# اثر برخی تیمارهای زیست‌مهندسی بر رسوب‌دهی ترانشه‌های خاکی جاده‌های جنگلی

**زهره غلامی***: *دانشجوی ارشد مدیریت جنگل، دانشکدهٔ علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*
**آیدین پارساخو:** *دانشیار گروه جنگل‌داری، دانشکدهٔ علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*
**مجید لطفعیان:** *استاد گروه جنگل‌داری، دانشکدهٔ منابع طبیعی ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری*
**ایوب رضایی‌مطلق:** *دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکدهٔ علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*

نوع مقاله: پژوهشی
**تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۱)**
**DOR:** 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9

**چکیده**

**تثبیت ترانشه‌های پرشیب جاده‌های جنگلی ضرورت بالایی دارد؛ زیرا سالانه به‌ویژه هنگام بارندگی، رسوبات زیادی را به آبراهه‌ها وارد می‌کند و هزینه‌های زیادی را برای لایروبی و نگهداری جاده به همراه دارد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر برخی از تیمارهای زیست‌مهندسی شامل نصب کیسه‌های جذب آب، چپر مرده و روش تثبیت سلولی بر رسوب‌دهی ترانشه‌های جاده‌های جنگلی در ریزش‌های جوی است؛ بدین منظور در جاده‌های جنگلی سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا، موقعیت مکانی ترانشه‌های خاکی مستعد فرسایش و رانشی به‌کمک GPS در تابستان ۱۳۹۹ ثبت شد. سپس دوازده ترانشه هر یک با حداقل مساحت قابل کار سی مترمربع، به‌صورت تصادفی ساده انتخاب و برای هر کدام به جز تیمار شاهد، تیمارهای زیست-مهندسی کیسه‌های جذب آب، چپر مرده و تثبیت سلولی اجرا شد. پایش وضعیت ترانشه‌ها و جمع‌آوری داده-های بارندگی و رسوب، پس از هر بار بارندگی در طول دو فصل پاییز و زمستان انجام شد. میزان فرسایش خاک و تحویل رسوب نیز از طریق تله‌گذاری در جوی کناری و در ابتدا و انتهای ترانشه‌های تیمار شده و شاهد صورت گرفت. طی هر بازدید، ارتفاع رسوب (متر) و سطح رسوب‌گذاری (متر مربع) برای محاسبهٔ حجم رسوب اندازه‌گیری شد. برای محاسبهٔ وزن مخصوص ظاهری رسوب نیز سه نمونه خاک در پایان هر دوره به وسیلهٔ روش حلقه تهیه شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون، خشک و نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح بلوک تصادفی با دو بلوک، چهار تیمار و سه تکرار در نرم‌افزار SAS صورت گرفت. نتایج نشان داد که بین مقدار رسوب حاصل از شیب‌های تیمارشده با چپر مرده و شیب شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما در مقایسهٔ تیمار کیسه جذب آب و شاهد در سطح احتمال پنج درصد و در مقایسهٔ تیمار تثبیت سلولی و شاهد در سطح احتمال یک درصد، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. به طور کلی، بررسی و پایش تیمارهای مختلف نشان داد که استفاده از تیمارهای زیست‌مهندسی می‌تواند در کاهش میزان رسوب‌دهی جاده‌های جنگلی اثر معنی‌داری داشته باشد.**

**واژگان کلیدی: ترانشهٔ خاک‌برداری، تیمار زیست‌مهندسی، جاده جنگلی، رسوب‌دهی، فرسایش خاک.**

* نویسنده مسئول: **ghlamyzhrh@gmail.com**



[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

**۱ـ مقدمه**

خاک مهم‌ترین زیربنای تمدن هر کشور است و در تولید مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد بشر، منبع طبیعی پایداری محسوب می‌شود (Rahimi and Ahmadnezhad, 2006). از دیرباز و زمانی که انسان بر روی این کرهٔ خاکی زندگی می‌کرد، بدون شک منابع طبیعی مهم‌ترین و اصلی‌ترین منبع تأمین‌کنندهٔ نیازهای او بود. با افزایش جمعیت و پیشرفت بشر در طی چند قرن گذشته، میزان بهره‌برداری و بهره‌وری انسان از منابع طبیعی نیز چندین برابر شد و روزبه‌روز تخریب بیشتری در طبیعت صورت گرفت. از جمله پدیده‌هایی که در ایران و در بسیاری از نقاط جهان به‌وفور دیده می‌شود، وقوع فرسایش و ناپایداری دامنه‌های کنار جاده‌ای است (Mohsenipour et al, 2021 & Soroush, 2006). ساخت و نگهداشت جاده‌های جنگلی، یکی از ویژگی‌های بارز توسعهٔ اقتصادی جوامع بشری از دههٔ شصت میلادی تاکنون محسوب می‌شود (Cerda, 2007). در طراحی این قبیل جاده‌ها، نیازهای چندگانه‌ای ـ علاوه بر حمل و نقل چوب و سایر اهداف جنگل‌داری و جنگل‌شناسی ـ در نظر گرفته می‌شود که مهم‌ترین آن عبارت است از: حفظ سلامت و پاکیزگی جریان خروجی آب یک حوضه آبخیز در برابر رسوبات.

امروزه توزیع تراکم شبکهٔ جاده‌های جنگلی به منظور اجرای طرح‌های جنگل‌داری مسئله مهمی است که به عنوان یک منبع بالقوهٔ تولید رواناب و رسوب، کمتر از سوی محققان قابل توجه بوده‌است. در اراضی پرشیب، جاده‌ها معمولاً با اجرای عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی به موازات خطوط منحنی میزان ساخته می‌شوند؛ به‌طوری که تقریباً نصف سطح جاده حاصل خاک‌برداری و نیم دیگر، حاصل عملیات خاک‌ریزی است (Parsakhoo, 2015). شیب بالادست جاده را ترانشهٔ خاک‌برداری می‌گویند. ترانشهٔ خاک‌برداری دارای ارتفاع متفاوت است و اغلب در پای آن، جوی کناری قرار دارد. جوی کناری، جریان‌های آب زهکشی شده از سوی شیب بالادست ترانشهٔ خاک‌برداری، ترانشهٔ خاک‌برداری و سطح جاده را به سمت ورودی آبرو هدایت می‌کند (Lin et al, 2018). بنابراین، جوی کناری جاده می‌تواند رسوبات تولید شده از بخش‌های مختلف جاده را در خود انتقال دهد. فرسایش جاده‌های جنگلی به کاهش عمر مفید ساختمان جاده، افزایش هزینه‌های حفاظت و نگهداشت، آسیب رساندن به وسایل نقلیه و تخریب محیط زیست جانداران آبزی منجر می‌شود (Lang, 2016). روش‌های زیادی برای جلوگیری از فرسایش و تثبیت خاک در دیوارهٔ جاده‌های جنگلی پیشنهاد شده که به طور کلی شامل سه روش بیولوژیکی (تثبیت خاک با استفاده از گیاهان)، مکانیکی (اجزای سازه‌ای) و بیوتکنیکی (ترکیب گیاهان و سازه) است و هرکدام از این روش‌ها با توجه به شرایط موجود می‌تواند کاربرد داشته باشد (Greenway, 1987). استفاده از سازه‌های بی‌جان یا سازه‌های زیستی، از جمله روش‌های پرکاربرد برای محافظت از جاده‌ها و حفظ پایداری شیب است. به اقدامات فنی مورد نیاز برای بازگرداندن ساختمان ترانشهٔ جاده‌های جنگلی به شرایط پیش از وقوع فرسایش، مرمت می‌گویند. هنگامی که این اقدامات و تغییرات در ساختار سیستم به بهبود مقاومت جاده‌های جنگلی منجر شود، آن را مقاوم‌سازی می‌نامند. ارزیابی و پایش وضعیت موجود ساختمان جاده‌های جنگلی، یکی از گام‌های مهم و اساسی در راستای مرمت آنها است. Afshar (2003) ضمن تحلیل پایداری ترانشه‌ها در خاک‌های درشت‌دانهٔ قطعه اول آزاد راه تهران ـ شمال، روش‌های مختلفی را به منظور پایدارسازی ترانشه‌های خاک‌برداری پروفیل‌های عرضی پیشنهاد کرد؛ از جمله کاهش زاویهٔ شیب، بالا بردن مقاومت برشی با مهارهای فولادی، کاهش شیب با پلکان، تغییر شیب با مصالح، کاهش ارتفاع شیب، برداشتن بار از روی

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

شیروانی‌ها، بارگذاری در پای شیب و ایجاد سکو. Evette و همکاران (2009) اشکال مختلف تکنیک‌های زیست-مهندسی را ـ که در گذشته برای مدیریت رودخانه‌ها و حاشیهٔ رودخانه‌ها عمدتاً در اروپا استفاده می‌شد ـ بررسی کردند. در این روش‌ها از کاشت درخت یا کاشت بذر در حاشیهٔ رودخانه گرفته تا احداث سدهای رسوب‌گیر استفاده شد. امروزه روش‌های ترکیبی مختلف مانند زمین‌پارچه (ژئوتکستایل)، ژئوگرید و ژئوسل در کنار گیاهانی چون بید توانسته است کارایی فنون زیست‌مهندسی را در کنترل فرسایش و رسوب دوچندان کند. Broda و همکاران (2017) برای حفاظت موقت از ترانشه‌های طویل پرشیب در کشور لهستان، از زمین‌پارچه‌های (ژئوتکستایل) پشمی به فرم بالشتک‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد که این زمین‌پارچه‌ها پتانسیل حفاظتی خود را حداقل برای یک فصل رویش حفظ کردند، اما با گذشت زمان تجزیه شدند و با آزادسازی نیتروژن، به حاصلخیزی خاک و استقرار بهتر پوشش گیاهی پرداختند. Fay و همکاران (2012) برای تثبیت ترانشه‌های (۱ عمودی: ۱/۵ افقی) حاشیهٔ بزرگراه‌ها در ایالات متحدهٔ آمریکا، از کیسه‌های جذب آب از جنس کاه استفاده کردند. طول کیسه‌های جذب آب سه متر بود که در فواصل تقریبی ۲۳ و ۸ متر از یکدیگر روی ترانشه نصب شد. نتایج نشان داد که استفاده از کیسه‌های جذب آب در شیب‌هایی که شاخص ایمنی آنها بیش از یک بود، نتوانست مؤثر عمل کند. Luo و همکاران (2013)، اثر سه نوع زمین‌پارچهٔ شیدنت (سایبان توری) گلخانه‌ای، بافته‌های غیرپشمی و کاه را درکنترل فرسایش و رواناب ترانشه‌های جاده‌های منطقهٔ پکن در کشور چین تحت شبیه‌سازی باران بررسی کردند. نتایج نشان داد که زمین‌پارچهٔ کاه بیشترین تأثیر را در کاهش میزان رواناب و فرسایش خاک داشت؛ به طوری که مقدار رواناب، ۱۰/۹ درصد و میزان فرسایش خاک، ۸/۵ گرم در مترمربع ثبت شد. Shao و همکاران (2014)، به بررسی اثر دو تیمار حصیر کنفی و شبکه پلی‌استر در کنترل هدررفت خاک در دیواره‌های خاک‌برداری در منطقهٔ نیمه خشک شمال پکن در کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد که حصیر کنفی و شبکه پلی استر، به ترتیب مقدار رسوب را به میزان ۹۹/۴ و ۵/۵ درصد کاهش دادند.

Lotfalian و همکاران (2019) به منظور تثبیت زیست‌مهندسی ترانشه‌های خاک‌برداری جاده‌های جنگلی قدیمی و جدید، پژوهشی را در طرح جنگل‌داری نکاچوب انجام دادند که با استفاده از پوشش زمین‌پارچهٔ کنفی و مالچ چوب صورت گرفت. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار در هر بلوک و تحت بارندگی‌های طبیعی ماه‌های شهریور و مهر اجرا شد. نتایج نشان داد که مقدار رسوب تولید شده در ترانشه‌های جدید، ۲/۹ برابر ترانشه‌های قدیمی بود. همچنین نتایج تحقیق حاکی از عملکرد بهتر تیمار زمین‌پارچهٔ کنفی در مقایسه با سایر تیمارها بود.

Fakhari و همکاران (2019) برای مقابله با فرسایش خاک دیوارهٔ خاک‌ریزی جاده‌های جنگلی، از دو نوع ژئوتکستایل طبیعی شامل خرده‌چوب و کاه برنج و روش بیومکانیکی تثبیت سلولی با توسکا و بید در ۳۶ قطعه نمونهٔ هشت مترمربعی با سه تکرار استفاده کردند. نتایج نشان داد که تیمارهای خرده‌چوب و کاه برنج به‌ترتیب سبب کاهش ۱۱ و ۲۳ درصدی غلظت رسوب شد. روش بیومکانیکی تثبیت سلولی با توسکا و بید نیز به‌ترتیب کاهش ۵۳/۵۲ و ۴۶/۲۲ درصدی غلظت رسوب را در پی داشت.

Yousefi Babadi و همکاران (2018)، در این روش‌ها از کاشت درخت یا کاشت بذر در حاشیهٔ رودخانه گرفته تا احداث سدهای رسوب‌گیر استفاده کردند. امروزه روش‌های ترکیبی مختلفی مانند زمین‌پارچه (ژئوتکستایل)،

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

ژئوگرید و ژئوسل در کنار گیاهانی چون بید توانسته‌است کارایی فنون زیست‌مهندسی را در کنترل فرسایش و رسوب دو چندان کند.

Lin و همکاران (2018)، از خاک‌پوش کاه با درصدهای پوشش ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۵ برای مقابله با فرسایش خاک در شبیه‌سازی باران استفاده کردند. نتایج نشان داد که در مقایسه با خاک لخت، افزایش پوشش خاک توسط کاه به کاهش میزان هدررفت آن از سیزده درصد تا نود درصد منجر می‌شود. علاوه بر این، حداکثر غلظت رسوب از دویست گرم در لیتر به هشتاد گرم کاهش می‌یابد. در این تحقیق مقدار بهینهٔ کاه، ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

Lang (2016) به منظور حفاظت از جوی کناری جاده‌جنگلی، پنج تیمار را اجرا کرد که شامل تیمار شاهد (خاک بدون حفاظت)، چمن‌کاری، چمن‌کاری روی زمین‌پارچهٔ کنفی، آب‌بندهای سنگ‌چین و پوشش لاشه‌سنگ بود. نتایج نشان داد که کمترین مقدار رسوب‌دهی جوی کناری به ترتیب مربوط به تیمارهای پوشش لاشه‌سنگ، چمن‌کاری و چمن‌کاری روی زمین‌پارچهٔ کنفی است. Deona و همکاران (2009)، اثر به‌کارگیری لجن و کمپوست را بر کاهش میزان فرسایش ترانشه‌های خاک‌برداری جاده‌ها در منطقهٔ گادر آلمریا واقع در جنوب اسپانیا بررسی کردند. در این تحقیق ابتدا از لجن و کمپوست به صورت مجزا، سپس به صورت ترکیبی در ۳۲ قطعه نمونهٔ بیست متر مربعی روی سطح ترانشه‌های خاک‌برداری استفاده شد. نتایج نشان داد که استفادهٔ مجزا از لجن و کمپوست توانست مقدار هدررفت خاک را ۳۵ درصد کاهش دهد؛ در حالی که استفادهٔ ترکیبی از آنها به کاهش فرسایش خاک به میزان ۶۳ تا ۹۰ درصد منجر شد.

Broda و همکاران (2016) برای تثبیت جاده‌های جنگلی، از زمین‌پارچه‌های پشمی، پشمی ـ کنفی و فیبرهای بازیافتی به ترتیب با ضخامت‌های ۵/۸، ۳ و ۳ میلی‌متر و جرم ۴۰۶، ۵۱۲ و ۲۶۵ گرم در مترمربع استفاده کردند. نتایج نشان داد که ظرفیت جذب آب زمین‌پارچهٔ پشمی بیش از زمین‌پارچهٔ پشمی ـ کنفی و فیبرهای بازیافتی است.

Turk (2018) در تحقیقات خود در غرب دریای سیاه در کشور ترکیه، اثر به کارگیری چیپس چوب و مازاد مقطوعات را در کاهش فرسایش ورقه‌ای شیب‌های خاکی جاده‌های جنگلی بررسی کرد. نتایج تحقیقات نشان داد که مقدار هدررفت خاک در تیمار شاهد، ۱/۲۶ مرتبه بیش از پلات‌های مازاد مقطوعات و ۲/۲۱ مرتبه بیش از تیمار چیپس چوب بود.

Śpitalniak و همکاران (2019)، از ژئوکامپوزیت‌های جاذب آب برای حفاظت از آب و خاک زمین‌های کشاورزی منطقه‌ای در کشور لهستان استفاده کردند. نتایج نشان داد که خاصیت موئینگی این تیمارها به بهبود کیفیت آب و حفظ پروفیل خاک منجر می‌شود.

به‌طورکلی، در مناطق جنگلی با شرایط اکولوژیکی سخت مانند نیمرخ جنوبی و ارتفاعات بالای نیمرخ شمالی البرز و جنگل‌های غرب، بدون یاری‌دادن به طبیعت و فعالیت‌های مرمت و مقاوم‌سازی، امکان تثبیت ترانشه‌های خاکی راه به طور طبیعی و به‌راحتی ممکن نیست. در این شرایط، اقدامات زیست‌مهندسی می‌توانند در تثبیت ترانشه‌های خاکی جاده‌ها مؤثر باشند (Sarikhani and Majnonian, 1994). فنون زیست‌مهندسی نسبت به روش‌های مکانیکی کم هزینه‌تر است و این مسئله برای حفاظت از جاده‌ها در طرح‌های جنگل‌داری ـ که غالباً با تنگناهای مالی مواجه‌اند ـ اهمیت

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

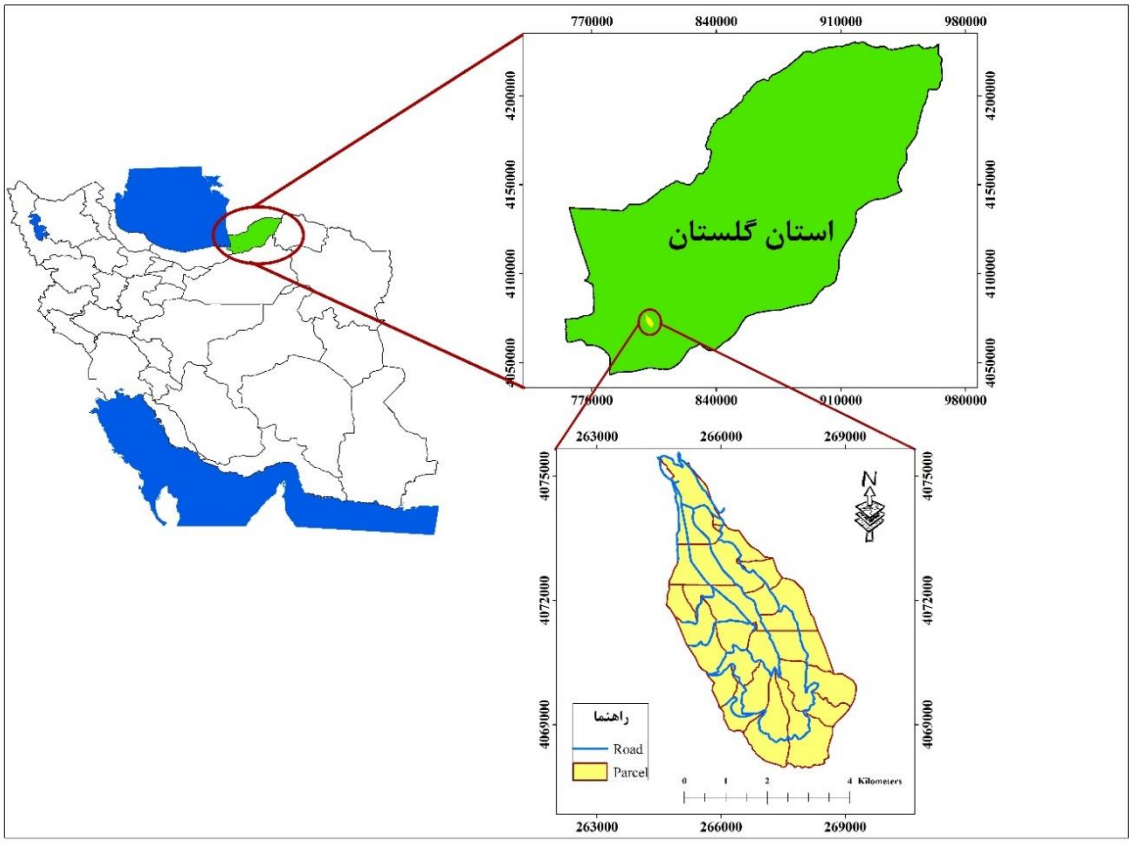
زیادی دارد. Cairns (1994) گزارش کرد که اگر هزینهٔ زیست‌مهندسی در هر متر ده دلار باشد، هزینهٔ تثبیت مکانیکی چهار برابر بیشتر خواهد بود. از نظر اقتصادی، هنگامی مرمت یک ساختمان قابل توجیه است که هزینهٔ تعمیر، کمتر از هشتاد درصد هزینهٔ مورد نیاز برای تخریب و دوباره‌سازی ساختمان با توجه به عمر سپری شدهٔ آن باشد. متأسفانه اجرای فنون زیست‌مهندسی برای تثبیت و مرمت شیب‌های مشرف به جاده‌های جنگلی علی‌رغم مقرون‌به‌صرفه بودن و سازگاری با محیط زیست، به‌دلیل اطمینان نداشتن از کارآمدی، دوام، دشواری تهیهٔ مواد اولیه، ظرافت طراحی و ساخت و فقدان دانش کافی در زمینهٔ مزیت‌های آن مغفول باقی مانده است. در این شرایط، اقدامات زیست‌مهندسی می‌تواند در تثبیت ترانشه‌های خاک‌برداری جاده‌ها مؤثر باشد. علاوه براین، روش‌های زیست‌مهندسی تثبیت خاک می‌تواند به نگهداشت عناصر غذایی خاک، آماده‌سازی بستر مناسب برای رویش مجدد گیاهان بومی، حفظ میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش مقاومت ساختمان جاده با حداقل هزینه‌ها منجر شود. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر برخی از تیمارهای زیست‌مهندسی شامل نصب کیسه‌های جذب آب، چپر مرده و تثبیت سلولی (ژئوسل) بر میزان رسوب‌دهی ترانشه‌های جاده‌های جنگلی تحت ریزش‌های جوی و میزان کارایی و عملکرد آنها است. همچنین در این پژوهش با مقایسهٔ هزینه‌های تهیه، نصب، اجرا و نگهداری هر یک از تیمارهای به کار رفته شده در تثبیت ترانشه‌های جاده، بهترین تیمار مشخص می‌شود. این بررسی و بررسی‌های مشابه می‌تواند در دستیابی به آگاهی و بینش لازم در مورد نقش تیمارهای زیست‌مهندسی در حفاظت از عرصه‌های جنگلی و در نهایت، مدیریت صحیح و پایدار جاده‌ها در مناطق جنگلی به ما یاری رساند.

## ۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

این پژوهش در محدودهٔ سری یک جنگل آموزشی ـ پژوهشی دکتر بهرام‌نیا و در حوضه آبخیز ۸۵ طرح جامع جنگل‌های شمال کشور و در فاصلهٔ هشت کیلومتری جنوب غربی شهرستان گرگان انجام شد. محدودهٔ طول جغرافیایی این منطقه "۲۶ '۲۱ °۵۴ تا "۵۷ '۲۴ °۵۴ و عرض جغرافیایی آن "۲۷ '۴۳ °۳۶ تا "۰۶ '۴۸ °۳۶ است. مساحت سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا، ۱۷۱۳ هکتار و حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا به‌ترتیب ۲۱۰ و ۹۹۵ متر است. تیپ غالب این رویشگاه، راش ـ ممرزستان (*Carpinus betulus* L. و *Fagus orientalis* Lipsky) و متوسط شیب زمین، ۲۵ درصد است. طول کل جادهٔ موجود در این منطقه نیز ۳۱/۰۵۹ کیلومتر است که ۴/۱۰۴ کیلومتر آن از نوع جادهٔ درجه یک و بقیه از نوع جادهٔ درجه دو و سه است. جاده‌های مورد بررسی، در دههٔ هفتاد هجری شمسی ساخته شده‌است و از نوع جاده‌های جنگلی درجه دو محسوب می‌شود. شیب متوسط این جاده‌ها، پنج درصد و میانگین طول شیروانی‌ها ۲/۳ متر و اغلب پوشیده از گیاه تمشک است. براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی، متوسط بارندگی طی دورهٔ ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷ در این منطقه ۵۲۶/۱ میلی‌متر است که بر اساس ضریب خشکی دومارتن، این منطقه اقلیم مدیترانه‌ای گرم و مرطوب با آب و هوای معتدل دارد. میانگین بارندگی و درجه حرارت سالیانه به‌ترتیب ۵۶۲ میلی‌متر و هیجده درجهٔ سانتی‌گراد و شاخص خشکی آن بیست است. متوسط شیب طولی جاده‌ها ۶/۵ درصد، شیب عرضی ۴ درصد، عرض بستر ۵/۶ متر، عرض جوی ۱/۳ متر و عمق جوی ۰/۵ متر است. قسمت‌هایی از جاده نیز که از آبراهه‌های جنگلی مستقل است، در طول سال تحت تنش برشی رواناب قرار دارد و رسوب فراوانی تولید می‌کند. جادهٔ مورد مطالعه در این پژوهش، از نوع جادهٔ درجه دوم و مصالح مورد استفاده در روسازی آنها بیشتر از مصالح رودخانه‌ای و در برخی موارد مصالح کوهی

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

است. طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا در جهت شمالی البرز قرار دارد. از نظر زمین‌ساختی (تکتونیک)، گسترهٔ طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا پیر و زمین‌ساخت البرز کوه است؛ به گونه‌ای که می‌توان سرشت جوان زمین‌ساخت البرز کوه را در نمودهای ساختمانی آن تجربه کرد. وجود عناصر ساختمانی چون گسل‌های جوان و پویا، بیانگر شرایط یاد شده می‌باشد. شبکهٔ رواناب سطحی و رودخانه‌های عمدهٔ جنگل نامبرده، به وسیلهٔ گسل شکل گرفته‌اند. از نظر زمین-شناسی نوع سنگ مادری، شیل همراه با ماسه‌سنگ آهکی و کنگلومرای دوران ژوراسیک و از نظر نفوذپذیری سنگ مادری، ضعیف تا متوسط است.




**شکل ۱: موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران و استان گلستان**

## ۳ـ مواد و روش

### ۳ـ۱ـ تهیه و جمع‌آوری داده‌ها

در طول شبکهٔ جاده‌های جنگلی سری مورد مطالعه، موقعیت مکانی ترانشه‌های خاکی مستعد فرسایش و رانشی ــ که از نظر مشخصات عمومی شیب (۶۰-۳۰)، جهت (شمالی) و خاک (لوم رسی شنی) شرایط تقریباً یکسانی دارند ــ به‌کمک GPS ثبت شد. در مجموع، شانزده ترانشهٔ خاکی مستعد فرسایش و رانشی با شیب ۶۰-۳۰ درجه در دامنه‌های شمالی مناطق یادشده شناسایی شد. سپس دوازده ترانشه، هر یک با حداقل مساحت قابل کار سی مترمربع به صورت

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

تصادفی ساده انتخاب شد. در پایان نیز تیمارهای زیست‌مهندسی در قالب طرح بلوک تصادفی با دو بلوک (فصل پاییز

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک ۱ پاییز | R1 T1 | R1 T2 | R1 T3 | R1 T4 | R2 T2 | R2 T3 | R2 T4 | R2 T1 | R3 T4 | R3 T1 | R3 T2 | R3 T3 |
| بلوک ۲ زمستان | R1 T1 | R1 T2 | R1 T3 | R1 T4 | R2 T2 | R2 T3 | R2 T4 | R2 T1 | R3 T4 | R3 T1 | R3 T2 | R3 T3 |

T1 شاهد  T2 کیسه جذب آب  T3 تثبیت سلولی  T4 چپر مرده

R1 تکرار اول  R2 تکرار دوم  R3 تکرار سوم

و زمستان)، چهار تیمار و سه تکرار به‌اجرا درآمد.

**شکل۲: وضعیت اجرای تیمارها**

**کیسه‌های جذب آب:** در این عملیات، کیسه‌های کنفی با قطر سی سانتی‌متر و طول سه متر از کاه خرد شده از کاه برنج فجر خرد شده با سایز دو سانتی‌متر پر شد. کیسه‌های بالشتکی نیز به موازات هم و با فاصلهٔ ۱/۵ متر از یکدیگر بر روی ترانشهٔ خاک‌برداری نصب شد؛ بدین صورت که شیاری به عمق پانزده سانتی‌متر ایجاد و کیسه‌های بالشتکی توسط میخ‌های چوبی در شیارها قرار گرفت.

**تثبیت سلولی:** در این عملیات به‌کمک تخته‌چوب‌های الواری از جنس صنوبر به طول سه متر و عرض ۲۵ سانتی‌متر، شبکه سلولی با سلول‌هایی به ابعاد ۵۰ × ۱۰۰ سانتی‌متر ایجاد و تا عمق ده سانتی‌متر بر روی ترانشهٔ جاده‌های جنگلی نصب شد. با گذشت زمان، پوشش گیاهی به‌طور طبیعی در درون سلول‌ها قرار گرفت.

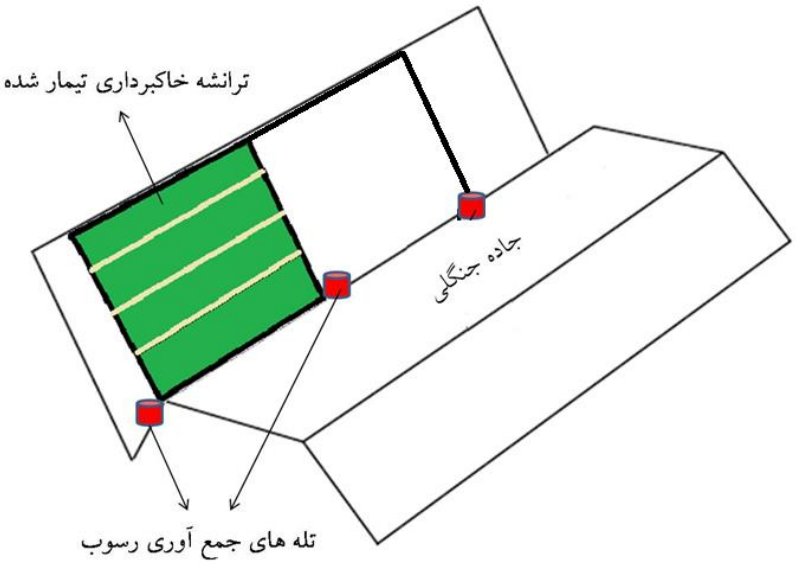
**چپر مرده:** در این روش، تراس‌هایی به پهنای ۰/۴ متر و به فاصلهٔ ۱/۵ متر از یکدیگر روی ترانشه ایجاد شد. سپس میخ‌های چوبی به قطر پنج سانتی‌متر و با فاصلهٔ یک متر از یکدیگر در امتداد خطوط منحنی‌میزان، روی تراس کوبیده شد؛ به گونه‌ای که ۰/۸ متر از میخ‌ها در بیرون تراس قرار داشت. سپس چوب‌های خم شونده از گونهٔ انجیلی به قطر حداکثر سه سانتی‌متر و طول سه متر، از لابه‌لای میخ‌ها عبور داده شد.



[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

**شکل۳: ترانشه‌های تثبیت شده با تیمارهای مختلف**

پس از اعمال تیمارهای زیست‌مهندسی به جمع‌آوری رسوب پرداخته شد؛ بدین صورت که در ابتدا و انتهای هر ترانشه در محل جوی کناری، تله‌های استوانه‌ای شکل به قطر ۰/۴ متر و عمق ۰/۶ متر و برای تخمین ارتفاع رسوب، در مرکز هر تله شاخصی مدرج نصب شد. سپس برداشت نمونه‌ها پس از هر بارندگی و در طول دو فصل پاییز و زمستان صورت گرفت (شکل ۴)؛ به این صورت که برای محاسبهٔ حجم رسوب، ارتفاع رسوب (میلی‌متر) و سطح رسوب‌گذاری (متر مربع) پس از هر بارندگی اندازه‌گیری شد. در انتهای هر دوره نیز سه نمونه به روش حلقه از هر تلهٔ رسوب برداشت و برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری به آزمایشگاه منتقل شد؛ بدین صورت که حلقهٔ استوانه‌ای روی محل مورد نظر ــ درون تلهٔ رسوب‌گیر ــ قرار گرفت و تخته‌ای چوبی بر آن گذاشته شد. سپس استوانه با ضربهٔ چکش پلاستیکی به طور کامل درون رسوب قرار گرفت و دور آن با کاردک، خالی و استوانه از محل مورد نظر برداشته شد. در ادامه، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد آون، خشک و با ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم وزن شد (شکل ۵). استوانه‌ها روی محل مورد نظر ــ داخل تلهٔ رسوب‌گیر ــ قرار گرفت و تخته‌ای چوبی بر آن گذاشته شد. سپس استوانه با ضربهٔ چکش پلاستیکی به طور کامل درون رسوب قرار گرفت و دور آن با کاردک، خالی و استوانه از محل مورد نظر برداشته شد. در ادامه، استوانه‌های موردنظر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد در آون قرار گرفت. سپس از آن خارج و با توجه به وزن خالی استوانه و حجم آن، وزن مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شد. برای محاسبهٔ جرم رسوب (گرم) در هر مرحلهٔ اندازه‌گیری، حجم رسوب (سانتی‌مترمکعب) در وزن مخصوص (گرم در سانتی‌مترمکعب) ضرب شد. همچنین در پایان، هزینهٔ تهیهٔ تیمارها (هزینهٔ خرید، ساخت یا تهیهٔ کیسه‌های جذب آب، تخته‌های تثبیت سلولی و تیرک‌های چوبی چپر مرده)، حمل و نقل، نصب و اجرا در محل (هزینه‌های کارشناسی و کارگری) و هزینه‌های نگهداری برآورد و مقایسه شد.




**شکل ۴: تله‌گذاری در جوی کناری و در محدودهٔ ترانشه تیمار شده**

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]



**شکل ۵: استوانهٔ فلزی مخصوص برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری**

### ۳ـ۲ـ تجزیه و تحلیل آماری

مجموعه داده‌ها عبارتند از: متغیرهای مستقل شامل تیمارهای زیست‌مهندسی و میزان بارندگی، و متغیر وابسته شامل میزان تحویل رسوب. نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو ـ ویلک (Shapiro-Wilk-test) و تساوی واریانس‌ها با آزمون لون (Levene's test) بررسی شد. در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها و فقدان تساوی واریانس‌ها، از آزمون ناپارامتریک کراسکال ـ والیس (Kruskal-Wallis) استفاده می‌شود. در زمینهٔ بررسی متغیرهای مستقل، از رویه ANOVA و آزمون توکی (Tukey) استفاده شد. تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری نیز در نرم‌افزار SAS صورت گرفت.

## ۴ـ یافته‌ها (نتایج)

### وزن مخصوص ظاهری رسوب حاصل از پلات‌های تیمار شده

وزن مخصوص ظاهری رسوب جمع شده در گودال‌های نمونه‌برداری ـ که از آن برای محاسبهٔ جرم کل رسوب حاصل از هر تیمار استفاده می‌شود ـ در جدول ۱ ارائه شده‌است.

**جدول ۱: وزن مخصوص ظاهری رسوب مربوط به تیمارهای مختلف زیست مهندسی**

| تیمارها | چپر مرده | کیسه جذب آب | تثبیت سلولی | شاهد |
|---|---|---|---|---|
| وزن مخصوص ظاهری رسوب (گرم در سانتی‌متر مکعب) | ۱/۴۱ | ۱/۵۲ | ۱/۲۰ | ۱/۳۶ |

### رابطهٔ شدت و مدت بارندگی با رسوب‌دهی ترانشه‌های خاک‌برداری جاده‌های جنگلی

اطلاعات ۹ رویداد بارندگی ـ که در طول تحقیق صورت گرفت ـ در جدول ۲ ارائه شده‌است. نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی نشان داد که بین مدت بارندگی با مقدار رسوب تولید شده از ترانشه‌های تیمار شده با چپر مرده رابطهٔ معنی‌داری وجود نداشت؛ اما در تیمار تثبیت سلولی با افزایش مدت بارندگی، مقدار تولید رسوب نیز به‌طور معنی‌داری

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

افزایش یافت (P>0.05). همچنین بین مدت بارندگی با مقدار رسوب تولید شده از ترانشه‌های تیمار شده با کیسه‌های جذب آب در سطح احتمال ۹۹ درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. هیچ همبستگی معنی‌داری بین شدت بارندگی با مقدار رسوب تولید شده از ترانشه‌ها مشاهده نشد (جدول ۳).

**جدول۲: مشخصات رویدادهای بارندگی در تحقیق حاضر**

| رویداد بارندگی | تاریخ وقوع | مدت بارندگی (ساعت) | میزان بارندگی (میلی‌متر) | شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۳۹۹/۰۷/۳۰ | ۲.۵۳ | ۰.۲۵ | ۰.۰۹ |
| ۲ | ۱۳۹۹/۰۸/۱۸ | ۸ | ۱.۶۵ | ۰.۲۰ |
| ۳ | ۱۳۹۹/۰۸/۲۱ | ۲.۹ | ۰.۴۵ | ۰.۱۵ |
| ۴ | ۱۳۹۹/۰۹/۰۲ | ۱۷.۴۳ | ۱.۶۵ | ۰.۰۹ |
| ۵ | ۱۳۹۹/۰۹/۰۷ | ۴.۷۶ | ۰.۳۰ | ۰.۰۶ |
| ۶ | ۱۳۹۹/۰۹/۲۰ | ۱۳.۴۶ | ۰.۸۱ | ۰.۶ |
| ۷ | ۱۳۹۹/۱۰/۰۵ | ۱۱.۷۳ | ۲.۰۸ | ۰.۱۷ |
| ۸ | ۱۳۹۹/۱۰/۱۶ | ۰.۵ | ۰.۰۲ | ۰.۰۴ |
| ۹ | ۱۳۹۹/۱۱/۰۲ | ۹.۱۶ | ۱.۱۱ | ۰.۱۲ |

**جدول ۳: تجزیه و تحلیل همبستگی شدت و مدت بارندگی با میزان رسوب‌دهی ترانشه‌های خاکی تیمار شده**

| متغیر | شدت بارندگی | مدت بارندگی |
|---|---|---|
| **چپر مرده** | ۰/۱۴۸ | -۰/۱۵۷ |
| **تثبیت سلولی** | -۰/۲۱۹ | ۰/۵۰۲* |
| **کیسهٔ جذب آب** | ۰/۲۷۶ | ۰/۷۸۶** |

### اثر تیمارهای مختلف بر کاهش مقدار رسوب حاصل از ترانشه‌های خاک‌برداری

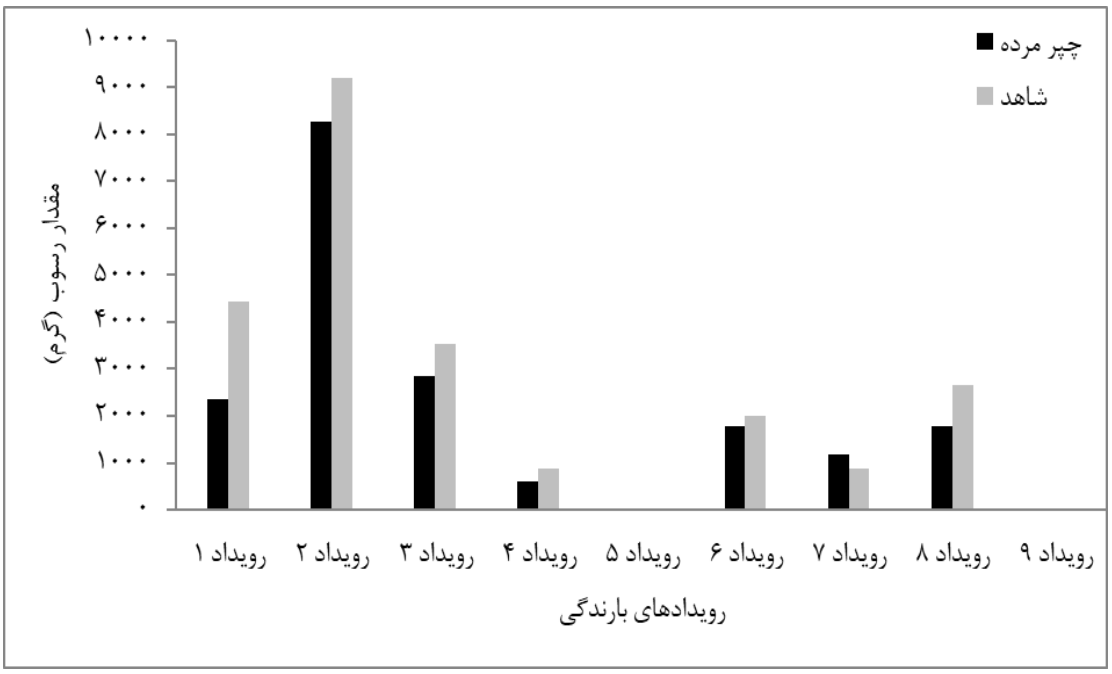
نتایج به‌دست آمده از تجزیهٔ واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر کاهش مقدار رسوب حاصل از ترانشه‌های خاک-برداری نشان داد که تمامی تیمارهای زیست‌مهندسی به‌صورت معنی‌داری به کاهش رسوب منجر شدند (p<0.0001). مقدار این کاهش، بین رویدادهای مختلف بارندگی در سطح احتمال ۹۵ درصد متفاوت بود. اثر متقابل نوع تیمار و رویدادهای بارندگی نیز بر مقدار کاهش رسوب در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

جدول ۴: تجزیهٔ واریانس میانگین شاخص‌های پایداری ساختمان خاک

| منابع تغییر | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| تیمارهای زیست‌مهندسی | ۲ | ۸۴۹۴/۳۷ | ۴۲۴۷/۱۸ | ۳۳/۲۷ | ۰/۰۰۰ |
| فصل | ۱ | ۷۵۹/۴۶ | ۷۵۹/۴۶ | ۵/۹۵ | ۰/۰۳۱ |
| اثر متقابل | ۲ | ۱۴۶۷/۲۳ | ۷۳۳/۶۲ | ۵/۷۵ | ۰/۰۱۸ |
| خطا | ۱۲ | ۱۵۳۲/۰۷ | ۱۲۷/۶۷ | | |
| ضریب تغییرات (٪) | ۳۴ | | | | |

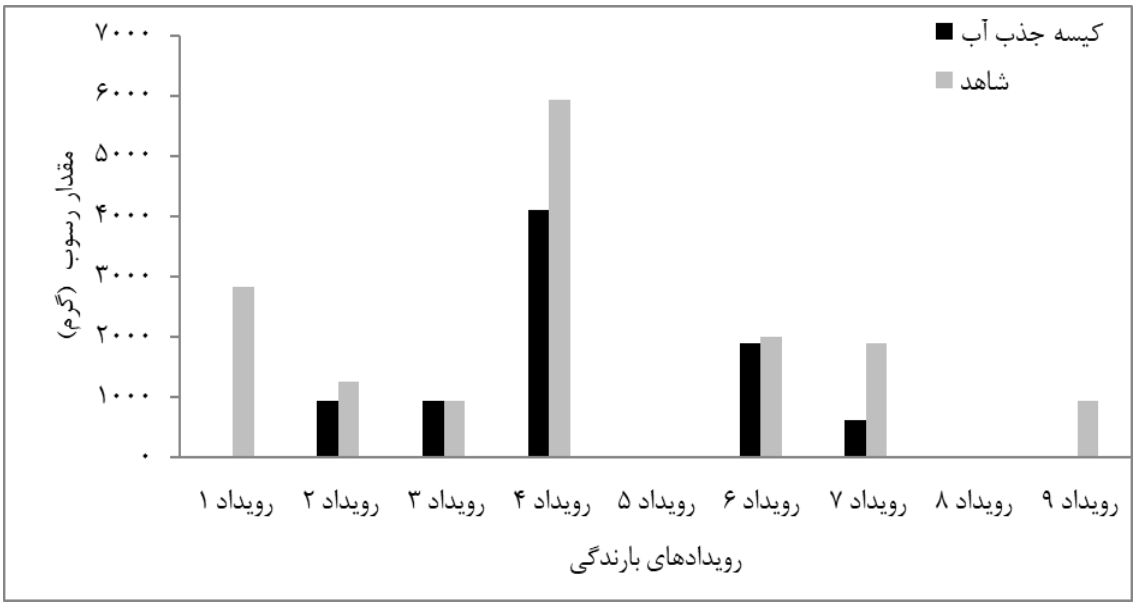
با توجه به شکل ۶، در رویدادهای مختلف بارندگی که در ماه‌های آبان و آذر در فصل پاییز و دی و بهمن در فصل زمستان رخ داد، مقدار رسوب حاصل از قطعهٔ شاهد در تمام رویدادها بیش از قطعات تثبیت‌شده با چپرمرده بود. بیشترین مقدار رسوب، در رویداد دوم بارندگی و کمترین آن، در رویدادهای ۵ و ۹ رخ داد؛ به‌طوری که در این دو رویداد، هیچ رسوبی در قطعهٔ شاهد و قطعات تیمارشده ثبت نشد.




شکل ۶: مقایسهٔ مقادیر رسوب حاصل از قطعهٔ شاهد و قطعهٔ تثبیت شده با چپر مرده در رویدادهای مختلف بارندگی

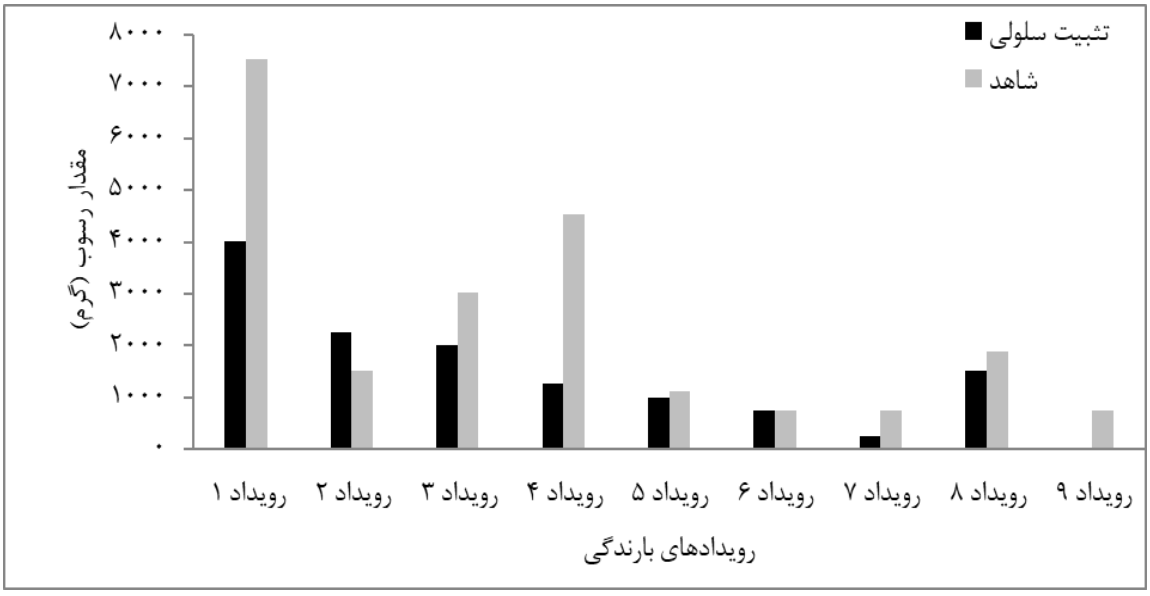
با توجه به شکل ۷، در رویدادهای مختلف بارندگی که در ماه‌های آبان و آذر در فصل پاییز و دی و بهمن در فصل زمستان رخ دادند، مقدار رسوب حاصل از قطعهٔ شاهد در تمام رویدادها بیش از قطعات تثبیت‌شده با کیسه‌های جذب آب بود. بیشترین مقدار رسوب، در رویداد چهارم بارندگی و کمترین آن، در رویدادهای ۵ و ۸ شکل گرفت؛ به‌طوری که در این دو رویداد، هیچ رسوبی در قطعهٔ شاهد و قطعات تیمارشده ثبت نشد. علت عدم تشکیل رسوب در این دو رویداد، ناچیز بودن مقدار بارندگی و جاری نشدن جریان است.

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]




**شکل ۷: مقایسهٔ رسوب حاصل از قطعهٔ شاهد و قطعهٔ تثبیت شده با کیسهٔ جذب آب در رویدادهای مختلف بارندگی**

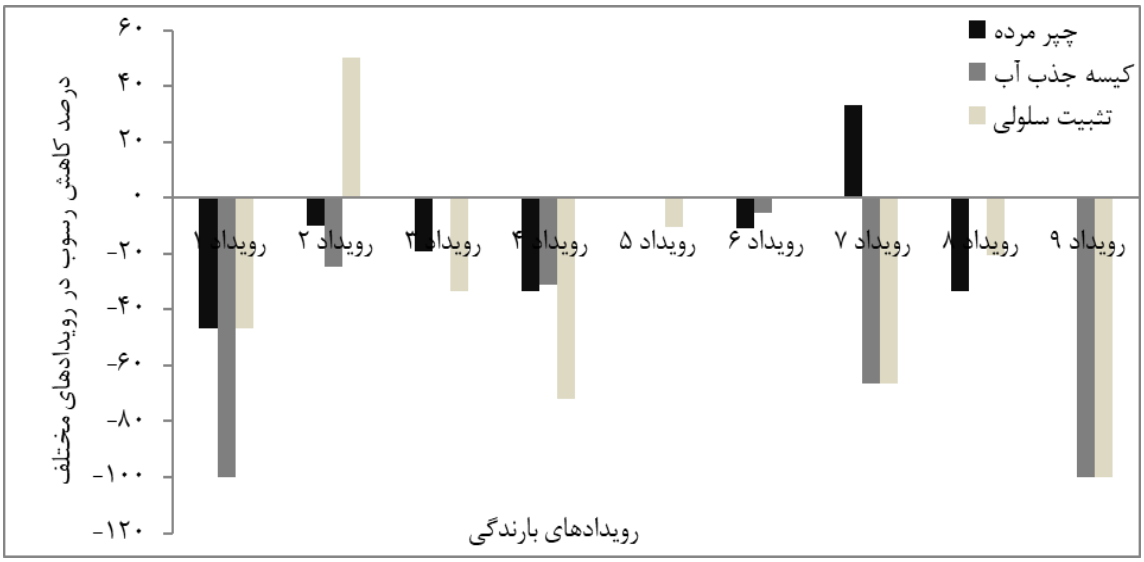
با توجه به شکل ۸، در رویدادهای مختلف بارندگی که در ماه‌های آبان و آذر در فصل پاییز و دی و بهمن در فصل زمستان رخ داد، مقدار رسوب حاصل از قطعهٔ شاهد در تمام رویدادها بیش از قطعات تثبیت‌شده با سلول‌های چوبی بود. بیشترین مقدار رسوب، در رویداد اول بارندگی و کمترین آن، در رویدادهای ۶ و ۷ شکل گرفت.




**شکل ۸: مقایسهٔ رسوب حاصل از قطعهٔ شاهد و قطعهٔ تثبیت شده با سلول‌های چوبی در رویدادهای مختلف بارندگی**

شکل ۹، مقایسهٔ اثربخشی تیمارهای مختلف زیست‌مهندسی را در کاهش رسوب در رویدادهای مختلف بارندگی نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، تیمارهای کیسهٔ جذب آب و تثبیت سلولی در هر یک از رویدادها کارآمدتر از تیمار چپر مرده بود.

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

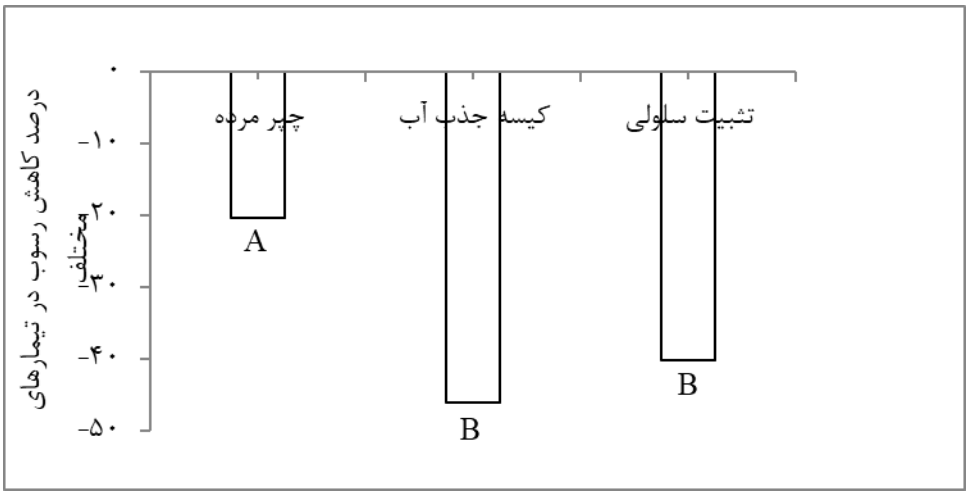



**شکل ۹: مقایسهٔ درصد کاهش رسوب توسط تیمارهای مختلف زیست‌مهندسی در رویدادهای مختلف بارندگی**

در مجموع، نتایج آزمون T جفتی نشان داد که بین مقدار رسوب حاصل از شیب‌های تیمارشده با چپر مرده و شیب شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ اما در مقایسهٔ تیمار کیسهٔ جذب آب و شاهد، در سطح احتمال ۵ درصد و در مقایسهٔ تیمار تثبیت سلولی و شاهد، در سطح احتمال ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). مقدار رسوب حاصل از تیمارهای چپر مرده، کیسهٔ جذب آب و تثبیت سلولی به ترتیب ۴۷۸۷، ۷۳۰۹ و ۸۷۹۸ گرم کمتر از تیمار شاهد بود (شکل ۱۰).

**جدول ۵: مقایسهٔ مقدار رسوب حاصل از تیمارهای زیست مهندسی با تیمار شاهد**

| آزمون جفتی | درجه آزادی | میانگین‌ها (گرم) | مقدار T | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| **چپر مرده – شاهد** | ۲ | ۲۳۵۸۲/۳-۱۸۷۹۴/۹ | -۰/۷۱۳ | ۰/۵۵۰ |
| **کیسه جذب آب – شاهد** | ۲ | ۱۵۸۴۳/۸-۸۵۳۴/۵ | -۵/۳۵۸ | ۰/۰۳۳ |
| **تثبیت سلولی – شاهد** | ۲ | ۲۱۸۶۰/۴-۱۳۰۶۲/۴ | -۳۵/۰۲۴ | ۰/۰۰۱ |




**شکل ۱۰: درصد کاهش رسوب در تیمارهای مختلف زیست‌مهندسی**

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

**مقایسهٔ هزینهٔ اجرایی تیمارهای مختلف زیست‌مهندسی**

در جدول ۶، نوع و مقدار مصالح مصرفی برای تثبیت یک متر مربع ترانشهٔ خاک‌برداری در سال ۱۳۹۹ مشخص شده‌است.

**جدول ۶: مقدار و قیمت مواد اولیهٔ مورد استفاده در ساخت تیمارهای زیست‌مهندسی**

| مواد اولیه | قیمت (ریال) | مقدار مورد نیاز برای تثبیت هر مترمربع |
|---|---|---|
| **چوب چهارتراش دسته دوم ۲×۲۵×۳۰۰** | ۵۰۰۰۰۰ | ۵ متر |
| **گونی کنفی برای ساخت کیسهٔ جذب آب** | ۸۰۰۰۰ | ۱ متر |
| **کاه برنج برای ساخت هر متر کیسهٔ جذب آب** | ۱۰۰۰۰ | ۲ کیلوگرم |

**جدول ۷: هزینه کل نصب و اجرای انواع تیمارهای زیست‌مهندسی**

| تیمار | هزینه کارگری نصب و اجرا (ریال در مترمربع) | هزینه مواد اولیه (ریال در مترمربع) | هزینه حمل و نقل (ریال در مترمربع) | هزینه کل (ریال در مترمربع) |
|---|---|---|---|---|
| **چپر مرده** | ۱۳۰۰۰۰ | - | ۵۰۰۰ | ۱۳۵۰۰۰ |
| **کیسهٔ جذب آب** | ۱۰۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۲۱۰۰۰۰ |
| **تثبیت سلولی** | ۱۰۰۰۰۰ | ۸۳۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۹۴۰۰۰۰ |

نتایج نشان داد که کمترین هزینهٔ اجرایی در ساخت تیمارهای زیست مهندسی، مربوط به تیمار چپر مرده با ۱۳۵۰۰ ریال به ازای هر متر مربع و بیشترین هزینه، مربوط به تثبیت سلولی با ۹۴۰۰۰۰ ریال به ازای هر مترمربع است.

**۵ـ بحث و نتیجه‌گیری**

نتایج بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که تیمارهای زیست‌مهندسی، روشی مناسب و کارآمد در زمینهٔ ترمیم یا اصلاح خاک است که می‌توان از آن در مناطق فرسایشی استفاده کرد. تثبیت و حفاظت ترانشهٔ خاکی جاده‌جنگلی بسیار مهم است؛ زیرا با گذشت زمان، مناطق غیر فرسایشی فرصت لازم را برای ایجاد پوشش گیاهی دارند (Davies et al, 2006). نتایج نشان داد که تیمارهای زیست‌مهندسی، توانایی مناسبی در کنترل و جذب رواناب دارند و می‌توانند میزان جریان آب و جرم رسوب (هدررفت خاک) را کاهش دهند. نتایج به‌دست آمده از تجزیهٔ واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر کاهش مقدار رسوب حاصل از ترانشه‌های خاک‌برداری جاده‌های جنگلی نشان داد که تمامی تیمارهای زیست‌مهندسی، به‌صورت معنی‌داری سبب کاهش رسوب شدند ($p<0.0001$).

در بررسی اثربخشی تیمارهای مختلف زیست‌مهندسی در رویدادهای مختلف بارندگی مشخص شد که تیمار کیسهٔ جذب آب نسبت به دو تیمار تثبیت سلولی و چپر مرده کارآمدتر است؛ علت این امر، ساختار کنفی و خاصیت جذب آب این نوع تیمار است که باعث می‌شود میزان فرسایش و تولید رسوب در جوی کناری نسبت به سایر تیمارها کمتر شود. این یافته با نتایج تحقیقات Broda و همکاران (2016) و Broda و همکاران (2017) همخوانی دارد. یکی دیگر از دلایل عملکرد بهتر کیسهٔ جذب آب در کاهش رسوب‌دهی این است که خود تیمار در زمان اجرا و نصب، کمتر به کندن خاک و به هم خوردن آن نیاز دارد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان کاهش رسوب در هر تیمار نسبت

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

به تیمار شاهد، مربوط به تیمار کیسهٔ جذب آب با مقدار کاهش رسوب ۸۷۹۸ گرم و کمترین میزان کاهش رسوب، مربوط به تیمار چپرمرده با مقدار کاهش رسوب ۴۷۸۷/۴ گرم بود که نشان می‌دهد بین تیمار چپر مرده نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، ولی در دو تیمار دیگر تفاوت معنی‌دار است.

تیمارهای چپر مرده، کیسهٔ جذب آب و تثبیت سلولی میزان هدررفت خاک را به مقدار ۲۰/۳۰، ۴۶/۱۳ و ۴۰/۲۴ درصد کاهش داده‌اند. کاهش میزان هدررفت خاک در تیمارهای مذکور نسبت به تیمار شاهد، به این دلیل است که این تیمارها هر کدام به صورت یک دیوارهٔ حائل عمل می‌کند و به کاهش سرعت جریان آب منجر می‌شود. این یافته با نتایج پژوهش Fakhari et al (2019) همخوانی دارد. در مقایسهٔ بین تیمار زیست‌مهندسی به کار رفته در این پژوهش، تیمار کیسهٔ جذب آب علاوه بر اینکه به صورت یک دیوارهٔ حائل عمل می‌کند، به دلیل ساختار کنفی مانع از حرکت جریان آب می‌شود و مانند بافتی اسفنجی به نفوذ بیشتر آب در خاک منجر می‌شود. در نتیجه، این تیمار در کاهش رسوب و فرسایش در دیواره‌های خاک‌برداری بیشترین نقش را دارد. نتایج حاصل با نتایج Shao et al (2014) و Fakhari et al (2019) همخوانی دارد. تیمار کیسهٔ جذب آب مانند بافتی اسفنجی به نفوذ بیشتر آب در خاک منجر می‌شود؛ در نتیجه، در کاهش رسوب و فرسایش بیشترین نقش را دارد (Shao et al, 2014 & Fakhari et al, 2019). تیمار تثبیت سلولی نیز به دلیل ساختار شبکه‌ای، به تقسیم آب در سطح بیشتر، کاهش سرعت و نفوذ تدریجی و در نتیجه کاهش میزان هدررفت خاک در ترانشه‌های خاک‌برداری منجر می‌شود (Luo et al, 2013).

نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی نشان داد که بین مدت بارندگی با مقدار رسوب تولید شده از ترانشه‌های تیمار شده با چپر مرده رابطهٔ معنی‌داری وجود نداشت؛ اما در تیمار تثبیت سلولی با افزایش مدت بارندگی، مقدار تولید رسوب به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P>0.05$). همچنین بین مدت بارندگی با مقدار رسوب تولید شده از ترانشه‌های تیمار شده با کیسه‌های جذب آب در سطح احتمال ۹۹ درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. بین شدت بارندگی با مقدار رسوب تولید شده از ترانشه‌ها نیز همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. قطعاً بین شدت بارندگی و میزان رسوب رابطه وجود دارد، اما احتمالاً در این پژوهش چون شدت‌های چندان متفاوتی اتفاق نیفتاده‌است و تقریباً همه نزدیک به یکدیگر بوده‌اند، تفاوت معنی‌داری بین شدت‌های موجود در این تحقیق مشاهده نشده‌است.

کمترین هزینهٔ اجرایی در ساخت تیمارهای زیست‌مهندسی، مربوط به تیمار چپر مرده با ۱۳۵۰۰ ریال به ازای هر متر مربع و بیشترین هزینه، مربوط به تثبیت سلولی با ۹۴۰۰۰۰ ریال به ازای هر مترمربع است. اگرچه کیسهٔ جذب آب کمی عملکرد بهتری داشت، نمی‌توان بین کیسهٔ جذب آب و تثبیت سلولی تفاوتی قائل شد. از نظر هزینهٔ نصب و اجرا، تیمار تثبیت سلولی پر هزینه‌تر است؛ از این رو می‌توان گفت که از نظر کارکرد و اقتصادی، تیمار کیسهٔ جذب آب مناسب‌تر است. به طور کلی، استفاده از تیمارهای زیست‌مهندسی نسبت به سایر روش‌های کنترل فرسایش هزینهٔ کمتری دارد (Evetteet al, 2009). در این تحقیق، روش تثبیت سلولی نیز با وجود هزینهٔ بسیار، عملکرد مطلوبی داشت. امروزه تثبیت سلولی به عنوان روش پیشرفتهٔ تثبیت خاک، با تکیه بر محصور کردن خاک می‌تواند راهگشای بسیاری از مسائل چالش برانگیز در زمینهٔ تثبیت خاک باشد. تثبیت سلولی محصول پلیمری یا چوبی، سه‌بعدی و نفوذپذیر است که دارای ساختار شبکه‌ای به صورت لانه زنبوری است. این سلول‌ها در میان خود، فضایی خالی دارند که این فضا می‌تواند توسط مصالح طبیعی مانند خاک، سنگ و مواد پلیمری مانند فوم پر شود. هنگامی که این مصالح با خاک پر می‌شوند، یک

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

سیستم محصور را شکل می‌دهند. سیستم تثبیت سلولی هنگامی که بار بر خاک اعمال می‌شود، به عنوان توزیع‌کنندهٔ بار عمل می‌کند و تنش کمتری را به لایه‌های زیرین انتقال می‌دهد. سلول‌ها نه تنها خاک را در محل حفظ می‌کنند، بلکه فرایند زهکشی را هم میسر می‌سازند. مزیت دیگر این است که پوشش گیاهی می‌تواند بر روی این سیستم رشد کند؛ بنابراین، یک دیوارهٔ زیبا و سازگار با طبیعت را می‌توان با روش تثبیت سلولی ایجاد کرد. ذرات خاک، استعداد جدا شدن دارد و با جریان‌های رواناب پراکنده می‌شود. روش تثبیت سلولی، پوشش مواد روی دامنه را به صورت مؤثر حفظ و نگهداری می‌کند؛ در نتیجه به کاهش پتانسیل فرسایش منجر می‌شود. دیواره‌های سلولی نیز از شکل‌گیری رواناب بر اثر بارندگی جلوگیری می‌کند و سیستم را دست‌نخورده باقی می‌گذارد. علاوه بر این، در این پژوهش کیسه‌های جاذب آب برای کنترل فرسایش خاک قابل توجه قرار گرفت و این امر با استفاده از امکانات موجود، در مناطقی اجرا شد که مسئله رواناب به فرسایش شیب‌ها منجر می‌شود. این کیسه‌ها می‌توانند با جذب رواناب، شرایط خاک را در زمان‌های خشک نیز برای ادامهٔ رشد گیاهان در حد مطلوب فراهم کنند؛ علت این امر، نفوذ آب در کیسه‌ها و لایه‌های زیرین خاک و ممانعت کیسه‌ها از تبخیر سطحی آن است. به طور کلی، بررسی و پایش تیمارهای مختلف نشان داد که استفاده از تیمارهای زیست‌مهندسی به‌ویژه تیمار کیسهٔ جذب آب و تثبیت سلولی می‌تواند در کاهش میزان رسوب‌دهی جاده-های جنگلی اثر معنی‌داری داشته باشد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از روش‌های دیگر زیست‌مهندسی مانند چپر زنده، فنس زنده، میخکوبی زنده و ... در تثبیت دیوارهٔ خاک‌برداری در جاده‌جنگلی استفاده شود.

## منابع


1. Afshar, M., 2003. Analysis of slope stability in coarse aggregates soils (Case study: Analysis of slope stability in first section of Tehran-north highway). MS.C thesis, Construction Engineering, Mazandaran University, 65 p. (In Persian)

2. Broda, J.; Grzybowska-Pietras, J.; Gawłowski, A.; Rom, M.; Przybylo, S.; & R. Laszczak, 2017. Application of wool geotextiles for the protection of steep slopes, *Journal of Procedia Engineering*, 200, 112-119.

3. Broda, J.; Gawlowski, A.; Rom, M.; Laszczak, R.; Mitka, A.; & S. Przybylo, 2016. Innovative Geotextiles for Reinforcement of Roadside Ditch, *Journal of Materials*, 59(2), 115-120.

4. Cairns, J., 1994. Rehabilitating Damaged Ecosystems, Ann Arbor: Lewis Publishers.

5. Cerdà, A., 2007. Soil water erosion on road embankments in eastern Spain, *Journal of Science of the Total Environment*, 378, 151-155.

6. Davies, C.; Macfarlane, R.; Mcgloin, C; & M. Roe, 2006. Green Infrastructure is frequently abbreviated to as GI and Green Infrastructure Planning as GIP, Technical ReportT, 15 p.

7. DeOña, J.; Osorio, F; & P. A. Garcia, 2009. Assessing the effects of using compost–sludge mixtures to reduce erosion in road embankments, *Journal of Hazardous Materials*, 164, 1257-1265.

8. Evette, A.; Labonne, S.; Rey, F.; Liebault, F.; Jancke, O.; & J. Girel, 2009. History of Bioengineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe, *Environmental Management*, 43, 972-984.

9. Fakhari, M. A.; Lotfalian, M.; Hosseini, S. A.; & A. Khaledi Darvishan, 2019. Using wood-shred, rice-straw and brush-wood-dams with planting seedlings to runoff and erosion control in a forest road fill slope, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40(2), 327-339.


[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

10. Fay, L.; Akin, M.; & X. Shi, 2012. Cost-effective and sustainable road slope stabilization and erosion control, American Association of State Highway and Transportation Officials, 7p.
11. Greenway, D. R., 1987. Vegetation and slope stability, *Slope stability*, 187-230.
12. Lang, A. J., 2016. Soil Erosion from forest haul roads at stream crossings as influenced by road attributes. Ph.D. thesis in Forest Resources and Environmental Conservation, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 158p.
13. Lin, J.; Zhu, G.; Wei , J.; Jiang, F.; Wang, M.; & Y. Huang, 2018. Mulching effects on erosion from steep slopes and sediment particle size distributions of gully colluvial deposits, *Catena*, 160, 57-67.
14. Lotfalian, M.; Yousefi babadi, A.; & H. Akbari, 2019. Impacts of soil stabilization treatments on reducing soil loss and runoff in cutslope of forest roads in Hyrcanian forests, *Catena*, 172, 158-162.
15. Luo, H.; Zhao, T.; Dong, M.; Gao, J.; Peng, X.; Guo, Y.; Wang, Z.; & C. Liang, 2013. Field studies on the effects of three geotextiles on runoff and erosion of road slope in Beijing, China, *Catena*, 109, 150-156.
16. Mohsenipour Sowmeh Saraei, H.; Najafi Nejad, A.; Hosseinalizadeh, M.; Forouzeh, M.R.; & A. Parsakhoo, 2021. The Role of Vegetation on Debris Slope Stability (Case study: Tuskestan–Chaharbagh Road, Golestan Province), *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(5), 185-200. (In Persian)
17. Parsakhoo, A., 2015. Forest Road Construction and maintenance, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 243 p. (In Persian)
18. Rahimi, H., & H. Ahmadnezhad., (2006). The effects of leaching in decrease saline and sodic land in the margin of Kaveer Namak in Bajestan, *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 66, 88-96. (In Persian)
19. Sarikhani, N., & B. Majnonian., (1994). Guideline for production of forest roads project. 131-170. ISBN 964-425-174-1. (In Persian)
20. Shao, Q.; Gu, W.; Dai, Q. Y.; Makoto, S.; & W. Liu, 2014. Effectiveness of geotextile mulches for slope restoration in semi-arid northern China, *Catena*, 116, 1-9.
21. Soroush, A., 2006. Stabilization of sloping slopes of backfill and excavations. Ministry of Roads and Transportation, Deputy of Research and Technology, Transportation Research Institute. Iran's national library. 144 p. (In Persian)
22. Śpitalniak, M.; Lejcus, K.; Dabrowska, J.; Garlikowski, D.; & A. Bogacz, 2019. The influence of a water absorbing geocomposite on soil water retention and soil matric potential, Water, 11, 17-31.
23. Turk, Y., 2018. The Effects of Using Wood Chips and Slash in Reducing Sheet Erosion on Forest Road Slopes, *Journal of Forests*, 9(11), 7-12.
24. Yousefi, B.; Lotfalian, M.; & H. Akbari, 2018. Investigation of the effect of some soil properties on soil loss of roof road excavation roofs (Case study: Forest section 2 series 5 Nakachoob), *Journal of Soil and Water Sciences* (Agricultural Science and Technology and Natural Resources). Special Issue on Flood and Soil Erosion. Pp. 85-92. (In Persian)

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

# Effect of Some Bioengineering Treatments on Sediment Yield from the Cut Slopes of Forest Roads

**Zohreh** Gholami[1]: *M.Sc. Student, Department of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*
Aidin Parsakhoo**:** *Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*
Majid Lotfalian**:** *Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University*
Aiub Reseat Motlagh**:** *Ph.D. student of forest management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*

**Article History (Received:** 2021/06/28 **Accepted:** 2021/09/23**)**

**Extended abstract**

## 1- Introduction

Soil is the most important foundation of any country's civilization, without which human life is endangered. Since man has lived on this planet, natural resources have undoubtedly been the most important source for satisfying his/her needs. With the increase in population, the amount of human use of natural resources has multiplied and more and more destruction is taking place in nature. Erosion is mong the most common phenomena that are seen in most parts of the world and Iran is the occurrence of erosion and instability of roadside slopes. Construction and maintenance of forest roads has been considered as a prominent feature of economic development for decades. In designing thes types of roads, in addition to paying attention to the main objectives, timber transportation and forestry objectives, maintenance of health and cleanliness of water outflows of a watershed against sediment should also be considered. Nowadays, the distribution of forest road network density for the implementation of forestry projects is an important issue that has been less considered by potential researchers as a potential source of sediment and runoff production. The upstream slope of the road is called the excavation trench, which is often located at the bottom of the side atmosphere. Side air can carry sediments produced from different parts of the road. Erosion of forest roads reduces the useful life of road constructions, increases the cost of protection and maintenance of vehicles and leads to the destruction of the environment of aquatic life. Many methods have been proposed to prevent soil erosion and stabilization in the walls/sides of forest roads. These methods generally include three biological methods, mechanical methods and biotechnical methods, each of which can be applied according to the existing conditions. The use of inanimate structures or biological structures is one of the most widely used methods to protect roads and maintain slope stability. So far, many bioengineering methods have been used to stabilize roadside walls and slopes in the world. The purpose of this study was to investigate the effect of some bioengineering treatments including installation of water absorption bags, dead leaves and cell stabilization (geocell) on the sedimentation rate of forest road trenches under rainfall and their efficiency and performance as protective mechanisms. In addition, in this research, by comparing the costs of preparation, installation, implementation and maintenance of each of the treatments used in stabilizing road trenches, the best treatment is determined. Conducting this study and similar studies can help us to gain the necessary knowledge and insight into the role of bioengineering treatments in the protection of forest areas and ultimately the correct and sustainable management of roads in forest areas.

## 2- Methodology

To investigate the effect of sedimentation on forest road trenches, bioengineering treatments of water absorption bags, dead leaves and cell stabilization methods were used. For this purpose, in the forest roads of a series of forestry plan of Dr. Bahramnia, the location of soil trenches prone to erosion and thrust was recorded with the help of GPS in the summer of 2020. Then 12 trenches, each with a minimum usable area of 30 square meters, were selected randomly and for each of the trenches, except for the control treatment, bioengineering treatments of water uptake bags, dead leaves and cell stabilization were performed. Trench status was monitored and rainfall and sediment data were collected after each rainfall during the two seasons of autumn and winter. Soil erosion and sediment delivery

[1] **Corresponding Author: ghlamyzhrh@gmail.com**

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]

were examined by being trapped in the side atmosphere at the beginning and end of the treated and controlled trenches. Trapping involved digging a cylindrical pit 0.4 m in diameter and 0.6 m depth to collect sediment. A calibrated index was installed in the center of each to estimate the sediment height. Upon each visit, sediment height (meters) and sedimentation level (square meters) were measured to calculate sediment volume. To calculate the specific gravity of sediment, three soil samples were prepared at the end of each period by the ring method and were dried in an oven for 24 hours and then the weight of the samples was measured. Data analysis was performed in a randomized block design with two blocks of 4 treatments and 3 replications in SAS software.

**3- Results**

The results obtained from the analysis of variance of the effect of different treatments on reducing the amount of sediment from excavated trenches of forest roads showed that all the bioengineering treatments significantly reduced sediment ($p<0.0001$). Also, there was no significant difference between the amount of sediment obtained from the slopes treated with dead caper and the controlled slope. However, a significant difference was observed in the comparison of water and control bag absorption treatment at ٪5 probabilitylevel and in the comparison of cell stabilization and control treatment at probability level of ٪99. The amount of sediment from the dead treatments of water uptake bag and cell stabilization were 4787, 7309, 8798 g, respectively, compared to the controlled treatment condition.

**4- Discussion & Conclusions**

In the study of the effectiveness of different engineering treatments in different rainfall events, the results showed that the water absorption bag treatment is more efficient than the other two treatments: cell stabilization and dead leaf treatments. The reason for this is the hemp structure and water absorption properties of this type of treatment, which makes the rate of erosion and sediment production in the lateral atmosphere less than the other treatments. Another reason for the better performance of the water absorption bag in reducing sedimentation is that the treatment itself needs less digging and soil corrosion during execution and installation. Dead caper treatments, water uptake and cell stabilization treatments reduced soil loss at 20.30, 46.13 and 40.24, respectively. The reduction of soil loss in the mentioned treatments compared to the control treatment is due to the fact that each of these treatments acted as a retaining wall and reduced the water flow rate. In general, the study and monitoring of various treatments showed that the use of bioengineering treatments can have a significant effect on reducing the sedimentation rate of forest roads. Among the applied bioengineering treatments, water absorption bag treatment due to having hemp structure caused more water absorption and penetration in the soil. Erosion and sedimentation of forest road excavation walls were significantly reduced by increasing water uptake and reducing water flow.

**Key Words:** Bioengineering treatments, Excavation trenches, Forest Road, Sedimentation, Soil erosion**.**

[ DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.5.9 ]