نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هفدهم- شماره ۶۳- زمستان ۱۴۰۲

Vol. 17, No. 63, Winter 2024

اثر گیاه وتیور در کاهش رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های محدب-موازی و مقعر-موازی در شرایط آزمایشگاهی

ابراهیم عسگری[۱]، علی طالبی[۲*]، محبوبه کیانی‌هرچگانی[۳] و نصرت‌اله امانیان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵

DOI: 10.22034/17.63.12

چکیده

از عوامل مهم و موثر در تولید رواناب و رسوب در دامنه‌ها هندسه آن‌ها است. همچنین پوشش گیاهی در کنترل و کاهش رواناب و رسوب نقش مهمی دارد. در این راستا پژوهش حاضر با هدف ایجاد درک بهتری از تأثیر پوشش گیاهی وتیور بر فرآیندهای رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های محدب-موازی و مقعر-موازی در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت. بر این اساس با استفاده از شبیه‌ساز باران با شدت ۴۵ میلی‌متر بر ساعت و به مدت ۱۵ دقیقه روی پلات با ابعاد دو مترمربع و شیب ۲۰ درصد و با ایجاد شکل دامنه‌های محدب-موازی و مقعر-موازی و پر شده از خاک سطحی حوزه آبخیز نمونه طاحونه در استان یزد آزمایش‌ها برنامه‌ریزی و انجام شد. سپس مقادیر حجم رواناب و هدررفت خاک در پلات‌های با پوشش گیاهی وتیور و در دو الگوی کاشت مربعی‌شکل و لوزی‌شکل با پلات بدون پوشش گیاهی مقایسه و داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج بیانگر کاهش مقدار حجم رواناب در دامنه مقعر-موازی در تیمار با پوشش گیاهی مربعی شکل و لوزی شکل به‌ترتیب با مقدار ۵۸/۶۱، ۶۹/۴۳ درصد بود. هم‌چنین الگوی کاشت مربعی‌شکل و لوزی‌شکل گیاه وتیور در دامنه محدب موازی به‌ترتیب موجب کاهش ۸۱/۱۷ و ۸۵/۹۶ درصدی در مقدار هدررفت خاک شدند.

کلیدواژه‌ها: *حفاظت آب و خاک، دامنه‌های مرکب، شبیه‌ساز باران، فرآیندهای هیدرولوژیک*

مقدمه

مدیریت منابع آب و خاک به‌عنوان یک رویکرد به‌منظور توسعه بخش‌های مختلف مثل مناطق روستایی و مدیریت منابع طبیعی دارای اهمیت ویژه‌ای است. بر این اساس تلاش می‌شود اقدامات مختلفی که در راستای حفاظت از منابع آب و خاک در طرح‌های آبخیزداری صورت می‌گیرد، منجر به کاهش میزان و شدت رواناب و هدررفت خاک از عرصه‌ها شود [۳۰]. در این راستا یکی از عوامل مهم در کنترل، مدیریت و حفاظت از منابع آب و خاک، پوشش گیاهی است. فرض معمول این است که رواناب و فرسایش در سطح حوزه‌های آبخیز با کاهش پوشش گیاهی افزایش پیدا می‌کند. زیرا پوشش گیاهی با کاهش انرژی جنبشی باران و کاهش رسیدن مستقیم آب به سطح زمین (ذخیره برگابی) در نتیجه سبب کاهش احتمال اشباع شدن خاک می‌شود و هم‌چنین افزایش تراکم پوشش گیاهی، علاوه بر حفظ خاک از هدررفت رواناب سطحی نیز جلوگیری می‌نماید [۵، ۱۳]. استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان یک ابزار زیست مهندسی، علاوه بر ساده و به صرفه بودن به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و پایداری آن و هم‌چنین کنترل رواناب، فرسایش و رسوب روش بسیار مناسبی است [۲۱، ۴۰]. پوشش گیاهی و به‌ویژه توزیع آن در سطح دامنه عامل مهمی در بحث کاهش فرسایش خاک است. به‌طوری که پوشش گیاهی می‌تواند به‌عنوان یک مانع فیزیکی، جریان رسوب را در سطح خاک تغییر دهد [۹، ۱۶]. موانع گیاهی منجر به ایجاد ساختارهایی به‌نام تپه‌های گیاهی[۵] می‌شوند که سبب به دام افتادن رواناب و رسوب در پشت آن‌ها می‌شود. با استفاده از پوشش گیاهی علفی، می‌توان مقاومت هیدرولیکی و در نتیجه کاهش رواناب و فرسایش خاک با حفظ رسوبات در محل را افزایش داد [۲۹]. با توجه به همین ویژگی‌ها و شرایط، به‌منظور حفاظت خاک و آب در مناطق مختلف از گونه‌ای از گیاه وتیور با نام علمی وتیوریا زیزی‌نایدیس[۶] استفاده می‌شود [۵۱]. وتیور گراس گیاهی از خانواده گندمیان و از قبیله آندروپوگانه[۷] و دارای گونه‌های مختلفی است

۱- دکتری علوم و مهندسی آبخیز، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران. پست الکترونیک: talebisf@yazd.ac.ir
۳- پژوهشگر، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی عمران آب، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، ایران

5. Pytogenic mound
6. Vetiveria zizanioides
7. Andropogoneae

که با نام علمی چیریسوپوگون زیزی‌نایدیس[1] نیز طبقه‌بندی شده است [۳۸]. این گیاه در برابر خصوصیات و تغییرات اقلیمی و نیز خشکسالی‌های دراز مدت، سیل، شرایط ماندابی و تنش‌های درجه حرارت مقاوم است. به‌طوری که تحمل دمایی آن از حدود ۱٤- تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد است [۵۱]. گیاه وتیور حتی می‌تواند در مناطق با میزان بارندگی کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر نیز رشد نماید [۲۱]. بهترین بافت خاک برای کاشت این گیاه بافت شنی-لومی است [٤٦]. حداکثر تحمل به شوری آن تا ٤۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر است. گیاه وتیور غیر مهاجم بوده و فاقد ریشه ریزومی و استولونی هست و سیستم ریشه آن شبکه‌ای ریز و افشان و متراکم است. همین سیستم ریشه‌ای به گیاه کمک می‌کند تا همانند یک شبکه توری محکم کالبد خاک را در خود حفظ نموده و بتواند به راحتی دوره‌های خشکسالی شدید را تحمل نماید و در برابر جریان‌های شدید آب نیز از جا کنده نشود [٤۳]. دامنه تحمل وسیع در برابر تغییر pH (۲/۳ تا ۱۲/۵) و قابلیت رشد درخاک‌های قلیایی، شور و سدیمی و حتی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و سمی را نیز داراست [۳۷]. وتیور در خاک‌های فقیر با فرسایش‌پذیری بالا، به‌منظور کنترل فرسایش بسیار موثر بوده و رشد سریع آن باعث شده است که این گیاه نسبت به سایر گیاهان گزینه مناسب‌تری برای این مناطق باشد [٤۲]. به‌دلیل اهمیت بالای پوشش گیاهی در حفاظت و جلوگیری از هدررفت منابع آب و خاک در حوزه‌های آبخیز و با توجه به کارایی و سازگاری بالای گیاه وتیور با مناطق و شرایط مختلف به‌ویژه با شرایط مناطق نیمه‌خشک مطالعات مختلفی در این راستا انجام شده است که به‌طور خلاصه به تعدادی از آن‌ها در ادامه اشاره شده است.

عسگری و همکاران [٦] به بررسی اهمیت گیاه وتیور در حفاظت آب و خاک پرداختند و پس از بررسی مطالعات انجام گرفته برروی این گیاه عنوان کردند که باتوجه به ویژگی‌های منحصر به فرد گیاه وتیور، این گیاه می‌تواند بلایای ناشی از آب مثل سیل، فرسایش رودخانه‌ای و ساحلی، تخریب سد و آب‌بند و ناپایداری اراضی را کنترل نماید. هزینه اجرای کم و فاقد عوارض زیست محیطی و انعطاف‌پذیری بالا در برابر بلایای طبیعی از برخی از ویژگی‌های این گیاه است که سبب توجه بیش‌تر به این گیاه در بحث‌های مربوط به حفاظت آب و خاک شده است. یافته‌های پژوهش لاچ و همکاران [۳۷] در دامنه‌های نواحی تپه‌ماهوری استرالیا نشان‌دهنده تأثیر مثبت کاشت گیاه وتیور به‌شکل نوارهایی عمود بر جهت شیب دامنه در کم‌تر شدن میزان حرکات توده‌ای نسبت به در دامنه‌های فاقد پوشش وتیور بود. یافته‌های مطالعه پان و شانگان [٤۵] نشان داد که مقدار رواناب ۱٤ تا ۲۵ درصد و مقدار رسوب ۸۱ تا ۹۵ درصد در پلات‌های دارای پوشش وتیور در مقایسه با پلات لخت کاهش یافته است. در پژوهشی صالح و همکاران [٤۹] تأثیر سه نوع مختلف حائل نواری گیاهی (گیاه وتیور و فستوکای بلند) برای کاهش رواناب و رسوب را مورد مطالعه قرار داده و دریافتند که این حائل‌های گیاهی سبب کاهش ۳۵ تا ۹۰ درصدی حجم رواناب و ٤۲ تا ۹٤ درصدی غلظت رسوب شده است. با هدف بررسی کارایی نوار بافر رویشی گیاه وتیور کاویان و همکاران [۲۸] دریافتند که در قطعه دارای گیاه وتیور در دوره بازگشت‌های ۲۵ ساله، حجم رواناب ۱۷/۱ لیتر بر مترمربع و غلظت رسوب ۸۷/۸ گرم بر لیتر نسبت به قطعات عاری از پوشش کم‌تر بوده که نشان‌دهنده مزیت بالای گیاه وتیور به‌منظور کاهش مقدار رواناب و رسوب است. در پژوهشی در اتیوپی که توسط آدونگا و همکاران [۲] انجام شد، یافته‌های آن‌ها نشان داد که در طول دو سال ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری اولیه پین‌ها به‌طور میانگین در قسمت‌های بالایی، میانی و بخش‌های پایینی ردیف‌ها به‌ترتیب ۸، ٦، ۵/۳ سانتی‌متر کاهش داشته است. در پژوهشی لیو و همکاران [۳٦] میزان تأثیر پوشش سطح زمین را در کاهش رواناب و هدررفت خاک را مورد مطالعه قرار دادند و یافته‌های آن‌ها نشان داد که مدیریت پوشش زمین به ترتیب میزان رواناب و هدررفت خاک را به مقدار ٤۸/۵ و ۷۰/۵ درصد کاهش می‌دهد. وانگ و همکاران [۵۷] با مرور مطالعات مختلف مربوط به ویژگی فرسایش خاک و جریان سطحی شیب‌های دارای پوشش گیاهی دریافتند که الگوهای مختلف پوشش گیاهی بر فرسایش خاک دارای تأثیرات متفاوتی هستند. هم‌چنین با مطالعه تأثیر پوشش گیاهی بر مقدار رواناب و رسوب عنوان کردند که مقدار رواناب و رسوب در مناطق با پوشش علفی، به ترتیب حدود ۱٤ و ۹۵-۸۱ درصد کم‌تر از بخش‌های دارای خاک لخت بود.

در همین راستا و با توجه به اهمیت توپوگرافی حوزه آبخیز و تأثیر آن‌ها در فرآیندهای هیدرولوژیکی، در پژوهش حاضر به مقوله هندسه دامنه‌های مرکب نیز از دیدگاه حفاظت آب و خاک توجه شده است. شکل دامنه و چگونگی گسترش ابعاد و اندازه‌های آن که از خصوصیات توپوگرافی مهم در حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود و عکس‌العمل هیدرولوژیکی هر یک از دامنه‌ها، متأثر از نیمرخ طولی و شکل پلان آن دامنه است. از عوامل مهم و مؤثر در تولید رواناب و رسوب در دامنه‌ها، هندسه آن‌ها است. شکل دامنه و چگونگی گسترش ابعاد و اندازه‌های آن در جهت‌های مختلف تأثیر زیادی بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی از قبیل آستانه شروع رواناب، پیک جریان، زمان تمرکز و هم‌چنین در مقدار رواناب، مقدار رسوب و غیره دارد [٤٦]. به‌منظور برنامه‌ریزی‌های مناسب مدیریتی منابع آب و عملیات کنترل رواناب و رسوب توجه به شکل واقعی دامنه‌ها در حوزه‌های آبخیز ضروری است [۱۸، ٤۸]. به‌طور کلی اگر درک متقابل و بازخورد صحیحی میان شکل‌های مختلف دامنه‌ها و فرآیندهای هیدرولوژیکی دامنه ایجاد شود در مدیریت حوزه آبخیز می‌تواند بسیار کارآمد باشد [۳]. در طبیعت امکان کمی وجود دارد که دامنه‌هایی با شکل یکنواخت موجود باشد و حوزه‌های آبخیز از مجموعه‌ای از دامنه‌های مرکب تشکیل شده‌اند [۲۳]. بنابراین نیاز است به‌منظور دستیابی به نتایج واقعی‌تر، شکل دامنه‌ها در مطالعات به طبیعت نزدیک‌تر در نظر گرفته شوند. بر این اساس و با توجه به رفتار متفاوت شکل‌های مختلف دامنه‌ها در فرآیندهای هیدرولوژیکی و اهمیتی که این قبیل

1. Chrysopogon zizanioides L.

مطالعات دارند در ادامه به برخی از پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه اشاره می‌شود.

در پژوهش امانیان و همکاران [۳] بر اساس یافته‌ها تأثیر پلان دامنه بر آستانه شروع جریان سطحی و زیرسطحی خیلی بیش‌تر از نیمرخ دامنه به دست آمد و هم‌چنین عنوان شد که پلان دامنه با تغییر حجم ذخیره در قسمت خروجی دامنه سبب ایجاد آستانه شروع جریان متفاوتی در پلان‌های مختلف می‌شود. ممبینی و همکاران [٤١] تأثیرشکل نیمرخ طولی و شکل‌های دامنه‌ها بر فرایند فرسایش آبی را در پلات دو مترمربعی بررسی نموده و عنوان کردند که شکل هندسی دامنه‌ها بر میزان فرسایش آن‌ها تأثیرگذار است به‌طوری که بیش‌ترین مقدار رسوب در دامنه‌های با نیمرخ محدب و شکل پلان همگرا و کم‌ترین مقدار رسوب در دامنه‌های صاف و موازی اتفاق می‌افتد. طالبی و همکاران [۵۳] با بررسی رابطه بین توپوگرافی و فرسایش ورقه‌ای در دامنه‌های مرکب، دریافتند که تمرکز رسوب در تمام بخش‌های دامنه ارتباط بیش‌تر و نزدیک‌تری با شکل نیمرخ دامنه‌ها است. مشکات و همکاران [۳۹] اقدام به بررسی تأثیر ضریب زبری سطح بر جریان سطحی بر زمان شروع و زمان تمرکز رواناب سطحی و مقدار دبی اوج در هریک از دامنه‌ها در پلات دو مترمربعی نمودند و دریافتند که کم‌ترین زمان شروع رواناب در دامنه محدب–همگرا و کم‌ترین زمان تمرکز در دامنه محدب–واگرا برای خاک با ضریب زبری ۰/۰۱۵ و هم‌چنین بیش‌ترین دبی اوج در دامنه مقعر–واگرا در خاک با ضریب زبری ۰/۰۱۸ می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط سبزواری و طالبی [٤٧] انجام شد تأثیر توپوگرافی دامنه بر فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل USLE بررسی و نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده بیش‌تر بودن تأثیر شکل انحنای دامنه نسبت به شکل پلان دامنه بر فرسایش بوده و متوسط مقدار فرسایش در دامنه‌های محدب ۱/٤۳ برابر دامنه‌های مقعر و ۱/۱۹ برابر دامنه‌های مستقیم به‌دست آمد. نقش توپوگرافی دامنه در فرآیندهای هیدرولوژیک را طالبی و همکاران [۵۲] مورد مطالعه قرار داده و بیان کردند که تأثیر شکل پلان بر مقدار دبی پیک دامنه‌ها بیش‌تر از انحنای نیمرخ دامنه‌ها بوده و در فرآیند فرسایش انحنای نیمرخ تأثیر بیش‌تری نسبت به شکل پلان دارد. بر اساس یافته‌های پژوهش کیانی‌هرچگانی و همکاران [٣٤] در شرایط آزمایشگاهی و در چهار دامنه مرکب مستقیم موازی، مستقیم همگرا، مقعر همگرا و محدب همگرا؛ اثرات فردی رگبارهای متوالی و دامنه‌های مرکب و اثرات متقابل آن‌ها بر روی دبی رواناب و غلظت رسوب معنی‌دار بود ($P \geq 0.00$). علاوه بر این مشخص شد، که دبی رواناب بیش‌تر تحت تأثیر رگبارهای متوالی () و غلظت رسوب بیش‌تر تحت تأثیر دامنه‌های مرکب () است.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده و در راستای در نظر گرفتن شکل واقعی دامنه‌ها (دامنه‌های مرکب) در مطالعات مختلف و هم‌چنین پژوهش‌هایی که تأثیر پوشش گیاهی بر روی مقدار رواناب و رسوب را مورد مطالعه قرار می‌دهد، نشان داد که تاکنون پژوهشی که تأثیر همزمان توپوگرافی دامنه‌ها و پوشش گیاهی وتیور بر مقدار رواناب و هدررفت خاک را مدنظر قرار دهد انجام نشده است. با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش حاضر با هدف مطالعه و بررسی تأثیر گیاه وتیور در کاهش مقدار حجم رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های مرکب از نوع محدب–موازی و مقعر–موازی در شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی شبیه‌ساز باران

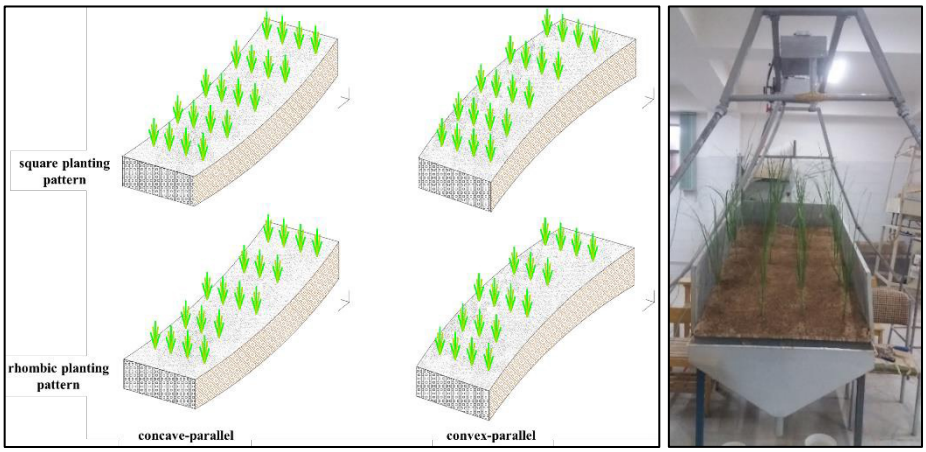
به‌منظور انجام پژوهش حاضر از دستگاه شبیه‌ساز باران قابل حمل از نوع تحت فشار با نازل نوسانی نوع وی‌جت ۸۰۱۰۰[1] در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده عمران دانشگاه یزد استفاده شد. شبیه‌ساز حاضر بر پایه یک بازوی پاششی برای نازل‌ها است که در عرض یک پلات با سرعت‌های مختلفی به‌منظور ایجاد شدت بارش‌های مختلف نوسان می‌نماید. بازو به یک موتور دنده‌ای متصل است که این موتور با دریافت سیگنال‌های کنترل از برنامه کامپیوتری، سرعت حرکت و زاویه نوسان بازو را تنظیم می‌کند [۲٦، ۲۷]. در شکل (۱) تصویری از نحوه انجام آزمایش‌های شبیه‌ساز باران و هم‌چنین تصویر شماتیکی از نحوه چینش گیاه وتیور روی پلات‌های محدب موازی و مقعر موازی در پژوهش حاضر ارائه شده است.

آماده‌سازی پلات با هندسه دامنه مرکب

توپوگرافی دامنه‌ها در طبیعت و در حوزه‌های آبخیز از نظر شکل هندسی به شکل مرکب، سه بعدی و پیچیده هستند. بر این اساس پس از تنظیم شدت باران در دستگاه شبیه‌ساز باران به‌منظور اعمال شکل نیمرخ دامنه شامل دامنه‌های محدب–موازی و مقعر–موازی (شکل ۱، ب) از مدل فیزیکی ایوانز [۱۳] استفاده شد. پلات مورد استفاده در پژوهش حاضر به ابعاد 2m×1m با قابلیت تنظیم شیب است و در انتهای آن سرریزی به‌منظور جمع‌آوری و اندازه‌گیری مقدار رواناب و رسوب تعبیه شده است. با توجه به این‌که شیب حوزه آبخیز از مهم‌ترین خصوصیات مؤثر بر تولید رسوب و رواناب است [۱۹]. بنابراین در ابتدا متناسب با شیب متوسط منطقه و پیشینه پژوهش‌های قبلی انجام شده شیب ۲۰ درصد در پلات اعمال شد و در ادامه پیش از انتقال خاک به درون پلات به‌منظور شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی خاک و هم‌چنین امکان ایجاد بهتر و ساده‌تر نوع دامنه مورد نظر از لحاظ نیمرخ طولی (تحدب و تقعر) بر اساس محاسبات انجام گرفته در مورد هر یک از انواع دامنه، از لایه زهکشی با جنس پوکه معدنی با تغییر تدریجی دانه از بادامی تا ریزدانه (ساختار فیلتری) با ضخامت مناسب در کف پلات استفاده شد [۳۱]. سپس از یک لایه گونی کنفی نفوذپذیر در مابین لایه‌های فیلتر و خاک استفاده شد [۱۰].

خاک لازم از لایه سطحی ۲۰–۱ سانتی‌متری حوزه آبخیز زوجی طاحونه در موقعیت جغرافیایی بین طول‌های ۵۳ درجه و ٤۵ دقیقه و

1. Veejet 80100



(ب) (الف)

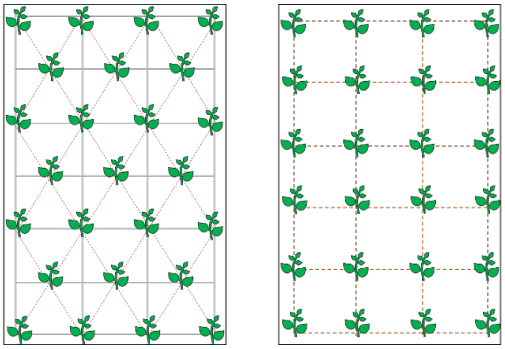
شکل ۱- تصاویر شبیه‌ساز باران و پلات فرسایش خاک (الف) و شکل شماتیکی دامنه‌های محدب-موازی و مقعر-موازی با پوشش گیاه وتیور (ب)

Fig 1. Rainfall simulator and soil erosion plot images (a) and a schematic diagram of convex-parallel and concave-parallel hillslopes with Vetiver plant (b)

۲۹ تا ۵۳ درجه و ۵۸ دقیقه و ۱۲ ثانیه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ٤۷ دقیقه و ٤۵ ثانیه تا ۳۱ درجه و ٥٦ دقیقه و ۹ ثانیه شمالی برداشته شد. بافت خاک این حوزه آبخیز لومی تا لومی-شنی و اقلیم آن به‌روش آمبرژه خشک سرد و به‌روش دومارتن اصلاح شده خشک فراسرد است [۸]. سپس خاک برداشت شده به‌دلیل حفظ ساختار خاک‌دانه‌ها و نمایش بهتر از شرایط مادری خاک از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد [٢٤]. در ادامه پس از حذف بقایای گیاهی و سنگ‌ریزه‌ها، هوا خشک کردن و آماده‌سازی، خاک مورد نظر به داخل پلات منتقل شده و در هر مرحله که خاک بر روی پلات منتقل و پخش می‌شد، از لوله‌ای فلزی به قطر ۱۰ سانتی‌متر به‌عنوان غلطک استفاده شده و خاک با آن کوبیده شد. در نهایت با در نظر گرفتن شکل مرکب دامنه‌ها در آزمایشگاه و با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران و پلات آزمایشی شبیه‌سازی باران انجام شد [۳۳، ۳٤].

تهیه گیاه مورد نظر برای آزمایش‌ها

با توجه به اهمیت بالای پوشش گیاهی در مطالعات مربوط به حوزه‌های آبخیز و با توجه به تأثیر مثبتی که در کاهش مقدار رواناب و رسوب دارد در پژوهش حاضر و در دامنه‌های مورد مطالعه از گیاه وتیور بر اساس پیشینه پژوهش مستند و در نظر گرفتن عواملی مانند عوامل محیطی مثل بارش، عوامل خاکی همانند: اسیدیته خاک و عوامل اقتصادی و اجتماعی، استفاده شد. درصد پوشش گیاهی مدنظر برای آزمایش‌ها ۳۰ درصد در نظر گرفته شد. به‌منظور کاشت گیاه روی پلات، دو نوع آرایش کاشت انتخاب شد. در الگوی کاشت مربعی فاصله دو ردیف کاشت مجاور یکدیگر با فاصله دو بوته مجاور هم در روی یک ردیف، برابر است. به‌صورتی که هر ٤ بوته می‌توانند رئوس یک مربع را تشکیل دهند [۲۰]. در الگوی کاشت لوزی یا زیگزاگ هر سه بوته وتیور رئوس یک مثلث متساوی‌الساقین و یا متساوی‌الاضلاع را تشکیل می‌دهند و هر چهار بوته در روی چهار راس یک لوزی قرار می‌گیرند [۲۲]. بنابراین پس از انتقال گیاه وتیور با دو آرایش مربعی و یک در میان (لوزی) روی خاک پلات در زیر دستگاه باران‌ساز، اقدام به انجام شبیه‌سازی باران با شدت ٤۵ میلی‌متر بر ساعت و در مدت ۱۵ دقیقه (با توجه به نمودارهای شدت-مدت-فراوانی رسم شده برای منطقه) شد و نمونه‌های رواناب و رسوب حاصل از شبیه‌سازی باران با فاصله زمانی یک دقیقه در هر دامنه مرکب با سه تکرار به‌منظور تجزیه و تحلیل، جمع‌آوری شده و پس از خشک نمودن نمونه‌ها در آون و توزین آن‌ها نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند [۳۲]. در شکل (۲) تصویر شماتیکی از الگوی کاشت مربعی‌شکل و لوزی‌شکل گیاه وتیور در پژوهش حاضر ارائه شده است.



(ب) (الف)

شکل ۲- تصویرشماتیکی از الگوی کاشت مربعی شکل (الف) و الگوی کاشت لوزی شکل گیاه وتیور (ب) روی پلات

Fig 2. Schematic picture of square planting pattern) a (and rhombic planting pattern of Vetiver plant) b (on the plot

جدول ۱- پارامترهای آماری مقدار رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های محدب و مقعر موازی با تیمارهای مختلف

Table 1. Statistical parameters of runoff and soil loss in loss soil and volume runoff of parameters Statistical different with hillslopes parallel concave and convex in treatments

دامنه Hillslope	مؤلفه Component	تیمار Treatments	پارامترهای آماری (Statistical parameters)				
			بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
			Maximum	Minimum	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation
محدب-موازی Convex-Parallel	رواناب Runoff ($l.m^{-2}$)	شاهد Control sample	0.75	0.66	0.69	0.05	0.07
		پوشش مربعی‌شکل Square planting pattern	0.25	0.21	0.23	0.02	0.09
		پوشش لوزی‌شکل Rhombic planting pattern	0.22	0.20	0.21	0.01	0.06
	هدررفت خاک Soil loss ($g.m^{-2}$)	شاهد Control sample	3.51	3.22	3.32	0.16	0.05
		پوشش مربعی‌شکل Square planting pattern	1.02	0.99	1.01	0.02	0.03
		پوشش لوزی‌شکل Rhombic planting pattern	1.02	0.97	1	0.03	0.03
مقعر-موازی Concave-Parallel	رواناب Runoff ($l.m^{-2}$)	شاهد Control sample	0.75	0.71	0.73	0.02	0.02
		پوشش مربعی‌شکل Square planting pattern	0.50	0.48	0.49	0.01	0.02
		پوشش لوزی‌شکل Rhombic planting pattern	0.45	0.42	0.43	0.02	0.04
	هدررفت خاک Soil loss ($g.m^{-2}$)	شاهد Control sample	2.96	2.79	2.90	0.01	0.03
		پوشش مربعی‌شکل Square planting pattern	0.97	0.87	0.93	0.05	0.06
		پوشش لوزی‌شکل Rhombic planting pattern	0.87	0.82	0.84	0.02	0.03

تحلیل‌های آماری

پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از شبیه‌سازی باران، تحلیل آماره‌های توصیفی مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک انجام شد. در ادامه آبنمود و تغییرات زمانی میانگین هدررفت خاک در دامنه‌ها و تیمارهای مورد بررسی، ترسیم شده و همبستگی و ارتباط بین مقدار کل حجم رواناب و هدررفت خاک [۷] نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شده و به‌منظور بررسی اثر یک جانبه و متقابل شکل دامنه و نوع تیمار بر مقدار رواناب و هدررفت خاک از آزمون تحلیل واریانس دو طرفه[1] در نرم‌افزار SPSS [۳۴] استفاده شد.

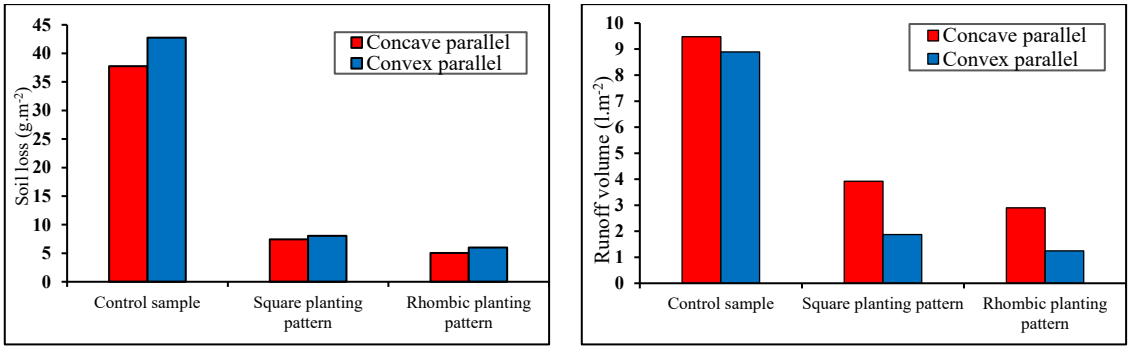
نتایج

تحلیل نتایج آماره‌های توصیفی

در راستای هدف پژوهش پس از انجام آزمایش شبیه‌سازی باران نمونه‌های رواناب و رسوب تولید شده جمع‌آوری و داده‌های به‌دست آمده از هر مؤلفه، مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفتند. برخی از خصوصیات آماری محاسبه شده برای مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های محدب موازی و مقعر موازی در تیمارهای بدون پوشش گیاهی (شاهد) و دارای پوشش گیاهی (مربعی‌شکل و لوزی‌شکل) در جدول (۱) ارائه شده است.

با توجه به جدول (۱) مشخص شد که پارامترهای آماری بیشینه، کمینه و حتی میانگین مقدار رواناب در دامنه مقعر موازی در تمام تیمارها بیش‌تر از دامنه محدب موازی است. هم‌چنین در هر دو نوع دامنه پوشش گیاهی سبب کاهش مقدار رواناب در آن‌ها شده است. ولی مقدار رواناب کاهشی در پوشش گیاهی با الگوی لوزی‌شکل بیش‌تر است. پارامترهای آماری بیشینه، کمینه و نیز میانگین در تمام سه تیمار مورد بررسی برای مؤلفه هدررفت خاک در دامنه محدب موازی بیش‌تر از دامنه مقعر موازی است. در این مؤلفه نیز همانند مؤلفه رواناب با اضافه شدن پوشش گیاهی از مقدار هدررفت خاک در دامنه‌ها کاسته می‌شود. که این میزان کاهش مقدار هدررفت خاک در الگوی لوزی‌شکل بیش‌تر از الگوی مربعی‌شکل بوده که نشان‌دهنده تأثیر مثبت پوشش گیاهی وتیور در کاهش مقدار هدررفت خاک در هر دو نوع از دامنه‌های مرکب است. در شکل (۳) مقایسه حجم کل

1. Two-way ANOVA



شکل ۳- حجم کل رواناب (الف) و مقدار کل هدررفت خاک (ب) در دامنه‌های محدب و مقعر موازی در نمونه شاهد و همراه با پوشش گیاهی وتیور مربعی‌شکل و لوزی‌شکل

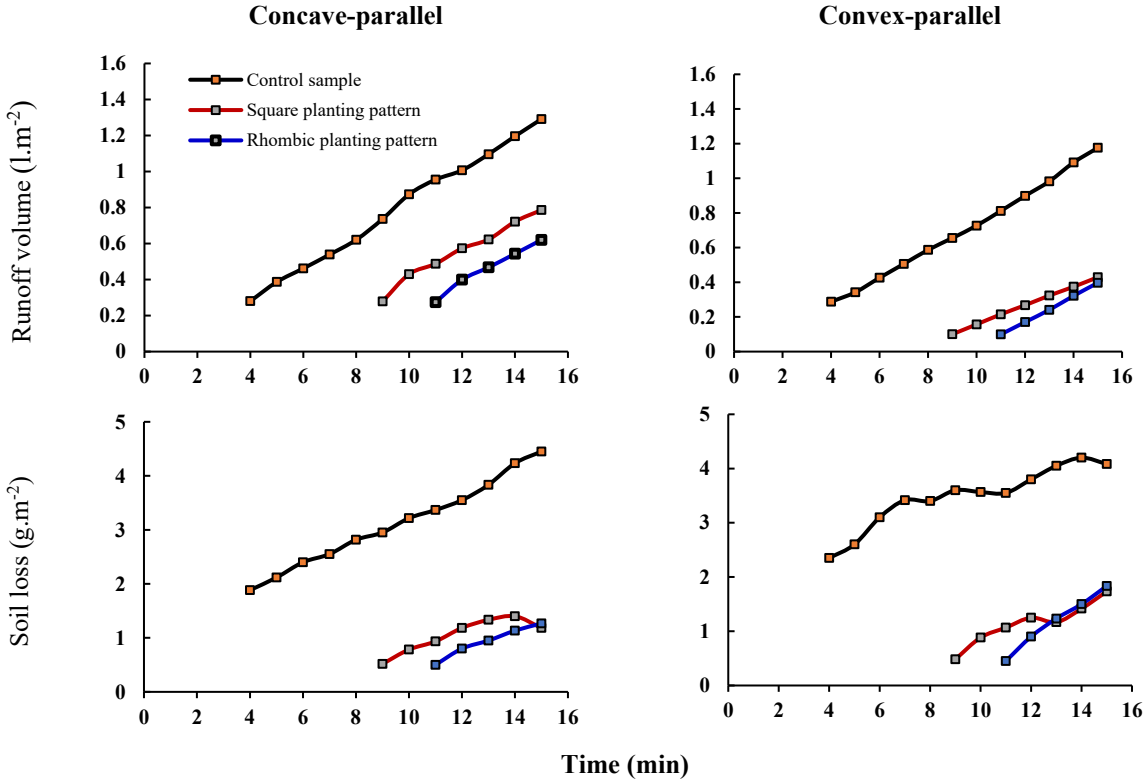
Fig 3 .Total runoff volume(a)and total amount of soil loss(b)in convex and concave parallel hillslopes in the control sample and with square and rhombic vetiver vegetation.

رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های محدب موازی و مقعر موازی در سه حالت شاهد (بدون پوشش گیاهی) و تیمارها (پوشش گیاهی وتیور با الگوهای مربعی‌شکل و لوزی‌شکل) ارائه شده است.

بر اساس شکل (۳-الف) مشخص می‌شود که استفاده از پوشش گیاهی وتیور با الگوی مربعی‌شکل و لوزی‌شکل حجم کل رواناب را کاهش داده است. در رابطه با مؤلفه هدررفت خاک (شکل ۳-ب) نیز با اضافه شدن پوشش گیاهی در دو نوع دامنه مقادیر هدررفت خاک کاهش یافته است و با تغییر الگوی کاشت از مربعی‌شکل به لوزی‌شکل این مقدار کاهش نیز بیش‌تر شده است.

تحلیل نتایج آبنمودها و تغییرات زمانی هدررفت خاک

در شکل (٤) آبنمود و تغییرات زمانی مقدار هدررفت خاک مشاهداتی طی فرآیندهای بارش رواناب انجام شده در دامنه‌های محدب و مقعر موازی در حالت بدون پوشش گیاهی (شاهد) و



شکل ٤- آبنمود و تغییرات زمانی میانگین هدررفت خاک مشاهداتی در حالت بدون پوشش گیاهی (شاهد) و دارای پوشش گیاهی مربعی‌شکل و لوزی‌شکل وتیور

Fig 4. hydrograph and temporal changes of soil loss observed in the state without vegetation (control) and with square and rhombic Vetiver vegetation

دارای پوشش گیاهی مربعی‌شکل و لوزی‌شکل وتیور ارائه شده است.

با توجه به شکل (٤) مشخص شد که در طول انجام آزمایش شبیه‌سازی باران در هر دو نوع دامنه مورد مطالعه مقدار رواناب در حالت بدون پوشش گیاهی (شاهد) دارای مقادیر بیش‌تری نسبت به پوشش گیاهی مربعی‌شکل و آن نیز بیش‌تر از پوشش گیاهی وتیور با الگوی کاشت لوزی‌شکل است.

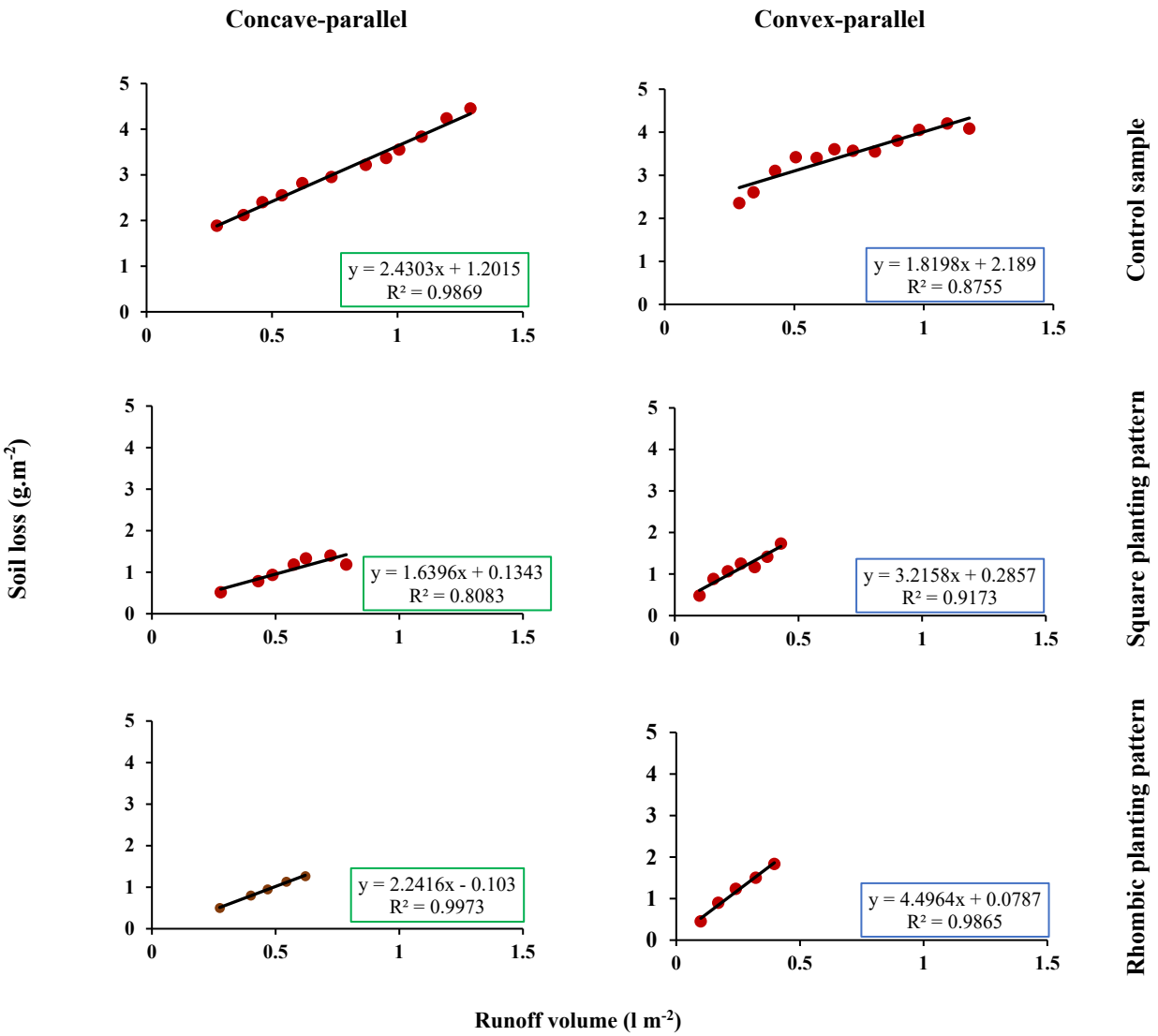
نتایج شکل (٤) هم‌چنین نشان داد که با اضافه شدن پوشش گیاهی مسیر حرکت جریان رواناب سطحی کوتاه شده و به همین دلیل از انرژی و قدرت کنش آن بر روی سطح پلات کاسته می‌شود. در نهایت مقدار رسوباتی که به‌وسیله رواناب به خروجی پلات می‌رسد بسیار کم‌تر از حالت بدون پوشش گیاهی (شاهد) می‌شود.

با توجه به این‌که میزان موانع ایجاد شده در مسیر حرکت رواناب و رسوب در الگوی لوزی‌شکل بیش‌تر است. فلذا مقدار کاهش در مؤلفه هدررفت خاک در این الگوی کاشت نیز بیش‌تر از الگوی مربعی‌شکل است.

تحلیل نتایج همبستگی بین مقادیر رواناب و هدررفت خاک

تغییرات مقادیر هدررفت خاک با تغییرات مقایر رواناب در طول آزمایش شبیه‌ساز باران در دو دامنه محدب و مقعر موازی در سه حالت بدون پوشش گیاهی (شاهد)، پوشش گیاهی وتیور با الگوی مربعی‌شکل و پوشش گیاهی وتیور با الگوی لوزی‌شکل در مجموعه شکل (٥) ارائه شده است.

در شکل (٥) در هر دو نوع دامنه بین مقدار رواناب و مقدار



شکل ٥- ارتباط بین حجم رواناب و هدررفت خاک در حالت بدون پوشش گیاهی (شاهد) و دارای پوشش گیاهی مربعی‌شکل و لوزی‌شکل وتیور در دو دامنه محدب-موازی و مقعر-موازی

Fig 5. Relationship between the volume of runoff and soil loss in the state without vegetation (control) and with square and rhombic Vetiver vegetation in two convex-parallel and concave-parallel hillslopes

جدول ۲- اثر یک‌جانبه و متقابل شکل دامنه و نوع تیمار بر حجم رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های محدب-موازی و مقعر-موازی

Table2. The hillslope shapes and the type of treatment effect and d their interaction on the runoff volume and soil loss in convex-parallel and concave-parallel hillslopes

مؤلفه Component	متغیر Variable	Degrees of Freedom	F-value	P-value	Partial Eta Squared value	معنی‌داری	مقدار مربع اتای جزئی
رواناب (لیتر برمترمربع) Runoff volume ($l\ m^{-2}$)	Hillslope shapes (Convex-parallel and concave-parallel) شکل دامنه (محدب-موازی و مقعر -موازی)	1	373.51	0.00*	0.97		
	Treatment (Control, square cover and rhombic cover) تیمار (شاهد، پوشش مربعی‌شکل و پوشش لوزی‌شکل)	2	4181.12	0.00*	0.99		
	Hillslope shape× Treatment شکل دامنه × نوع تیمار	2	32.06	0.00*	0.84		
هدررفت خاک (گرم بر مترمربع) Soil loss ($g.m^{-2}$)	Hillslope shape (Convex-parallel and concave-parallel) شکل دامنه (محدب موازی و مقعر موازی)	1	54.12	0.00*	0.82		
	Treatment (Control, square cover and rhombic cover) تیمار (شاهد، پوشش مربعی‌شکل و پوشش لوزی‌شکل)	2	7168.20	0.00*	0.99		
	Hillslope shapes× Treatment شکل دامنه × نوع تیمار	2	19.21	0.00*	0.76		

*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد

*: The mean difference is significant at the 0.05 level

هدررفت خاک رابطه مستقیم وجود دارد. به‌طوری که با افزایش مقدار رواناب مقدار هدررفت خاک نیز افزایش پیدا می‌کند. وجود مقدار همبستگی بالای ۰/۸ در هر دو نوع دامنه و تیمارهای مورد بررسی، نشان‌دهنده همبستگی قوی بین مقدار رواناب و مقدار هدررفت خاک در سطح اطمینان ۰/۰۵ است. در جدول (۲) نتایج بررسی اثر یک‌جانبه و متقابل شکل دامنه و نوع تیمار بر روی مقادیر رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های محدب موازی و مقعر موازی ارائه شده است.

بر اساس نتایج جدول (۲) مشخص شد که بیش‌ترین تأثیر بر روی مقدار رواناب مربوط به متغیر تیمارها (عدم وجود یا وجود پوشش گیاهی با اشکال مختلف) است. پس از آن، متغیر شکل دامنه تأثیرگذاری بیش‌تری داشته و در نهایت تأثیر متقابل این دو متغیر بر روی مقدار رواناب در مرحله بعد قرار دارد. بر این اساس مقدار رواناب تولیدی در این دو نوع دامنه بیش‌تر تحت تأثیر وجود (با الگوهای مربعی‌شکل و لوزی‌شکل) یا عدم وجود پوشش گیاهی است. هم‌چنین در بررسی‌های مربوط به مؤلفه هدررفت خاک نیز مشخص شد که متغیر وجود (با الگوهای مختلف) یا عدم وجود پوشش گیاهی بیش‌ترین تأثیر را بر روی این مؤلفه دارد. پس از آن متغیر شکل دامنه است که تأثیرگذاری بیش‌تری بر روی مؤلفه هدررفت خاک داشته و در نهایت تأثیر متقابل بین متغیر شکل دامنه و تیمارها بر روی این مؤلفه تأثیرگذار می‌باشد و آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که رفتار اشکال مختلف دامنه‌ها نسبت به فرآیندهای هیدرلوژیکی متفاوت است و هر یک با توجه به خصوصیات و ویژگی‌هایی که دارند رفتار منحصر به فردی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر اهمیت ویژه پوشش گیاهی در برنامه‌های حفاظت و جلوگیری از هدررفت آب و خاک و هم‌چنین سازگاری بالای گیاه وتیور با مناطق و شرایط مختلف به‌ویژه با مناطق خشک و نیمه‌خشک؛ پژوهش حاضر با هدف مطالعه و بررسی تأثیر گیاه وتیور در کاهش رواناب و هدررفت خاک در دامنه‌های محدب و مقعر موازی در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت. در این راستا پس از انتقال گیاه وتیور به‌صورت اشکال مربعی و لوزی‌شکل بر روی پلات با شکل دامنه محدب و مقعر موازی و انجام عملیات شبیه‌سازی بارش و جمع‌آوری نمونه‌های رواناب و رسوب و سپس تجزیه و تحلیل آن‌ها، مشخص شد که مقدار رواناب در دامنه مقعر موازی در هر سه تیمار بیش‌تر از دامنه محدب موازی است که این نتایج با یافته‌های طالبی و همکاران [۵۴] و طالبی و همکاران [۵۵] هم‌راستا است که دلیل این امر می‌تواند به دلیل اشباع سریع دامنه‌های مقعر نسبت به دامنه‌های محدب باشد که منجر به بیش‌تر شدن مقدار رواناب در این نوع دامنه می‌شود. هم‌چنین یافته‌ها نشان داد که مقدار مؤلفه هدررفت خاک در دامنه محدب موازی در هر سه نوع تیمار مورد بررسی بیش‌تر از دامنه مقعر موازی است که این یافته با نتایج پژوهش حاجی‌ابوالقاسمی [۲۳]، گرانیان و همکاران

[۱۸]، ممبینی و همکاران [٤١] و سبزواری و طالبی [٤٧] مبنی بر بیش‌تر بودن مقدار رسوب در دامنه‌های محدب نسبت به دامنه‌های مقعر هم‌راستا است. با توجه به این‌که در دامنه‌های مقعر فرآیند برداشت و جداسازی از بخش‌های بالادست دامنه اتفاق می‌افتد و بخش‌های پایین‌دست این نوع دامنه‌ها دارای فرآیند رسوب‌گذاری بوده بنابراین میزان مقدار رسوب تولیدی در این نوع دامنه کم‌تر از دامنه با نیمرخ محدب است که جدا شدن خاک از تمام طول آن رخ داده و در نهایت سبب بیش‌تر شدن مقدار هدررفت خاک در این نوع از دامنه می‌شود [٥٢]. هم‌چنین در تیمار مربعی‌شکل حجم کل رواناب در دامنه مقعر موازی ٥٨/٦١ درصد و در تیمار لوزی‌شکل ٦٩/٤٣ درصد و در دامنه محدب موازی در تیمار مربعی‌شکل حجم کل رواناب ٧٨/٩٣ درصد و در تیمار لوزی‌شکل ٨٦ درصد کاهش یافته است. که این یافته با نتایج پژوهش‌های فولادمند و سپاسخواه [١٥] و شاهینی [٥٠] مبنی بر تأثیر بیش‌تر سازه‌های کوچک مقیاس لوزی‌شکل در ذخیره و کاهش رواناب هم‌راستا است. نتایج مربوط به تأثیر الگوهای مختلف کاشت گیاه وتیور در کاهش هدررفت خاک در دامنه‌های محدب موازی و مقعر موازی نشان داد که در دامنه مقعر موازی الگوی پوشش گیاهی مربعی‌شکل وتیور سبب کاهش ٨٠/٣١ درصدی و الگوی لوزی‌شکل منجر به کاهش ٨٦/٦٢ درصدی این مؤلفه شدند. هم‌چنین در دامنه محدب موازی به‌ترتیب الگوی مربعی‌شکل و لوزی‌شکل موجب کاهش ٨١/١٧ و ٨٥/٩٦ درصدی این مؤلفه شده‌اند که یافته‌های حاضر با نتایج پژوهش‌های حسین و همکاران [٢٥]، اِدم و اوکوکو [١١]، صالح و همکاران [٤٩] و کاویان و همکاران [٢٨] مبنی بر تأثیر مثبت گیاه وتیور در کاهش مقدار رسوب و مفید بودن این گیاه در کنترل مقدار رسوب هم‌راستا است.

تغییرات مقدار رواناب در طول انجام آزمایش شبیه‌سازی باران در دامنه مقعر موازی نشان داد که مقدار رواناب در طول آزمایش دارای روند افزایشی بوده به‌طوری که با گذشت زمان مقدار رواناب افزایش می‌یابد. به‌گونه‌ای که در پایان آزمایش (در دقیقه ١٥) مقدار رواناب در تیمار شاهد (دامنه بدون پوشش گیاهی) به ١/٢٩ لیتر بر مترمربع می‌رسد. بیش‌تر بودن مقدار رواناب در دامنه بدون پوشش با یافته‌های پژوهش گارسیا روز [١٧] و اولسن و همکاران [٤٤] مبنی بر بالابودن مقدار رواناب سطحی در شرایط فاقد پوشش گیاهی هم‌راستا است. با اضافه شدن پوشش گیاهی در هر دو نوع تیمار، مقدار رواناب در تمام طول آزمایش کم‌تر از حالت شاهد می‌شود. به‌طوری که هم آستانه شروع رواناب‌ها در هر دو تیمار به تأخیر افتاده و هم مقدار رواناب کم‌تر می‌شود. اما در هر دو نوع الگوی کاشت هم‌چنان روند افزایشی وجود دارد. ولی این روند افزایشی در تیمار لوزی‌شکل شیب و شدت کم‌تری نسبت به تیمار مربعی‌شکل دارد. به‌طوری که در تیمار مربعی‌شکل بیش‌ترین مقدار رواناب که مربوط به انتهای آزمایش و برابر ٠/٧٨ لیتر بر مترمربع است، یعنی در حدود ٣٩/٥٤ درصد مقدار رواناب حداکثر، کاهش یافته است. در تیمار لوزی‌شکل نیز روند مقدار رواناب در طول آزمایش افزایشی بوده اما در تمام طول آزمایش مقادیر رواناب کم‌تر از تیمار شاهد و هم‌چنین مربعی‌شکل است. به‌طوری که در تیمار لوزی‌شکل حداکثر مقدار رواناب در پایان آزمایش که دارای بیش‌ترین مقدار (٠/٥٩ لیتر بر مترمربع) است حدود ٥٤/٢٦ درصد مقدار رواناب حداکثر را در طول آزمایش نسبت به تیمار شاهد کاهش داده است. هم‌چنین اختلاف بین تیمار مربعی‌شکل و لوزی‌شکل در طول آزمایش، ٠/١٩ لیتر بر مترمربع است. به‌طوری که تیمار لوزی‌شکل مقدار حداکثر رواناب کم‌تری از تیمار مربعی‌شکل دارد. در مورد دامنه محدب موازی نیز روند تغییرات مقدار رواناب همانند دامنه مقعر موازی است. با این تفاوت که مقدار رواناب در این دامنه کم‌تر از دامنه مقعر موازی است [٥٢]. به‌طوری که بیش‌ترین مقدار رواناب در طول آزمایش در تیمار شاهد ١/١٧ لیتر بر مترمربع بوده اشت که این مقدار در تیمار مربعی‌شکل ٠/٤٣ لیتر بر مترمربع (٦٣/٢ درصد کم‌تر از تیمار شاهد) و در تیمار لوزی‌شکل ٠/٣٩ لیتر بر مترمربع (٦٦/٧ درصد کم‌تر از تیمار شاهد) که نشان‌دهنده تأثیر مثبت پوشش گیاهی در کاهش مقدار اوج رواناب در این دامنه‌ها است ولی مقدار کاهش در تیمار لوزی‌شکل بیش‌تر از تیمار مربعی‌شکل است و این شکل از کاشت گیاه وتیور بیش‌تر در کنترل رواناب‌ها تأثیرگذار هست که این نتایج همسو با یافته‌های میرزایی و همکاران [٤٠]، عموزاده و همکاران [٤] و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان [٢٢] مبنی بر افزایش راندمان پوشش گیاهی در حالت کشت لوزی به‌دلیل استفاده بهتر از منابع و رقابت کم‌تر گیاهان با یکدیگر که از افزایش رواناب جلوگیری می‌کند، است [٣٥]. تغییرات مقادیر هدررفت خاک در طول آزمایش نشان داد که روند مقدار هدررفت خاک نیز در طول انجام آزمایش افزایشی بوده و با نزدیک شدن به انتهای آزمایش شبیه‌سازی مقدار رسوب تولیدی نیز از پلات افزایش پیدا می‌کند. این افزایش در تیمار شاهد (بدون پوشش گیاهی) دارای شدت و شیب بیش‌تری نسبت به دو نوع تیمار دیگر بود. بدین صورت که بررسی‌ها نشان‌دهنده تأثیر مثبت گیاه وتیور در هر دو نوع الگوی مورد بررسی در هر دو نوع دامنه محدب و مقعر موازی بود. اما میزان کاهش در الگوی لوزی شکل بیش‌تر از الگوی مربعی‌شکل است. الگوی مربعی‌شکل در دامنه محدب موازی حداکثر مقدار هدررفت خاک در حالت شاهد (٤/٠٢ گرم بر مترمربع) را با کاهش ٥٧/٧١ درصدی به عدد ١/٧٠ گرم بر مترمربع تقلیل داده است. هم‌چنین در الگوی لوزی‌شکل نیز کاهش حدود ٥٥/٢٢ درصدی در مقدار حداکثر هدررفت خاک در این نوع دامنه در طول انجام آزمایش اتفاق افتاده است. تنوع در مقدار هدررفت خاک در طول انجام آزمایش در دامنه محدب (به‌ویژه در تیمار شاهد و مربعی‌شکل) بیش‌تر است که در مطالعه کیانی‌هرچگانی [٣٤] نیز در رفتار غلظت رسوب در دامنه‌های مرکب تنوع مشاهده شد. دلیل این تنوع رفتار می‌تواند به مقدار نفوذ در زمان‌های مختلف مربوط شود [١، ٧] که در مقاطع مختلف بر میزان برداشت خاک در تیمارهای مختلف تأثیرهای متفاوتی گذاشته و سبب بروز تغییرات اندک در

طول انجام آزمایش در مقادیر هدررفت خاک در دامنه محدب موازی شده است. در دامنه مقعر موازی تغییرات مقدار هدررفت خاک در طول آزمایش دارای روند افزایشی یکنواخت‌تری بوده و هم‌چنین این وضعیت در تمام تیمارهای مورد بررسی قابل مشاهده است. در این دامنه نیز در طول انجام آزمایش شبیه‌سازی باران مقدار حداکثر هدررفت خاک (٤/٤٥ گرم بر مترمربع) توسط پوشش گیاهی وتیور با الگوهای مربعی‌شکل به مقدار ١/٤ گرم بر مترمربع تقلیل پیدا کرده و سبب کاهش ٦٨/٥٤ درصدی این مقدار شده است. در حالی که الگوی لوزی شکل با تأثیر بیش‌تری که بر کاهش هدررفت خاک دارد سبب کاهش ٧١/٤٦ درصدی مقدار حداکثر این مؤلفه در طول انجام آزمایش شبیه‌سازی در دامنه مقعر موازی شده است. با توجه به رابطه مستقیم بین مقادیر رواناب و هدررفت خاک که در مطالعه فتحی‌زاده و همکاران [١٤] نیز بر ارتباط مستقیم بین مقدار رواناب و رسوب تأکید شده است و وابستگی مستقیم تغییرات مقدار هدررفت خاک با مقدار رواناب در هر دو نوع دامنه محدب و مقعر موازی و در تمام تیمارها، بنابراین با کنترل مقدار رواناب تولیدی در سطح پلات در هر دو نوع دامنه می‌توان مقدار هدررفت خاک را نیز کنترل نمود. بدین صورت که با استفاده از پوشش گیاهی ضمن کاهش سرعت و انرژی آب می‌توان میزان برداشت خاک را نیز کنترل نمود.

نتایج بررسی اثر یک‌جانبه و متقابل شکل دامنه و نوع تیمار بر مقدار رواناب نشان داد که تأثیر هر یک از متغیرها بر روی مقدار رواناب معنی‌دار است. به‌طوری که تأثیر تیمارها (شاهد، پوشش گیاهی مربعی‌شکل و لوزی‌شکل) با مقدار معنی‌داری ٠/٠٠ و مقدار ηp2= 0.99 بیش‌ترین تأثیر را بر روی مقدار رواناب دارد. سپس متغیر شکل دامنه با مقدار معنی‌داری ٠/٠٠ علاوه بر دارا بودن تأثیر معنی‌دار بر روی مقدار رواناب با مقدار ηp2= 0.97 پس از متغیر تیمار بیش‌ترین تأثیر را بر روی مقدار رواناب دارد. تأثیر متقابل دو متغیر شکل دامنه و تیمارها علی‌رغم معنی‌دار بودن (P-value=0.00) کم‌ترین مقدار ηp2 (٠/٨٤) را دارد. بنابراین بیش‌ترین تأثیر بر مقدار رواناب مربوط به متغیر تیمارها، سپس متغیر شکل دامنه و در نهایت تأثیر متقابل هر دو متغیر است. هم‌چنین با توجه به نتایج بررسی اثر یکجانبه و متقابل شکل دامنه و انواع تیمارها بر مقدار هدررفت خاک مشخص شد که در این مؤلفه نیز تأثیر هر یک از متغیرها معنی‌دار است و تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر مقدار مؤلفه هدررفت خاک با مقدار ٠/٠٠ و ηp2= 0.99 دارای بیش‌ترین تأثیر است. هم‌چنین تأثیر شکل دامنه نیز با معنی‌داری ٠/٠٠ و با اندازه اثر ٠/٨٢ و تأثیر متقابل متغیر شکل دامنه و تیمارها با اندازه اثر ٠/٧٦ بر این مؤلفه موثر بوده و آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. که در پژوهشی که توسط کیانی‌هرچگانی [٣٤] انجام شد نیز غلظت رسوب بیش‌تر تحت تأثیر شکل دامنه‌ها به دست آمد.

در مجموع نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مقدار رواناب در دامنه مقعر موازی بیش‌تر از دامنه محدب موازی بوده است و این نوع دامنه نیازمند مدیریت وکنترل رواناب است. هم‌چنین مقدار هدررفت خاک نیز در دامنه محدب موازی نسبت به دامنه مقعر موازی مقدار بیش‌تری داشته و از جهت مدیریت فرسایش باید به این نوع دامنه توجه شود. با توجه به این‌که الگوی کاشت لوزی‌شکل نسبت به الگوی کاشت مربعی‌شکل موانع بیش‌تری در مسیر حرکت رواناب و رسوب ایجاد کرده و مسیر حرکت آن را کوتاه می‌نماید و فرصت لازم برای برداشت و حمل رسوب و هم‌چنین جریان طولانی مدت رواناب را از بین می‌برد. فلذا کارایی بالاتری نیز نسبت به الگوی کاشت مربعی‌شکل داشته و کارآمدتر خواهد بود. بنابراین پیشنهاد می‌شود در راستای مدیریت و کنترل مقدار رواناب و هدررفت خاک در هر دو نوع دامنه در صورت مساعد بودن شرایط استقرار گیاه وتیور، از این گیاه با الگوی کاشت لوزی‌شکل به عنوان راهبرد به صرفه، دارای اثر بلندمدت، موثر و اقتصادی استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر از بخشی از نتایج رساله دوره دکتری تخصصی رشته علوم و مهندسی آبخیز در دانشگاه یزد استخراج شده است. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از مسئولان این دانشگاه به عمل آورند.

منابع

1. Abdinejad, P. Fiznia, S. Pyrowan, H. Fayazi, F. and Shabani, T. 2011. An Investigation of factors affecting runoff generation in Zanjan Province Marl units of formations geological using simulation rainfall. Journal of Watershed Management Research, 1(2): 31-38. (In Persian).

2. Adugna, O. Alemu, D. and Melkamu, T. 2019. Evaluation of Vetiver Grass (Vetiver zizanodes) potential to soil erosion control at Assosa, Benishangul Gumuz, Ethiopia. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 16(1): 33-38.

3. Amanian, N.A. Geranian, M. Talebi, A. and Hadian, M.R. 2018. The effect of plan and slope profile on runoff initiation threshold. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 11(39): 105-108. (In Persian).

4. Amouzadeh, M. Baghestani, M.A. Barari, M. Nasrallahnezhad, A.A. and Poursiahbidi, M.M. 2012. Effect of planting pattern and plant density of maize (Zea mays L.) on the morpho-physiological characteristics and growth indices of maize and redroot pigweed (Amaranthus retroflexus L.) under competition conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, 14(1): 44-57. (In Persian).

5. Asgari, E. Amanian, N. Talebi, A. and KianiHarchegani, M. 2021a. A review of the importance of vegetation cover in reducing runoff and sediment in watersheds. 2nd International and 5th National Conference on Conservation of Natural Resources &

Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). Science of the Total Environment, 358: 46-60.

17. Garcia-Ruiz, J.M. 2010. The effects of land use on soil erosion in Spain: a review. Catena, 81: 1-11.

18. Geranian, M., Amanian, N., Talebi, A., Hadian, M., Zeini, M. (2013). Laboratorial Investigation of Effect of Plan Shape and Profile Curvature on Variations of Surface Flow In Complex Hillslopes. Iran-Water Resources Research, 9(2), 64-72. (In Persian).

19. Ghanizadeh, S. Safadoust, A. Nael, M. and Yousefi, G. 2019. Comparison of sediment content in runoff and drainage water under two different slopes and cultivation types. Applied Soil Research, 6(4): 109-120. (In Persian).

20. Gheytoori, M. Heshmati, M. and Shahbazi, Kh. 2018. Technical instructions for the construction of a rainfed almond garden in Zagros mountain slopes. Organization of Agriculture-Jahad Kermanshah, First Edition, 36 p. (In Persian).

21. Gholami, Sh.A. 2018. Investigating how vetiver plants are established with the approach of controlling sediment and water waste in waterways (case study: Vaz watershed). Journal of Natural Ecosystems of Iran, 9(2): 31-48. (In Persian).

22. Golestan Agricultural and natural resources research and education center. 2019. Construction of Olive orchards with small rhombic systems in dry areas. Publication of agricultural education, First Edition, 16 p. (In Persian).

23. Hajiabolghasemi, R. 2011. Investigation of water erosion (soil detachment) in complex hillslopes. M.Sc. Thesis in Department of Civil, Yazd University, 100p. (In Persian).

24. Homayoonfar, V. Khaledi Darvishan, A. and Sadeghi, S.H.R. 2017. Effects of soil preparation for laboratorial erosion studies on surface runoff. Journal of Watershed Management Research, 7 (14) :60-68. (In Persian).

25. Hussein, J. Yu, B. Ghadiri, H. and Rose, C. 2007. Prediction of surface flow hydrology and sediment retention upslope of a vetiver buffer strip. Journal of Hydrology, 338(3-4), 261-272.

26. Jahanbakhshi, F. Ekhtesasi, M.R. and Soheili, E. 2017. Portable rain simulator systems used in water and soil studies in Iran, 4th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran, Tehran, Iran, 17 May 2017, 1-9. (In Persian).

27. Jahanbakhshi, F. Ekhtesasi, M.R. Talebi, A. and Piri M. 2018. Investigation of sediment production and runoff generation on rock formations of Shirkooh slopes of Yazd by using a rainfall simulator. Environment, June 09 & 10, 2021, 1-12. (In Persian).

6. Asgari, E. Amanian, N. Talebi, A. and KianiHarchegani, M. 2021b. A review on the importance of Vetiver in reducing runoff, sediment, and erosion. 2nd International and 5th National Conference on Conservation of Natural Resources & Environment, June 09 & 10, 2021, 1-12. (In Persian).

7. Asgari, E. Esmali-Ouri, A. Mostafazadeh, R. and Ahmadzadeh, G. 2018. Spatial variations of runoff, sediment and runoff threshold of Gharehshiran watershed in Ardabil Province. Journal of the Earth and Space Physics, 44(3): 697-713. (In Persian).

8. Asgari, E. KianiHarchegani, M. Talebi, A. and Amanian, N. 2021c. Necessity of paying attention to the construction of plots with different shapes in the paired watershed (Case study: Tahooneh watershed). 2nd International and 5th National Conference on Conservation of Natural Resources & Environment, June 09 & 10, 2021, 1-12. (In Persian).

9. Calvo, C.A. Boix-Fayos, C. and Imeson, A.C. 2003. Runoff generation, sediment movements and soil water behavior on calcareous (lime-stone) slopes of some Mediterranean environments in Southeast Spain. Geomorphology, 50: 269-291.

10. Darboux, F. Davy, Ph. Gascuel-Odoux, C. and Huang, C. 2001. Evolution of soil surface roughness and flowpath connectivity in overland flow experiments. Catena. 46:125-139.

11. Edem, I.D. and Okoko., P. 2015. Pedo-transfer function of saturated hydraulic conductivity and soil loss under vetiver alleys for soil fertility and aggregation. International Journal of Plant and Soil Science, 4(5): 461-474.

12. Eteraf, H. Dorri, M.A. and Nikkami, D. 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).

13. Evans I.S. 1980. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. Zeitschrifit fur Geomorphologie. Supplementband, 36: 274-295.

14. Fathizad, H. Karimi, H. and Tavakoli, M. 2016. Role of sensitivity of erosion the geological formations at erosion rate and sediment yield (Case study: Sub-basins of Doviraj river, Ilam province). Journal of Watershed Management Research, 7(13): 208-193. (In Persian).

15. Fooladmand, H.R. and Sepaskhah, A.R. 2007. Sensitivity analysis of soil water balance model for rain-fed Vineyard in microcatchments. Journal of Agricultural Sciences, 3(1): 85-94. (In Persian).

16. Francia, J.R. Durán, Z.V.H. and Martínez, R.A. 2006.

Third AMEEF Innovation Conference “On the Threshold: Research into Practice”, Brisbane, Qld, 15-17 August 2000, 116-122.

38. Maleki, T. Ataeian, B. Mohammadparast, B. and Akhzari, D. 2014. Investigating some growth and physiological traits of Chrysopogon zizanioides in saline soils (in greenhouse conditions). Range Management, 1(3): 21-38. (In Persian).

39. Meshkat, M. Amanian, N. Talebi, A. Kiani-Harchegani, M. and Rodrigo-Comino, J. 2019. Effects of roughness coefficients and complex hillslope morphology on runoff variables under laboratory conditions. Water, 11(12): 1-15.

40. Mirzai. R, Rostami, M. Ovisi, M. Banayanaval, M. and Baghestani, M. A. 2005. Economic threshold and corn yield loss in competition with pigweed. Journal of Plant Diseases and Protection, 73: 1-12. (In Persian).

41. Mombini, A., Amanian, N., Talebi, A. and Zeini, M. 2018. Laboratory investigation of the effect of the production profile shape and the plan of the hillslopes on the process of water erosion. 7th Iranian National Water Resources Management Conference, Yazd University, 24 October 2018, 1-12. (In Persian).

42. Niknahad, H. Gholizadeh, G. M. and Maramaee, M. G. 2014. Evaluating the effects of topography on the survival of Vetiver grass in the Kechik catchment. Rangeland, 8(3): 230-237. (In Persian).

43. Noshadi, M. Valizadeh, H. 2016. Effect of Vetiver grass on reduction of soil salinity and some minerals. Water and Soil, 30(3): 796-804. (In Persian).

44. Olesen, J.E. Trnka, M. Kersebaum, K.C. Skjelvag, a.O. Seguin, B. Peltonen-Sainio, P. Rossi, F. Kozyra, J. and Micale, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy, 34: 96-112.

45. Pan, Ch. and Shangguan, Z. 2006. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions. Journal of Hydrology, 331: 178-185.

46. Sabetanfadayee, J. and Alebrahim, S. 2011. Application of Vetiver plant and its role in urban watershed and environment. 7th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran, Isfahan, Iran, 27-28 Aprill 2011, 1-9. (In Persian).

47. Sabzevari, T. and Talebi, A. 2019. Effect of hillslope topography on soil erosion and sediment yield using USLE model. Acta Geophys, 67, 1587-1597.

48. Saleh, I. Kavian, A. Habibnejad, M. and Jafarian, Z. 2019. Investigation of phenological stages and pollutants’ type on the efficiency of vegetative buffer strips. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 13(44): 62-72. (In Persian).

Journal of Water and Soil Science, 22(2): 287-299. (In Persian).

28. Kavian, A. Saleh, I. Habibnejad, M. Brevik, E.C. Jafarian, Z. and Rodrigo-Comino, J. 2018. Effectiveness of vegetative buffer strips at reducing runoff, soil erosion, and nitrate transport during degraded hillslope restoration in northern Iran. Land Degradation & Development, 2018: 1-10.

29 Kervroëdan, L. Armand, R. Rey, F. and Faucon, M. 2020. Trait-based sediment retention and runoff control by herbaceous vegetation in agricultural catchments: A review. Land Degradation & Development, 32(3): 1-33.

30. Khaledi Darvishan, A. Hadi Ghorghi, J. Katebikord, A. Mohammad Amini, H. Gholami, L. Karamzadeh, A. Bahmani, A. and Saeidi, F. 2018. Effect of exclosure on runoff, sediment concentration and soil loss in erosion plots in Khamsan representative watershed of Kurdistan province. Journal of Water and Soil Conservation, 24(6): 243-255. (In Persian).

31. Khaledi Darvishan, A. Sadeghi, S. Homaee, M. and Arabkhedri, M. 2014. Affectability of runoff threshold and coefficient from rainfall intensity and antecedent soil moisture content in laboratorial erosion plots. Iranian Water Researches Journal, 8(2): 41-49. (In Persian).

32. Kiani Harchegani, M. Sadeghi, S. H. and Asadi, H. 2017. Changeability of concentration and particle size distribution of effective sediment in initial and mature flow generation conditions under different slops and rainfall intensities. Watershed Engineering and Management, 9(2): 205-216. (In Persian).

33. KianiHarchegani, M. Sadeghi, S.H. Singh, V. P. Asadi, H. and Abedi, M. 2019. Effect of rainfall intensity and slope on sediment particle size distribution during erosion using partial eta squared. Catena, 176: 65-72

34. Kiani-Harchegani, M. Talebi, A. and Kiani, S. 2021. Analysis of sheet erosion component variability on four complex hillslopes and consecutive storms under laboratory conditions. Hydrology Research, 52(4): 905-915.

35. Koocheki, A. Nassiri Mahallati, M. Nourbakhsh, F. and Nehbandani, A. 2017. The Effect of planting pattern and density on yield and yield components of Sesame (Sesamum indicum L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 31-45. (In Persian).

36. Liu, R. Thomas, B. W, Shi, X. Zhang, X. Wang, Z. and Zhang, Y. 2021. Effects of ground cover management on improving water and soil conservation in tree crop systems: A meta-analysis. Catena, 199: 1-8.

37. Loch, R.J. Truong, P. Smirk, D. and Fulton, I. 2000. Vetiver grass for land management and reclamation. In Proceedings of the

49. Saleh, I. Kavian, A. HabibnezhadRoushan, M. and Jafarian, Z. 2017. The efficiency of vegetative buffer strips in runoff quality and quantity control. International Journal of Environmental Science and Technology, 15(4): 811-820.

50. Shahini, Gh.R. 2016. Design and construction of rhombic shaped microcatchments for planting olives. 4th Water Harvesting and Watershed Management Congress, Mashhad, Iran, 17-18 February 2016, 1-9. (In Persian).

51. Shooshtarian, S. and Tehranifar, A. 2011. Introduction to Vetiver Grass and its properties. (Translated),Firest Editation, 164 p. (In Persian).

52. Talebi, A. Asgari, E. and Kiani-Harchegani, M. 2020. The Role of Hillslope Topography in Hydrological Processes. 18th Iranian Hydraulic Conference, Tehran University, Iran, 5-6 February, 1-8. (In Persian).

53. Talebi, A. Hajiabolghasemi, R. Hadian, M.R. and Amanian, N. 2016. Physically based modelling of sheet erosion (detachment and deposition processes) in complex hillslopes. Hydrological Processes, 30(12): 1968-1977.

54. Talebi, A. Troch, P. and Uijlenhoet R. 2008a. A steady-state analytical hillslope stability model for complex hillslops, Hydrological Processes, 21.

55. Talebi, A. Uijlenhoet, R. and Troch, P. 2008b. A low-dimensional physically based model of hydrologic control of shallow landsliding on complex hillslopes. Earth Surface Processes and Landforms, 33.

56. Troch, P.A. VanLoon, E. and Hilbert, A. 2002. Analytical solutions to a hillslope-storage kinematic wave equation for subsurface flow. Advances in Water Resources, 25(6): 637-649.

57. Wang, D. Yuan, Z. Cai, Y. Jing, D. Liu, F. Tang, Y. Song, N. Li, Zhao, Ch., Y. and Fu, X. 2021. Characterization of soil erosion and overland flow on vegetation-growing slopes in fragile ecological regions: A review. Journal of Environmental Management, 285: 1-6.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 17, No. 63, Winter 2024
سال هفدهم- شماره ٦٣- زمستان ١٤٠٢

The Effect of Vetiver Plant on Runoff Reduction and Soil Loss in Parallel-Convex and Concave Hillslopes in Laboratory Conditions

E. Asgari[1], A. Talebi[2]*, M. Kiani-Harchegani[3] and N. Amanian[4]
Received: 12-12-2022 Accepted: 25-04-2023

Abstract

One of the important and effective factors in the runoff production and sediment in hillslopes is their geometry. Vegetation also plays an important role in controlling and reducing runoff and sediment. In this regard, the present study was conducted with the aim of creating a better understanding of the effect of Vetiver vegetation on the processes of runoff and soil loss in convex-parallel and concave-parallel hillslopes in laboratory conditions. Accordingly, by using a rainfall simulator with an intensity of 45 mm/h, in 15 min on a plot with dimensions of 2 m2 and a slope of 20 percent, and by creating the shape of convex-parallel and concave-parallel hillslopes and filled with the surface soil of the sample Tahooneh watershed in Yazd province, rainfall simulation was done. Then, the values of runoff volume and soil loss in the said plots were compared and data analysis was carried out in plots with Vetiver vegetation and in two square and rhombic planting patterns with plots without vegetation. The results showed a decrease in the runoff volume in the concave-parallel hillslope in the treatment with square and rhombic vegetation, with values of 58.61 percent and 69.43 percent, respectively. Also, the square and rhombic planting pattern of Vetiver plant in the convex-parallel hillslope caused a decrease of 81.17 percent and 85.96 percent in the amount of soil loss, respectively.

Keywords: Complex hillslopes, Hydrological processes, Rainfall simulator, Water and soil conservation

1. Ph.D. in Watershed Sciences and Engineering, Department of Rangeland and watershed management, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Iran
2. Professor, Department of Watershed Management, Department of Watershed Engineering, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Iran. Email: talebisf@yazd.ac.ir
3. Researcher, Department of Watershed Management, Department of Watershed Engineering, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Iran
4. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Iran