اگر قسمت کم‌تر آن در داخل پوشش باشد، محاسبه نشد. در نهایت از نسبت سطح پوشش یافته به سطح کل، درصد پوشش شیروانی‌ها به دست آمد.

تعیین UPCI^۱ رویه جاده در محل تقاطع: مقدار UPCI متغیر وابسته‌ای است که از اندازه‌گیری هفت نوع خرابی در عرصه شامل موج شدن (کرکه‌ای شدن)، شیارافتادگی، چاله، فرسایش، وجود ذرات بیش از حد درشت، شرایط زهکشی و پروفیل عرضی به دست آمد (رابطه ۱). اندازه‌گیری‌های UPCI چهار مرتبه در یک دوره ۱۲ ماهه به‌منظور بررسی تأثیر اقلیم و فصل اجرا شد (۴). این شاخص توسط ارتش آمریکا جهت بررسی وضعیت رویه جاده‌های شنی طراحی شده است.

$$UPCI=10 - 1.16CR - 2.25PT - 1.47ER - 0.33RT - 1.56OA - 1.58CW \quad (1)$$

در این رابطه، CR بیانگر کرکره‌ای یا مواج‌شدن جاده است که به صورت میانگین فاصله عمودی بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه سه موج متوالی به سانتی‌متر است. PT حاصل ضرب میانگین قطر چاله در عمق چاله در تعداد چاله به مترمربع به دست می‌آید. ER یا فرسایش که نتیجه زهکشی ضعیف جاده بوده و متغیر مجازی است که چنانچه عمق فرسایش بیش‌تر از ۵ سانتی‌متر و مساحت آن بیش‌تر از ۱۰۰ سانتی‌مترمربع باشد عدد ۱ برای آن لحاظ می‌شود. RT شیارافتادگی که به صورت میانگین فاصله عمودی بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه شیار در سه نقطه از امتداد رد چرخ بر حسب سانتی‌متر بیان می‌شود. شیارافتادگی حاصل از رد چرخ به میزان کم در برخی شاخه‌های جاده‌های جنگلی درجه دو و در عرصه‌های کم ترافیک مشاهده می‌گردد. عامل اصلی توسعه این شیارها، تأخیر و یا عدم اجرای عملیات مرمت و نگهداری است. OA ذرات بیش از حد درشت در ساختار روسازی است و به صورت یک متغیر مجازی در صورت وجود ذرات مساوی یا بزرگ‌تر از ۵ سانتی‌متر عدد ۱ برای آن لحاظ شد (۴). CW بیانگر پروفیل عرضی جاده و تاج آن است و چنانچه تاج از وضعیت خوبی برخوردار باشد عدد ۰، چنانچه نسبتاً خوب باشد عدد ۰/۵ و چنانچه ساختار نامناسبی داشته باشد عدد ۱ به آن تخصیص می‌یابد (۲۸). طول تمام لوله‌ها ۵ متر و شیب عرضی آن‌ها ۵ درصد بود.

اجرای اقدامات حفاظتی و نمونه‌برداری از جریان:
تیمارهای حفاظتی زمین‌پارچه کفنی و چپرمرده (شکل ۱) روی شیب‌های مشرف به محل تقاطع جاده-آبراه اجرا گردید. تیمار چپر مرده متشکل از چوب‌هایی نازک به طول تقریبی ۲ متر و قطر ۱ تا ۲

سانتی‌متر بود. این چوب‌ها از لابلای میخ‌های چوبی به قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱ متر به هم تنیده شدند. به طوری که طرفین آبراه‌ها در پای شیب و در مسیر منتهی به ورودی آبرو حفاظت شود. تیمار زمین‌پارچه کفنی نیز به کمک میخ‌های چوبی به قطر ۲ سانتی‌متر و طول ۳۰ سانتی‌متر روی شیب‌های طرفین ورودی آبرو نصب گردید به طوری که طول و عرض شیب‌ها (سطح مشارکت‌کننده در تولید رسوب) به طور کامل پوشانده شود. سپس نمونه‌های آب از آبراه‌های منطقه ۵ متر قبل از آبرو عرضی و ۵ متر بعد از آبرو عرضی به صورت هفته‌ای دو بار در شرایط معمولی از تاریخ ۱ آبان‌ماه ۱۴۰۱ تا ۱ اردیبهشت ۱۴۰۲ انجام شد. در کل برای هر تیمار، ۱۰ مرتبه نمونه‌برداری رواناب انجام شد. برای برداشت و حمل نمونه‌ها از ظروف پلی‌اتیلنی ۴ لیتری استفاده گردید. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و پس از اطمینان از یکنواختی نمونه‌ها، ۱ لیتر از آن‌ها جدا و از ۲ کاغذ صافی واتمن با اندازه ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شد. کاغذهای مورد استفاده در ابتدا به منظور از بین بردن رطوبت احتمالی به مدت یک ساعت در آون و سپس به مدت نیم ساعت در دیسیکاتور قرار داده شد و وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس کاغذ صافی به همراه رسوب معلق باقی‌مانده روی آن‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و حداقل به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک و توزین و نهایتاً وزن رسوب کل با کسر وزن کاغذ صافی اولیه محاسبه شد.

مشخصات تیمارهای حفاظتی اجرا شده در طول شبکه جاده مورد بررسی در مطالعه حاضر در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- تیمارهای حفاظتی.

Figure 1. Conservation treatments.

جدول ۱- مشخصات کلی آبروها و ساختمان جاده در تقاطع جاده- آبراهه.

Table 1. General characteristics of culverts and road structure in road-stream crossing.

تیمار حفاظتی Conservation treatment	شیروانی خاکریزی Fillslope		شیروانی خاکبرداری Cutslope		گرسواره Earrings	لوله Culvert		قطر (متر) Diameter (m)	سلامت Healthiness	ترافیک Traffic	آبرو Culvert
	طول (متر) Length (m)	درصد پوشش Cover of side slope	طول (متر) Length (m)	درصد پوشش Cover of side slope		قطر (متر) Diameter (m)	جنس Type				
زمین پارچه Geotextile	4	35	3	50	ندارد No	1	بتنی Concrete	2	سالم Active	دارای ترافیک With traffic	1
چپر مرده Dead hedge	2	30	1.5	20	ندارد No	1	بتنی Concrete	1	سالم Active	دارای ترافیک With traffic	2
چپر مرده Dead hedge	2	50	1.5	95	ندارد No	1	بتنی Concrete	1.5	سالم Active	دارای ترافیک With traffic	3
زمین پارچه Geotextile	4	45	3	60	ندارد No	1	بتنی Concrete	1	سالم Active	فاقد ترافیک No traffic	4
چپر مرده Dead hedge	2	50	1.5	80	ندارد No	1	بتنی Concrete	1	سالم Active	فاقد ترافیک No traffic	5
زمین پارچه Geotextile	1.5	30	2	50	ندارد No	1	بتنی Concrete	1.5	سالم Active	فاقد ترافیک No traffic	6

در حوزه‌های آبخیز جنگلی توجه عموم را به خود جلب کرده است (۱۱). در حوزه‌های آبخیز کوهستانی، جاده‌های جنگلی جهت دسترسی برای مدیریت، حفاظت، تولید و حمل‌ونقل محصولات جنگلی ضروری هستند (۲۹). باین‌حال، بیش‌تر جاده‌های جنگلی شن‌ریزی و بدون آسفالت هستند و به‌عنوان منابع و کانال‌های انتقال رواناب و رسوب عمل می‌کنند (۲۷). به‌ویژه در سال‌های اخیر که جاده‌ها به‌واسطه خلاء مدیریتی ناشی از اجرا طرح تنفس به مرحله زوال رسیده و پتانسیل رسوب‌دهی آن‌ها افزایش یافته است. نتایج آزمون t نشان داد که مقدار بار معلق رسوب آبراهه‌های جنگلی هنگام عبور از تقاطع جاده-آبراهه به میزان ۱۷۵ درصد افزایش یافت و از ۰/۱۲ گرم در لیتر به ۰/۳۳ گرم در لیتر رسید ($P < 0.001$; جدول ۲). دلیل این موضوع فرسودگی ساختمان جاده به‌ویژه در مدخل ورودی جریان، دیواره‌های جانبی و بستر راه است که به‌دلیل عدم تخصیص بودجه کافی جهت حفاظت و نگهداشت، دچار فرسایش شده است.

تجزیه و تحلیل آماری: در پژوهش حاضر، متغیرهای مستقل شامل UPCI، ترافیک (دو سطح: دارای تردد و فاقد تردد) و نوع تیمار حفاظتی (۲ سطح: زمین پارچه و چپر مرده)، درصد پوشش (۲ سطح: ۴۰-۶۰ و بالای ۶۰)، وضعیت رویه جاده (۲ سطح: ۴-۵ و بالای ۵) و متغیر وابسته شامل مقدار رسوب وارد شده به آبراهه‌های جنگلی بود. در مجموع ۳ تیمار، هر یک با ۱۰ تکرار به اجرا درآمد. آزمایش انجام شده در قالب طرح فاکتوریل، تجزیه واریانس به روش آنالیز واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در نرم‌افزار SPSS به اجرا درآمد. مقایسه بین میزان بارمعلق رسوب قبل و بعد از عبور از آبرو توسط آزمون تی غیرمستقل در سطح احتمال ۹۵ درصد و همبستگی میان متغیرها با روش پیرسون بررسی گردید.

نتایج و بحث

شبکه جاده‌های جنگلی با تغییر توپوگرافی، از بین بردن پوشش گیاهی و خاک به‌طور قابل‌توجهی بر فرآیندهای آب‌های سطحی تأثیر می‌گذارند. وجود جاده‌هایی که به‌دلیل عدم رسیدگی و مرمت، مستعمل و فرسوده شده‌اند به‌عنوان یک بحران زیست‌محیطی

جدول ۲- مقایسه مقدار بار معلق رسوب قبل و بعد از عبور از تقاطع جاده-آبراهه.

Table 2. Comparison of the sediment suspended load before and after road-stream crossing.

مقدار t	درجه آزادی	± انحراف معیار	میانگین (گرم در لیتر)	محل نمونه‌برداری
T-value	Degree of freedom	Standard deviation	Mean (g l-1)	Sampling station
-9.63***	95	0.008	0.12 ^b	قبل از آبرو Before culvert
	95	0.02	0.33 ^a	بعد از آبرو After culvert

*** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۱ درصد

***Significant at probability level of 0.1%

حفاظتی و تعداد تردد معنی‌دار بوده اما اثر مرکب تیمار حفاظتی و تردد معنی‌دار نبوده است.

تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تیمارهای حفاظتی و تعداد تردد بر مقدار بار معلق رسوب در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که تأثیر ساده تیمارهای

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای حفاظتی و ترافیک بر مقدار بار معلق رسوب آبراهه‌های جنگلی.

Table 3. Analysis of variance for the effect of conservation treatments and traffic on sediment suspended load in forest ravines.

مقدار F F-value	میانگین مربعات MS	درجه آزادی Df	مجموع مربعات SS	منبع تغییرات Source of variations
52.535	1.605	6	9.628	مدل Model
6.211*	0.220	1	0.220	ترافیک Traffic
29.534**	0.798	2	1.595	تیمار حفاظتی Conservation treatment
1.194 ^{ns}	0.032	2	0.064	ترافیک × تیمار حفاظتی Traffic × Conservation treatment
0.531 ^{ns}	0.019	1	0.019	طول شیروانی Length of side slopes
0.072 ^{ns}	0.003	1	0.003	درصد پوشش × طول شیروانی Cover of side slopes × Length of side slopes
0.072 ^{ns}	0.003	1	0.003	وضعیت رویه جاده × تردد UPCI × Traffic
2.531 ^{ns}	0.019	1	0.019	وضعیت رویه جاده UPCI
6.211*	0.220	1	0.220	درصد پوشش شیروانی Cover of side slopes
	0.031	186	5.682	خطا Error
		192	15.310	کل Total

در لیتر برآورد شد که ۳۷ درصد بیش‌تر از جاده با UPCI ۶-۵ بود ($P < 0/05$). گرچه این یافته با نتایج پژوهش‌های مقدماتی‌راد (۲۰۱۱) مغایرت دارد. آن‌ها در جنگل کوه‌میان-آزاد شهر دریافتند که مقدار رواناب و رسوب در جاده با ترافیک بالا، بیش‌تر بوده است که دلیل این امر را بودجه و مقدار مصالح در دسترس برای تعمیر و نگهداری بدون نظر گرفتن عامل ترافیک اعلام کردند (۲۹). مقدار بار معلق رسوب در محل تقاطع جاده-آبراهه که شیروانی‌های خاکی با درصد پوشش ۵۹-۴۰ درصد داشتند ۰/۲۵ گرم در لیتر بود که ۳۹ درصد بیش‌تر از شیروانی‌های خاکی با درصد پوشش ۸۰-۶۰ درصد بود ($P < 0/05$). در هنگام

بر اساس یافته‌های پژوهش میانگین مقدار بار معلق رسوب در مسیرهای پرتردد (روزانه تا ۸۰ تردد) حدود ۰/۲ گرم در لیتر بوده که این مقدار کم‌تر از مسیرهای کم تردد (روزانه تا ۵ تردد) با مقدار بار معلق رسوب ۰/۳۵ گرم در لیتر بوده است ($P < 0/05$). دلیل اصلی این موضوع مربوط به وضعیت رویه جاده‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه بوده است (جدول ۴). زیرا شاخص UPCI که نشان‌دهنده کیفیت رویه جاده است در مسیرهای پرترافیک مقدار آن بیش‌تر از جاده‌های کم‌ترافیک بوده است. میانگین بار معلق رسوب هنگام عبور جریان از تقاطع جاده-آبراهه با UPCI ۹/۴-۴ حدود ۰/۲۶ گرم

معلق رسوب آبراهه‌ها را به اندازه ۵۷ و ۵۴ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش دهند. لطفعلیان و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود در طرح جنگلداری نکاچوب به منظور تثبیت زیست مهندسی ترانسه‌های خاک‌برداری جاده‌های جنگلی قدیمی و جدید با استفاده از پوشش زمین پارچه کفنی و مالچ چوب به این نتیجه رسیدند که مقدار رسوب تولید شده در ترانسه‌های جدید ۲/۹ برابر ترانسه‌های قدیمی بوده است (۳۰). هم‌چنین نتایج پژوهش بیانگر حاکی از عملکرد بهتر تیمار زمین پارچه کفنی در مقایسه با سایر تیمارها بوده است که با نتایج مطالعات پیشین (۳۱) همخوانی دارد.

بارندگی، تاج پوشش گیاهان در نقش حائل مانع برخورد مستقیم قطرات باران به خاک شده و از شدت وقوع فرسایش پاشمانی و ورقه‌ای می‌کاهند. از سوی دیگر، ریشه گیاهان با تثبیت خاک و ایجاد چسبندگی مانع فرسایش بین‌شیاری و شیاری خاک می‌شوند. براساس یافته‌های پژوهش، بین میانگین بار معلق رسوب در تقاطع‌های تیمار شده با زمین پارچه و چپر مرده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت که این نشان‌دهنده کارآمدی یکسان هر دو تیمار در حفاظت از شیروانی‌های مشرف به آبراهه بوده است ($P > 0.05$). مقدار بار معلق رسوب در هر دو تیمار به‌طور معنی‌داری کم‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). تیمارهای زمین پارچه و چپر مرده توانستند مقدار بار

جدول ۴- مقایسه میانگین بار معلق رسوب در تیمارها و طبقات مختلف متغیرهای مستقل.

Table 4. Mean comparison of sediment suspended load in different treatments and classes of independent variables.

متغیر Variable	طبقات Classes	میانگین بار معلق رسوب (گرم در لیتر) Mean suspended sediment load (g l ⁻¹)	± انحراف معیار (گرم در لیتر) Standard deviation (g l ⁻¹)
ترافیک Traffic	تا ۸۰ تردد در روز 80 per day	0.15 ^c	0.04
	تا ۵ تردد در روز 5 per day	0.35 ^b	0.02
	شاهد Control	0.409a	0.02
طول شیروانی‌های خاکی Length of side slopes	۱-۱/۹ متر 1-1.9 m	0.21 ^a	0.02
	۲-۳ متر 2-3 m	0.23 ^a	0.03
وضعیت رویه جاده (UPCI) Road surface condition	4-4.9	0.26 ^a	0.01
	5-6	0.19 ^b	0.01
	40-59	0.25 ^b	0.03
درصد پوشش شیروانی Cover of side slopes	60-80	0.18 ^c	0.01
	شاهد Control	0.35 ^a	0.02
تیمار حفاظتی Conservation treatment	شاهد (تقاطع تیمار نشده) Control	0.35 ^a	0.05
	زمین پارچه Geotextile	0.15 ^b	0.02
	چپر مرده Dead hedge	0.16 ^b	0.03

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Different letters show significant difference at probability level of 5%

و آمدتر از وضعیت روسازی بهتری برخوردار بودند. به عبارت دیگر مقدار رسوب با UPCI و ترافیک در سطح اطمینان ۹۹ درصد رابطه معکوس و معنی دار داشت. بین مقدار بار معلق رسوب و درصد پوشش شیروانی‌های خاکی نیز رابطه معکوس و معنی داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد مشاهده شد. یعنی با افزایش درصد پوشش شیروانی‌ها، مقدار بار معلق رسوب آبراهه‌های جنگلی در محل تقاطع جاده-آبراهه کاهش یافت (جدول ۵). پوشش گیاهی انرژی جنبشی قطرات باران را کاهش دهد. پوشش گیاهی هم‌چنین باعث افزایش نفوذپذیری خاک و افزایش مقاومت خاک سطحی در برابر رواناب می‌شود (۲۶).

فرسایش جاده‌ها یک مسئله زیست‌محیطی جهانی است. انتقال رسوبات فرسایش یافته از جاده به رودخانه می‌تواند به‌طور مخربی بر کیفیت آب تأثیر بگذارد. Lang و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که مقدار تحویل رسوب جاده‌ها بعد از مرمت روسازی به‌طور معنی داری کاهش می‌یابد (۲۳). زیرا طی عملیات مرمت جاده، شیار افتادگی‌هایی که عامل کانالیزه کردن رواناب و رسوب به سمت آبراهه‌ها هستند، برطرف شده و تراکم بستر و شیب عرضی سواره‌رو به نحو مطلوبی اصلاح می‌گردد. آنالیز همبستگی پیرسون نشان داد که با افزایش مقدار ترافیک مقدار بار معلق رسوب کاهش یافت. زیرا وضعیت جاده‌ها در دو کلاس ترافیک با یکدیگر متفاوت و جاده‌های پر رفت

جدول ۵- آنالیز همبستگی پیرسون متغیرهای مورد بررسی.

Table 5. Pearson correlation analysis for studied variables.

کد	متغیر	1	2	3	4	5
Code	Variable					
1	ترافیک Traffic	1				
2	وضعیت رویه جاده (UPCI) Road surface condition	-0.635***	1			
3	طول شیروانی‌های خاکی Length of side slopes	0.131	-0.103	1		
4	درصد پوشش شیروانی Cover of side slopes	0.147	-0.079	-0.189*	1	
5	رسوب Sediment	-0.226**	-0.260**	0.052	-0.279**	1

*، ** و *** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹۹ درصد، بدون علامت نشان دهنده عدم معنی داری است
*، **، *** significant at probability level of 95, 99 and 99.9%, respectively

دهد. تخریب و آب‌شستگی دیواره‌های جانبی آبگذرها یک پدیده رایج است که متناوباً، رسوبات نواحی بالادست را وارد اکوسیستم آبی می‌کند. لوله‌های تعبیه شده در محل تقاطع جاده-آبراهه می‌توانند سرعت جریان، تنش برشی، تلاطم جریان و فرسایش کرانه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۱۵ و ۱۶).

نتیجه‌گیری کلی

جاده‌های جنگلی نقش مهمی در سیستم حمل و نقل زمینی ایفا می‌کنند، اما طراحی نامناسب آن‌ها هنگام عبور از رودخانه ممکن است ژئومورفولوژی رودخانه، اکوسیستم دشت سیلابی، زیستگاه و حرکت موجودات آبی را تحت تأثیر قرار

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

این اثر منتج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد (نویسنده اول، با عنوان "تأثیر مشخصات تقاطع جاده-آبراهه و اقدامات حفاظتی بر مقدار بار معلق رسوب حوزه آبخیز جنگلی طرح تخت مینودشت استان گلستان" در گروه جنگلداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است. که زمان انجام آن در سال ۱۴۰۱ بوده است. مکان آن حوزه آبخیز ۹۱، در شهرستان مینودشت بوده است.

مشارکت نویسندگان

میلاد قزل‌سفلو (جمع‌آوری و نوشتن نسخه اولیه مقاله)، آیدین پارساخو (مدیریت، ویرایش و تجزیه و تحلیل داده‌ها)، ستار عزتی (تجزیه و تحلیل، طرح تحقیق، مدیریت و آماده‌سازی فایل نهایی مقاله، ارسال مقاله) و واحدبردی شیخ (بازبینی مقاله، کمک در نوشتن بحث و ارائه مشاوره در انجام پژوهش).

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر، رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

تعارض منافع

نویسندگان متعهد می‌شود که در رابطه با انتشار مقاله تسلیمی تعارض منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان از نویسنده اول در قالب پایان‌نامه دانشجویی با کد ۱۲۳۴۵۴۰۱ صورت گرفته است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در جاده‌های با کیفیت بالا که ترافیک زیادی دارند مقدار بار معلق رسوب در تقاطع جاده-آبراهه به اندازه ۲۷ درصد کم‌تر است، زیرا همواره توجه و بودجه بیشتری صرف بهبود زیرسازی و روسازی جاده‌هایی می‌شود تا جریان دسترسی به بخش‌های مختلف را برقرار سازد. این موضوع ضرورت حفاظت جاده‌های جنگلی را در راستای حفظ کیفیت آب حوزه‌های آبخیز جنگلی نشان می‌دهد (۲، ۱۹ و ۲۸). هم‌چنین در حین عملیات حفاظت و نگهداری جاده‌ها باید به این نکته توجه داشت که درصد پوشش شیروانی‌های مشرف به تقاطع جاده-آبراهه نقش مثبتی در کاهش بار معلق رسوب دارد. این موضوع در پژوهش حاضر نشان داد که درصد پوشش بالاتر از ۶۰ درصد در شیروانی‌ها منجر به کاهش رسوب به اندازه ۲۸ درصد شده بود. در مناطقی که پوشش گیاهی شیب‌های مشرف به تقاطع جاده-آبراهه تکاپوی کنترل فرسایش آبی را نمی‌نماید لازم است از تیمارهای حفاظتی مانند زمین‌پارچه و چپرمرده که کارآمدی آن‌ها در پژوهش حاضر به اثبات رسیده است استفاده کرد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که کارایی این دو تیمار یکسان است اما به لحاظ کارکرد اقتصادی تیمار چپرمرده مقرون به صرفه‌تر است. در پژوهش‌های آینده، بررسی تأثیر وضعیت تقاطع جاده و آبراهه بر مشخصات کیفی رواناب، از جمله تغییر مقادیر نیترات، فسفات، آمونیوم، هدایت الکتریکی، اسیدیته و سایر شاخص‌های کیفی آب هنگام عبور از عرض جاده، توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به جهت حمایت مالی قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Boggs, J. L., Sun, G., & McNulty, S. G. (2018). The effects of stream crossings on total suspended sediment in North Carolina piedmont forests. *Journal of Forestry*, 116 (1), 13-24.
2. Demir, M., & Hasdemir, M. (2005). Functional planning criterion of forest road network systems according to recent forestry development and suggestion in Turkey. *Am. J. Environ. Sci.* 1 (1), 22-28.
3. Boggs, J., Sun, G., & McNulty, S. (2016). Effects of timber harvest on water quantity and quality in small watersheds in the Piedmont of North Carolina. *Journal of Forestry*, 114 (1), 27-40.
4. Chamorro Gine, M. A. (2012). Development of a sustainable management system for rural road networks in developing countries. PhD Thesis, Waterloo, Ontario, Canada, 2012, 216 p.
5. Tague, C., & Band, L. (2001). Simulating the impact of road construction and forest harvesting on hydrologic response. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 26 (2), 135-151.
6. Forsyth, A. R., Bubb, K. A., & Cox, M. E. (2006). Runoff, sediment loss and water quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain Pinus plantation. *Forest Ecology and Management*, 221 (1-3), 194-206.
7. Grace III, J. M. (2005). Forest operations and water quality in the south. *Transactions of the ASAE*, 48 (2), 871-880.
8. Cristan, R., Aust, W. M., Bolding, M. C., Barrett, S. M., Munsell, J. F., & Schilling, E. (2016). Effectiveness of forestry best management practices in the United States: Literature review. *Forest Ecology and Management*, 360, 133-151.
9. Brown, K. R., McGuire, K. J., Aust, W. M., Hession, W. C., & Dolloff, C. A. (2015). The effect of increasing gravel cover on forest roads for reduced sediment delivery to stream crossings. *Hydrological Processes*, 29 (6), 1129-1140.
10. Connolly, R. D., Costantini, A., Loch, R. J., & Garthe, R. (1999). Sediment generation from forest roads: bed and eroded sediment size distributions, and runoff management strategies. *Soil Research*, 37 (5), 947-964.
11. Colyer, P. M., Hoque, M. A., & Fowler, M. (2020). A chemical and ecological assessment into elemental loading from ford crossings in Ashdown Forest, Sussex, United Kingdom. *Science of the Total Environment*, 738, 140102.
12. Croke, J., Mockler, S., Fogarty, P., & Takken, I. (2005). Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. *Geomorphology*, 68 (3-4), 257-268.
13. Sosa-Pérez, G., & MacDonald, L. H. (2017). Reductions in road sediment production and road-stream connectivity from two decommissioning treatments. *Forest Ecology and Management*, 398, 116-129.
14. Fahey, B. D., & Coker, R. J. (1989). Forest road erosion in the granite terrain of southwest Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology (New Zealand)*, 123-141.
15. Jones, J. A., Swanson, F. J., Wemple, B. C., & Snyder, K. U. (2000). Effects of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks. *Conservation biology*, 14 (1), 76-85.
16. Boggs, J. L., Sun, G., & McNulty, S. G. (2018). The effects of stream crossings on total suspended sediment in North Carolina piedmont forests. *Journal of Forestry*, 116 (1), 13-24.
17. Kreutzweiser, D. P., Capell, S. S., & Good, K. P. (2005). Effects of fine sediment inputs from a logging road on stream insect communities: a large-scale experimental approach in a Canadian headwater stream. *Aquatic Ecology*, 39, 55-66.

18. Parsakhoo, A., Yolma, G., Bordi Sheykh, V., Mohamadi, J., & Rezaee Motlaq, A. (2023). The Relations of Rainfall Duration and Intensity and Sediment Yield from Treated Ditch by Conservation Practices in Forest Roads. *Ecology of Iranian Forest*, 11 (21), 54-61.
19. Matin Nia, B., & Gholami, Z. (2022). Effect of the road technical and drainage properties on roadside landslides in watershed 85 in Golestan province. *Ecology of Iranian Forest*, 10 (19), 47-55.
20. Finér, L., Kortelainen, P., Mattsson, T., Ahtiainen, M., Kubin, E., & Sallantausta, T. (2004). Sulphate and base cation concentrations and export in streams from unmanaged forested catchments in Finland. *Forest ecology and management*, 195 (1-2), 115-128.
21. Clinton, B. D., & 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.
22. Webb, A. A., & Hanson, I. L. (2013). Road to stream connectivity: implications for forest water quality in a sub-tropical climate. *British Journal of Environment and Climate Change*, 3 (2), 197-214.
23. Lang, A. J., Aust, W. M., Bolding, M. C., McGuire, K. J., & Schilling, E. B. (2018). Best management practices influence sediment delivery from road stream crossings to mountain and piedmont streams. *Forest Science*, 64 (6), 682-695.
24. Suvendu, R. (2013). The effect of road crossing on river morphology and riverine aquatic life: a case study in Kunur River Basin, West Bengal. *Ethiopian journal of environmental studies and management*, 6 (6), 835-845.
25. Sthiannopkao, S., Takizawa, S., & Wirojanagud, W. (2007). Assessment of seasonal variations of surface water quality in the Phong Watershed, Thailand. *Science & Technology Asia*, 36-43.
26. Wang, A., Zhao, Q., Yu, Z., Yu, J., Liu, Y., Wang, P., ... & Ding, S. (2023). Factors and thresholds determining sediment delivery pathways between forest road and stream in mountainous watershed. *Catena*, 224, 106976.
27. Wiitala, M. (2013). *Effects of Sediment Deposition on Macroinvertebrate Near Road Crossings* (Doctoral dissertation).
28. Motlagh, A. R., Parsakhoo, A., Najafi, A., & Mohammadi, J. (2024). Development of a Sustainable Maintenance Strategy for Forest Road Wearing Courses in Different Climate Zones. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 45 (1), 139-156.
29. Moghadami Rad, M., Abdi, E., Mohseni Saravi, M., Rouhani, H., & Majnounian, B. (2014). Evaluation of WEPP model in estimating amount of sediment from forest road (Case study: Kohmiyan-Azadshahr forest). *Forest Sustainable Development*, 1 (2), 167-178.
30. Lotfalian, M., Babadi, T. Y., & Akbari, H. (2019). Impacts of soil stabilization treatments on reducing soil loss and runoff in cutslope of forest roads in Hyrcanian forests. *Catena*, 172, 158-162.
31. Reeves, C. D. (2012). Effectiveness of elevated skid trail headwater stream crossings in the Cumberland Plateau. **doi:10.1023/B: WAFO. 0000012826. 29223.65.**