

Research paper

Effects of Temporary Erosion Control Blanket and Grass Cover on the Rates of Runoff and Sediment in the Cut and Fill Slopes of Forest Roads using a Rainfall Simulation Test

Behnaz Askari¹, Mehran Nasiri² , Majid Lotfalian³

1- Ph.D. Student, Department of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Assistant Professor, Department of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: m.nasiri@sanru.ac.ir)

3- Professor, Department of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received 17 June, 2023

Accepted: 28 October, 2023

Extended Abstract

Background: Soil erosion is one of the global problems that threatens water and soil resources. Protecting and recovering bare and uncovered soils, as well as diverting surface runoff from the soil, are an efficient method for reducing soil erosion in sensitive and erosion-prone areas. Among the activities to prevent soil erosion are to maintain the natural vegetation of the area and stabilize bare and uncovered soils with the help of temporary or permanent methods. The use of erosion control blankets is a soil bio-engineering method that can effectively reduce runoff and sediment and increase slope stability. Therefore, the current research aimed to temporarily stabilize soil using protective covering treatments, such as jute, straw, wood chips, Festuca grass cover, and nano zeolite super absorbent, to reduce the amount of runoff and sediment.

Methods: The study area is the Darabkola Forest (the educational-research forest of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources), with an area of about 2612 hectares located in the southeast of Sari City between 52° 14' E and 36° 28' N. To measure the amount of runoff and sediment in the Darabkola Forest, plots with dimensions of 70 x 50 cm and a depth of 10 cm were created using galvanized sheets. Then, plots were placed on the ground with a slope of 3%. Erosion control blanket treatments made of jute filled with wood chips, straw, and nanozeolite superabsorbents were prepared and located in the plots, as well as jute cover, jute cover with Festuca grass, and Festuca grass. Rain simulation tests were conducted for each sample (30 minutes with an intensity of 50 mm.h-1) and the amount of runoff from the plots was measured at 5-minute intervals using a graduated cylinder placed at the bottom of the plots. Sediment concentration was measured by weighing the samples after settling the runoff and passing it through filter paper. Sediment concentration was calculated by dividing the amount of sediment by the volume of runoff. Data were analyzed using one-way ANOVA for seven treatments. Duncan's test was used to compare the means. Pearson's correlation analysis was also used to investigate the relationship between runoff and sediment concentration in runoff.

Results: The results of statistical analysis showed that the highest amount of runoff (0.77 mm.h-1) belonged to the control treatment, and the lowest amount was recorded in the treatment of straw and the Festuca herbaceous species (0.24 and 0.27 mm.h-1, respectively). Overall, the straw treatment reduced the amount of runoff by 69% and the Festuca herbaceous species treatment reduced it by 64% compared to the control plot. The results of sediment concentration revealed 63% and 52% decreases in the amount of sediment in the samples belonging to the treatment of jute cover and jute cover together with Festuca species, respectively, compared to the control plot. The highest sediment concentration was measured in the control sample (7.13 g/ml). The presence of Festuca in the soil reduced the sediment by 2%, which shows that the presence of a herbaceous species such as Festuca does not considerably reduce the sediment concentration compared to the other treatments such as jute. Examining the coefficients obtained from Pearson's correlation analysis between runoff rate and sediment concentration in runoff for different treatments indicated that the stabilizer addition to the soil reduced sediment and reduced surface runoff in

some treatments. A positive and significant correlation was found between runoff and sediment in wood chips, straw, Fesuka, and nanozeolite treatments. In contrast, a negative and significant correlation was recorded for Jute + Festuca and the Jute treatment.

Conclusion: This research demonstrates that the use of erosion control blankets with combinations of different materials, such as straw and stubble, nanozeolite, and wood chips, along with the Festuca grass cover, can reduce runoff volume and reduce soil erosion and waste, especially in forest road trenches containing soils without vegetation. Moreover, grass cover (such as Festuca) increases water permeability in the soil and prevents soil loss. Therefore, using these erosion blankets can reduce soil erosion around forest roads.

Keywords: Nanozeolite, Rain simulator, Straw, Wood chips

How to Cite This Article: Askari, B., Nasiri, M., & Lotfalian, M. (2024). Effects of Temporary Erosion Control Blanket and Grass Cover on the Rates of Runoff and Sediment in the Cut and Fill Slopes of Forest Roads using a Rainfall Simulation Test. *J Watershed Manage Res*, 15(1), 52-62. DOI: [10.61186/jwmr.15.1.52](https://doi.org/10.61186/jwmr.15.1.52)

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر تشک کنترل فرسایش موقت و پوشش علفی بر مقدار رواناب و رسوب دامنه‌های اطراف جاده جنگلی با استفاده از شبیه‌سازی باران

بهناز عسکری^۱، مهران نصیری^{۲*} و مجید لطفعلیان^۳

۱- دانشجوی دکتری عمران و بهره‌برداری جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسئول: m.nasiri@sanru.ac.ir)

۳- استاد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶

صفحه: ۵۲ تا ۶۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: فرسایش خاک، از مشکلات جهانی به‌شمار می‌رود که منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. حفاظت و احیاء خاک‌های فاقد پوشش همراه با هدایت و دور ساختن رواناب سطحی از خاک، روشی کارآمد جهت کاهش فرسایش خاک در مناطق حساس و مستعد فرسایش است. از جمله فعالیت‌های بازدارنده فرسایش خاک حفظ پوشش گیاهی طبیعی منطقه و سپس تثبیت خاک‌های لخت و فاقد پوشش به کمک روش‌های موقتی با دائمی می‌باشند. استفاده از تشک‌های کنترل فرسایش یکی از روش‌های علوم زیست‌مهندسی خاک است که می‌تواند در کاهش رواناب و رسوب و افزایش پایداری شیروانی‌های خاکی جاده‌های جنگلی موثر باشد. در پژوهش حاضر با هدف تثبیت موقت خاک از پوشش‌های حفاظتی نظیر پارچه کفنی، کاه و کلش، خرده چوب، پوشش علفی فستوکا و سوپر جاذب نانو ژئولیت به‌منظور کاهش میزان رواناب و رسوب استفاده شد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه سری یک جنگل دارابکلا (جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری) که به مساحت ۲۶۱۲ هکتار در حوزه آبخیز ۷۴ و در جنوب شرقی شهرستان ساری بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی واقع شده است. به‌منظور بررسی میزان رواناب و رسوب در دامنه‌های اطراف جاده جنگلی، ابتدا کرت‌هایی با ابعاد ۷۰*۵۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر که با استفاده از ورق گالوانیزه ساخته شدند، در مناطقی با شیب یکسان دامنه (شیب ۳ درصدی) قرار گرفتند. سپس تشک‌های کنترل فرسایش، ساخته شده از پارچه کفنی پر شده با تیمارهایی از قبیل: خرده چوب، کاه و کلش و سوپر جاذب نانو ژئولیت تهیه و جهت قرارگیری در کرت‌ها آماده شدند. تیمارهای دیگر نیز که شامل: پارچه کفنی، گونه علفی فستوکا و گونه علفی فستوکا به‌همراه پارچه کفنی نیز درون کرت‌ها قرار داده شد. سپس شبیه‌سازی باران به مدت ۳۰ دقیقه با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در آذرماه سال ۱۴۰۱ شبیه‌سازی شد. میزان رواناب خروجی کرت‌ها پس از هر رخداد بارش در فواصل زمانی ۵ دقیقه‌ای با استفاده از استوانه مدرجی که در پایین کرت‌ها قرار داده شده بود، اندازه‌گیری و ثبت شد. میزان رسوب نیز بعد از ته‌نشینی رواناب و عبور از کاغذ صافی، به مدت ۲۴ ساعت در آن، تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، خشک و توزین شد. غلظت رسوب نیز از تقسیم میزان رسوب بر حجم رواناب، بر حسب گرم بر لیتر، محاسبه شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه برای ۷ تیمار انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. همچنین از آنالیز همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی رابطه بین رواناب و غلظت رسوب در تیمارهای مختلف استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که بیش‌ترین مقدار رواناب مربوط به تیمار شاهد، ۰/۷۷ میلی‌متر بر ساعت و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار کاه و کلش و گونه علفی فستوکا که به‌ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۲۷ میلی‌متر بر ساعت بود. به‌طور کلی تیمار کاه و کلش میزان رواناب را ۶۹٪ و تیمار گونه علفی فستوکا ۶۴٪ کاهش دادند. نتایج مربوط به غلظت رسوب نیز نشان‌دهنده کاهش ۶۳ درصدی و ۵۲ درصدی میزان رسوب نمونه‌ها نسبت به تیمار شاهد بود که به‌ترتیب مربوط به تیمار پوشش کفنی و پوشش کفنی به‌همراه گونه فستوکا بود. بیش‌ترین غلظت رسوب مربوط به نمونه شاهد با مقدار ۷/۱۳ گرم بر میلی‌لیتر و بعد از آن کرت دارای گونه علفی فستوکا با مقدار ۶/۹۶ گرم بر میلی‌لیتر بود. وجود گونه علفی فستوکا در خاک مقدار رسوب تحویل داده شده را به میزان ۲ درصد کاهش داد که این مقدار در مقایسه با تیمارهای شامل پوشش کفنی که میزان رسوب را بیش از ۵۰ درصد کاهش داده است، نشان دهنده این است که وجود گونه علفی فستوکا تأثیر چندانی بر کاهش غلظت رسوب ناشی از بارندگی ندارد. بررسی ضرایب به‌دست آمده از آنالیز همبستگی پیرسون بین نرخ رواناب و غلظت رسوب در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که افزودن تیمارهای اصلاحی به خاک موجب کاهش رسوب شده و در برخی تیمارها رواناب سطحی را نیز کاهش می‌دهد. همبستگی بین رواناب و رسوب در تیمارهای خرده چوب، کاه و کلش، پوشش علفی فستوکا و سوپر جاذب نانو ژئولیت از نوع منفی‌دار و مثبت و در تیمارهای کف و کف به‌همراه پوشش علفی فستوکا از نوع منفی‌دار و منفی بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از تشک کنترل فرسایش با ترکیب‌های مواد مختلف مانند کاه و کلش، نانو ژئولیت و خرده چوب به‌همراه پوشش علفی گونه فستوکا می‌تواند حجم رواناب را کاهش دهد و سبب تقلیل فرسایش و هدر رفت خاک به‌خصوص در ترانشه‌های جاده جنگلی که دارای خاک‌های بدون پوشش گیاهی هستند شود. همچنین پوشش علفی مانند فستوکا با به تأخیر انداختن ظهور رواناب، باعث افزایش نفوذپذیری آب در خاک شده و از هدررفت خاک جلوگیری می‌کند. بنابراین به‌کارگیری این تشک‌ها می‌تواند سبب کاهش فرسایش خاک در اطراف جاده‌های جنگلی شود.

واژه‌های کلیدی: خرده چوب، شبیه‌ساز باران، کاه و کلش، نانو ژئولیت

مقدمه

فرسایش خاک، از مشکلات جهانی به‌شمار می‌رود که منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. رواناب سطحی به‌دست آمده از بارندگی و فرسایش خاک، تابع عوامل مختلفی است که هریک، دیگری را تقویت یا تضعیف می‌کند (Begueria et al., 2006). آگاهی از مقدار رواناب و همچنین جلوگیری از فرسایش خاک هدف مهمی در مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی به‌شمار می‌رود. از این‌رو بررسی رواناب و عوامل تأثیرگذار بر آن، به‌عنوان یکی از فرایندهای اصلی فرسایش خاک، ضرورت دارد. ساخت جاده‌های جنگلی همواره محیط اطراف خود را تحت

تأثیر قرار می‌دهد. ایجاد ترانشه‌های ناپایدار و فرسایش‌پذیر از جمله خسارت‌هایی است که در سال‌های اخیر به‌دلیل حجم زیاد رسوب‌گذاری مورد توجه محققان قرار گرفته است و به‌منظور حفاظت آب و خاک، تثبیت دامنه‌ها و مناطق شیب‌دار در معرض فرسایش از روش‌ها و تکنیک‌های گوناگونی استفاده شده است که از میان آن‌ها، روش‌های بیوتکنیکی، استفاده از سنگریزه، بکارگیری تکنیک‌های زیست مهندسی و استفاده از مواد افزودنی و اصلاح‌کننده مانند مالچ‌های طبیعی عمومیت بیش‌تری دارد (Fakhari et al., 2019; García-Orenes et al., 2010; Kaviani et al., 2021; Mohammadamini et

از خود نشان می‌دهد که این عملکرد به دلیل تنیدن و چسبیدن الیاف کاه و کلش به یکدیگر و ایجاد مانع در جهت جریان و تله‌اندازی ذرات رسوب در پشت کاه و کلش می‌باشد که در پژوهش محققان دیگر (Kalibová et al., 2016) نیز مورد بررسی قرار گرفت. محققان دریافتند که این الیاف می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی باعث تأخیر در جریان رواناب سطحی شبیه‌ساز باران شود. نتایج به‌دست آمده از تحقیق ایشان با قطعات شاهد و بدون ژئوتکستایل مقایسه شد و نتایج نشان داد که قطعات شاهد به‌میزان قابل‌توجهی رواناب بیش‌تری نسبت به نمونه‌های تیمار شده با ژئوتکستایل تولید می‌کنند.

استفاده از تشک‌های کنترل فرسایش یکی از روش‌های علوم زیست‌مهندسی خاک است که می‌تواند در کاهش رواناب و رسوب و افزایش پایداری شیروانی‌های خاکی جاده‌های جنگلی مؤثر باشد. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از رسوب‌گذاری جاده‌ها مرتبط با دامنه‌های اطراف جاده می‌باشد در این پژوهش این موضوع مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تغییرات رواناب و رسوب و تثبیت خاک با استفاده از تشک‌های حفاظتی شامل پارچه کنفی، کاه و کلش، خرده چوب، پوشش علفی فستوکا و سوپر جاذب نانو ژئولیت و مقایسه نتایج به‌دست آمده با تیمار شاهد (خاک منطقه بدون پوشش) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه سری یک جنگل دارابکلا (جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری) که به‌مساحت ۲۶۱۲ هکتار در حوزه آبخیز ۷۴ و در جنوب شرقی شهرستان ساری بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). اقلیم جنگل دارابکلا معتدل مرطوب تا خیلی مرطوب و حرارت در فصول سال متغیر بوده و براساس اطلاعات ۲۶ ساله ایستگاه سینوپتیک قراخیل قائم شهر در روزهای گرم ماه‌های تیر و مرداد بیشینه دما به ۳۹ درجه سانتی‌گراد و کمینه مطلق دما در روزهای سرد ماه‌های دی و بهمن به صفر تا ۴/۲- درجه سانتی‌گراد زیر صفر می‌رسد. میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه این منطقه ۹۸۳/۸ میلی‌متر در سال برآورد شده که گاهی این ریزش در ارتفاعات به‌صورت برف دیده می‌شود (Asadi et al., 2021). دیواره‌های خاکریزی و خاکبرداری در جاده‌های جنگلی دارابکلا در بیشتر موارد دامنه‌های طبیعی منطقه است و معیار بررسی و آزمایش‌های این مطالعه نیز همین دامنه جاده‌های جنگلی می‌باشد. با این حال ثابت شد در این منطقه هر سال لغزش و رانش‌های متعددی در مناطق شیب‌دار رخ می‌دهد که این لغزش‌ها بیشتر از نوع سطحی بوده و سبب فرسایش دامنه‌های جاده جنگلی می‌شود (Nasiri et al., 2022).

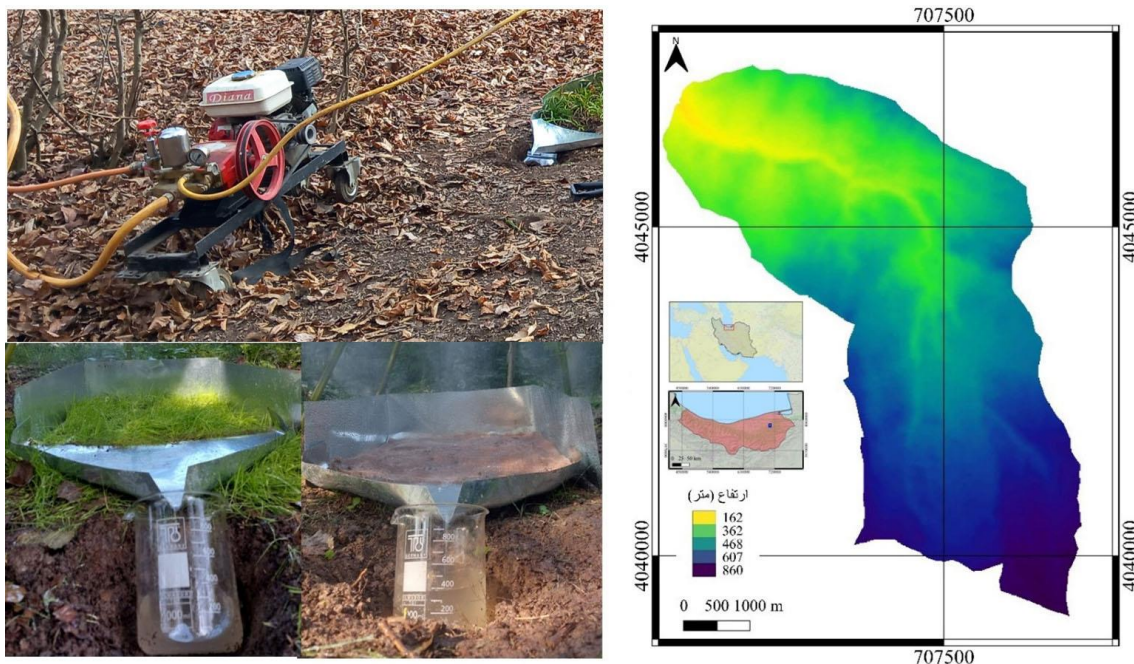
روش انجام پژوهش

در این پژوهش به‌منظور برآورد میزان رواناب و رسوب ابتدا کرت‌های فلزی با ابعاد ۵۰*۷۰ سانتی‌متر از جنس ورقه‌های فلزی گالوانیزه طراحی و با شیب ۳ درصد بر روی دامنه جاده

Ahmadi et al., 2020). تاکنون تحقیقات گوناگونی (Solgi et al., 2021; Broda et al., 2016; Kalibová et al., 2016) در زمینه تأثیر انواع پوشش‌های حفاظتی و مواد افزودنی مانند کاه و کلش و خرده چوب به خاک و تأثیر آن‌ها در کاهش مقدار رواناب و رسوب انجام شده است. برخی محققان از خرده چوب و کاه برنج به‌عنوان تثبیت‌کننده‌های طبیعی به‌منظور حفاظت خاک استفاده کردند و نتایج مطالعه ایشان نشان داد کاه برنج و خرده چوب به‌ترتیب توانستند ۲۳ و ۱۱ درصد غلظت رسوب را کاهش دهد (Fakhari et al., 2019). برخی دیگر با بررسی تأثیر کاه و کلش بر میزان رواناب و هدر رفت خاک به این نتیجه دست یافتند که کاه و کلش می‌تواند سبب تغییر معنی‌دار در کاهش رسوب دیواره جاده‌های جنگلی شود (Dalir et al., 2021). باکر و همکاران (Bakr et al., 2015) در کرت‌های کوچک آزمایشگاهی تأثیر کاه و کلش برنج، بر تولید رواناب سطحی و هدررفت خاک را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تأثیر بکارگیری کاه و کلش برنج با مقدار نیم کیلوگرم در مترمربع، در سه تکرار با شیب ۲۰ درصد را بر مقدار رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران بر روی خاک لومی رسی ماسه‌ای مطالعه کردند. نتایج نشان داد که اثر تیمارها در دو شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت بر کاهش حجم رواناب و در مقایسه با کرت شاهد به‌ترتیب در حدود ۹۰ و ۹۶ درصد بود و مقدار هدررفت خاک در هر دو شدت را به‌طور کامل متوقف کرد که مشابه نتایج مطالعات محققان دیگر است که معتقدند وجود کمپوست مالچ بر روی خاک سطحی، نرخ جریان رواناب را کاهش داده و برای کنترل فرسایش دامنه خاک‌برداری قابل توصیه است (García-Orenes et al., 2010). وجود بقایای گیاهی بر روی خاک، از برخورد مستقیم قطرات باران بر روی خاک جلوگیری کرده و از این طریق مقدار رواناب و هدر رفت خاک را کاهش داده و این امر موجب حفاظت خاک در برابر فرسایش آبی می‌شود. در مطالعه‌ای اثربخشی مالچ کاه گندم و خرده‌های چوب در دامنه‌های تحت تأثیر آتش‌سوزی در دو منطقه کلرادو و جنوب واشنگتن مورد بررسی قرار گرفت (Robichaud et al., 2013). نتایج آن‌ها نشان دهنده این بود که مالچ خرده‌های چوب میزان نرخ رسوب را به‌طور قابل‌توجهی در هر دو منطقه مورد آزمایش کاهش داده اما مالچ کاه تأثیری در کاهش نرخ رسوب در منطقه کلرادو نداشته و با سرعتی ۲ برابر سرعت خرده‌های چوب از بین رفته‌اند این در حالی است که خرده‌های چوب پوشش حفاظتی مناسبی را به‌مدت ۴ سال در سطح خاک فراهم کردند که این امر در مطالعات (Foltz et al., 2009) نیز بررسی و به نتایج مشابه دست‌یافته است. در تحقیقی دیگر زندی و همکاران (Zandi et al., 2020) کارایی خاک‌پوش‌های کاه و کلش گندم و تراشه‌های چوب در کاهش رواناب و رسوب حوزه‌های آبخیز تک منبع ارزیابی شد و نتایج نشان دهنده این بود که کاربرد خاک پوش کاه و کلش گندم و تراشه‌های چوب پوست درخت به‌ترتیب ۲۴/۵۴ و ۱۳/۲۴ درصد میزان رواناب و به‌ترتیب ۵۸/۷۵ و ۴۴/۱۰ درصد میزان رسوب را نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است. سایر بررسی‌ها نشان داد که خاک‌پوش کاه و کلش گندم در جلوگیری از تولید رواناب و کاهش رسوب‌دهی عملکرد بهتری نسبت به تراشه‌های چوب

قبل از شبیه‌سازی یک‌نواختی و توزیع اندازه قطرات از طریق روش گلوله آردی مورد بررسی قرار گرفت. قابل ذکر است همه موارد مؤثر در شبیه‌سازی باران برای تمام کرت‌های آزمایشی مشابه است و شرایط یکسانی برای مطالعه بر روی تیمارها در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی باران با ۳ تکرار در ۶ فاصله زمانی ۵ دقیقه‌ای (مجموعاً ۳۰ دقیقه) و با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت بر روی هریک از کرت‌ها انجام شد (Nasiri et al., 2017). پس از اعمال بارش، رواناب بر روی پلات‌ها جاری شد و زمان ظهور رواناب برای هر پلات ثبت شد. پس از ثبت زمان شروع رواناب و برداشت نمونه‌های رواناب که در فواصل زمانی معین به‌وسیله ظروف مدرج که در انتهای کرت‌ها تعبیه شده بود، نمونه‌های رواناب به آزمایشگاه منتقل و به‌مدت ۲۴ ساعت در حالت سکون قرار داده شدند و سپس با استفاده از روش ته‌نشینی اقدام به تخلیه آب اضافه کرده (Gholami et al., 2016) و سپس نمونه‌های رسوب در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و هدر رفت خاک با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد (Hartanto et al., 2003).

جنگلی واقع در جنگل آموزشی-پژوهشی دارابکلا اعمال شدند. ابعاد کرت با توجه به شرایط شبیه‌سازی و امکانات موجود از جمله اندازه کرت مناسب برای شبیه‌سازی باران با دستگاه باران‌ساز تک نازل انتخاب شد. سپس تیمارهای حفاظتی خاک، که شامل ۱- کیسه‌های کفنی پر شده با کاه و کلش برنج به‌همراه سوپر جاذب نانوزئولیت ۲- کیسه‌های کفنی پر شده با خرده‌چوب به‌همراه سوپر جاذب نانوزئولیت ۳- پوشش کفنی ۴- بذریاشی با گونه علفی فستوکا (*Festuca arundinacea*) ۵- گونه علفی فستوکا به‌همراه پوشش کفنی و ۶- سوپر جاذب نانوزئولیت بودند، تهیه و درون کرت‌های آزمایش قرار داده شدند. این کرت‌ها در آذرماه سال ۱۴۰۱ تحت شبیه‌ساز باران قرار گرفتند. دستگاه شبیه‌ساز باران که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت از نوع تک نازل با ارتفاع ۲۲۰ سانتی‌متر از سطح زمین، قابل حمل، دارای قدرت مکش پمپ ۴۵ لیتر بر دقیقه و از نوع بنزینی می‌باشد و انرژی مورد نیاز برای پمپ آب را از طریق شیلنگ مکش تأمین می‌کند. شبیه‌سازی باران بر روی پلات‌ها اعمال و رواناب و رسوب حاصل از بارندگی در مخازنی که در قسمت انتهایی کرت قرار داشت، جمع‌آوری شد.



شکل ۱- آزمایش شبیه‌سازی باران بر روی تیمارهای آزمایشی در جنگل دارابکلا ساری
Figure 1. Rainfall simulation test on the different treatments in Darabkola Forest-Sari

Sigmaplot صورت گرفت. همچنین از آنالیز همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی رابطه بین رواناب و غلظت رسوب در تیمارهای مختلف استفاده شد.

نتایج و بحث

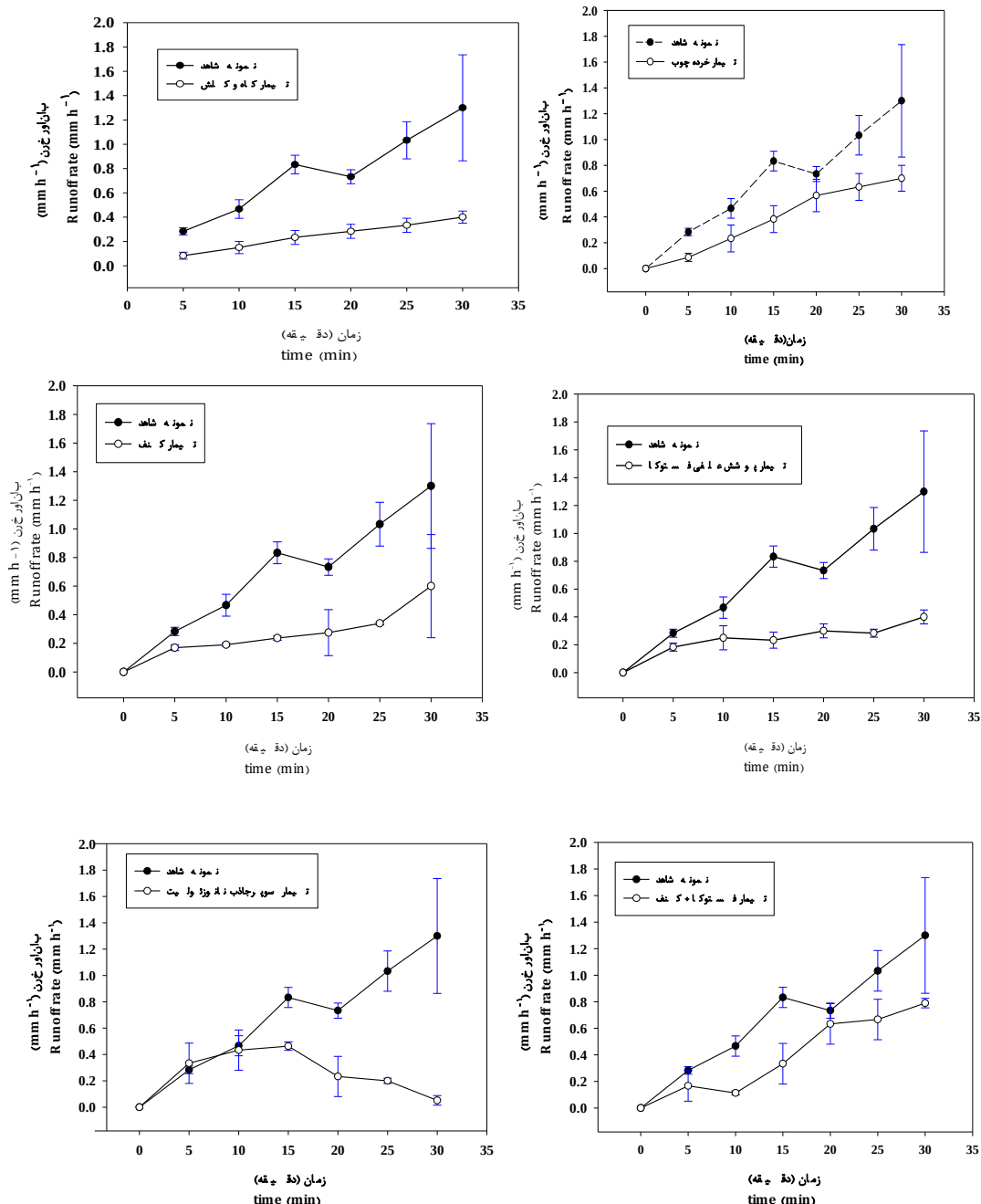
تأثیر تیمارهای حفاظتی خاک بر نرخ رواناب نتایج حاصل از شبیه‌سازی باران برای مدت ۳۰ دقیقه نشان داد که تیمارهای مختلف رفتار هیدرولوژیکی متفاوتی دارند که مرتبط با مواد به‌کار رفته در آن‌ها است. شکل ۲ تغییر رفتار میزان رواناب سطحی را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان دریافت که تقریباً تمامی تیمارها در ۱۵ دقیقه

روش تحلیل آماری

اطلاعات حاصل از نتایج آزمایش‌های صورت گرفته ابتدا در نرم‌افزار Excel جمع‌آوری و ذخیره شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام و شرط نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و همگنی واریانس داده‌ها به‌وسیله آزمون لون (Levene) بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه برای ۷ تیمار با مجموع ۲۱ تکرار در سطح احتمال ۹۵ درصد به‌صورت مجزا انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون دانکن استفاده شد. رسم نمودارها در نرم‌افزار

برابر با ۰/۲۴ و ۰/۲۷ (میلی‌متر بر ساعت) بود که تیمار کاه و کلش میزان رواناب را ۶۹٪ و تیمار گونه علفی فستوکا ۶۴٪ کاهش دادند. این نتیجه با یافته‌های برخی محققان (Farhoudi et al., 2017) هم‌خوانی ندارد.

ابتدایی شبیه‌سازی باران دارای نرخ رواناب مشابه نمونه شاهد (کرت بدون پوشش حفاظتی) بوده و پس از آن روند نزولی به‌خود گرفته است. در این میان کم‌ترین میزان حجم رواناب مربوط به تیمار کاه و کلش و گونه علفی فستوکا و به‌ترتیب



شکل ۲- رفتار رواناب سطحی در زمان شبیه‌سازی باران بر روی کرت‌های آزمایشی با تیمارهای مختلف و مقایسه آن با نمونه شاهد

Figure 2. Surface runoff behavior during rainfall simulation on experimental plots with different treatments comparing the control sample

کم‌تر بروز پیدا می‌کند. به‌نظر می‌رسد تیمار کاه و کلش با جذب آب و نگهداری آن در خود و همچنین گونه فستوکا با افزایش خلل و فرج در خاک توانسته است میزان رواناب را نسبت به تیمارهای دیگر کاهش دهد.

در مطالعات آن‌ها هیچ‌کدام از دو تیمار کاه و کلش و ورمی‌کمپوست نتوانسته‌اند از هدررفت خاک جلوگیری کنند. نتایج ایشان نشان داد که در شدت ۵۱ میلی‌متر بر ساعت، خاک آهسته آهسته اشباع و هنگامی که رواناب تشکیل شد، اثرات مثبت اصلاح‌کننده‌ها به‌دلیل وابستگی کم‌تر در این فرایند،

فستوکا با مقدار ۶/۹۶ گرم بر میلی لیتر بود. وجود گونه علفی فستوکا در خاک مقدار رسوب تحویل داده شده را به میزان ۲ درصد کاهش داد که این مقدار در مقایسه با تیمارهای شامل پوشش کفنی که میزان رسوب را بیش از ۵۰ درصد کاهش دادند، نشان دهنده این است که وجود گونه علفی فستوکا تأثیر چندانی بر کاهش غلظت رسوب ناشی از بارندگی ندارد و این نتایج مورد تأیید برخی محققان است (Lang, 2016). این پژوهشگران به منظور حفاظت از جوی کناری جاده جنگلی ۵ تیمار شامل تیمار شاهد (خاک بدون پوشش حفاظتی)، چمن کاری، چمن کاری روی زمین پارچه کفنی، آب بندهای سنگ چین و پوشش لاشه سنگ را مورد آزمایش قرار دادند و نتایج نشان داد که کمترین مقدار رسوب دهی جوی کناری به ترتیب مربوط به تیمارهای پوشش لاشه سنگ، چمن کاری و چمن کاری روی زمین پارچه کفنی بود. فستوکا به تنهایی نمیتواند پوشش مناسبی را برای جلوگیری از برخورد قطرات مستقیم باران در مقایسه با تشکها ایجاد نماید به همین دلیل انرژی جنبشی قطرات باران می تواند به راحتی باعث کندن خاکدانه ها و حمل و رسوب گذاری آن شود.

همبستگی تغییرات رواناب و رسوب در تیمارهای مختلف

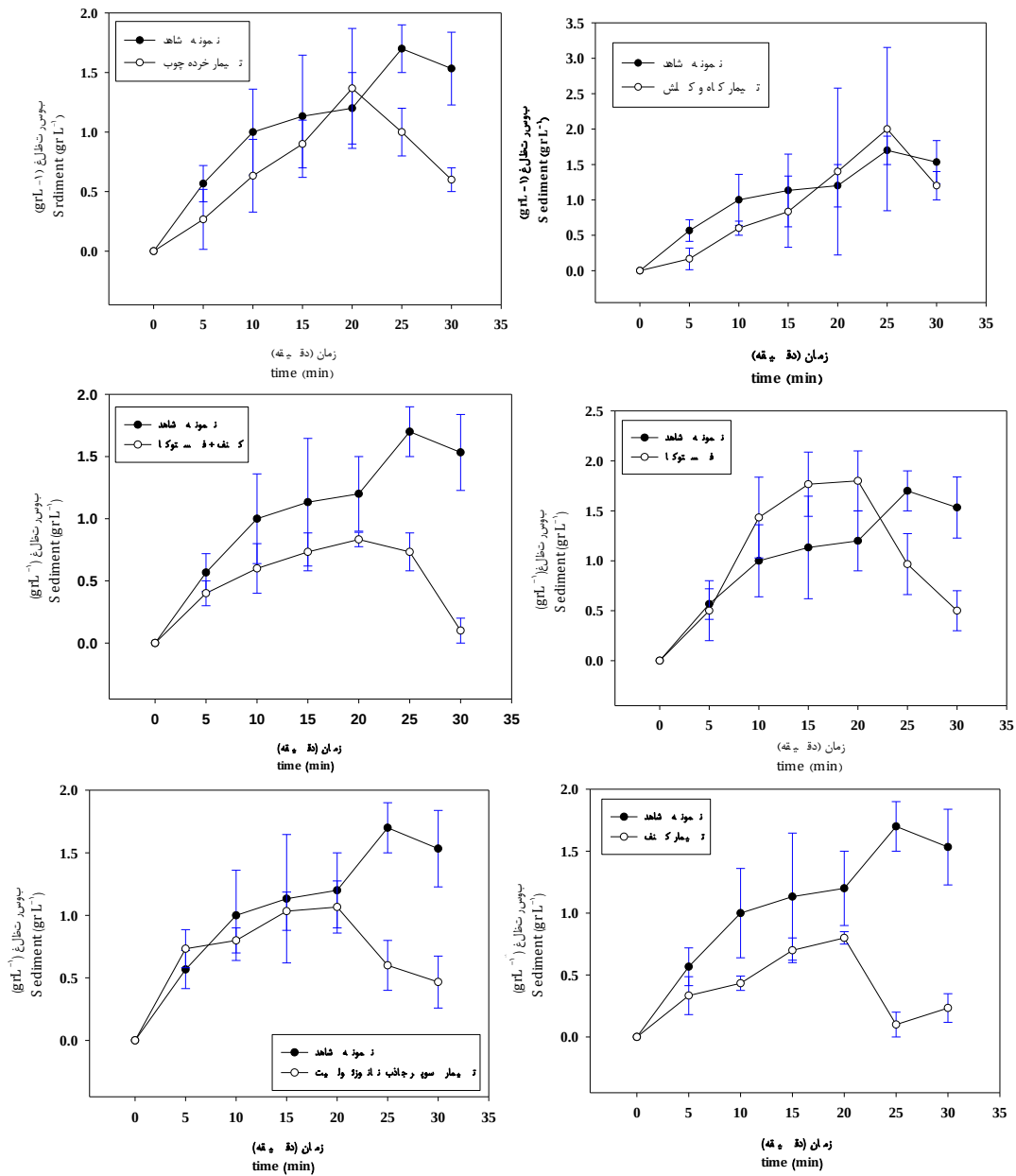
بررسی ضرایب به دست آمده از آنالیز همبستگی پیرسون بین نرخ رواناب و غلظت رسوب در تیمارهای مختلف نشان می دهد که افزودن تیمارهای اصلاحی به خاک موجب کاهش رسوب شده و در برخی تیمارها رواناب سطحی را نیز کاهش می دهد. با توجه به (شکل ۴) می توان دریافت که به جز تیمار شاهد که دارای همبستگی معنی دار مثبت بین رواناب و رسوب است بقیه تیمارها همبستگی معنی دار منفی و یا نزدیک به صفر داشته اند. به طور دقیق تر همبستگی بین رواناب و رسوب در تیمارهای خرده چوب، کاه و کلش، پوشش علفی فستوکا و سوپر جاذب نانوزئولیت از نوع معنی دار و مثبت و در تیمارهای کف و کف به همراه پوشش علفی فستوکا از نوع معنی دار منفی بوده است (جدول ۱). با توجه به اینکه پارچه کفنی می تواند سبب پوشش کامل خاک شود رسوب دهی خاک را تحت تأثیر قرار داده و رواناب به دلیل حضور لایه کفنی نمی تواند رسوبات را منتقل نماید. بنابراین در تیمارهایی که کف وجود دارد رابطه از نوع منفی شده است.

بیشترین مقدار رواناب مربوط به تیمار شاهد با مقدار ۰/۷۷ میلی متر بر ساعت و بعد از آن تیمار پوشش کفنی به همراه فستوکا با میزان ۰/۴۵ بود که این تیمار نیز مقدار رواناب را ۴۱ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش داد اما در میان تیمارهای حفاظتی تأثیر کمتری بر روی مقدار رواناب خروجی از کرت ها داشت. به نظر می رسد پوشش کفنی به همراه فستوکا به دلیل پوشش کامل سطح زمین تا حدودی از ورود آب به داخل کرت جلوگیری کرده و باعث افزایش رواناب می شود. کرت پوشیده شده با سوپر جاذب نانوزئولیت نیز مقدار رواناب را ۶۳٪ کاهش داد و عملکرد مطلوبی در کاهش میزان رواناب خروجی از کرت ها داشت که این امر به دلیل وجود فضای متخلخل بین ذرات نانوزئولیت بوده که با جذب آب باعث کاهش رواناب شده و در نتیجه از هدر رفت خاک و فرسایش جلوگیری می کند. این نتیجه با یافته های برخی محققان مطابقت ندارد (Broghni et al., 2013). آن ها در مطالعات خود به این نتیجه دست یافتند که سوپر جاذب نانوزئولیت تأثیر چندانی بر کاهش میزان رواناب ندارد و علت این امر را مقدار کم نانوزئولیت استفاده شده و همچنین عدم واکنش نانوزئولیت با آب و خاک می دانند.

تأثیر تیمارهای حفاظتی خاک بر غلظت رسوب در رواناب

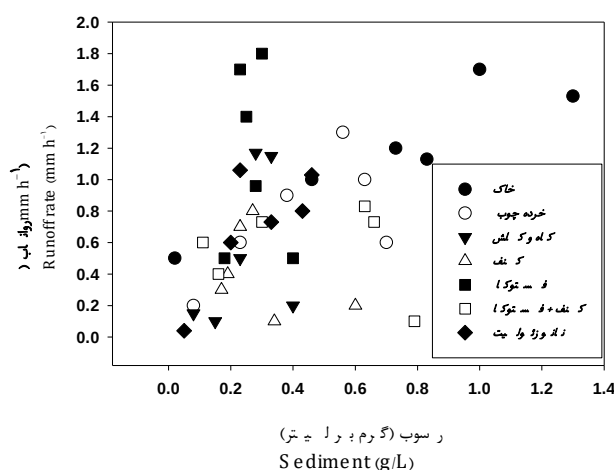
نتایج حاصل از اندازه گیری غلظت رسوب در رواناب بیانگر این بود که تحویل رسوب در همه تیمارهای مورد آزمایش در بازه ۱۰ تا ۲۰ دقیقه روند افزایشی داشته و پس از آن سیر نزولی به خود می گیرد (شکل ۳). رفتار رسوب دهی تقریباً در تمامی تیمارها مشابه بوده و فقط در تیمارهایی که در آن ها پوشش کفنی به کار رفته بود (تیمار کف و تیمار کف به همراه گونه علفی فستوکا) غلظت رسوب کاهش چشم گیری داشت. نتایج مربوط به غلظت رسوب نشان دهنده کاهش ۶۳ درصدی و ۵۲ درصدی میزان رسوب نمونه ها نسبت به تیمار شاهد بود که به ترتیب مربوط به تیمار پوشش کفنی و پوشش کفنی به همراه گونه فستوکا بود. که نشان دهنده این است که پارچه کفنی مانند فیلتر عمل کرده و رسوب ناشی از بارندگی را کاهش داده است که با یافته های محققان دیگر (Broda et al., 2016)، (Parsakhoo et al., 2019) که قدرت جذب بالا و پوشش سطحی زمین پارچه های کفنی را عامل اصلی کاهش غلظت رسوب می دانند هم خوانی دارد.

بیشترین غلظت رسوب مربوط به نمونه شاهد با مقدار ۷/۱۳ گرم بر میلی لیتر و بعد از آن کرت دارای گونه علفی



شکل ۳- غلظت رسوب اندازه‌گیری شده بر روی کرت‌های آزمایشی با تیمارهای مختلف و مقایسه آن با نمونه شاهد

Figure 3. Sediment concentration measured on experimental plots with different treatments comparing the control sample



شکل ۴- رابطه بین نرخ رواناب و غلظت رسوب در تیمارهای مختلف

Figure 4. Relationship between runoff rate and sediment concentration in different treatments

جدول ۱- همبستگی پیرسون بین رواناب و غلظت رسوب در تیمارهای مختلف

Table 1. Pearson correlation between runoff and sediment concentration in different treatments

همبستگی پیرسون Pearson correlation	نمونه شاهد Control sample	خرده چوب Wood chips	کاه و کلش Straw	پوشش کفنی Jute	گونه علفی فستوکا Festuca grass	پوشش کفنی و فستوکا Jute+Festuca grass	سوپر جاذب نانوزئولیت Nanozeolite super absorbent
	R	R	R	R	R	R	R
نمونه شاهد Control sample	0.88*	*	*	*	*	*	*
خرده چوب Wood chips	*	0.49	*	*	*	*	*
کاه و کلش Straw	*	*	0.54	*	*	*	*
پوشش کفنی Jute	*	*	*	- 0.37	*	*	*
گونه علفی فستوکا Festuca grass	*	*	*	*	0.06	*	*
پوشش کفنی و فستوکا Jute+Festuca grass	*	*	*	*	*	- 0.03	*
سوپر جاذب نانوزئولیت Nanozeolite super absorbent	*	*	*	*	*	*	0.66

به عنوان مثال هدر رفت خاک برای کرت هایی با پوشش کفنی و پوشش کفنی به همراه فستوکا به ترتیب ۶/۶ و ۹/۶۷ گرم در مترمربع ثبت شده است. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات فرهودی و همکاران (Farhoudi et al., 2017)، کالیبوا و همکاران (Kalibová et al., 2016)، پارساخو و همکاران (Zandi et al., 2020) و بروغنی و همکاران (Broghni et al., 2013) (Parsakhoo et al., 2019)، زندی و همکاران (Zandi et al., 2020) همخوانی دارد. در این مطالعات نیز مشخص شد تیمارهای تثبیت و تسلیح کننده خاک می تواند میزان رواناب و رسوب را کاهش دهد. بعضی از این تیمارها با ایجاد پوشش می توانند در کوتاه مدت سبب کاهش فرسایش شوند و برخی تیمارهای دیگر می توانند با اعمال واکنش های شیمیایی در خاک سبب تغییر در بافت و ساختمان خاک شوند و در نهایت با افزایش مقاومت خاک سبب تقلیل رواناب و رسوب می شوند.

با توجه به نتایج به دست آمده (جدول ۲) مدت ظهور رواناب برای همه تیمارها به طور معنی داری بیش از نمونه شاهد است. در بین تیمارها استفاده از سوپر جاذب نانوزئولیت، کاه و کلش و گونه علفی فستوکا توانست به ترتیب ۶۲ ثانیه، ۹۳ ثانیه و ۶۱ ثانیه زمان ظهور رواناب را افزایش دهد. به نظر می رسد دلیل آن جذب آب توسط مواد افزودنی به خاک می باشد. تا زمانی که این مواد توانایی جذب و اشباع شدن داشته باشند آب را در خود ذخیره کرده و از خارج شدن آب سطحی به سمت خروجی کرت آزمایشی جلوگیری می کنند. نتایج نشان می دهد (جدول ۲) ضریب رواناب برای تیمارهای کاه و کلش و گونه علفی فستوکا کمترین مقدار ثبت شده است و خاک شاهد بیشترین مقدار را دارد. عدد بالای ضریب رواناب نشانگر رسوب دهی و هدر رفت خاک منطقه مورد مطالعه می باشد. در این مطالعه بر روی کرت های آزمایشی معلوم شد بیشترین هدر رفت خاک مرتبط با خاک لخت و بدون پوشش شاهد به میزان ۲۰/۵۶ گرم در متر مربع می باشد و همه تیمارهایی که با مواد افزودنی دیگر ترکیب شده اند میزان هدر رفت خاک کمتری را ثبت کردند. به طوریکه

جدول ۲- مقایسه آماری میانگین‌های ثبت شده برای زمان ظهور و ضریب رواناب و هدر رفت خاک تیمارها در آزمایش شبیه‌سازی باران
Table 2. Comparison of time to runoff, runoff coefficient and soil loss rate during the rainfall simulation test

ANOVA, p	سوپر جاذب نانوزئولیت Nanozeolite super absorbent	پوشش کفنی و فستوکا Jute+Festuca grass	گونه علفی فستوکا Festuca grass	پوشش کفنی Jute	کاه و کلش Straw	خرده چوب Wood chips	نمونه شاهد Control sample	تیمارهای آزمایشی Treatments
<0.01	^b 103	^c 85	^b 102.06	^{cd} 76.66	^{a*} 134	^d 66	^e 41.33	زمان ظهور رواناب (ثانیه) Runoff appearance time (s)
	7.50	5.567	3.055	3.511	15.099	6.557	8.144	میانگین Average انحراف معیار standard deviation
<0.01	^c 4.12	^b 6.13	^c 3.93	^c 4.27	^d 3.25	^b 6.21	^a 11.35	ضریب رواناب (درصد) Runoff rate (%)
	0.15	0.29	0.28	0.25	0.26	0.27	0.37	میانگین Average انحراف معیار standard deviation
<0.01	^d 13.70	9.97	^b 19.06	^e 6.60	^c 17.40	^d 13.13	^a 20.56	هدر رفت خاک (گرم در متر مربع) Soil loss (g/m ²)
	0.69	1.12	0.79	0.76	0.36	0.41	0.31	میانگین Average انحراف معیار standard deviation

a* حروف بالانویس متفاوت در جدول نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

نتیجه‌گیری

به‌کارگیری تشک‌های کنترل فرسایش موقت می‌تواند برای پروژه‌های حفاظت و نگهداری جاده‌های جنگلی که معمولاً بودجه کافی برای حفاظت خاک وجود ندارد مورد استفاده قرار گیرد. این تشک‌ها اگر به‌همراه تکنیک میخ‌کوبی سبز به‌کار روند علاوه بر حفاظت اولیه از خاک منطقه می‌توانند در ادامه با ایجاد پوشش گیاهی سبب بهبود در حفاظت خاک منطقه شود. در بین ترکیب‌های مورد استفاده برای کاهش رواناب و رسوب، ترکیب‌هایی مانند استفاده از تشک به‌همراه پوشش علفی فستوکا و هم‌چنین یک پوشش ساده کفنی توانسته است تأثیر مثبت بر تقلیل رواناب و رسوب داشته باشد. بنابراین پیشنهاد این مطالعه برای کاربرد در دیواره‌های اطراف جاده‌های جنگلی استفاده از تیمار پوشش کفنی می‌باشد. هر چند در بسیاری موارد ترکیب نانوزئولیت به‌همراه تشک مؤثرتر عمل کرده است ولی با توجه به شیمیایی بودن این ترکیب بهتر است در طبیعت استفاده نشود.

زمان ظهور رواناب، ضریب رواناب و مقدار رسوب در تیمارهای مختلف کاملاً تحت تأثیر مواد مورد استفاده در تشک کنترل فرسایش است. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان دریافت تشک‌های کنترل فرسایش موقت با مواد مکمل قابلیت تثبیت و تسلیخ خاک را دارند. بطوری‌که عملکرد آن بر روی میزان رواناب و رسوب تأثیر زیادی داشته و باعث کاهش میزان رواناب از طریق افزایش جذب آب و هم‌چنین کاهش رسوب‌گذاری می‌شود. از آن‌جایی‌که خاک دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی پس از عملیات جاده‌سازی لخت و بدون پوشش گیاهی می‌شود، استفاده از تشک‌های کنترل فرسایش می‌تواند میزان رسوب‌گذاری حاصل از جاده‌های جنگلی را کاهش دهد. با توجه به نتایج مواد مورد استفاده در تشک‌ها مانند کاه و کلش، پوشش کفنی و خرده چوب می‌تواند نسبت به تیمار شاهد زمان ظهور رواناب را افزایش و ضریب رواناب را کاهش دهد، بنابراین این مواد می‌تواند برای طراحی و تولید تشک‌ها برای استفاده در دیواره‌های اطراف جاده‌های جنگلی مورد استفاده قرار گیرد.

References

- Ahmadi, M., Jourgholami, M., Majnounian, B., & Khalighi, S. (2019). The effect of sawdust mulch application on amount of runoff in the skid trails (Case study: Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest*, 11(3), 297-307.
- Asadi, H., Jalilvand, H., & Moslemi, S. (2021). Vegetation Classification of Darabkola Forest and Their Relation to Physiographic Factors. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 10(3), 17-33.
- Bakr, N., Elbana, T. A., Arceneaux, A. E., Zhu, Y., Weindorf, D. C., & Selim, H. M. (2015). Runoff and water quality from highway hillsides: Influence compost/mulch. *Soil and Tillage Research*, 150, 158-170.
- Beguiria, S., López-moreno, J. I., Gómez-villar, A., Rubio, V., Lana-renault, N., & García-ruiz, J. M. (2006). Fluvial adjustments to soil erosion and plant cover changes in the Central Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 88(3), 177-186.
- Broda, J., Gawłowski, A., Rom, M., Laszczak, R., Mitka, A., Przybyło, S., & Grzybowska-Pietras, J. (2016). Innovative geotextiles for reinforcement of roadside ditch. *Tekstilec*, 59(2), 115-120.
- Broghni, M., Mirnia, S. k., Wahabi, J., & Ahmadi, S. j. (2013). Investigating the effect of nanozeolite in reducing soil erosion using FEL3 rainmaker. *Watershed Management Journal*, 5(9), 95-106.
- Dalir, P., Naghdi, R., & Gholami, V. (2021). Assessing the rice straw effects on the soil erosion rate in forest road cut slope embankments. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 19(2), 325-339.

- Fakhari, M. A., Lotfalian, M., Hosseini, S. A., & Darvishan, A. K. (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: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 40(2), 327-339.
- Farhoudi, M. H., Beheshti Al-Agha, A., Aghabeigi Amin, S., Bazarafshan, U. B., Hali Saz, A., & Ismailpour, Y. (2017). Effectiveness of runoff and soil sedimentation from vermicompost and straw and stubble additives. *Geography and Environmental Sustainability* 8(29), 1-12.
- Foltz, R., Copeland, N., & Elliot, W. (2009). Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters. *Journal of environmental management*, 90(8), 2542-2550.
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., Zornoza, R., Bárcenas, G., & Caravaca, F. (2010). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 109(2), 110-115.
- Gholami, L., Sadeghi, S., & Homaei, M. (2016). Different effects of sheep manure conditioner on runoff and soil loss components in eroded soil. *Catena*, 139, 99-104.
- Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A. S., & Asdak, C. (2003). Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest ecology and management*, 180(1-3), 361-374.
- Kalibová, J., Jačka, L., & Petrů, J. (2016). The effectiveness of jute and coir erosion control blankets in different field and laboratory conditions 2.
- Kavian, A., Gholami, L., Kalehoei, M., & Soltani, M. (2021). Soil and Water Conservation using Organic Corn Mulch under Simulated Rainfall [Research]. *journal of watershed management research*, 12(24), 308-319 (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jwmr.12.24.308>
- Lang, A. J. (2016). *Soil erosion from forest haul roads at stream crossings as influenced by road attributes* [Virginia Tech].
- Mohammadamini, H., Khaledi darvishan, A., & Alavi, J. (2020). Effects of Soil Surface Rock Fragments on Runoff Variables of Field Plots under Rainfall Simulation [Research]. *journal of watershed management research*, 11(22), 243-253 (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jwmr.11.22.243>
- Nasiri, M., Lotfalian, M., Modarres, A., & Wu, W. (2017). Use of rice husk ash as a stabilizer to reduce soil loss and runoff rates on sub-base materials of forest roads from rainfall simulation tests. *Catena*, 150, 116-123.
- Nasiri, M., Mohammadzade, M., Lotfalian, M., & Parsakhoo, A. (2022). Zoning and Field Study of Landslides along Forest Roads of Darabkola-Sari [Research]. *journal of watershed management research*, 13(26), 105-114 (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.105>
- Parsakhoo, A., Khandouzi, R., Sheikh, V., & Mohammad Ali Pourmalekshah, A. A. (2019). Comparison of the effect of riprap, herbaceous textile and grass cover on reduction of sediment yield from the ditch of forest roads. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(6), 255-267.
- Robichaud, P. R., Ashmun, L. E., Foltz, R. B., Showers, C. G., Groenier, J. S., Kesler, J., DeLeo, C., & Moore, M. (2013). *Production and aerial application of wood shreds as a post-fire hillslope erosion mitigation treatment*. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Solgi, A., Naghdi, R., Zenner, E. K., Hemmati, V., Behjou, F. K., & Masumian, A. (2021). Evaluating the effectiveness of mulching for reducing soil erosion in cut slope and fill slope of forest roads in Hyrcanian Forests. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 42(2), 259-268.
- Zandi, J., Solaimani, K., Habibnezhad Roshan, M., & Kavian, Ataollah. (2020). Effectiveness evaluation of wheat straw and wood shred mulches for runoff and sediment yield reduction from unit source micro-catchments. *Irrigation and Water Engineering*, 10(3), 52-67. <https://doi.org/10.22125/iwe.2020.107091>