

تغییر پذیری مؤلفه‌های رواناب و رسوب از ترکیب‌ها و درصدهای مختلف پوشش گیاهی

فردین رحمانی ننه کران: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

اباذر اسمعیلی عوری: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی

مهین کله‌هوئی: دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

محمد احمدی: دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی

رئوف مصطفی‌زاده: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی

زینب جزبای* : استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت): ۱۴۰۰/۱۱/۲۳



20.1001.1.22517812.1401.12.4.8.9

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر ۹ تیمار از ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی شامل غالبیت گرامینه با ارتفاع کم (T1)، ترکیب بوته‌ای متراکم با گرامینه (T2)، بوته‌ای با ارتفاع کم و پراکنش متوسط (T3)، بوته‌ای پراکنده با ارتفاع عمدتاً کم و متوسط (T4)، ترکیب بوته‌ای پراکنده با گرامینه (T5)، بوته‌ای متراکم در بالادست (T6)، بوته‌ای با ارتفاع کم و پراکنش بسیار کم (T7)، بوته‌ای متراکم با پوشش تقریباً یکنواخت (T8) و بدون پوشش گیاهی (شاهد) (T9) بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب انجام شد. علاوه بر این، اثر درصدهای مختلف (صفر، ۴۰ و ۶۰-۴۰) پوشش گیاهی بر تغییرات مؤلفه‌های رواناب و رسوب نیز بررسی شد. تیمارهای مطالعاتی با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و در کرت‌های صحرایی به ابعاد ۱×۲ متر و شیب تقریبی ۱۵-۱۲ درصد، در بارندگی با شدت ۳۲ میلی‌متر بر ساعت با تداوم زمانی ۱۸ دقیقه بررسی شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب، معنی‌دار ($p\text{-value} < 0/001$) بود؛ به طوری که حداکثر زمان شروع رواناب (۱۳۸۸/۳۳ ثانیه) در تیمار T4 و حداقل میزان رواناب (۰/۴۱ لیتر) و ضریب رواناب (۲/۱۴ درصد) در تیمار T2 به ترتیب با +۹۸، -۸۲ و -۸۲ درصد تغییر نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. همچنین حداقل هدررفت خاک برابر با ۱/۳۰ گرم، در تیمار T2 و حداقل غلظت رسوب برابر با ۶ گرم بر لیتر، در تیمار T8 به ترتیب با ۸۶- و ۶۹- درصد تغییر نسبت به تیمار شاهد بود. تجزیه و تحلیل آماری مربوط به اثر درصدهای مختلف پوشش گیاهی نیز نشان داد که بین میانگین زمان شروع رواناب و غلظت رسوب ($p\text{-value} < 0/001$)، اختلاف معنی‌دار و بین میانگین مقدار و ضریب رواناب ($p\text{-value} > 0/73$) و هدررفت خاک ($p\text{-value} > 0/15$)، اختلاف غیرمعنی‌دار وجود دارد.

واژگان کلیدی: تولید رسوب، حفاظت خاک، رواناب، شبیه‌ساز باران، مدیریت پوشش گیاهی.

۱- مقدمه

امروزه افزایش جمعیت و به‌دنبال آن افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، موجب شده پوشش‌های طبیعی زمین^۱ به‌ویژه جنگل‌ها و مراتع با سرعت هشدار دهنده‌ای توسط انسان تخریب و به اراضی کشاورزی تبدیل شود. حتی در بسیاری از مناطق به‌دلیل کمبود آب و مواد مغذی، رشد پوشش گیاهی محدود شده‌است (Nie et al, 2020 & li et al, 2008). کاهش پوشش گیاهی^۲ در سراسر دنیا، ناشی از فعالیت‌های انسانی از قبیل چرای مفرط و جنگل‌زدایی است که به کاهش نفوذپذیری^۳ و در پی آن، افزایش رواناب^۴ منجر شده‌است (Saeediyan and Moradi, 2022 & Duan et al, 1998 & Singer and Le Bissonnais, 2022). و می‌تواند از چسبندگی ذرات خاک بکاهد و خاک حاصل‌خیز را برای فرسایش^۵ مستعد سازد (Kavianpoor et al, 2015). فرسایش خاک در اکوسیستم‌های مدیریت شده و طبیعی مانند محصولات زراعی، مراتع یا جنگل‌ها نیز به خسارت‌های زیادی منجر می‌شود؛ به گونه‌ای که ظرفیت نفوذ خاک را به‌دلیل ایجاد رواناب و ماده آلی کاهش می‌دهد و در نتیجه با از بین بردن خاک سطحی، به کاهش مواد مغذی با ارزش خاک منجر می‌شود. در عین حال، کاهش قابل‌توجهی در تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری را به همراه دارد (Borrelli et al, 2008 & Durán Zuazo and Rodríguez Pleguezuelo, 2017). بر همین اساس، مهار فرسایش خاک و رسوب^۶ یکی از اهداف مهم در برنامه‌های حفاظت و مدیریت منابع آب و خاک است (Hou et al, 2020 & Kervroëdan et al, 2019).

وجود پوشش گیاهی می‌تواند ابزاری بسیار مهم برای مهار فرسایش آبی و احیای اکوسیستم باشد. پوشش گیاهی و عوامل مرتبط با آن، در مقیاس‌های طولانی‌مدت نیز در زمینه اصلاح ویژگی‌های هیدرولوژیک و فرسایش‌پذیری خاک و بار رسوب نقش مهمی بر عهده دارند (Khodadadi et al, 2021 & Podwojewski et al, 2011). پوشش گیاهی با نگه داشتن قطرات باران توسط تاج پوشش، بخشی از بارش‌ها را در خود نگه می‌دارد و به کاهش انرژی جنبشی قطرات باران منجر می‌شود (Azartaj et al, 2018 & Eteraf et al, 2014). از سوی دیگر، پوشش گیاهی با افزایش زبری و کاهش سرعت جریان آب، به کاهش تنش برشی شده و مقاومت هیدرولیکی ایجاد شده توسط پوشش گیاهی و جذب و ته‌نشست مواد رسوبی معلق منجر می‌شود (Omidvar et al, 2019 & Podwojewski et al, 2011).

ارتباط بین پوشش گیاهی و فرسایش خاک در مطالعات مختلف، به‌صورت خطی و نمایی توصیف شده‌است؛ برای نمونه، از رابطه خطی در معادله جهانی هدررفت خاک (USLE^۷) استفاده شد (Wischmeier, 1959)؛ با این وجود با توجه به معادله یاد شده، پشتیبانی تجربی از چنین روابطی در پوشش گیاهی پراکنده نسبتاً ضعیف است و برخی از پژوهشگران بیان می‌کنند که پوشش گیاهی کمتر از ده درصد، اثر ناچیزی دارد (Abrahams et al, 1988). تحقیقات نشان می‌دهد که در برخی موارد با افزایش پوشش گیاهی، فرسایش خاک کاهش می‌یابد (Morgan et al, 1986 & De Ploey et al, 1976). نتایج پژوهش‌های گوناگون نشان می‌دهد که کاهش نمایی کلی در فرسایش خاک، در

¹ Natural land covers

² Vegetation

³ Infiltration/Permeability

⁴ Runoff

⁵ Erosion

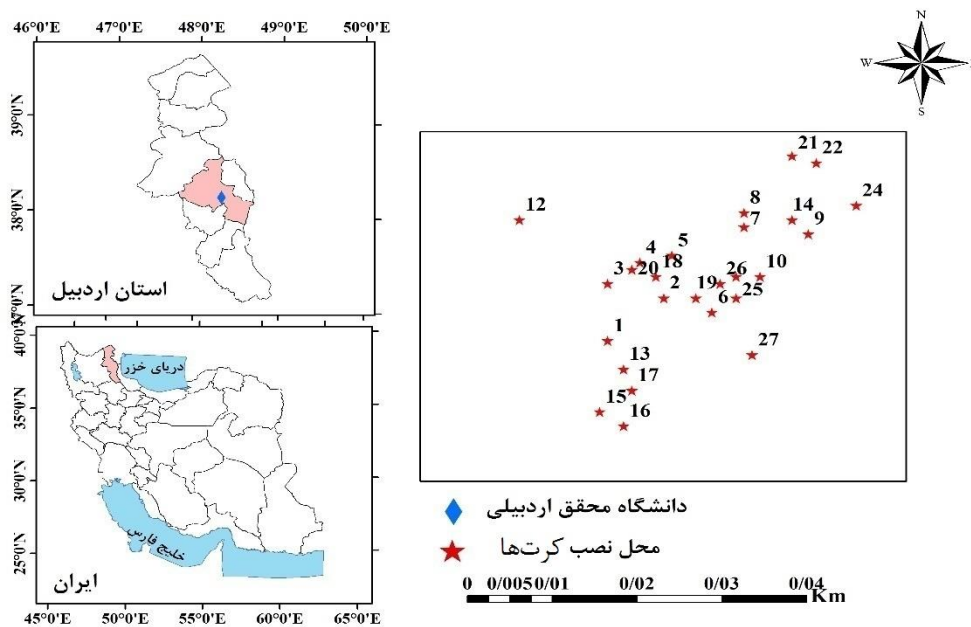
⁶ Sediment

⁷ Universal Soil Loss Equation

محدوده بالاتر از سطح معینی از پوشش گیاهی اتفاق می‌افتد؛ در حالی که با پوشش گیاهی کم، جریان فرسایش خاک ممکن است افزایش نمایی، افزایش خطی آهسته‌تر، رسیدن به سطح هموار یا حتی یک حداکثر، به دنبال کاهش چنین تغییراتی به دلیل اثر تلاطم جریان ناشی از ساقه‌های گیاه با پوشش کم داشته باشد (Rogers and Schumm, 1991). در حالت ایده‌آل، گونه‌های گیاهی که آب باران کافی را برای تأمین نیازهای رویشی خود حفظ می‌کنند، می‌توانند هدررفت خاک را کنترل و در نهایت، به بهبود زیستگاه‌های محلی کمک کنند (Liu et al, 2019). بررسی اثر پوشش گیاهی بر فرایند رواناب و فرسایش خاک می‌تواند اطلاعات لازم را برای موفقیت روش‌های حفاظت از خاک و آب فراهم کند. بر همین اساس، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی اثر انواع ترکیب و درصد پوشش گیاهی در تغییر میزان مؤلفه‌های رواناب و رسوب ناشی از باران شبیه‌سازی شده، در کرت‌های صحرایی در اراضی مرتعی استان اردبیل انجام شد.

۲- محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل اراضی طبیعی مرتعی واقع در محدوده اطراف دانشگاه محقق اردبیلی در استان اردبیل است (شکل ۱). با توجه به اهمیت انتخاب محل استقرار کرت‌های اندازه‌گیری رواناب و فرسایش خاک، در گام نخست محدوده مورد نظر به طور دقیق بررسی شد تا شرایط مشابهی برای استقرار کرت‌ها از نظر ویژگی‌های خاک، شیب و جهت دامنه فراهم شود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نیز از منابع پیشین (Abbasi Khalaki, 2018) دریافت شد (جدول ۱). بر اساس این ویژگی‌ها، بافت خاک از نوع لومی شنی و وزن مخصوص ظاهری آن حدود ۱/۴۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اردبیل و ایران

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه اجرای پژوهش (Abbasi Khalaki, 2018)

مقدار	واحد	ویژگی خاک
لومی - شنی	-	بافت
۱۷	درصد	رس
۱۴	درصد	سیلت
۶۹	درصد	شن
۱/۴۶	گرم بر سانتی متر مکعب	وزن مخصوص ظاهری
۰/۴۰	دسی‌زیمنس بر متر	هدایت الکتریکی
۸/۳۰	-	pH
۰/۰۸	درصد	ماده آلی
۰/۰۱	درصد	نیترژن
۲۸/۶۰	قسمت در میلیون	فسفر
۱۷۴/۰۰	قسمت در میلیون	پتاسیم

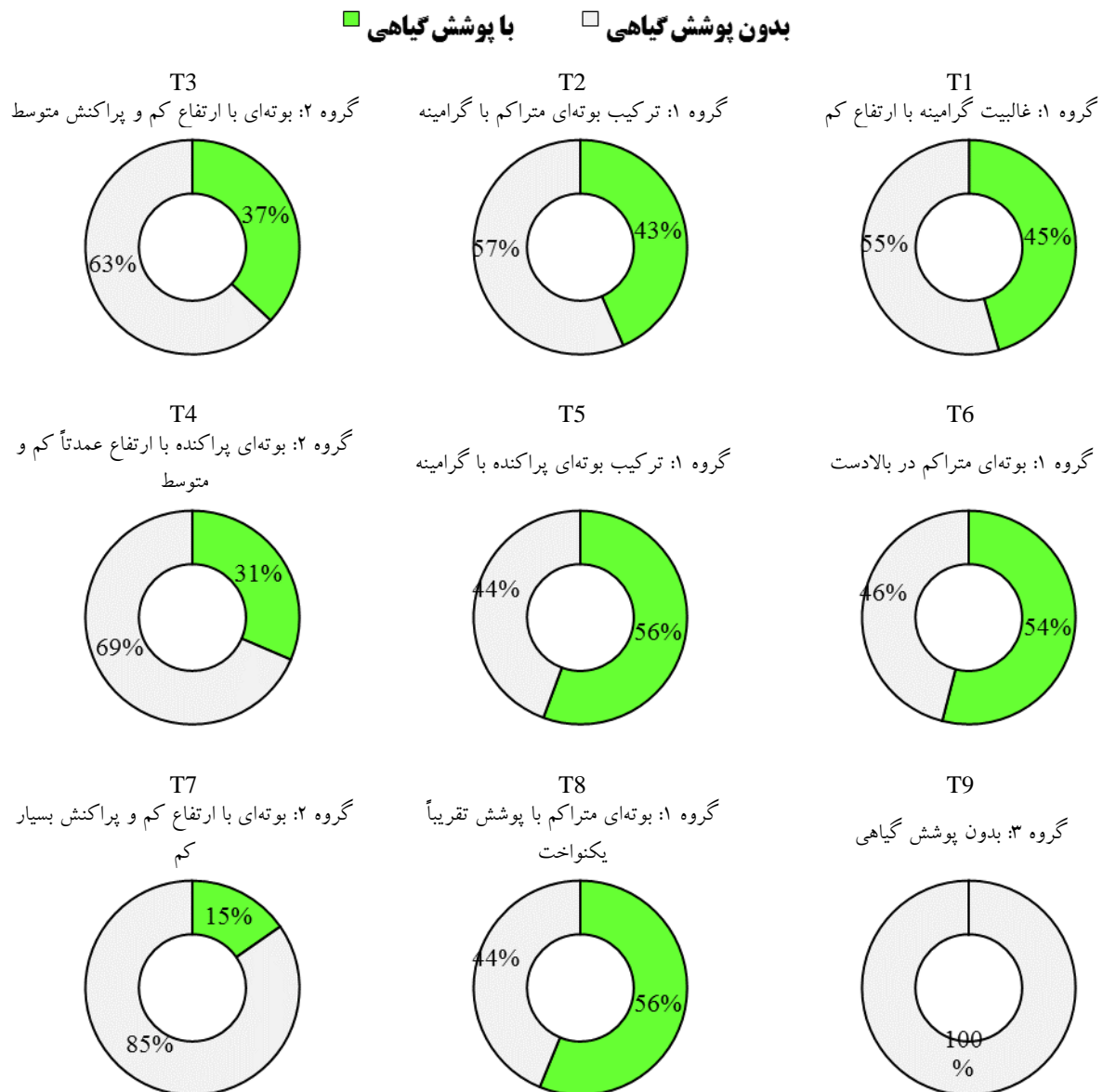
۳- مواد و روش

۳-۱- تیمارهای مورد مطالعه

به منظور تحقق هدف اصلی پژوهش که شامل بررسی تأثیر انواع و درصدهای مختلف پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب است، ۹ تیمار با انواع مختلف پوشش گیاهی (به شرح جدول ۲ و شکل ۲) انتخاب شد. تلاش لازم در انتخاب سه تکرار از هر تیمار با داشتن حداکثر تشابه انجام شد. بر اساس طبقات مختلف درصد پوشش گیاهی، ۹ تیمار مورد مطالعه در سه گروه طبقه‌بندی شد که شامل ۴۰-۶۰ درصد، کمتر از ۴۰ و صفر درصد پوشش گیاهی بود.

جدول ۲: تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر

تیمار	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
ترکیب پوشش گیاهی	غالبیت گرامینه با ارتفاع کم	ترکیب بوته‌ای بوته‌ای با ارتفاع کم و تراکم با گرامینه	بوته‌ای با ارتفاع کم و تراکم با گرامینه	بوته‌ای پراکنده با ارتفاع عمدتاً کم و متوسط	ترکیب بوته‌ای پراکنده با گرامینه	بوته‌ای تراکم در بالادست	بوته‌ای با ارتفاع کم و پراکنش بسیار کم	بوته‌ای تقریباً پوشش تقریباً یکنواخت	بوته‌ای تراکم با بدون پوشش گیاهی (شاهد)
درصد پوشش گیاهی	۴۵	۴۳	۳۷	۳۱	۵۶	۵۴	۱۵	۵۶	۰



شکل ۲: توزیع میانگین درصد کل پوشش سطح کرت‌ها در هر تیمار مورد مطالعه

(گروه‌های ۱ تا ۳ به ترتیب مربوط به تیمارهای با درصد پوشش بین ۴۰ تا ۶۰، کمتر از ۴۰ و فاقد پوشش گیاهی است)

۲-۳- شبیه‌سازی باران و فرسایش خاک

برای اجرای پژوهش حاضر، از دستگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک قابل استفاده در عرصه استفاده شد. شبیه‌ساز باران مورد استفاده، در شبیه‌سازی باران مصنوعی مشابه با باران طبیعی قابلیت‌های بالایی داشت. با انتخاب سطوح مختلف سرعت حرکت محور بارش، تأخیر بارش، فشار پشت نازل و زاویه چرخش نازل‌ها، می‌توان مقادیر شدت بین ۲۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر را شبیه‌سازی کرد. دو نازل موجود در محور اصلی، بارش را از ارتفاع دو متری شبیه‌سازی می‌کنند. این دستگاه از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌است؛ از جمله موتور برق برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز دستگاه، سیستم کنترل کامپیوتری نازل‌ها، مخزن، پمپ آب و فشارسنج، سیستم پاشش قطرات باران، چارچوب دستگاه با پایه‌های قابل تنظیم ارتفاع تا ۲/۴۰ متر و کرت آزمایش. شبیه‌ساز مورد استفاده، بر پایه یک بازوی پاششی برای هر نازل استوار است که در عرض یک کرت، با سرعت‌های متفاوت به منظور ایجاد شدت‌های بارش مختلف نوسان

می‌کند. هر بازو به موتوری دنده‌ای متصل است که این موتور با دریافت سیگنال‌های کنترل از برنامه کامپیوتری، سرعت حرکت و زاویه نوسان بازوها را ایجاد می‌کند. شکل ۳، نمایی از شبیه‌ساز استفاده شده را نشان می‌دهد. به‌منظور شبیه‌سازی باران نزدیک به واقعیت، شدت باران با استفاده از داده‌های بارندگی نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک برابر با ۳۲ میلی‌متر بر دقیقه با تداوم بارش هیجده دقیقه‌ای مدنظر قرار گرفت. همچنین برای پوشش دادن ۹ تیمار مورد پژوهش در سه تکرار، در مجموع ۲۷ کرت استقرار داده شد. کرت‌های صحرایی مورد استفاده با ورقه‌های گالوانیزه محصور شد و ابعاد ۱×۲ متر و شیب تقریبی ۱۵-۱۲ درصد داشت. به‌منظور محکم نگه‌داشتن کرت‌ها، پنج سانتی‌متر از ارتفاع پانزده سانتی‌متری هر کرت در زمین کوبیده شد. کرت‌های نصب شده، مانع تراوش رواناب حاصل از سطح دو متر مربعی به بیرون می‌شود و بیانگر میزان واقعی رواناب است. ذکر این امر لازم است که انتهای کرت‌ها به مخازن جمع‌آوری کننده رواناب و رسوب تولیدی مجهز است (شکل ۳).

۳-۳- اندازه‌گیری مؤلفه‌های رواناب و رسوب

زمان شروع رواناب برای هر کرت پس از تشکیل اولیه رواناب و رسیدن به خروجی کرت، با استفاده از زمان‌سنج (کرنومتر) ثبت شد. مقدار رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک از کرت‌های شاهد و دارای پوشش گیاهی در فواصل زمانی سه دقیقه‌ای (Marques et al, 2007)، برای مدت زمان هیجده دقیقه به اضافه زمان شروع رواناب جمع‌آوری شد. پس از تعیین مقادیر حجم رواناب در هر یک از بازه‌های زمانی سه دقیقه، نمونه‌های رواناب و رسوب خروجی به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شد تا ته‌نشینی کامل صورت گیرد. پس از طی مدت زمان مذکور، مقدار آب اضافی نمونه‌ها تا حد امکان و به آرامی (Soleimani et al, 2018 & Hazbavi and Sadeghi, 2016) تخلیه شد. سپس رسوب باقی‌مانده از هر نمونه، به درون ظروف تهیه شده از ورقه‌های نازک آلومینیومی با وزن مشخص تخلیه و در آون نهاده شد. سپس نمونه‌های موجود در آون، به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد (Kalehhouei et al, 2019). اختلاف وزن نمونه‌های خشک شده و وزن ظروف اولیه بدون رسوب، به‌عنوان وزن هدررفت خاک بر حسب گرم محاسبه شد. سپس غلظت رسوب، از تقسیم مقدار هدررفت خاک به مقدار رواناب هر نمونه محاسبه شد. همچنین برای اندازه‌گیری ضریب رواناب هر یک از کرت‌ها، میزان رواناب خروجی از کرت بر کل حجم بارندگی تقسیم شد و با ضرب در عدد ۱۰۰، درصد ضریب رواناب محاسبه شد.



شکل ۳: نمایی از شبیه‌ساز باران به همراه کرت‌های فرسایشی مورد استفاده در پژوهش حاضر

۴-۳- تجزیه و تحلیل آماری

پس از اجرای آزمایش‌های مربوط به شبیه‌سازی باران و فرسایش خاک، تمام داده‌های اندازه‌گیری شده مربوط به هر مؤلفه برای ورود به نرم‌افزار تحلیل آماری IBM SPSS Statistics 26.0.0.1 مرتب و آماده‌سازی شد. بدین منظور، ابتدا نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون‌های شاپیرو - ویلک و لون انجام شد (Bihamta and Zare Chahooki, 2010). سپس به منظور مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد، از آزمون ناپارامتریک کروسکال - والیس در صورت عدم نرمال بودن داده‌ها و ناهمگنی واریانس‌ها ($p\text{-value} < 0.05$) و از تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) و آزمون دانکن، در صورت نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها ($p\text{-value} > 0.05$) استفاده شد (Azartaj et al, 2018 & Bihamta and Zare Chahooki, 2010). پس از اطمینان از وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مورد بررسی، گروه‌بندی تیمارها از طریق آزمون دانکن انجام شد. ذکر این امر لازم است که نتایج مربوط به مؤلفه‌های رواناب و رسوب هر یک از این تیمارهای دارای پوشش گیاهی، با تیمار شاهدی مقایسه شد که فاقد پوشش گیاهی بود.

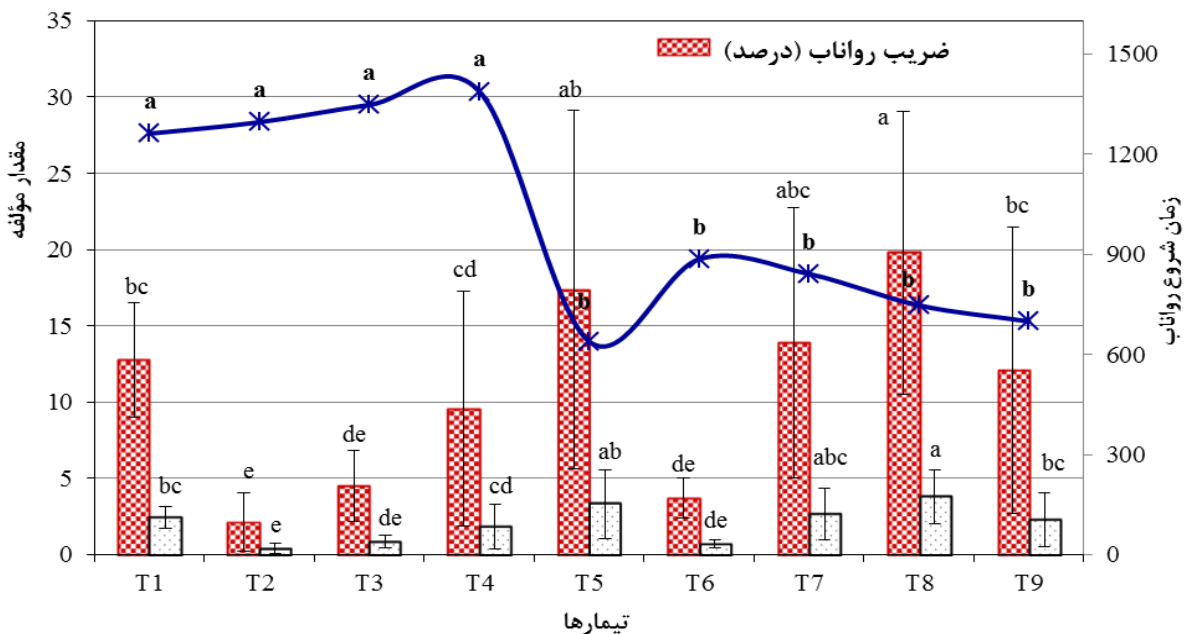
۴- یافته‌ها (نتایج)

۴-۱- نتایج اثر ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب

نتایج آزمون کروסקال - والیس، بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p\text{-value} < 0.0001$) میانگین مؤلفه‌های رواناب و رسوب در بین تیمارهای مورد مطالعه بود (جدول ۳ و شکل‌های ۴ و ۵). همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، تمام تیمارها به جز T5 زمان شروع رواناب را نسبت به تیمار شاهد به تأخیر انداخته‌اند؛ به طوری که بهترین عملکرد در تیمارهای T4 (بوت‌های پراکنده با ارتفاع عمدتاً کم و متوسط)، T3 (بوت‌های با ارتفاع کم و پراکنش متوسط)، T2 (ترکیب بوت‌های مترکم با گرامینه) و T1 (غالبیت گرامینه با ارتفاع کم) به ترتیب با افزایش ۹۸، ۹۳، ۸۵ و ۸۰ درصد در زمان شروع رواناب نسبت به تیمار شاهد به دست آمد ($p\text{-value} < 0.0001$). بدترین عملکرد در تیمار T5 - که شامل ترکیب بوت‌های پراکنده با گرامینه است - دیده شد که در آن، زمان شروع رواناب حدود ۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش غیرمعنی‌دار ($p\text{-value} > 0.05$) داشت. همچنین بهترین تأثیر نوع پوشش گیاهی بر مقدار و ضریب رواناب مربوط به تیمارهای T2 (بوت‌های مترکم با گرامینه)، T6 (بوت‌های مترکم در بالادست)، T8 (بوت‌های مترکم با پوشش تقریباً یکنواخت) و T3 (بوت‌های با ارتفاع کم و پراکنش متوسط) با کاهش بیش از ۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۴).

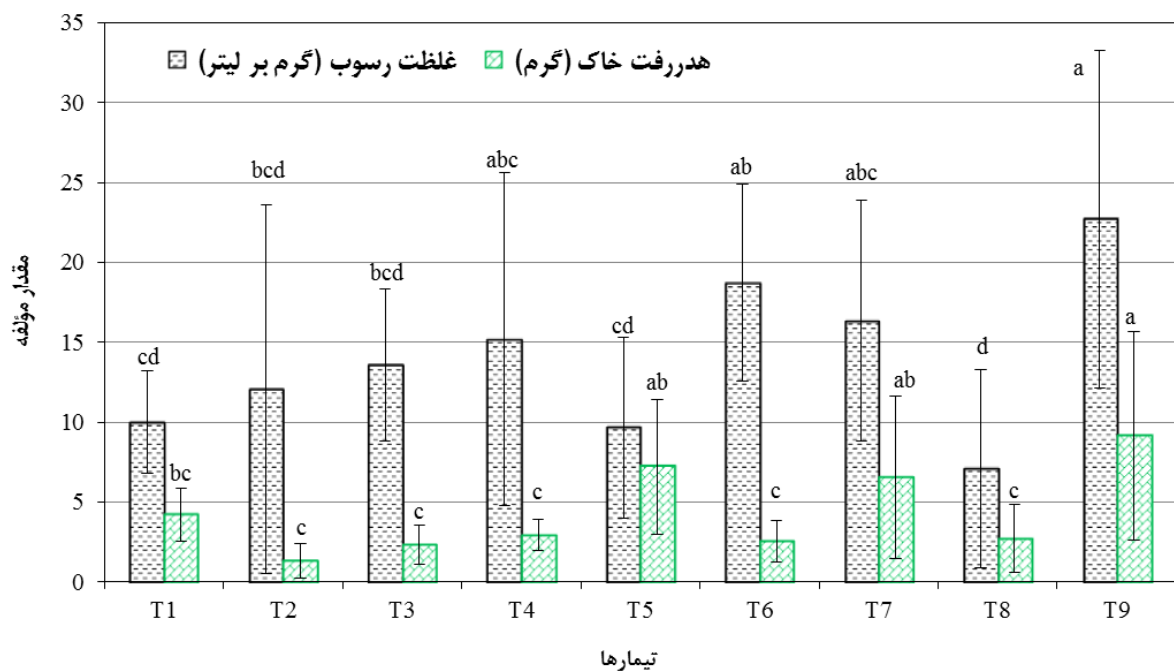
جدول ۳: نتایج آزمون کروסקال - والیس با هدف ارزیابی اثر ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی (T1-T9) بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب

مؤلفه	زمان شروع رواناب	میزان رواناب	ضریب رواناب	هدررفت خاک	غلظت رسوب
آماره	۳۳/۳۳	۵۹/۹۰	۵۹/۹۹	۳۸/۶۲	۳۳/۴۷
Chi-Square			۸		
درجه آزادی			۰/۰۰		
p-value					



شکل ۴: تغییرات میانگین زمان شروع، مقدار و ضریب رواناب در تیمارهای مربوط به ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی

نتایج شکل ۵ نشان داد که میزان هدررفت خاک و غلظت رسوب نیز از ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی تأثیر پذیرفته‌است. به جز تیمارهای T5 (ترکیب بوته‌ای پراکنده با گرامینه) و T7 (بوته‌ای با ارتفاع کم و پراکنش بسیار کم) که بین ۲۱ تا ۲۷ درصد، به کاهش غیرمعنی‌دار ($p\text{-value} > 0.05$) هدررفت خاک نسبت به تیمار شاهد منجر شده‌اند، سایر تیمارها اثر بیش از پنجاه درصدی و اثری معنی‌دار ($p\text{-value} < 0.0001$) داشت. همچنین تمام تیمارها در کاهش غلظت رسوب، اثرگذاری بیش از هیجده درصد داشت. حداکثر اثرپذیری غلظت رسوب (با بیش از ۴۷ درصد کاهش)، به ترتیب در تیمارهای T8 (بوته‌ای متراکم با پوشش تقریباً یکنواخت)، T5 (ترکیب بوته‌ای پراکنده با گرامینه)، T1 (غالبیت گرامینه با ارتفاع کم)، T2 (بوته‌ای متراکم با گرامینه) و T3 (بوته‌ای با ارتفاع کم و پراکنش متوسط) به‌طور معنی‌دار ($p\text{-value} < 0.0001$) مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۵: تغییرات میانگین و انحراف معیار هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمارهای مربوط به ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی

۴-۲- نتایج اثر درصدهای مختلف پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب

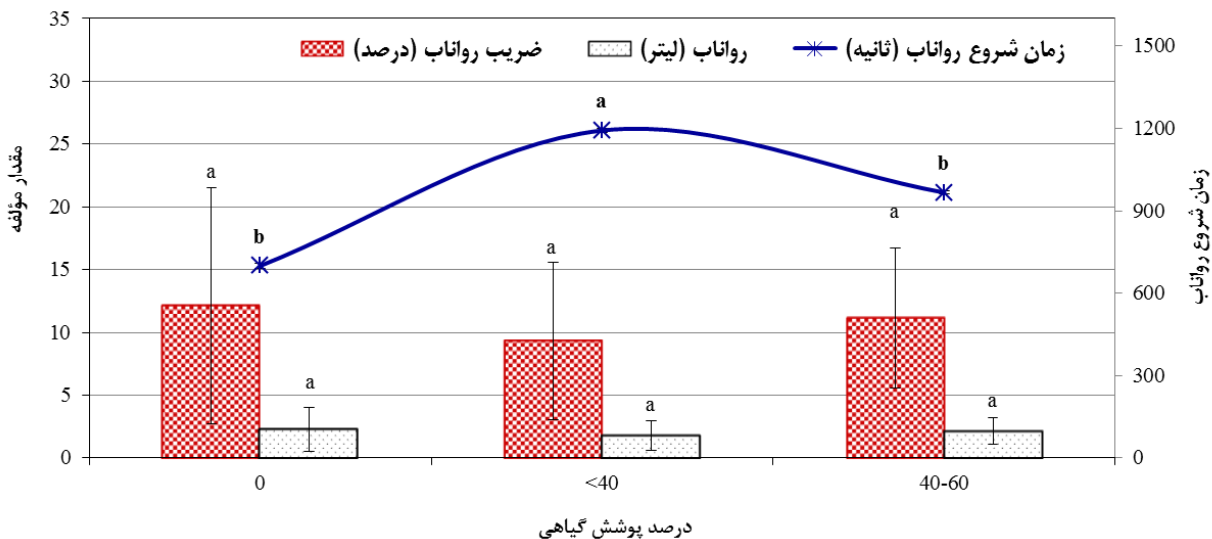
در گروه‌بندی مربوط به درصد پوشش گیاهی، داده‌های زمان شروع رواناب نرمال بود و واریانس همگن ($p > 0.05$) داشت و سایر مؤلفه‌ها، غیرنرمال ($p\text{-value} < 0.05$) و دارای واریانس همگن ($p\text{-value} > 0.05$) بود. نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین زمان شروع رواناب در درصدهای مختلف پوشش گیاهی بود (جدول ۴ و شکل ۶)؛ به نحوی که زمان شروع رواناب در تیمارهای ۰، ۴۰ و ۶۰ درصد پوشش گیاهی به ترتیب برابر با ۷۰۰، ۱۱۹۳ و ۹۶۶ ثانیه بود (شکل ۶). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین درصد اثرگذاری پوشش گیاهی بر افزایش زمان شروع رواناب، در تیمار کمتر از چهل درصد به‌دست آمد ($p\text{-value} < 0.001$). اثر تیمارهای ۴۰ و ۶۰ درصد پوشش گیاهی بر مقدار رواناب، به ترتیب برابر با ۷ و ۲۲ درصد کاهش و بر ضریب رواناب به ترتیب برابر با ۸ و ۲۳ درصد کاهش نسبت به شاهد بود که غیرمعنی‌دار ($p\text{-value} > 0.03$) ارزیابی شد (جدول ۵ و شکل ۶).

جدول ۴: نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه با هدف ارزیابی اثر درصد پوشش گیاهی بر زمان شروع رواناب

آماره	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	p-value
بین گروهی	۵۲۱۰۴۲۰/۷۱	۲	۲۶۰۵۲۱۰/۳۶	۷/۷۰	۰/۰۰۱
درون گروهی		۱۵۹	۵۳۷۸۰۰۰۰		
کل		۱۶۱	۵۸۹۹۰۰۰۰		

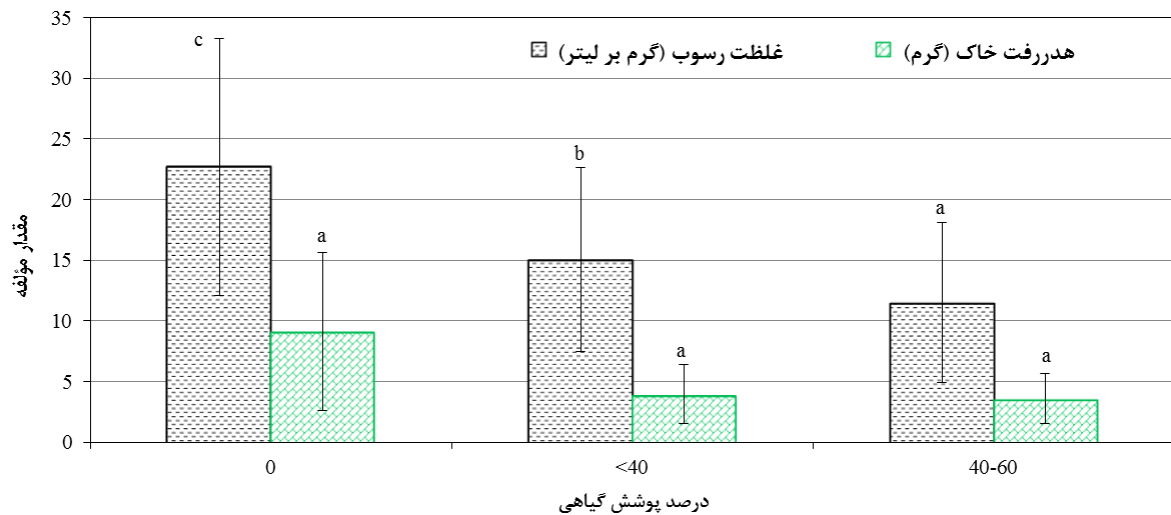
جدول ۵: نتایج آزمون کروسکال - والیس با هدف ارزیابی اثر درصد پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب

آماره	رواناب	ضریب رواناب	هدررفت خاک	غلظت رسوب
Chi-Square	۰/۶۱۸	۰/۶۲۳	۳/۷۷	۱۴/۸۴
درجه آزادی	۲	۲	۲	۲
p-value	۰/۷۳۲	۰/۷۳۴	۰/۱۵۲	۰/۰۰۱



شکل ۶: تغییرات میانگین زمان شروع، مقدار و ضریب رواناب در درصدهای مختلف پوشش گیاهی

مقدار هدررفت خاک در تیمارهای ۰، ۴۰ و ۶۰ درصد پوشش گیاهی به ترتیب برابر با ۹، ۳/۵ و ۳ گرم و مقدار غلظت رسوب به ترتیب برابر با ۲۲/۵، ۱۵ و ۱۲ گرم بر لیتر بود (شکل ۷). طبق نتایج آزمون کروسکال - والیس، اختلاف نامعنی دار بین میانگین هدررفت خاک ($p\text{-value} > 0.15$) و اختلاف معنی دار بین میانگین غلظت رسوب ($p\text{-value} < 0.001$)، در درصدهای مختلف پوشش گیاهی ارزیابی شد (جدول ۵ و شکل ۷).



شکل ۷: تغییرات میانگین هدررفت خاک و غلظت رسوب در درصدهای مختلف پوشش گیاهی

۵- بحث و نتیجه گیری

تحقیق حاضر، به منظور مقایسه اثر ترکیب‌ها (گرامینه و بوته‌ای) و درصدهای (>۴۰ و ۴۰-۶۰) مختلف پوشش گیاهی با تیمار بدون پوشش گیاهی (شاهد) در کاربری مرتع، واقع در محوطه اطراف دانشگاه محقق اردبیلی با استفاده از شبیه‌ساز باران انجام شد. یافته‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که آستانه شروع رواناب در ترکیب‌ها و درصدهای مختلف پوشش گیاهی، نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل‌های ۴ و ۶)؛ به طوری که پوشش گیاهی در هر دو طبقه کمتر از ۴۰ و ۴۰-۶۰ درصد، با به تاخیر انداختن شکل‌گیری رواناب به افزایش نفوذپذیری آب در خاک منجر شد. تیمارهای با غالبیت گرامینه با ارتفاع کم (T1)، ترکیب بوته‌ای متراکم با گرامینه (T2)، بوته‌ای با ارتفاع کم و پراکنش متوسط (T3) و بوته‌ای پراکنده با ارتفاع عمدتاً کم و متوسط (T4)، حداکثر اثرگذاری را (بیش از ۸۰ درصد) در افزایش زمان شروع رواناب داشت (جدول و شکل ۴). در همین راستا، Duan و همکاران (2020) نیز مقدار آستانه رواناب را برای خاک لخت، برابر با ۰/۷۳ ثانیه و برای خاک‌های دارای پوشش علفی، بین ۱/۳۷ تا ۳/۵۳ ثانیه گزارش کرده‌اند. آنها علت پایین بودن زمان شروع رواناب در کرت‌های مورد مطالعه را به طول کم کرت‌های مورد استفاده - دو مترمربع - نسبت داده‌اند. با بررسی شرایط خاک مورد پژوهش می‌توان گفت که تفاوت علت کم بودن آستانه شروع رواناب نسبت به پژوهش حاضر، عمدتاً به بالا بودن رطوبت پیشین (۱۹-۱۶ درصد) و سیلت (۶۸-۶۶ درصد) بازمی‌گردد.

در پژوهش‌های پیشین گزارش شده‌است که پوشش علفی در کوتاه‌مدت، نسبت به پوشش درختی و بوته‌ای نتایج مطلوب‌تری در مهار فرسایش داشت. پوشش گیاهی عمدتاً از طریق چندین فرایند، به مهار رواناب و فرسایش خاک منجر می‌شود: الف) برگ‌های روی سطح خاک پوشش علفی، به کاهش انرژی جنبشی قطرات باران و حفاظت سطح خاک در برابر اثرات پاشمانی قطرات باران منجر می‌شود (Hou et al, 2020). در نتیجه، به کاهش سرعت رواناب از طریق افزایش نگره‌داشت باران و شدت نفوذپذیری خاک می‌انجامد. ب) پوشش گیاهی خاک با عمل به عنوان فیلتر، میزان به تله افتادن ذرات ریز فرسایش‌یافته را افزایش می‌دهد. در مورد پوشش گیاهی علفی، این عمل تله‌اندازی به

اندازه و شکل گیاهان بستگی دارد. همچنین، ساقه‌های پوشش گیاهی به‌طور مؤثری به کاهش ظرفیت انتقال رسوب منجر می‌شود (Kervroëdan et al, 2019). ج) همچنین، سیستم ریشه‌ای پوشش گیاهی از طریق اتصال و به‌هم پیوستگی ذرات خاک، به افزایش نفوذپذیری و مقاومت آن نسبت به فرسایش منجر می‌شود. پوشش گیاهی، رطوبت سطح خاک را برای مدت طولانی حفظ می‌کند و این اثر، در کاهش میزان خیس شدن لایه‌های تحتانی پوشش گیاهی و در نتیجه روند خشکی خاک‌دانه‌ها مفید است (Duan et al, 2022 & Podwojewski et al, 2011).

با وجود آن که تیمار ترکیب بوته‌ای پراکنده با گرامینه (T5)، در افزایش آستانه شروع رواناب و کاهش مقدار و ضریب رواناب مؤثر نبود، به کاهش ۲۱ و ۵۷ درصدی به‌ترتیب در مقدار هدررفت خاک و غلظت رسوب نسبت به تیمار شاهد منجر شد (شکل ۵). بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در صورت اتخاذ راهکارهای مدیریتی فرسایش می‌توان به این نوع ترکیب نیز توجه کرد؛ در حالی که برای مهار رواناب و سیل، گزینه مدیریتی مناسبی به شمار نمی‌آید و باید از تیمارهای T1، T2، T3، T4 و T5 به‌ترتیب اثرگذاری استفاده کرد. همچنین تیمارهای دارای پوشش گیاهی کمتر از چهل درصد، در بهبود مؤلفه‌های رواناب نسبت به تیمارهای دارای پوشش گیاهی ۶۰-۴۰ درصد عملکرد بهتری داشت؛ در حالی که ۶۰-۴۰ درصد پوشش گیاهی با اختلاف جزئی در بهبود مؤلفه‌های فرسایش و رسوب، نقش بهتری ایفا کرد (جدول‌های ۴ و ۵ و شکل‌های ۶ و ۷). نتایج به‌دست آمده، با پژوهش Niu و همکاران (2020) و Duan و همکاران (2022) مطابقت دارد. این پژوهشگران گزارش کرده‌اند که فرایندهای هدررفت خاک ناشی از فرسایش آبی، با فرایندهای رواناب ارتباط تنگاتنگی دارد و در مقایسه با کاهش رواناب، تیمارهای دارای پوشش گیاهی در کاهش فرسایش و رسوب مزایای بهتری فراهم کرده‌اند. در توجیه این امر می‌توان بیان کرد که پوشش علفی، به‌عنوان لایه‌ای حفاظتی یا بافر بین اتمسفر و خاک عمل می‌کند و به کاهش قابل توجهی در فرسایش پاشمانی منجر می‌شود.

به‌دلیل تغییرات جهانی اقلیم و فعالیت‌های نابخردانه انسانی انتظار می‌رود که فراوانی و شدت وقوع رخداد‌های حدی افزایش یابد (Nie et al, 2020). یافته‌های پژوهش حاضر تأکید کرد که ویژگی‌های رویشی انواع مختلف پوشش گیاهی، فرایندهای رواناب و فرسایش آبی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد. احیای پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های تخریب‌یافته و فاقد کیفیت اکولوژیکی، سخت و دشوار است. از طرفی، دستیابی به پوشش گیاهی با تراکم زیاد غالباً در مراحل آغازین احیای پوشش گیاهی در این مناطق، با وجود فرسایش آبی شدید در رگبارهای حدی امکان‌پذیر نیست. نتایج پژوهش حاضر، مؤید اثرگذاری مناسب پوشش گیاهی با تراکم و درصد متوسط در کاهش مؤلفه‌های رواناب و فرسایش است که راه‌حل مناسبی را برای مهار فرسایش خاک به کارگزاران امر و مدیران زمین ارائه می‌دهد. همچنین در راستای انتخاب ترکیب و درصد پوشش گیاهی بهینه با هدف مهار فرسایش خاک، می‌توان از نتایج به‌دست آمده استفاده کرد؛ با وجود این، به‌منظور دستیابی به جمع‌بندی پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده، اثرات ریخت‌شناسی انواع پوشش گیاهی بر ویژگی‌های هیدرولوژیک و هیدرولیک خاک‌های تخریب‌یافته بررسی شود. همچنین بررسی میزان اثرپذیری مؤلفه‌های هیدرولوژی از پوشش گیاهی خاک‌های شور و آلوده به فلزات سنگین و فرآورده‌های نفتی نیز از جمله پیشنهاد‌های مورد تأکید در پژوهش حاضر است.

منابع

1. Abbasi Khalaki, M., 2019. Locating for capable dryland farming lands to restoration and the effect of nano potassium silicate and other facilitators on the establishment of some rangeland species, PhD Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. (in Persian)
2. Abrahams, A. D.; Parsons, A. J.; & S. H. Luk, 1988. Hydrologic and sediment responses to simulated rainfall on desert hillslopes in southern Arizona, *Catena*, 15(2), 103-117.
3. Azartaj, E.; Rasoulzadeh, A.; & A. Asghari, 2018. Investigation of land use change effect on runoff and soil erosion using rainfall simulation in Heiran area, Ardabil, *Watershed Engineering and Management*, 10(1), 1-13. (in Persian)
4. Bihamta, M., & M. Zare Chahooki., (2010). Principles of Statistics for the Natural Resources Science. Tehran University Press. Tehran. 300 p (In Persian).
5. Borrelli, P.; Robinson, D. A.; Fleischer, L. R.; Lugato, E.; Ballabio, C.; Alewell, C.; Meusburger, K.; Modugno, S.; Schütt, B.; Ferro, V.; Bagarello, V.; Van Oost, K.; Montanarella, L.; & P. Panagos, 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, *Nature Communications*, 8(1), 1-13.
6. De Ploey, J.; Savat, J.; & J. Moeyersons, 1976. The differential impact of some soil loss factors on flow, runoff creep, and rainwash, *Earth Surface Processes*, 1(2), 151-161.
7. Duan, J.; Liu, Y. J.; Wang, L. Y.; Yang, J.; Tang, C. J.; & H. J. Zheng, 2022. Importance of grass stolons in mitigating runoff and sediment yield under simulated rainstorms, *CATENA*, 213, 106132.
8. Durán Zuazo, V. H. D., & C. R. Rodríguez Pleguezuelo, (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *Sustainable Agriculture*. 28, 65-86.
9. Eteraf, H.; Dorri, M.; & D. Nikkami, 2014. The effect of plants on runoff, sediment yield and soil fertility on sloppy lands of Maraveh-Tapeh, *Watershed Engineering and Management*, 6(3), 224-231. (in Persian)
10. Hazbavi, Z., & S. H. R. Sadeghi, (2016). Potential effects of vinasse as a soil amendment to control runoff and soil loss. *SOIL Discussions*. 2(1), 71-78.
11. Hou, G.; Bi, H.; Huo, Y.; Wei, X.; Zhu, Y.; Wang, X.; & W. Liao, 2020. Determining the optimal vegetation coverage for controlling soil erosion in *Cynodon dactylon* grassland in North China, *Journal of Cleaner Production*, 244, 118771.
12. Kalehhouei, M.; Kavian, A.; Gholami, L.; & Z. Jafarian, 2019. Affectability of time to runoff and runoff coefficient in small laboratory plots to application of organic mulch, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(47), 9-17. (in Persian)
13. Kavianpoor, A. H.; Jafarian, Z.; Esmali, A.; & A. Kavian, 2015. Effect of vegetation covers on decreasing runoff and soil loss using rainfall simulation in Nesho rangeland, Mazandaran province, *Geography and Environmental Planning*, 26(2), 179-190. (in Persian)
14. Kervroëdan, L.; Armand, R.; Saunier, M.; & M. P. Faucon, 2019. Effects of plant traits and their divergence on runoff and sediment retention in herbaceous vegetation, *Plant and Soil*, 441(1), 511-524.
15. Khodadadi, M.; Alewell, C.; Mirzaei, M.; Ehssan-Malahat, E.; Asadzadeh, F.; Strauss, P.; & K. Meusburger, 2021. Deforestation effects on soil erosion rates and soil physicochemical properties in Iran: a case study of using fallout radionuclides in a Chernobyl contaminated area, *SOIL Discussions*, 1-41.
16. Li, W. Q.; Xiao-Jing, L.; Khan, M. A.; & B. Gul, 2008. Relationship between soil characteristics and halophytic vegetation in coastal region of North China, *Pakistan Journal of Botany*, 40(3), 1081-90.

17. Liu, Y. F.; Liu, Y.; Wu, G. L.; & Z. H. Shi, 2019. Runoff maintenance and sediment reduction of different grasslands based on simulated rainfall experiments, *Journal of Hydrology*, 572, 329-335.
18. Marques, M. J.; Bienes, R.; Jiménez, L.; & R. Pérez-Rodríguez, 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots, *Science of the Total Environment*, 378(1-2), 161-165.
19. Morgan, R. P. C.; Finney, H. J.; Lavee, H.; Merritt, E.; & C. A. Noble, 1986. Plant cover effects on hillslope runoff and erosion: evidence from two laboratory experiments, *Hillslope Processes*, 16, 77-90.
20. Nie, J.; Dai, P. X.; & A. H. Sobel, 2020. Dry and moist dynamics shape regional patterns of extreme precipitation sensitivity, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16), 8757-8763.
21. Omidvar, E.; Hajizadeh, Z.; & H. Ghasemieh, 2019. Sediment yield, runoff and hydraulic characteristics in straw and rock fragment covers, *Soil and Tillage Research*, 194, 104324.
22. Podwojewski, P.; Janeau, J. L.; Grellier, S.; Valentin, C.; Lorentz, S.; & V. Chaplot, 2011. Influence of grass soil cover on water runoff and soil detachment under rainfall simulation in a sub-humid South African degraded rangeland, *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(7), 911-922.
23. Rogers, R. D., & S. A. Schumm., (1991). The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield. *Journal of Hydrology*. 123(1-2), 19-24.
24. Saeediyani, H., & H. Moradi., (2022). Comparing of the runoff and sediment of different land uses in Gachsaran and Aghajari formations under rain simulation. *Water and Soil Management and Modelling*. 2(2), 55-68.
25. Singer, M. J., & Y. Le Bissonnais., (1998). Importance of surface sealing in the erosion of some soils from a Mediterranean climate. *Geomorphology*. 24(1), 79-85.
26. Soleimani, F.; Kaviani, A.; Solaimani, K.; Sharifi, F.; & K. Shahedi, 2018. Effect of application of several amendments on threshold and coefficient of runoff in various conditions under rainfall simulation, *Watershed Engineering and Management*, 10(2), 214-230. (in Persian)
27. Wischmeier, W. H., 1959. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation, *Soil Science Society of America Journal*, 23(3), 246-249.

The Changeability of Runoff and Sediment Components from Different Compositions and Percentages of Vegetation

Fardin Rahmani Naneh Karan: *Former MSc Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.*

Abazar Esmaeli Ouri: *Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.*

Mahin Kalehhouei: *PhD Candidate, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran.*

Mohammad Ahmadi: *Associate Professor, Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.*

Raof Mostafazadeh: *Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.*

Zeinab Hazbavi¹: *Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.*

Article History (Received: 12/02/2022

Accepted: 16/06/2022.)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.8.9

Extended abstract

1- Introduction

Today, the increasing population and, consequently, the demand for agricultural products have caused the natural cover of land, especially forests and pastures to be destroyed by humans at an alarming rate to become agricultural land; even in many areas due to lack of water and nutrients, vegetation growth is limited. Declining vegetation worldwide due to human activities such as overgrazing and deforestation reduces permeability and consequently increases runoff and can reduce soil particle adhesion and predisposes fertile soil particles to erosion. Soil erosion in managed ecosystems such as crops, pastures, or forests, as well as in natural ecosystems leads to extensive damage. It also reduces the infiltration capacity due to runoff and reduces soil organic matter and thus valuable soil nutrients. At the same time, it significantly reduces the diversity of plant and animal species. To this end, controlling soil erosion is one of the most important goals in water conservation and management programs. Vegetation can be a very important tool to control water erosion and regenerate the ecosystem. Vegetation reduces the shear stress by increasing the roughness and decreasing the water flow velocity, and the hydraulic resistance created by the vegetation causes the absorption and deposition of suspended sediments. Vegetation and its associated factors on a long-term scale also play an important role in modifying the hydrological properties and soil erodibility and sediment load. The role of vegetation in reducing runoff and soil erosion in different studies has been proven. However, the effects of different vegetation compositions have not been studied extensively in runoff and soil erosion control. Accordingly, the present study was planned to investigate the effect of different compositions of graminea and bushes with different coverage percentages on runoff and sediment components.

2- Methodology

The study area is part of the natural rangelands located in the surroundings of the University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, NW of Iran. A total of nine treatments from different vegetation compositions including low-height graminea predominance (T1), the composition of dense bushes with graminea (T2), bushes with low-height and medium-distribution (T3), sparse bushes mostly with low and medium height (T4), the composition of sparse bushes with graminea (T5), dense bushes in upper parts (T6), low-height bushes with very low distribution (T7), dense bushes with almost uniform distribution (T8), and no vegetation cover (control) (T9) were selected. In addition, the effect of different percentages (zero, <40, and 40-60) of vegetation on changes in runoff and sediment components was investigated. It should be noted that the vegetation in the control plots was removed at the soil surface in the

¹ Corresponding Author: z.hazbavi@uma.ac.ir

desired plots as much as possible. Considering that, 27 field plots surrounded by galvanized sheets with an area of 2 m² with a slope of 12-15% were installed. Study treatments with three replications were designed in a completely randomized block with help of field plots with dimensions of 2*1 m and an approximate slope of 12-15%. This study was performed using a rainfall simulator with an intensity of 32 mm h⁻¹ and a duration of 18 min. The plots were placed in a rectangular in the direction of the slope, using 15 cm high metal sheets, five cm of which were sunk into the soil so that the generated runoff did not seep out of the plots. Totally, five components including time to runoff, runoff volume, runoff coefficient, soil loss, and sediment concentration were measured for each plot.

3- Results

The results showed that the effect of different vegetation compositions on runoff and sediment components was significant (p -value <0.0001). The maximum time to runoff (1388.33 seconds) in treatment T4 and the minimum runoff (0.41 L) and runoff coefficient (2.14%) in treatment T2, respectively with +98, -82, and -82 % change compared to the control treatment has been obtained. In addition, the minimum soil loss was equal to 1.30 g in treatment T2 and the minimum sediment concentration was equal to 6 g l⁻¹ in treatment T8 with -86 and -69% change compared to the control treatment, respectively. Statistical analysis of the effect of different vegetation percent also showed that there was a significant difference between the mean time to runoff and sediment concentration (p -value<0.001) and a non-significant difference between the mean runoff amount and coefficient (p -value<0.73), and soil loss (p -value<0.15). In general, treatments with less than 40% vegetation were more effective in controlling runoff components and treatments with vegetation between 40 to 60% were more effective in controlling sediment components.

4- Discussion & Conclusions

The runoff threshold in different compositions and percentages of vegetation has a significant difference compared to the control treatment. Vegetation in both groups of <40 and 40-60% by delaying the formation of runoff has increased water permeability in the soil. Low-height graminea predominance (T1) treatment, the composition of dense bushes with graminea (T2), bushes with low-height and medium-distribution (T3), and sparse bushes mostly with low and medium height (T4) had the maximum effects (more than 80%) in increasing time to runoff. Although the treatment of the composition of sparse bushes with graminea (T5) was not effective in increasing the runoff threshold and reducing the amount and coefficient of runoff, it reduced the soil loss and sediment concentration by 21 and 57%, respectively, compared to the control treatment. Therefore, it can be concluded that if this type of erosion management strategy is adopted, this type of composition can also be considered. While it is not a suitable management option for runoff and flood control, treatments T4, T3, T2, and T1 should be used effectively. In addition, treatments with <40% vegetation cover had better performance compared to treatments with 40-60% vegetation in improving runoff components; nevertheless, 40-60% of vegetation with a slight difference has played a better role in improving erosion and sediment components. Previous research has confirmed that soil loss processes due to water erosion are closely related to the runoff process. Compared to runoff reduction, vegetation treatments have provided better benefits in reducing erosion and sedimentation. For future studies, the morphological effects of vegetation types on the hydrological and hydraulic properties of degraded soils could be investigated.

Key Words: Rainfall simulator, Runoff, Sediment yield, Soil conservation, Vegetation management