University of Tehran Press

ECO HYDROLOGY

Home Page: https://ije.ut.ac.ir

Online ISSN: 2423-6101

Comparison of the Effect of Vetiver Vegetation Cover and Surface Rock Fragment on Runoff and Soil loss in a Convex-Parallel Hillslope Under Laboratory Conditions

Ebrahim Asgari[1] | Ali Talebi[2*] | Mahboobeh Kiani-Harchegani[3] | Nosratollah Amanian[4]

1. Watershed Sciences and Engineering, Department of Rangeland and watershed management, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Iran. Email: ebrahim.asgari90@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Watershed Engineering, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Iran. Email: talebisf@yazd.ac.ir
3. Department of Watershed Engineering, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran. Email: mahboobeh.kiyani20@gmail.com
4. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran. Email: namanian@yazd.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received May 12, 2023
Revised June 12, 2023
Accepted July 13, 2023
Published online 12 December 2023

Keywords:
Complex Hillslopes,
Rain Simulator,
Square Planting Pattern,
Vetiver Plant,
Rock Fragment.

ABSTRACT

Given the importance of the geometry of hillslopes in producing runoff and sediment and the influence of soil surface cover on these two components, the present study was conducted to investigate the effect of Vetiver vegetation cover and surface rock fragment cover on a convex-parallel hillslope. After preparing the plot based on the geometry of the convex-parallel hillslope and transferring Vetiver vegetation cover and surface rock fragment cover with 30% coverage, rainfall simulation was performed, and the results showed that in this type of hillslope, surface rock fragment cover reduced the average volume of runoff by 13.6% compared to the control and reduced soil loss by 33.37%. In addition, Vetiver vegetation cover led to a 65.76% reduction in runoff volume and a 69.4% reduction in soil loss. Furthermore, the statistical results showed that the volume of runoff and soil loss in the convex-parallel hillslope in protective treatments were significantly different from the control (Pv_{alue} <0.05), indicating that the addition of surface rock fragment cover and Vetiver vegetation cover reduces the volume and soil loss. These results demonstrate the positive effect of both covers on reducing runoff and sediment. Therefore, depending on the goal and the conditions of the study area, appropriate cover can be used.

Cite this article: Asgari, E.; Talebi, A.; Kiani-Harchegani, M.; Amanian, N. (2023). Comparison of the Effect of Vetiver Vegetation Cover and Surface Rock Fragment on Runoff and Soil loss in a Convex-Parallel Hillslope Under Laboratory Conditions. *ECO HYDROLOGY*.10 (3), 335-353. Doi: doi.org/10.22059/ije.2023.361209.1741

© Ebrahim Asgari, Ali Talebi, Mahboobeh Kiani-Harchegani, Nosratollah Amanian
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ije.2023.361209.1741

انتشارات دانشگاه تهران

اکو هیدرولوژی

سایت نشریه: https://ije.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۱۰۱-۲۴۲۳

مقایسهٔ اثر پوشش گیاهی وتیور و سنگریزهٔ سطحی بر مقدار رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدبـ موازی در شرایط آزمایشگاهی

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

۱. علوم و مهندسی آبخیز، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: ebrahim.asgari90@yahoo.com

۲. نویسندهٔ مسئول، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: talebisf@yazd.ac.ir

۳. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: mahboobeh.kiyani20@gmail.com

۴. گروه مهندسی عمران آب، دانشکدهٔ عمران، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: namanian@yazd.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

کلیدواژه:
دامنه‌های مرکب،
شبیه‌ساز باران،
الگوی کاشت مربعی‌شکل،
گیاه وتیور،
سنگریزه.

چکیده

با توجه به اهمیت هندسهٔ دامنه‌ها در تولید رواناب و رسوب و تأثیری که عامل پوشش سطحی خاک روی این دو مؤلفه دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر پوشش گیاهی وتیور و پوشش سنگریزه در دامنهٔ محدبـ موازی انجام شد. پس از آماده‌سازی پلات بر اساس هندسهٔ دامنهٔ محدبـ موازی و انتقال پوشش گیاهی وتیور و پوشش سنگریزه با درصد پوشش ۳۰ درصد عملیات شبیه‌سازی بارش انجام شد و یافته‌ها نشان داد در این نوع دامنه پوشش سنگریزه میانگین حجم رواناب را ۱۳/۶ درصد نسبت به حالت شاهد و مقدار هدررفت خاک را ۳۳/۳۷ درصد کاهش داده است. همچنین، پوشش گیاهی وتیور سبب کاهش ۶۵/۷۶ درصدی حجم رواناب و ۶۹/۴ درصدی هدررفت خاک شد. علاوه بر این، یافته‌های آماری نشان داد حجم رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدبـ موازی در تیمارهای حفاظتی نسبت به شاهد دارای تفاوت معناداری ($p\text{-value} < ۰/۰۵$) هستند، به طوری که با اضافه شدن پوشش سنگریزه و پوشش گیاهی وتیور حجم و هدررفت خاک کاهش می‌یابد. این نتایج نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت هر دو پوشش مورد استفاده بر کاهش رواناب و رسوب است. بنابراین، می‌توان بر اساس هدف و شرایط منطقهٔ مورد مطالعه از پوشش گیاهی مناسب استفاده کرد.

استناد: عسگری، ابراهیم؛ طالبی، علی؛ کیانی‌هرچگانی، محبوبه و امانیان، نصرت‌اله (۱۴۰۲). مقایسهٔ اثر پوشش گیاهی وتیور و سنگریزهٔ سطحی بر مقدار رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدبـ موازی در شرایط آزمایشگاهی. *اکو هیدرولوژی*، ۱۰ (۳) ۳۳۵-۳۵۳.

DOI: http//doi.org/10.22059/ije.2023.361209.1741

© ابراهیم عسگری، علی طالبی، محبوبه کیانی‌هرچگانی، نصرت‌اله امانیان. **ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/ije.2023.361209.1741

۱. مقدمه

خاک به عنوان یکی از منابع طبیعی ارزشمند و از محورهای توسعهٔ پایدار است که مسیر رشد و تعالی هر کشوری را نحوهٔ استفاده و بهره‌برداری از آن تعیین می‌کند [۱ و ۲] و چرخه‌های زیستی، هیدرولوژیکی و ژئوشیمیایی را کنترل می‌کند [۳]. بر همین اساس، لزوم کنترل و ارائهٔ روش‌های پیش‌گیری و مهار فرسایش خاک و حفاظت از منابع آبی در راستای بهبود مسائل و مشکلات مربوط به فرسایش و هدررفت منابع آب و خاک، ضرورت دارد [۴]. توپوگرافی در فرایندهای هیدرولوژیک، فرسایش و هدررفت خاک و میزان تولید رواناب به عنوان یک ویژگی بسیار مهم تأثیرگذار است [۵] و از خصوصیات مهم و مؤثر در تولید رواناب و رسوب در دامنه‌ها، هندسهٔ آن‌ها است، به طوری که واکنش هیدرولوژیکی هر دامنه از پروفیل طولی و شکل پلان آن دامنه تأثیر می‌پذیرد [۶]. شکل دامنه و چگونگی گسترش ابعاد و اندازه‌های آن بر مؤلفه‌هایی همانند آستانهٔ شروع رواناب، پیک جریان، زمان تمرکز، حجم رواناب، مقدار رسوب و غیره تأثیر می‌گذارد [۷ و ۸]. در مطالعات متعدد انجام‌شده از روش‌های مختلفی به منظور بررسی فرایندهای هیدرولوژیک در حوضه‌های آبخیز استفاده شده است. اما در بسیاری از این موارد تأثیر توپوگرافی را در این فرایندها فقط به صورت اعمال شیب زمین ثابت و شکل پلان حوضه‌های آبخیز را به صورت صاف و موازی در نظر گرفتند و به شکل هندسی واقعی آن‌ها اعم از واگرایی یا همگرایی در پلان و نیمرخ طولی (تحدب و تقعر) توجهی نشده است. در راستای برنامه‌ریزی‌های مناسب مدیریتی حفاظت از منابع آب و خاک توجه به شکل واقعی دامنه‌ها در حوضه‌های آبخیز لازم است و ضرورت دارد [۹]. یکی از عوامل بسیار مهمی که می‌تواند در کارآمدی مدیریت حوضهٔ آبخیز مؤثر باشد، ایجاد یک درک متقابل و بازخورد صحیح بین شکل‌های مختلف دامنه‌ها و فرایندهای هیدرولوژیکی دامنه است، زیرا دامنه‌هایی با شکل یکنواخت در طبیعت و در سطح حوضه‌های آبخیز با احتمال کمی وجود دارند و حوضه‌های آبخیز متشکل از دامنه‌های مرکب هستند [۱۰ و ۱۱]. بنابراین، توجه به شکل واقعی دامنه‌ها در مطالعات مربوط به حفاظت آب و خاک در راستای دستیابی به نتایج واقعی‌تر بسیار مفید خواهد بود. مطالعات مختلفی که در این راستا انجام شده است، مبین این بوده و تفاوت رفتار دامنه‌های مختلف در فرایندهای مختلف هیدرولوژیک و فرسایش را نشان می‌دهد، به طوری که در پژوهشی مبینی و همکاران (۱۳۹۷) با مطالعهٔ تأثیر شکل پروفیل طولی[1] و پلان دامنه‌ها[2] بر فرایند فرسایش آبی در خاک‌های با ضریب زبری مختلف عنوان کردند که شکل هندسی دامنه‌ها بر میزان فرسایش تأثیرگذار است، به طوری که در دامنه‌های با پروفیل محدب و شکل پلان همگرا بیشترین مقدار رسوب و در دامنه‌های صاف و موازی کمترین مقدار رسوب تشکیل می‌شود [۱۲]. همچنین، بررسی تأثیر ضریب زبری سطح بر مقدار دبی اوج در دامنه‌های مرکب توسط مشکات و همکاران (۲۰۱۹) مورد مطالعه قرار گرفته و یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد بیشترین دبی اوج در دامنهٔ مقعر- واگرا در خاک با ضریب زبری ۰/۰۱۸ رخ داده است [۱۳]. در مطالعه‌ای تأثیر توپوگرافی دامنه بر فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل USLE توسط طالبی و سبزواری (۲۰۱۹) مورد بررسی قرار گرفت و یافته‌های آن‌ها نشان داد تأثیر شکل انحنای دامنه بر فرسایش بیشتر از شکل پلان دامنه است و متوسط مقدار فرسایش در دامنه‌های محدب ۱/۴۳ برابر دامنه‌های مقعر و ۱/۱۹ برابر دامنه‌های مستقیم است. همچنین، آن‌ها بیان کردند که در دامنه‌های با پلان ثابت میزان فرسایش در دامنه‌های محدب بیشتر از دامنه‌های مقعر و مستقیم بوده و در دامنه‌های با انحنای پروفیل ثابت میزان فرسایش در دامنه‌های همگرا بیشتر از دامنه‌های واگرا و موازی است [۱۴]. طالبی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی نقش توپوگرافی دامنه را در فرایندهای هیدرولوژیک، با مطالعه و بررسی جایگاه توپوگرافی و خصوصیات مختلف آن در فرایندهای هیدرولوژیک مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که تأثیر شکل پلان بر مقدار دبی پیک دامنه‌ها بیشتر از انحنای نیمرخ دامنه‌ها بوده و در فرایند فرسایش انحنای نیمرخ تأثیر بیشتری نسبت به شکل پلان دارد [۱۵]. یافته‌های پژوهش منفرد و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد مقدار کل حجم رواناب در پلات حفاظتی نسبت به پلات شاهد دامنهٔ مستقیم- موازی و مقعر- موازی به‌ترتیب ۳۴/۷۴ و ۲/۷۹ درصد کاهش داشته و در دامنهٔ محدب- موازی ۴/۲۹ درصد افزایش حجم رواناب اتفاق افتاده است. همچنین میزان هدررفت خاک برای دامنهٔ مستقیم- موازی، مقعر- موازی و محدب- موازی به‌ترتیب ۷۰/۱۴، ۸۷/۶۵ و ۶۱/۹۰ درصد

1. Longitudinal profile
2. Hillslope plan

کاهش در تیمار حفاظتی نسبت به پلات شاهد رخ داده است [۱۶]. در پژوهش کیانی هرچگانی و همکاران (۲۰۲۱) در شرایط آزمایشگاهی و روی چهار دامنهٔ مرکب مستقیم- موازی، مستقیم- همگرا، مقعر- همگرا و محدب- همگرا؛ اثرات فردی رگبارهای متوالی و دامنه‌های مرکب و اثرات متقابل آن‌ها روی دبی رواناب و غلظت رسوب معنادار بوده ($p \leq 0.00$). علاوه بر این مشخص شد، که دبی رواناب بیشتر تحت تأثیر رگبارهای متوالی ($\eta_p^2 = 0.65$) و غلظت رسوب بیشتر تحت تأثیر هندسهٔ دامنه‌های مرکب ($\eta_p^2 = 0.77$) است [۱۷].

در راستای حفاظت خاک با توجه به شکل واقعی دامنه‌ها؛ استفاده از پوشش گیاهی مناسب که توانایی تجدید حیات و بازسازی خود را به طور طبیعی داشته باشد بسیار مهم است. پوشش گیاهی از عوامل مهم و تعیین‌کننده در بحث مدیریت و کنترل رواناب سطحی و تولید رسوب است [۱۸ و ۱۹]. تولید رواناب و فرسایش خاک در سطح حوضه‌های آبخیز با افزایش پوشش گیاهی کاهش می‌یابد، به طوری که پوشش گیاهی با کاهش انرژی جنبشی باران و کاهش رسیدن مستقیم آب به سطح زمین (ذخیرهٔ برگابی) در نتیجه سبب کاهش احتمال اشباع شدن خاک می‌شود. علاوه بر این، با افزایش مقاومت هیدرولیکی و اتصال فیزیکی ذرات خاک و افزایش ذخیرهٔ رواناب‌های سطحی شده و منجر به کاهش رواناب و هدررفت خاک در محل می‌شود و از این طریق علاوه بر حفظ خاک از هدررفت رواناب سطحی نیز جلوگیری می‌کند [۲۰ و ۲۱]. تأثیر پوشش گیاهی بر خاک از طریق دو حالت حفاظت بیولوژیکی[1] و ساخت بیولوژیکی[2] اتفاق می‌افتد. موانع گیاهی با ایجاد ساختارهایی به نام تپه‌های گیاهی[3] به عنوان یک مانع فیزیکی، سبب به دام افتادن رواناب و رسوب در پشت آن‌ها می‌شود و با افزایش مقدار نفوذپذیری موجب کاهش رواناب سطحی می‌شود [۲۲ و ۲۳]. امروزه استفاده از پوشش گیاهی مناسب و پایدار روشی معمول در راستای کنترل رواناب سطحی شناخته می‌شود و به عنوان یک ابزار زیست مهندسی، یکی از راهبردهای مهم حفاظتی آب و خاک و کم‌هزینه‌ترین و مناسب‌ترین روش‌های کنترل و کاهش مقدار رواناب و رسوب در حوضه‌های آبخیز و دامنه‌ها است [۲۴ و ۲۵]. با توجه به اهمیت بالای حفظ زیست مهندسی آب و خاک و اثر کاهشی ناشی از ایجاد پوشش گیاهی در سطح خاک بر حجم رواناب و رسوب تولیدی از آن [۳۰-۲۶]. در پژوهش حاضر به منظور ایجاد پوشش گیاهی، از گونه‌ای از گیاه وتیور با نام علمی *Vetiveria zizanioides* به دلیل خصوصیات و ویژگی‌های خاص آن در آزمایش‌های برنامه‌ریزی‌شده استفاده شد. وتیور گیاهی از خانوادهٔ گندمیان (Graminaceae) و از قبیله Andropogoneae و دارای گونه‌های مختلفی از جمله *Vetiveria zizanioides* یا *Chrysopogon zizanioides* L. است. این گیاه در برابر خصوصیات و تغییرات اقلیمی و نیز خشکسالی‌های درازمدت، سیل، شرایط ماندابی و تنش‌های دما مقاوم بوده و تحمل دمایی آن از حدود ۱۴- تا ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد است [۳۱]. گیاه وتیور می‌تواند در مناطق با میزان بارندگی کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر نیز رشد کند. بهترین خاک برای کاشت این گیاه خاک با بافت شنی- لومی است [۳۲]. حداکثر تحمل به شوری تا ۴۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر را دارد [۳۳]. این گیاه توانایی بازیابی و رشد و نمو بسیار سریع بعد از صدمات ناشی از خشکی، سرمازدگی، شوری و شرایط نامساعد آب‌وهوایی، دامنهٔ 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 دارد [۳۴]. وتیور در خاک‌های فقیر با فرسایش‌پذیری زیاد، به منظور کنترل فرسایش بسیار مؤثر بوده و رشد سریع آن سبب شده است که این گیاه نسبت به سایر گیاهان گزینهٔ مناسب‌تری به‌منظور حفاظت از آب و خاک این مناطق به شمار می‌آید [۳۵ و ۳۶]. پس از بررسی مطالعات انجام‌گرفته روی گیاه وتیور، عسگری و همکاران (۱۴۰۰الف) عنوان کردند که با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد گیاه وتیور، این گیاه می‌تواند خسارت‌های ناشی از سیل، فرسایش رودخانه‌ای و ساحلی، تخریب سد و آب‌بند و ناپایداری اراضی را کنترل کند. هزینهٔ اجرای کم و فاقد عوارض زیست‌محیطی و انعطاف‌پذیری زیاد 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 می‌شود [۳۷]. در مطالعهٔ صالح و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر حائل نواری گیاهی وتیور روی کاهش رواناب و رسوب مورد بررسی قرار گرفته و یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد حائل‌های گیاهی موجب کاهش ۳۵ تا ۹۰ درصدی حجم رواناب و ۴۲ تا ۹۴ درصدی غلظت رسوب شدند [۲۶]. در

1. Biological conservation
2. Biological structure
3. Phytogenic mound

راستای بررسی کارایی نوار بافر رویشی گیاه وتیور کاویان و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که در قطعه دارای گیاه وتیور در دورهٔ 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 نشان‌دهندهٔ مزیت زیاد گیاه وتیور در کاهش رواناب و رسوب بود [۳۸]. Adunga و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی در اتیوپی به بررسی ارزیابی پتانسیل پرچین‌های علف وتیور در حفاظت از خاک با استفاده از پین‌های فرسایش پرداختند و دریافتند که در دورهٔ مورد مطالعه ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری اولیهٔ پین‌ها به طور میانگین ۸ سانتی‌متر در قسمت‌های بالایی و در بخش‌های میانی ۶ و در بخش‌های پایینی ردیف‌ها ۵/۳ سانتی‌متر کاهش داشته است. که نشان‌دهندهٔ مفید بودن این پرچین‌ها در کنترل فرسایش منطقه بود [۳۹]. در پژوهشی Liu و همکاران (۲۰۲۱) میزان تأثیر پوشش سطح زمین را در کاهش رواناب و هدررفت خاک مورد مطالعه قرار داده و یافته‌های آن‌ها نشان داد مدیریت پوشش زمین به‌ترتیب میزان رواناب و تلفات خاک را به مقدار ۴۸/۵ و ۷۰/۵ درصد کاهش می‌دهد [۲۸]. Wang و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی دریافتند که پوشش گیاهی از طریق تاج پوشش و ریشه مسیرهای جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که با افزایش فاصلهٔ بین گیاهان، میزان رواناب و رسوب افزایش و کل عرض مسیر جریان کاهش پیدا می‌کند [۴۰]. Wang و همکاران (۲۰۲۱) با مرور مطالعات مختلف مربوط به ویژگی فرسایش خاک و جریان سطحی شیب‌های دارای پوشش گیاهی دریافتند که تأثیر الگوهای مختلف پوشش گیاهی بر فرسایش خاک متفاوت است. علاوه بر این، در مناطق با پوشش علفی، مقدار رواناب و رسوب به‌ترتیب حدود ۱۴ و ۸۱ـ ۹۵ درصد کمتر از بخش‌های دارای خاک لخت بودند [۳۰].

قسمت‌های زیادی از اراضی خشک و نیمه‌خشک کشور که دارای خاکدانه‌های ریز و همچنین املاح‌دار هستند، بر اساس همین محدودیت‌ها، به طور معمول پوشش گیاهی ندارند و به طور مستمر در معرض فرسایش خاک هستند. این اراضی با توجه به اینکه فاقد پوشش گیاهی در خاک هستند، علاوه بر مستعد بودن شرایط فیزیکی و شیمیایی آن‌ها برای فرسایش خاک، به دلیل سنگین بودن بافت خاک و عدم تأمین رطوبت کافی برای گیاهان، به طور معمول امکان احیای بیولوژیکی را نیز ندارند. قطعات سنگ و سنگریزه به عنوان یکی از پوشش‌های مهم سطحی خاک، پوشش با قطر بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر هستند که به‌سادگی به وسیلهٔ جریان رواناب تولیدشده جابه‌جا نمی‌شوند [۴۱]. بنابراین یکی از متغیرهای تأثیرگذار بر میزان تولید رواناب، فرسایش و رسوب، میزان پوشش سنگریزه روی سطح خاک است. بر همین اساس، پوشش سنگریزهٔ سطحی به طور خاص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی کمتر است، یک عامل مهم در کنترل فرسایش خاک محسوب می‌شود [۴۲ و ۴۳]. امکان دسترسی سریع و راحت به منابع قرضه، عدم نیاز به آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب، عدم نیاز به حفاظت و نگهداری خاص و در نهایت سرعت عمل بالا در اجرای این نوع طرح‌ها از جنبه‌های مثبت این روش کنترل رواناب و تولید رسوب به شمار می‌رود [۴۴]. هنگام وقوع رواناب پوشش سنگریزه‌ای می‌تواند تأثیر افزایشی یا کاهشی بر فرسایش خاک بگذارد [۴۹–۴۵]. پوشش سنگریزه با جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران و جدا شدن ذرات خاک، سبب کاهش تشکیل سله و افزایش نفوذ آب به خاک می‌شود. همچنین، کاهش تخریب فیزیکی و کاهش سرعت جریان سطحی با افزایش ضریب زبری سطح خاک در برابر جریان رواناب سطحی را سبب می‌شود و بر کنترل رواناب سطحی و کاهش قدرت فرسایندگی آن تأثیر می‌گذارد و از فرسایش خاک و تولید رسوب از سطح خاک جلوگیری می‌کند [۵۰ـ ۵۴]. با توجه به موارد یادشده پوشش سنگریزهٔ سطحی به عنوان یکی از عوامل زبری سطح خاک در راستای کاهش رواناب و فرایند فرسایش خاک در شرایطی که استقرار پوشش گیاهی امکان‌پذیر نباشد همانند خاک‌های مشکل‌دار (خیلی شور، قلیایی، اسیدی و غیره) و خاک‌های لسی با حساسیت بالا به فرسایش، دارای اهمیت زیادی بوده [۵۶–۵۴] و در این مناطق به عنوان مؤلفه‌ای کلیدی سیستم خاک در افزایش و کاهش میزان رواناب و رسوب تأثیرگذار است [۵۷] و استفاده از این پوشش در راستای مدیریت و کنترل این فرایندها می‌تواند در این مناطق کارآمد و مفید واقع شود. با توجه به کارایی و سازگاری زیاد پوشش سنگریزه با مناطق و شرایط مختلف به‌ویژه با شرایط مناطق نیمه‌خشک و تأثیرات مفید آن روی کنترل رواناب و فرسایش خاک در ادامه به طور خلاصه به تعدادی از مطالعات مختلفی که در این راستا انجام شده است، پرداخته می‌شود. آذرتاج و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی تأثیر پوشش سنگریزه بر تولید رواناب و فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که با استفاده از ۳۰ درصد سنگریزه، حجم رواناب تولیدی نسبت به تیمار شاهد (بدون پوشش سنگریزه) ۹۶ درصد و هدررفت خاک ۵۱۹ درصد کاهش می‌یابد [۵۵]. در پژوهشی

تأثیر پوشش سنگریزهٔ سطحی بر میزان رواناب و فرسایش خاک توسط کلبعلی و همکاران (۱۳۹۹) مورد بررسی قرار گرفته و یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد میزان رواناب و رسوب با افزایش پوشش سنگریزه‌ای سطحی به‌ترتیب به صورت خطی و نمایی کاهش پیدا می‌کند، به طوری که سرعت جریان‌های سطحی با افزایش پوشش سنگریزه‌ای سطحی حدود ۹۵/۶۹ درصد کاهش می‌یابد [۴۳]. حجابی‌جردوی و همکاران (۱۴۰۰) اثر الگوی استقرار قطعات سنگی سطحی بر فرایندهای فرسایش خاک در شرایط شبیه‌سازی شده را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که با افزایش درصد قطعات سنگی مقدار رسوب تولیدی و میزان نفوذ، افزایش و میزان حجم رواناب تولیدی کاهش پیدا می‌کند [۵۶]. Wang و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای که در جنوب غرب چین روی تأثیر پوشش سنگریزه بر پاسخ‌های هیدرولوژیکی و هدررفت خاک انجام گرفت، دریافتند که میزان رواناب سطحی در خاک‌هایی با پوشش قطعات سنگی ۴۰ درصد در بارش‌های کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب به ۲۴، ۵۱ و ۶۴ درصد کاهش یافته و همچنین با اضافه شدن پوشش سنگریزه غلظت رسوب حدود ۸۱ درصد کاهش می‌یابد [۵۸]. در پژوهشی که در مرکز شیلی توسط Von Bennewitz و Aladro (۲۰۱۷) انجام شد یافته‌ها نشان داد پوشش سنگریزه‌ای رواناب سطحی را تا ۷۲/۰۶ درصد و نرخ فرسایش را ۸۲/۲ درصد کاهش داده و سبب بهبود شرایط خاک از این حیث می‌شود [۵۹]. بر اساس یافته‌های پژوهش Li و همکاران (۲۰۱۸) مشخص شد که پوشش سنگریزه روشی مؤثر برای کاهش تخریب زمین و بهبود شرایط محیطی محلی است، به طوری که پوشش سنگریزه به‌ترتیب سبب کاهش ۱۸ـ ۳۸ و ۱۱ـ ۶۹ درصدی حجم رواناب و رسوب می‌شود [۶۰]. در مطالعه‌ای در فلات لسی چین Niu و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر محتوای قطعات سنگریزه را بر فرایندهای فرسایش خاک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد محتوای سنگریزه ۲۰ و ۴۰ درصد به طور معناداری رواناب و رسوب را کاهش می‌دهد ($p< ۰/۰۵$). همچنین قطعات سنگریزه در مقایسه با خاک لخت، میانگین سرعت جریان را بین ۴۳ تا ۵۵ درصد و قدرت جریان را ۶۳ تا ۸۹ درصد کاهش می‌دهد [۶۱]. یافته‌های پژوهش انجام‌شده توسط Li و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد با اضافه شدن پوشش سنگریزه به سطح خاک رواناب کل و غلظت رسوب به‌ترتیب ۰/۸۱ـ ۱۶/۰۲ درصد و ۱۶/۴۵ـ ۵۰/۸۸ درصد نسبت به خاک لخت کاهش می‌یابد [۶۲].

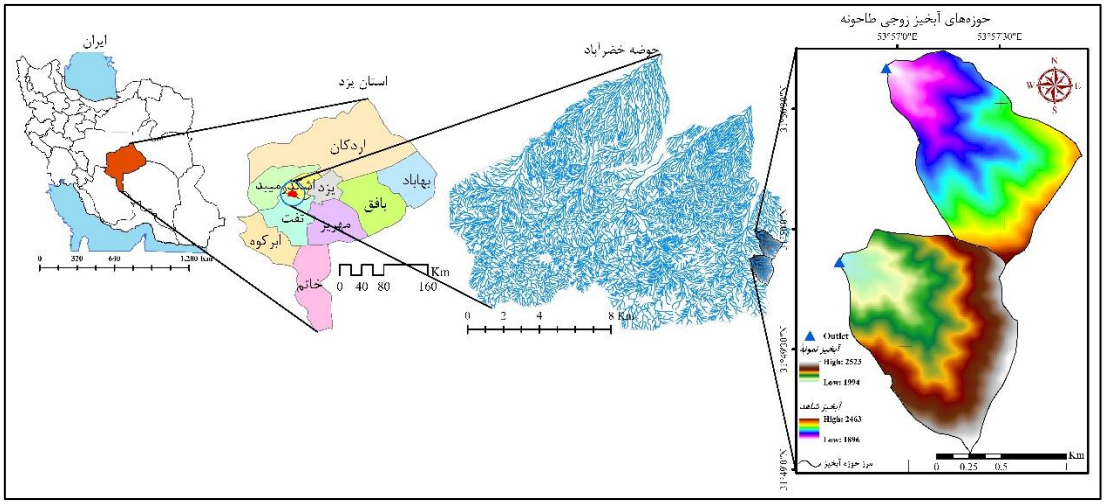
در مجموع، با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده مشخص شد در بیشتر مطالعات انجام‌شده توپوگرافی دامنه‌ها به صورت صاف و موازی در نظر گرفته شده است؛ لذا به منظور شبیه‌سازی دقیق‌تر فرایندهایی که در طبیعت رخ می‌دهند، نیاز است که توپوگرافی دامنه‌ها از لحاظ شکل پلان و نیمرخ طولی به طبیعت نزدیک‌تر در نظر گرفته شوند. همچنین، با توجه به اینکه غالب راهبردهای آبخیزداری به منظور حفاظت خاک در مقابل اثرات تخریبی، بهبود پایداری خاکدانه‌ها و افزایش زبری سطح خاک برای کاهش سرعت آب و افزایش نفوذ آب در خاک به منظور کنترل و کاهش رواناب و رسوب و بهبود منابع آب است. بنابراین برای رسیدن به این اهداف، رایج‌ترین روش استقرار و افزایش پوشش گیاهی است که به طور معمول در قالب عملیات‌های بیولوژیکی و بیومکانیکی مطرح می‌شود. توجه به تأثیر پوشش گیاهی در تغییر ویژگی‌های خاک، میزان نفوذ و رواناب و هدررفت خاک اهمیت دارد. از سوی دیگر، پوشش سنگریزهٔ سطحی عامل مهمی در کنترل مقدار رواناب و فرسایش خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود. بنابراین استفاده از پوشش سنگریزهٔ سطحی به منظور حفاظت از سطح خاک در کشورهای کم‌باران دارای اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک [۶۳]، خاک‌های با حساسیت بالا به فرسایش خاک [۶۴] در این مناطق می‌تواند بسیار مؤثر و مفید واقع شود. بنابراین، به دلیل اینکه تأثیر پوشش گیاهی و پوشش سنگریزه به عنوان عوامل تأثیرگذار در فرایندهای هیدرولوژیک در دامنه‌های مرکب مورد توجه قرار نگرفته است. به همین‌دلیل، نوآوری و قوت پژوهش حاضر نسبت به سایر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه محسوب می‌شود. بنابراین پژوهش حاضر با هدف ایجاد درک بهتری از تأثیر پوشش گیاهی وتیور و پوشش سنگریزه روی دامنهٔ مرکب از نوع محدبـ موازی روی مؤلفه‌های رواناب سطحی و هدررفت خاک و مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با خاک لخت انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. منطقهٔ مطالعه‌شده

حوضه‌های آبخیز زوجی طاحونه در شمال غرب استان یزد و جنوب غرب شهر اشکذر واقع شده است. خروجی حوضه‌های آبخیز یادشده در شمال غربی آن‌ها قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین طول‌های ً۲۹ ۴۵ ۵۳ و ً۱۲ ۵۸ ۵۳ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ً۴۵ ۴۷ ۳۱ و ً۹ ۵۶ ۳۱ شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع حوضهٔ آبخیز نمونه ۲۵۲۳ متر در قسمت جنوب شرقی و

حداقل ارتفاع آن ۱۹۹۴ متر در قسمت شمال غربی آن و در حوضهٔ آبخیز شاهد حداکثر ارتفاع ۲۴۶۳ متر در بخش جنوب شرقی و حداقل ارتفاع آن ۱۸۹۶ متر در بخش شمال غربی قرار دارد. متوسط بارش سالانهٔ حوضه‌های زوجی شاهد و نمونه به‌ترتیب ۱۷۴/۶۰و ۱۸۴/۰۸ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای آن‌ها برابر ۱۲/۹ درجهٔ سانتی‌گراد در حوضهٔ نمونه و ۱۳/۴ درجهٔ سانتی‌گراد در حوضهٔ آبخیز شاهد است. همچنین، بافت خاک حوضهٔ آبخیز طاحونه لومی تا لومی- شنی و اقلیم آن به روش آمبرژهٔ خشک سرد و به روش دومارتن اصلاح‌شدهٔ خشک فراسرد است [۶۵]. در شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران و استان یزد، شهرستان اشکذر و حوضهٔ خضرآباد ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت حوضه‌های آبخیز نمونه و شاهد طاحونه در ایران، استان یزد، شهرستان اشکذر و حوضهٔ خضرآباد

۲. ۲. روش پژوهش

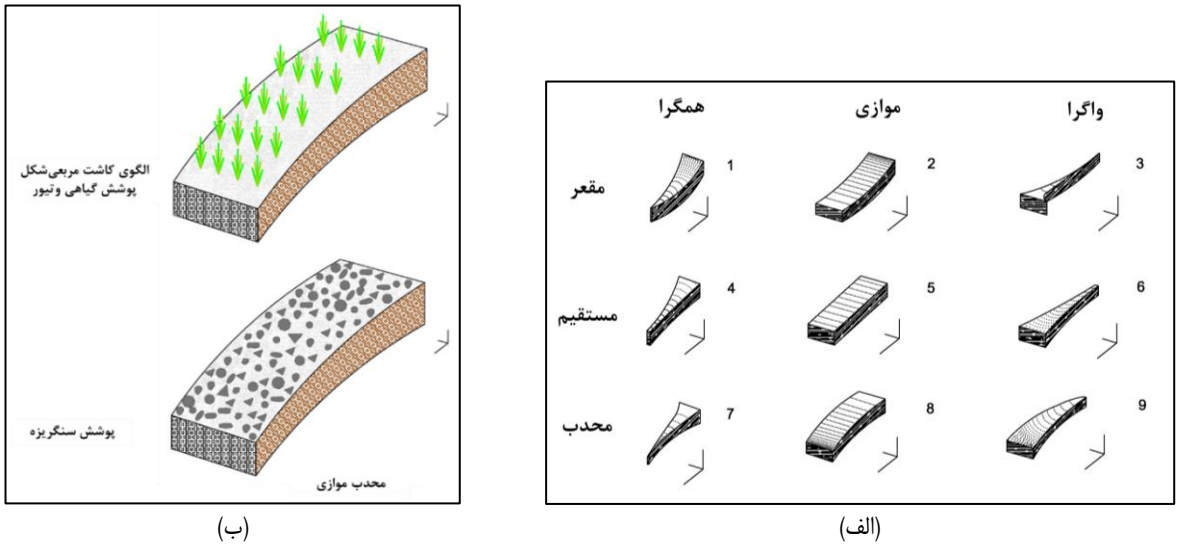
به منظور انجام پژوهش حاضر از دستگاه شبیه‌ساز باران از نوع تحت فشار با نازل نوسانی نوع وی‌جت ۸۰۱۰۰ (Veejet 80100) استفاده شد. شبیه‌ساز حاضر بر پایهٔ یک بازوی پاششی برای نازل‌ها است که در عرض یک پلات با سرعت‌های مختلفی به منظور ایجاد شدت بارش‌های مختلف نوسان می‌کند. بازو به یک موتور دنده‌ای متصل است که این موتور با دریافت سیگنال‌های کنترل از برنامهٔ کامپیوتری، سرعت حرکت و زاویهٔ نوسان بازو را تنظیم می‌کند [۶۶ و ۶۷]. در شکل ۲ تصاویری از نحوهٔ انجام آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران و پلات مورد استفاده در پژوهش حاضر ارائه شده است.

(ب) (الف)

شکل ۲. تصویری از نحوهٔ انجام آزمایش شبیه‌ساز باران در حالت (الف) با پوشش گیاهی وتیور ۳۰ درصد، (ب) با پوشش سنگریزه ۳۰ درصد

۲. ۲. ۱. آماده‌سازی پلات با هندسهٔ دامنهٔ مرکب

توپوگرافی دامنه‌ها در طبیعت و در حوضه‌های آبخیز از نظر شکل هندسی به شکل مرکب، سه‌بعدی و پیچیده است. لذا در واقعیت واکنش و پاسخ این دامنه‌ها نسبت به فرایندهای هیدرولوژیک نیز متفاوت و غیریکنواخت است و تأثیر توپوگرافی دامنه‌ها بر انواع فرایندها از طریق شکل پلان و انحنای طولی اتفاق می‌افتد [۷]. در شکل ۳ ترکیب شکل‌های نیمرخ طولی دامنه و پلان دامنه و روی آن‌ها خطوط تراز (خطوط تیره) مربوط به هر نوع دامنه و تصویر شماتیک مربوط به دامنه و پوشش‌های سطحی مورد مطالعه روی آن ارائه شده است



شکل ۳. (الف) نمایش سه‌بعدی انواع دامنه‌ها و (ب) تصویر شماتیک دامنهٔ محدب- موازی با پوشش گیاهی و سنگریزه

پس از تنظیم شدت باران دستگاه شبیه‌ساز باران به منظور اعمال تغییر شکل پلان و نیمرخ دامنه در حوضهٔ آبخیز از مدل فیزیکی Evans [۶۸] استفاده و مدل ژئومتری دامنه برای دامنهٔ محدب- موازی در آزمایشگاه و روی پلات به ابعاد 1m×2m با قابلیت تنظیم شیب ایجاد شد و مقادیر رواناب و رسوب از طریق سرریز پلات جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. با توجه به اهمیت ویژه عامل شیب حوضهٔ آبخیز در تولید رواناب و رسوب [۶۹]، ابتدا متناسب با شیب متوسط منطقه و پیشینهٔ پژوهش‌های قبلی انجام شده شیب ۲۰ درصد در پلات اعمال شد و در ادامه پیش از انتقال خاک به درون پلات به منظور شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی خاک و همچنین، امکان ایجاد بهتر و ساده‌تر نوع دامنهٔ مورد نظر از لحاظ نیمرخ طولی (تحدب) بر اساس محاسبات انجام‌گرفته در مورد این نوع دامنه، از لایهٔ زهکشی با جنس پوکهٔ معدنی با تغییر تدریجی دانه‌بندی از بادامی تا ریزدانه (ساختار فیلتری) با ضخامت مناسب در کف پلات استفاده شد [۷۰]. همچنین، از یک لایه گونی کنفی نفوذپذیر بین لایه‌های فیلتر و خاک استفاده شد [۷۱ و ۷۲]. خاک لازم از لایهٔ ۱- ۲۰ سانتی‌متری [۷۳] خاک منطقه برداشته شده و از الک ۸ میلی‌متری به دلیل حفظ ساختار خاک‌دانه‌ها و نمایش بهتری از شرایط مادری خاک عبور داده شد [۷۴ و ۷۵]. پس از حذف بقایای گیاهی و سنگ‌ریزه‌ها، هوا خشک کردن و آماده‌سازی، خاک مورد نظر به داخل پلات منتقل شده و با توجه به اهمیت و اثرات وزن مخصوص ظاهری در مقاومت سطحی خاک در برابر قطرات باران و رواناب [۷۶]، از لوله‌ای فلزی به قطر ۱۰ سانتی‌متر به عنوان غلطک استفاده شد و در هر مرحله که خاک روی پلات منتقل و پخش می‌شد، با غلطک کوبیده شده و در نهایت با در نظر گرفتن شکل مرکب دامنه در آزمایشگاه و با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران و پلات آزمایشی شبیه‌سازی بارش انجام گرفت.

۲. ۲. ۲. تهیهٔ گیاه و سنگریزه مورد نظر برای آزمایش‌ها

با توجه به اهمیت زیاد پوشش سطحی خاک در مطالعات مربوط به حوضه‌های آبخیز و با توجه به تأثیراتی که انواع این پوشش‌ها بر مقدار رواناب و رسوب دارند در پژوهش حاضر و در دامنهٔ مرکب از نوع محدب- موازی از گیاه وتیور به عنوان پوشش گیاهی و

پوشش سنگریزه بر اساس پیشینهٔ پژوهش مستند و در نظر گرفتن عواملی همانند عوامل محیطی مثل بارش، عوامل ادافیکی همانند: اسیدیتهٔ خاک و عوامل اقتصادی و اجتماعی استفاده شد. درصد پوشش برای هر دو نوع پوشش برای آزمایش‌ها ۳۰ درصد در نظر گرفته شد. به منظور کاشت گیاه روی پلات، آرایش کاشت مربعی انتخاب شد. در الگوی کاشت مربعی فاصلهٔ دو ردیف کاشت مجاور یکدیگر با فاصلهٔ دو بوتهٔ مجاور هم در روی یک ردیف، برابر است. به صورتی که هر ۴ بوته می‌توانند رئوس یک مربع را تشکیل دهند [۷۷]. همچنین، برای پوشش سنگریزه‌ها روی پلات از توزیع تصادفی سنگریزه‌ها استفاده شد [۴۳، ۴۴، ۴۹، ۵۴، ۵۵، ۷۸، ۷۹] و میانگین قطر سنگریزه‌های مورد استفاده نیز با توجه به اندازهٔ پلات و سابقهٔ پژوهش‌های انجام‌شده بین ۳ تا ۷ سانتی‌متر بود [۴۳، ۴۹، ۵۶، ۷۹، ۸۰، ۸۱]. بنابراین پس از انتقال گیاه وتیور با آرایش مربعی و سپس پوشش سنگریزه روی خاک پلات و همچنین پلات شاهد (خاک لخت)، زیر دستگاه باران‌ساز اقدام به انجام شبیه‌سازی باران با شدت ۴۵ میلی‌متر بر ساعت شد و نمونه‌های رواناب و رسوب حاصل از شبیه‌سازی باران با فاصلهٔ زمانی یک دقیقه در دامنهٔ محدب- موازی با سه تکرار به منظور تجزیه‌وتحلیل، جمع‌آوری شده و پس از خشک کردن نمونه‌ها و توزین آن‌ها و با توجه به هدف پژوهش اقدام به تقسیم مقادیر رسوب به مساحت پلات به منظور به دست آمدن مقادیر هدررفت خاک شد. در نهایت، نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای آماری Excel و SPSS مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند [۸۲-۸۴]، به طوری که پس از تعیین متغیر آماری مورد نظر و مطالعهٔ تغییرات مقادیر هدررفت خاک با مقادیر رواناب، اقدام به بررسی متغیرهای مورد مطالعه در دامنهٔ محدب- موازی با استفاد از تجزیهٔ واریانس یکطرفه و به منظور مقایسهٔ مؤلفه‌های مورد مطالعه در تیمارهای مختلف از آزمون تعقیبی دانکن در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

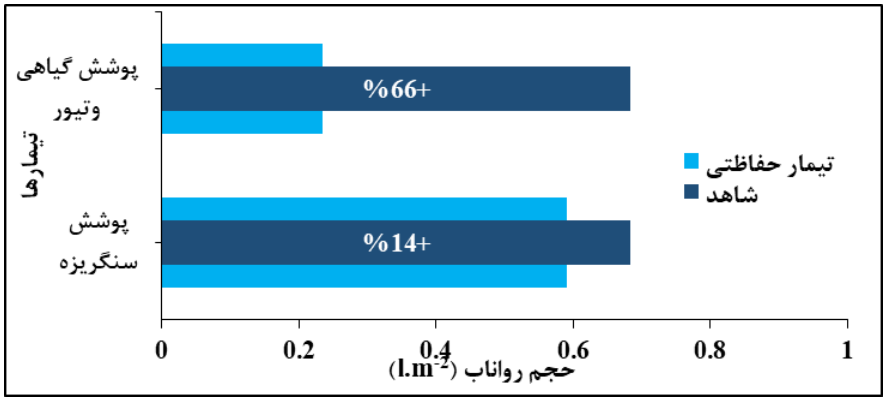
۳. نتایج

پس از انجام آزمایش‌های شبیه‌سازی باران، مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک به‌دست‌آمده از هر آزمایش مربوط به تیمارهای مورد نظر جمع‌آوری و داده‌های حاصل از هر مؤلفهٔ مورد بررسی، تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. برخی از خصوصیات آماری محاسبه‌شده برای مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدب- موازی در تیمارهای خاک لخت (شاهد) و دارای پوشش گیاهی مربعی‌شکل وتیور و پوشش سنگریزه در جدول ۱ ارائه شده است.

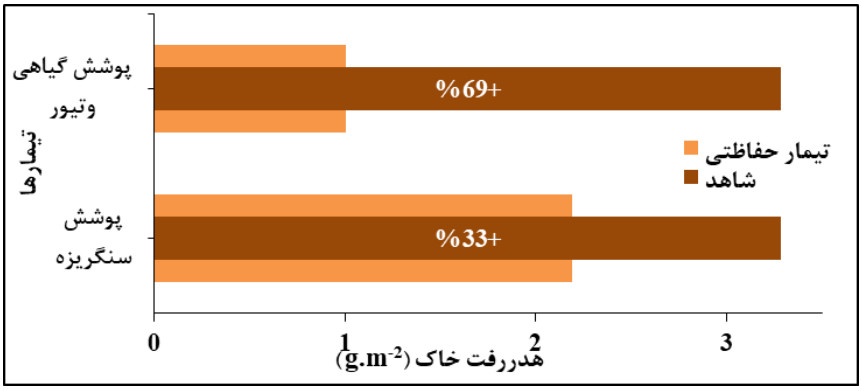
جدول ۱. آماره‌های توصیفی مؤلفهٔ حجم رواناب و مقدار هدررفت خاک در دامنهٔ محدب- موازی در تیمارهای مختلف در سه تکرار

دامنه	مؤلفه	تیمار	آماره‌های توصیفی				
			بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
محدب- موازی	حجم رواناب ($l.m^{-2}$)	شاهد	۰/۷۵	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۰۵	۰/۰۷
		پوشش گیاهی مربعی‌شکل	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۰۹
		پوشش سنگریزه	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۰۳
	مقدار هدررفت خاک ($g.m^{-2}$)	شاهد	۳/۵۱	۳/۲۲	۳/۳۲	۰/۱۶	۰/۰۵
		پوشش گیاهی مربعی‌شکل	۱/۰۲	۰/۹۹	۱/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳
		پوشش سنگریزه	۲/۲۵	۲/۱۳	۲/۱۹	۰/۰۶	۰/۰۳

در ارتباط با هر دو مؤلفهٔ رواناب و هدررفت خاک؛ با مقایسهٔ میانگین‌های سه تیمار مورد بررسی بر اساس جدول ۱، مشخص می‌شود که تیمار شاهد (بدون پوشش) و تیمار پوشش گیاهی به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را دارند. در این دامنه با اضافه شدن پوشش گیاهی و سنگریزه میانگین مقدار رواناب و هدررفت خاک کاهش پیدا کرده است. همچنین، این کاهش در سایر پارامترهای آماری نیز قابل مشاهده است، به طوری که پارامترهای بیشینه و کمینه در هر دو مؤلفه نیز در تیمار شاهد بیشتر از تیمار سنگریزه و پوشش گیاهی وتیور است. تأثیرات هریک از تیمارهای حفاظتی مورد مطالعه بر مقادیر میانگین رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدب- موازی در شکل ۴ ارائه شده است.



(الف)

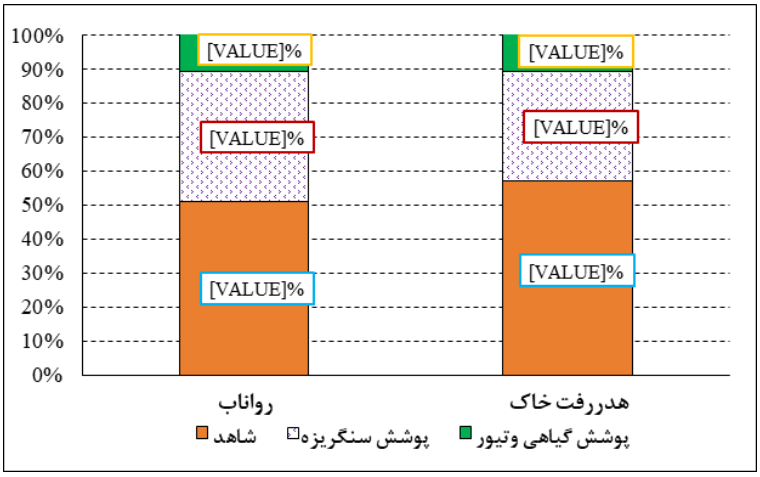


(ب)

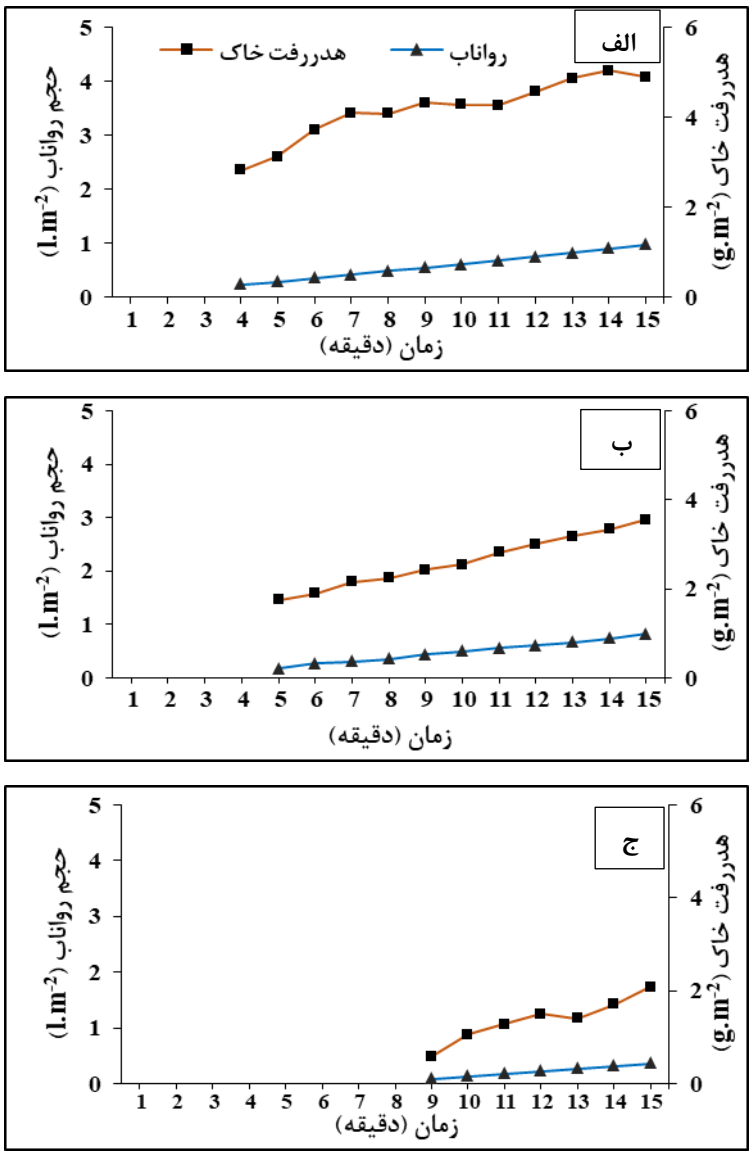
شکل ٤. تأثیرات تیمارهای حفاظتی مورد بررسی در کاهش مقادیر (الف) میانگین رواناب، (ب) میانگین هدررفت خاک در دامنهٔ محدب‌ـ موازی

با توجه به شکل (۴–الف) مشخص می‌شود که با اضافه شدن تیمارهای سنگریزه و پوشش گیاهی وتیور از مقدار رواناب کاسته می‌شود، ولی میزان کاهش اتفاق‌افتاده بر اثر اضافه شدن پوشش گیاهی بیشتر از پوشش سنگریزه است که نشان از تأثیرگذاری بیشتر این نوع پوشش دارد. بر اساس نتایج پوشش سنگریزه حدود ۱۳/۶ درصد و پوشش گیاهی وتیور حدود ۶۵/۷۶ درصد حجم رواناب را کاهش داده و سبب کنترل مقدار این مؤلفه شده‌اند. با توجه به تأثیر بیشتر پوشش گیاهی وتیور در کنترل رواناب نسبت به پوشش سنگریزه؛ این پوشش حدود ۵۲ درصد بیشتر از پوشش سنگریزه مقدار میانگین رواناب را کاهش داده است. با توجه به شکل (۴–ب) نیز مشخص می‌شود که پوشش سنگریزه نسبت به تیمار شاهد مقدار هدررفت خاک را حدود ۳۳/۳۷ درصد کاهش داده و این کاهش توسط پوشش گیاهی وتیور ۶۹/۴ درصد است که تأثیر حدود ۳۶ درصدی پوشش گیاهی وتیور را نسبت به پوشش سنگریزه در بحث کاهش مقدار هدررفت خاک و تأثیرگذاری بالاتر روی این مؤلفه نشان می‌دهد. در شکل ۵ مقایسهٔ درصد حجم کل رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدب‌ـ موازی در هر سه تیمار شاهد و تیمارهای پوشش گیاهی وتیور با الگوهای مربعی‌شکل و پوشش سنگریزه ارائه شده است.

با مقایسهٔ درصد حجم کل رواناب (مجموع هر سه تیمار) در دامنهٔ محدب‌ـ موازی مشخص شد که تیمار شاهد با ۵۱ درصد بیشترین مقدار و در ادامهٔ تیمار پوشش سنگریزه با ۳۸ درصد و در نهایت، پوشش گیاهی وتیور با ۱۱ درصد کمترین درصد را به خود اختصاص داده است. همچنین، در ارتباط با مؤلفهٔ هدررفت خاک نیز بیشترین مقدار مربوط به تیمار شاهد (بدون پوشش) (۵۷ درصد) هست و در ادامه پوشش سنگریزه (۳۲ درصد) و پوشش گیاهی وتیور با ۱۱ درصد قرار دارند. این نتایج نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت هر دو تیمار حفاظتی استفاده‌شده در آزمایش‌ها است که سبب شده است تا درصد هر دو مؤلفه مقدار رواناب و هدررفت خاک در دو حالت با پوشش سنگریزه و پوشش گیاهی وتیور کمتر باشد. در شکل ۶ تغییرات مقدار هدررفت خاک با مقدار رواناب ارائه شده است.



شکل ۵. مقایسهٔ درصد حجم کل رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدب- موازی در هر سه تیمار



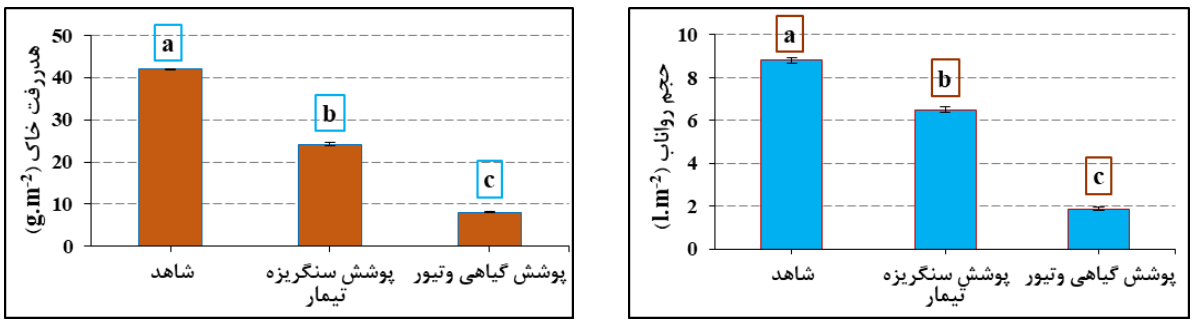
شکل ٦. تغییرات مقدار هدررفت خاک با مقدار رواناب در (الف) تیمار شاهد، (ب) تیمار سنگریزه و (ج) تیمار پوشش گیاهی وتیور

با توجه به شکل ۶ در هر سه تیمار مورد مطالعه طی انجام آزمایش شبیه‌سازی باران در دامنهٔ محدب- موازی مقدار رواناب و هدررفت خاک در حالت تیمار شاهد (بدون پوشش) دارای مقادیر بیشتری نسبت به تیمار پوشش سنگریزه و آن نیز بیشتر از پوشش گیاهی وتیور مربعی‌شکل است. همچنین، با افزایش مقدار رواناب طی آزمایش مقدار هدررفت خاک نیز افزایش پیدا می‌کند. با اضافه شدن پوشش سطحی (هم پوشش سنگریزه و هم پوشش گیاهی وتیور) به سطح خاک، سرعت جریان رواناب سطحی بر اثر ایجاد موانع موجود در مسیر کاهش پیدا می‌کند و همین عامل سبب می‌شود انرژی و قدرت رواناب سطحی کم شود و توانایی کنش خاک از روی سطح پلات نیز کاهش یابد به همین دلیل مقدار رسوبات حمل‌شده به وسیلهٔ رواناب نیز کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه پوشش گیاهی ابتدا با جذب انرژی باران به وسیلهٔ ذخیرهٔ برگابی و ایجاد جریان ساق‌آب[1] فرصت بیشتری به رواناب سطحی برای نفوذ به وجود می‌آورد. بنابراین تأثیر بیشتری نسبت به پوشش سنگریزه در کاهش مقدار رواناب و هدررفت خاک روی دامنهٔ محدب- موازی دارد. در جدول ۲ نتایج آزمون واریانس یکراهه متغیرهای مربوط به رواناب و هدررفت خاک در تیمارهای مورد بررسی ارائه شده است.

با توجه به نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه حاصل از نرم‌افزار SPSS مشخص می‌شود که پارامترهای میزان رواناب و مقدار هدررفت خاک در دامنهٔ محدب- موازی در تیمارهای مختلف مورد بررسی (شاهد، پوشش سنگریزه و پوشش گیاهی وتیور) از لحاظ آماری دارای تفاوت معناداری هستند (p-value <۰/۰۵). به منظور بررسی دقیق‌تر اقدام به محاسبه و مقایسهٔ مقادیر رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدب- موازی در تیمارهای مختلف به روش دانکن شد که نتایج آن در شکل ۷ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج بررسی آماری متغیرهای مورد مطالعه در تیمارهای حفاظتی مختلف نسبت به شاهد در دامنهٔ محدب- موازی با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه

دامنه	متغیر مورد مطالعه	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آمارهٔ F	P_{Value}
محدب- موازی	حجم رواناب ($l.m^{-2}$)	۷۴/۶۴	۲	۳۷/۳۲	۱۰۱۹/۴۵	۰/۰۰
	مقدار هدررفت خاک ($g.m^{-2}$)	۱۷۲۷/۱۵	۲	۸۶۳/۵۷	۵۰۸۰/۱۸	۰/۰۰



شکل ۷. مقایسهٔ متوسط مقدار کل (الف) حجم رواناب و (ب) هدررفت خاک در تیمارهای مختلف در دامنهٔ محدب- موازی بر اساس آزمون دانکن

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی می‌توان بیان کرد که در ارتباط با مؤلفهٔ حجم رواناب بیشترین حجم رواناب مربوط به تیمار شاهد، سپس تیمار پوشش سنگریزه و تیمار پوشش گیاهی وتیور کمترین حجم رواناب را دارد. در ارتباط با مؤلفهٔ هدررفت خاک نیز قابل ذکر است که بیشترین هدررفت خاک مربوط به تیمار شاهد (بدون پوشش) بوده و سپس تیمار پوشش سنگریزه مقدار هدررفت خاک بیشتری دارد و تیمار پوشش گیاهی وتیور کمترین مقدار هدررفت خاک را در دامنهٔ محدب- موازی دارد. در کل، می‌توان گفت که مقادیر متوسط هر دو مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک از نظر تیمارهای مختلف مورد بررسی دارای اختلاف معناداری بودند. بر این اساس، پوشش گیاهی نسبت پوشش سنگریزه در کنترل و کاهش حجم رواناب و هدررفت خاک مؤثرتر است.

1. Stemflow

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه پوشش سطح زمین تأثیر به‌سزایی روی مقادیر رواناب و هدررفت خاک دارد و مقادیر این مؤلفه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین به دلیل اهمیت در نظر گرفتن شکل واقعی و نزدیک به طبیعت دامنه‌ها در مطالعات حفاظت آب و خاک؛ پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه تأثیر پوشش سطحی سنگریزه و پوشش گیاهی وتیور روی مؤلفه‌های حجم رواناب و مقدار هدررفت خاک در دامنهٔ محدب- موازی انجام شد. در این راستا پس از انتقال گیاه وتیور به صورت شکل‌های مربعی و پوشش سنگریزه به صورت تصادفی روی پلات با شکل دامنهٔ محدب- موازی و انجام عملیات شبیه‌سازی بارش و جمع‌آوری نمونه‌های رواناب و رسوب و سپس تجزیه‌وتحلیل آن‌ها، بررسی تغییرات مقادیر میانگین رواناب در مورد تیمارهای مورد مطالعه نشان داد میزان تأثیری که پوشش گیاهی وتیور بر کاهش حجم رواناب و هدررفت خاک می‌گذارد بیشتر از پوشش سنگریزه است. با توجه به اینکه پوشش گیاهی به عنوان یک سپر حفاظتی از ارتفاع بالاتری با جذب قطرات باران بخش قابل توجهی از انرژی باران را به وسیلهٔ اندام‌های خود می‌گیرد و این انرژی را کاهش می‌دهد. لذا میزان رواناب و هدررفت خاک در این نوع پوشش کمتر می‌شود که این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های Pan و Shangan [۸۵]، Zhang و همکاران [۸۶]، یوسفی‌فرد و همکاران [۸۷]، خزایی و همکاران [۸۸] و لیلی [۸۹] هم راستا است. از سوی دیگر پوشش سنگریزه نیز با جلوگیری از تشکیل سله و افزایش نفوذ در کاهش مقادیر رواناب و هدررفت خاک مؤثر بوده [۹۰ و ۹۱] و مقادیر این مؤلفه‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به اینکه میزان ربایش در پوشش گیاهی بیشتر است و مقدار انرژی‌ای که از قطرات باران توسط این نوع پوشش جذب می‌شود بیشتر است. لذا تأثیر بیشتری نیز در مقایسه با پوشش سنگریزه در کاهش مقادیر این دو مؤلفه دارد [۹۲-۹۴].

تغییرات مقادیر هدررفت خاک با مقدار حجم رواناب نشان‌دهندهٔ این موضوع است که مقادیر رواناب و هدررفت خاک طی آزمایش در تیمار شاهد بیشتر از تیمارهای سنگریزه و پوشش گیاهی وتیور است. با توجه به اینکه تیمار شاهد در معرض برخورد ضربات مستقیم قطرات باران قرار دارد. بنابراین نفوذپذیری آن کاهش یافته و تولید رواناب و در پی آن هدررفت خاک از طریق شسته شدن ذرات خاک به وسیلهٔ قطرات باران در این تیمار افزایش می‌یابد. ولی پوشش‌های سنگریزه و گیاه وتیور با محافظت از سطح خاک ضمن بهبود شرایط نفوذپذیری خاک از تخریب فیزیکی آن نیز جلوگیری می‌کنند [۸۶، ۹۵ و ۹۶]. همچنین روند این تغییرات در هر سه تیمار افزایشی بوده به طوری که طی انجام آزمایش، با افزایش مدت زمان آزمایش مقدار رواناب بیشتر شده و با افزایش رواناب میزان نفوذ کاهش پیدا کرده است. به بیان دیگر، با نزدیک شدن به انتهای آزمایش و با نزدیک شدن به‌سرعت نفوذ نهایی مقدار رواناب و به تبع آن مقدار هدررفت خاک افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه انرژی جنبشی رواناب تولیدشده بیشتر شده و قدرت فرسایندگی آن افزایش پیدا می‌کند [۴۴، ۵۵ و ۹۷]. علاوه بر این، با افزایش مدت زمان بارندگی خاک اشباع می‌شود و مقدار نفوذپذیری آن کاهش می‌یابد و رواناب بیشتری نیز ایجاد می‌شود [۵۵]. از سوی دیگر شیب افزایشی بیشتر مقادیر حجم رواناب و هدررفت خاک در تیمار شاهد و پوشش سنگریزه نسبت تیمار پوشش گیاهی وتیور بیشتر بوده که نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت پوشش گیاهی بر این دو مؤلفه از طریق جذب انرژی باران از اولین نقاط بارشی به وسیلهٔ ذخیرهٔ برگابی است که مقدار رواناب را کاهش می‌دهد و از این طریق از فرسایش پاشمانی نیز جلوگیری می‌کند. بنابراین سبب کند شدن شیب تغییرات این دو مؤلفه شده است [۹۵-۹۷]. علاوه بر موارد یادشده، با اضافه شدن پوشش به سطح خاک در هر دو حالت زمان آستانهٔ شروع رواناب نیز افزایش پیدا می‌کند و همین عامل با افزایش بیشتر رطوبت سطحی خاک به رطوبتی که پس از آن رواناب سطحی ایجاد می‌شود، تشکیل رواناب به تأخیر می‌افتد [۸۶ و ۹۸] و سبب افزایش میزان نفوذ آب در خاک می‌شود [۹۹] و هدررفت خاک را کاهش می‌دهد [۲۲].

یافته‌های آماری همچنین نشان‌دهندهٔ اختلاف معنادار بین تیمارهای مختلف مورد بررسی در هر دو مؤلفه حجم رواناب و هدررفت خاک است، به طوری که در ارتباط با متوسط مقدار کل مؤلفهٔ رواناب میزان کاهش با اضافه شدن پوشش سنگریزه حدود ۲۶/۱ درصد و با اضافه شدن پوشش گیاهی این میزان به حدود ۷۸/۷ درصد می‌رسد. همچنین، در ارتباط با مؤلفهٔ هدررفت خاک نیز متوسط مقدار کل هدررفت خاک نیز در حالت پوشش سنگریزه حدود ۴۲/۶ درصد کمتر از حالت شاهد (بدون پوشش) است و این کاهش در پوشش گیاهی به حدود ۸۰ درصد می‌رسد که نشان‌دهندهٔ اختلاف معنادار بین سه تیمار مورد بررسی است،

به طوری که به طور متوسط میزان کاهش صورت گرفته به وسیلهٔ پوشش گیاهی نسبت به پوشش سنگریزه حدود دو برابر است که در مطالعات Govers و Poesen [۱۰۰]؛ Cheng و همکاران [۱۰۱]؛ Gyssels و Poesen [۱۰۲]؛ Gyssels و همکاران [۱۰۳]؛ Zhou و همکاران [۱۰۴]؛ Yu و همکاران [۱۰۵]، Du و همکاران [۱۰۶] نیز بر مؤثر بودن پوشش گیاهی به عنوان یک پوشش سطحی مهم در کاهش مقادیر رواناب و هدررفت خاک تأکید شده است. همچنین قابل ذکر است که با توجه به اینکه در دامنه‌های با نیمرخ طولی محدب جدا شدن ذرات خاک از بستر و برداشت خاک به وسیلهٔ رواناب از تمام طول دامنه اتفاق می‌افتد، پس این نوع از دامنه‌ها مقدار هدررفت خاک بیشتری دارند و تولید رسوب در این دامنه‌ها نسبت به سایر دامنه‌های مرکب بیشتر است [۸، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۴]. بنابراین همین عامل نیز می‌تواند بر بالاتر رفتن مقدار هدررفت خاک در هر سه تیمار مورد بررسی تأثیر گذاشته و مقادیر هدررفت خاک را تحت تأثیر قرار دهد. بر همین اساس، توجه به پوشش سطحی خاک به عنوان یک عامل بسیار مهم در بحث مدیریت و کنترل رواناب و هدررفت خاک به‌ویژه در دامنه‌های مرکب دارای اهمیت زیادی است. بنابراین با توجه به شرایط منطقه از نظر اقلیم، خاک‌شناسی، منابع آبی، زمین‌شناسی، بررسی‌های اقتصادی اجتماعی از منطقه و همچنین توپوگرافی به عنوان یک عامل مهم دیگر و همچنین نیازهای آبخیزنشینان می‌توان از پوشش مناسب از بین پوشش سنگریزه و پوشش گیاهی وتیور با توجه به هدف و نیاز منطقه در راستای برنامه‌های مدیریتی حفاظت آب و خاک استفاده کرد. بر این اساس، انتخاب گونهٔ مناسب برای تیمار پوشش گیاهی بر اساس شرایط مختلف منطقه، انتخاب درصد پوشش برای هر دو نوع پوشش مورد بررسی، آماده‌سازی دامنهٔ مرکب بر اساس شکل واقعی آن، تلاش در راستای یکسان نگه داشتن شرایط آزمایش از جمله مسائلی بودند که در پژوهش حاضر به‌دقت مورد توجه قرار گرفتند تا نتایج به‌دست‌آمده دارای کیفیت بالایی است و به طبیعت و واقعیت منطقه نیز نزدیک‌تر شوند.

تشکر و قدردانی

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

منابع

[1]. Heydarian, S. A., Mousavinejad, S. M., Qaituri, M., Isaei, H. Issues and problems of watershed management and planning and its adjustment solution. *Extension and Development of Watershed Management*, 2013; 1(3): 47-52. (In Persian).

[2]. Asgari, E., EsmaliOuri, A., Mostafazadeh, R., Ahmadzadeh, G. Investigating the effects of geological formations on the runoff and sediment yield using rainfall simulator in Gharehshiran watershed, Ardabil. *Hydrogeomorphology*, 2020; 7(22): 177-103. (In Persian).

[3]. Rodrigo-Comino, J., Senciales, J.M., Ramos, M.C., Martínez-Casasnovas, J.A., Lasanta, T., Brevik, E.C., Ries, J.B., Ruiz-Sinoga, J.D. Understanding soil erosion processes in Mediterranean sloping vineyards (Montes de Málaga, Spain). *Geoderma*, 2017; 296, 47-59.

[4]. Kinnell, P.I.A. The influence of time and other factors on soil loss produced by rain impacted flow under artificial rainfall. *Journal of Hydrology*, 2020; 1-44.

[5]. Talebi, A. Troch, P., Uijlenhoet R. A steady-state analytical hillslope stability model for complex hillslops, *Hydrological Processes*, 2008; 21.

[6]. Mombini, A., Amanian, N., Talebi, A., Kiani-Harchegani, M., Rodrigo-Comino, J. Surface roughness effects on soil loss rate in complex hillslopes under laboratory conditions. *Catena*, 2021; 26, 1-10.

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

[8]. Kiani-Harchegani, M., Talebi, A., Asgari, E., Rodrigo-Comino, J. Chapter 7 - Topographical features and soil erosion processes, Editor(s): Hamid Reza Pourghasemi, Computers in Earth and Environmental Sciences, *Elsevier*, 2022; 117-126.

[9]. Geranian, M., Amanian, N., Talebi, A., Hadian, M., Zeini, M. Laboratorial investigation of effect of plan shape and profile curvature on variations of surface flow in homplex hillslopes. Iran-Water Resources Research, 2013; 9(2): 64-72. (In Persian).

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

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

[12]. Mombini, A., Amanian, N., Talebi, A., Zeini, M. 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, 2018; 1-12. (In Persian).

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

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

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

[16]. Monfared. K., Talebi, A., Kiani-Harchegani, M. Comparison of tree litter effect on hydrological components of sheet erosion in hillslopes with the linear, concave and convex profiles. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 2021; 1(2): 102-111. (In Persian).

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

[18]. Zhao, B., Zhang, L., Xia, Z., Xu, W., Xia, L., Liang, Y., Xia, D. Effects of rainfall intensity and vegetation cover on erosion characteristics of a soil containing rock fragments slope. *Advances in Civil Engineering*, 2019; 1-14.

[19]. Sun, C., Hou, H., Chen, W. Effects of vegetation cover and slope on soil erosion in the Eastern Chinese Loess Plateau under different rainfall regimes. *Peer-reviewed journal*, 2021; 9, e11226: 1-19.

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

[21]. Asgari, E., Kiani-Harchegani, M., Talebi, A., Amanian, N. 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 & Environment*, June 09 & 10, 2021a; 1-12. (In Persian).

[22]. Lin Y.M., Cui P., Ge Y.G., Chen C., Wang D.J., Wu Ch.Gh., Li J., Zhang G.Sh., Lin H. The succession characteristics of soil erosion during different vegetation succession stages in dry-hot river valley of Jinsha River, upper reaches of Yangtze River. *Ecological Engineering*, 2014; 62: 13-26.

[23]. Sadeghi, S.M.M., Nazari, M., Van Stan, J.T, Chaichi, M.R. Rainfall interception and redistribution by maize farmland in Centeral Iran. *Journal of Hydrology*, 2020; 27:100656.
[24]. Burylo, M.F., Rey, F.E., Bochet, T., Dutoit, T. Plant functional traits and species ability for sediment retention during concentrated flow erosion. *Plant Soil*, 2012; 353, 135-144.
[25]. Graf, F., Frei, M. Soil aggregate stability related to soil density, root length, and mycorrhiza using site-specific Alnus incana and Melanogaster variegatus s.l. *Ecological Engineering*, 2013; 57: 314-323.
[26]. Saleh, I., Kavian, A., HabibnezhadRoushan, M., Jafarian, Z. The efficiency of vegetative buffer strips in runoff quality and quantity control. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2017; 15(4): 811-820.
[27]. Liu, J., Gao, G., Wang, S., Jiao, L., Wu, X., Fu, B. The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences*, 2018; 28(1), 59-78.
[28]. Liu, R., Thomas, B. W, Shi, X., Zhang, X., Wang, Z., Zhang, Y. Effects of ground cover management on improving water and soil conservation in tree crop systems: A meta-analysis. *Catena*, 2021; 199, 1-8.
[29]. Tang, C., Liu, Y., Li, Z., Guo, L., Xu, A., Zhao, J. Effectiveness of vegetation cover pattern on regulating soil erosion and runoff generation in red soil environment, southern China. Ecological Indicators, 2021; 129: 1-9.
[30]. Wang, J., Zhang, Y., Jia, J., Zhen, Q., Zhang, X. Effect of vegetation on the flow pathways of steep hillslopes: Overland flow plot-scale experiments and their implications. *Catena*, 2021; 204, 1-12.
[31]. Truong, P., Tan Van, T., Pinners, E. Vetiver system applications technical Reference manual. *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 2nd edition, 2008; 100 p.
[32]. Truong, P.N.V., Loch, R. Vetiver system for erosion and sediment control. ISCO 2004 - *13th International Soil Conservation Organisation Conference* – Brisbane, July 2004, 2004; 1-6.
[33]. Zarotti, C. Chapter 3. Collection, harvesting, processing, alternative uses and production of essential oil. In: Maffei M. (ed.), Vetiveria. The Genus Vetiveria. *Taylor & Francis (Pub)*, 2002; 191pp.
[34]. Loch, R.J., Truong, P., Smirk, D., Fulton, I. Vetiver grass for land management and reclamation. *In Proceedings of the Third AMEEF Innovation Conference "On the Threshold: Research into Practice"*, Brisbane, Qld, 15-17 August 2000, 2000; 116-122.
[35]. Niknahad H, Gholizadeh G M, Maramaee M G. Evaluating the effects of topography on the survival of Vetiver grass in the Kechik catchment. *Range*, 2014, 8(3): 230-237. (In Persian).
[36]. Hengchaovanich D. Vetiver Grass for Slope Stabilization and Erosion Control. Tech. Bull. No. 1998/2, PRVN / ORDPB, *Bangkok*, *Thailand*. 1998.
[37]. Asgari, E., KianiHarchegani, M., Talebi, A., Amanian, N. 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, 2021b; 1-12. (In Persian).
[38]. Kavian, A., Saleh, I., Habibnejad, M., Brevik, E.C., Jafarian, Z., Rodrigo-Comino, J. 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.
[39]. Adugna, O., Alemu, D., Melkamu, T. Evaluation of Vetiver Grass (Vetiver zizanodes) potential to soil erosion control at Assosa, Benishangul Gumuz, Ethiopia. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2019; 16(1): 33-38.
[40]. Wang, D., Yuan, Z., Cai, Y., Jing, D., Liu, F., Tang, Y., Song, N., Li, Zhao, Ch., Y., Fu, X. (). Characterization of soil erosion and overland flow on vegetation-growing slopes in fragile ecological regions: A review. *Journal of Environmental Management*, 2021; 285: 1-6.
[41]. Poesen, J.W., van Wesemael, B., Bunte, K., Benet, A.S. Variation of rock fragment cover and size along semiarid hillslopes: a case-study from southeast Spain. *Geomorphology*, 1998; 23(2-4): 323-335.
[42]. Yang, M., Zhang, K., Huang, Ch., Yang, Q. Effects of Content of Soil Rock Fragments on Soil Erodibility in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022; 19(2): 648.
[43]. Kalbali, S., Ghorbani Dashtaki, S., Naderi, M., Mirzaee, S. Investigating the Effect of Surface Gravel Cover on Runoff and Soil Erosion with Simulating Runoff. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 2020; 14 (48) :52-58. (In Persian).
[44]. Azartaj, E., Rasoulzadeh, A., Asghari, A., Esmali, A. The effect of surface gravel cover on runoff and soil loss using rainfall simulation (case study: Band Almas, Ardabil province). *the third national congress on organic and conventional agriculture*, 2014; Ardabil, Iran, 20-21 August 2014, 1-5. (In Persian).
[45]. Poesen, J.W., Torri, D., Bunte, K. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena*, 1994; 23(1-2): 141-166.
[46]. Lv, J., Luo, H., Xie, Y. Effects of rock fragment content, size and cover on soil erosion dynamics of spoil heaps through multiple rainfall events. *Catena*, 2019; 172: 179-189.

[47]. Jiaorong, L., Wenbo, Zh., Jinsheng, H., Han, L., Yongsheng, X. Effects of rock fragment content on erosion characteristics of spoil heaps under multiple rainfall events. *Advances in Water Science*, 2019; 30(2): 210-219.
[48]. Yakupoglu, T., Gundogan, R., Dindaroglu, T., Kusvuran, K., Gokmen, V., Rodrigo-Comino, J., Gyasi-Agyei, Y., Cerdà, A. Tillage impacts on initial soil erosion in wheat and sainfoin fields under simulated extreme rainfall treatments. *Sustainability*, 2021; 13: 789.
[49]. Javadi, P., Rouhipour, H., Mahjoubi, A. A. Effect of rock fragments cover on erosion and overland flow using flume and rainfall simulator. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 2005; 12(3): 278-310. (In Persian).
[50]. Poesen, J., Lavee, H. Rock fragments in tops soils: signification and processes. *Catena*, 1994; 23(1), 1-28.
[51]. Figueiredo, T., Poesen, J. Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil. *Soil and Tillage Research*, 1998; 46(1-2): 81-95.
[52]. Martinez-Zavala, L., Jordan, A. Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion from bare soils in Western Andalusia, Spain. *Soil Use Manage*, 2008; 24: 108-117.
[53]. Raeisian, R., Charkhabi, A.H. The effect of the presence of pebbles on the soil surface on the amount of soil loss. 9th Soil Science Congress of Iran, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, 28 Aguste 2005, 2005, 570-571. (In Persian).
[54]. Mirzaee, S., Gorji, M., Jafari Ardakani, A. Effect of surface rock fragment cover on soil erosion and sediment using simulated runoff. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 2012; 2(1): 141-154. (In Persian).
[55]. Azartaj, E., Rasoulzadeh, A., Asghari, A., Esmali, A. Investigation of Gravel Fragment Effect on Runoff Yield and Soil Erosion Using Rainfall Simulation (Case study: Watershed of Almas Bridge, Ardabil). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 2017; 48(1): 105-11. (In Persian).
[56]. Hejabi-Jordovey, F., Bashiri, M., Azarakhshi, M. The effect of surface rock fragments deployment pattern on soil erosion processes under simulated conditions. Environmental Erosion Research Journal, 2021; 11(1): 20-35. (In Persian).
[57]. Sekucia, F., Dlapa, P., Kollár, J., Cerdá, A., Hrabovský, A., Svobodová, L. Land-use impact on porosity and water retention of soils rich in rock fragments. *Catena*, 2020; 195, 104807.
[58]. Wang, X., Li, Z., Cai, C., Shi, Z., Xu, Q., Fu, Z., Guo, Z. Effects of rock fragment cover on hydrological response and soil loss from Regosols in a semi-humid environment in South-West China. *Geomorphology*, 2012; 151-152: 234-242.
[59]. Von Bennewitz, E., Aladro, J. The effects of rainfall intensity and rock fragment cover on soil hydrological responses in Central Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2017; 17(3): 781-793.
[60]. Li, H., Fan, D., Niu, J., Jia, G., Sun, J., Yu, X., Zhang, L. Effect of rock fragment cover on nutrient loss under varied rainfall intensities: a laboratory study. *Hydrology Research*, 2018; 49(2): 390-406.
[61]. Niu, Y., Gao, Zh., Li, Y., Luo, K. Effect of rock fragment content on erosion processes of disturbed soil accumulation under field scouring conditions. *Journal of Soils & Sediments: Protection, Risk Assessment, & Remediation*, 2019; 19(4): 1708-1723.
[62]. Li, X., Fu, S., Hu, Y., Liu, B. Effects of rock fragment coverage on soil erosion: Differ among rock fragment sizes?, *Catena*, 2022; 214 (2022): 1-8.
[63]. Li, X.Y. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena*, 2003; 52: 105-127.
[64]. Li, X.Y., Liu, L.Y. Effect of gravel mulch on Aeolian dust accumulation in the semiarid region of northwest China. *Soil and Tillage Research*, 2003; 70: 73-81.
[65]. Asgari, E., KianiHarchegani, M., Talebi, A., Amanian, N. 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, 2021c; 1-12. (In Persian).
[66]. Jahanbakhshi, F., Ekhtesasi, M.R., Soheili, E. 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, 2017; 1-9. (In Persian).
[67]. Jahanbakhshi, F., Ekhtesasi, M.R., Talebi, A., Piri M. Investigation of sediment production and runoff generation on rock formations of Shirkooh slopes of Yazd by using a rainfall simulator. *Journal of Water and Soil Science*, 2018; 22(2): 287-299. (In Persian).
[68]. Evans I.S. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Zeitschrifit fur Geomorphologie. Supplementband*, 1980; 36: 274-295.
[69]. Ghanizadeh, S., Safadoust, A., Nael, M., Yousefi, G. Comparison of sediment content in runoff and drainage water under two different slopes and cultivation types. *Applied Soil Research*, 2019; 6(4): 109-120. (In Persian).

[70]. Khaledi Darvishan, A. Sadeghi, S. Homaee, M. Arabkhedri, M. Affectability of runoff threshold and coefficient from rainfall intensity and antecedent soil moisture content in laboratorial erosion plots. *Iranian Water Researches Journal*, 2014, 8(2): 41-49. (In Persian).
[71]. Darboux, F., Davy, Ph., Gascuel-Odoux, C., Huang, C. Evolution of soil surface roughness and flowpath connectivity in overland flow experiments. *Catena*, 2001; 46: 125-139.
[72]. Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S.H., Asadi, H. Comparing grain size distribution of sediment and original soil under raindrop detachment and raindrop-induced and flow transport mechanism. *Hydrological Sciences Journal*, 2018; 63(2): 312-323.
[73]. Kukal, S.S., Sarkar, M. Splash erosion and infiltration in relation to mulching and Polyviny1 Alcohol application in Semi-Arid Tropics. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2010; 56(6): 697-705.
[74]. Homayoonfar, V. Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S.H.R. Effects of soil preparation for laboratorial erosion studies on surface runoff. *Journal of Watershed Management Research*, 2017, 7(14) :60-68. (In Persian).
[75]. Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S.H., Singh, V. P., Asadi, H., Abedi, M. Effect of rainfall intensity and slope on sediment particle size distribution during erosion using partial eta squared. *Catena*, 2019; 176: 65-72
[76]. Luk, S.H. Effect of antecedent soil moisture content on rain wash erosion. Catena, 1985; 12: 129-139.
[77]. Gheytoori, M. Heshmati, M., Shahbazi, Kh.. Technical instructions for the construction of a rainfed almond garden in Zagros mountain slopes. *Organization of Agriculture- Jahad Kermanshah*, First Edition, 2018; 36 p. (In Persian).
[78]. Sadeghi, S., Boshri Seghaleh, M., Rangavar, A. Comparing the sediment variation with hillside direction and plot length in storm wise soil erosion. *Water and Soil*, 2008; 22(2): 230-239. (In Persian).
[79]. Asadzadeh, F., Fegh-Hassan-Agha, M., Khodaverdiloo, H. Modeling of the effect of rock fragment cover and sizes on the sediment concentration using response surface method. *Applied Soil Research*, 2016; 3(1): 25-38. (In Persian).
[80]. Asadzadeh, F., Feghhe Hasan Agha, M., Khodaverdiloo, H. Application of the Central Composite Design for Predicting the Effects of Surface Rock Fragments on Soil Loss and Surface Flow Velocity. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 2017; 48(1): 165-176. (In Persian).
[81]. Parvizi, H., Sepaskhah, A.R. The effect of physical and chemical treatments on runoff, infiltration and soil loss. *Iran Agricultural Research*, 2016; 35(2): 9-18.
[82]. Mostafazadeh, R., Sadeghi, S. H., Sadoddin, A. Analysis of Storm-wise Sedimentgraphs and Rating Loops in Galazchai Watershed, West-Azarbaijan, Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 2014; 21(5): 175-191. (In Persian).
[83]. Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S. H. R., Asadi, H. Comparative Analysis of the Effects of Rainfall Intensity and Experimental Plot Slope on Raindrop Impact Induced Erosion (RIIE). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 2015; 46(4): 631-640. (In Persian).
[84]. Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S. H. R., Asadi, H. 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, 2017; 9(2): 205-216. (In Persian).
[85]. Pan, Ch., & Shanggan, Zh. Runoff Hydraulic characteris and sediment generation in Sloped grassplots under Simulated Rainfall condition. *Journal of Hydrology*, 2006; 331: 178-185.
[86]. Zhang, G.H., Liu, G.B., Wang, G.L., Wang, Y.X. Effects of vegetation cover and rainfall intensity on sedimentbound nutrient loss, size composition and volume fractal dimension of sediment particles. *Pedosphere*, 2011; 21(5): 676-684.
[87]. Yousefifard, M., Khademi, H., Jalalian, A. Degradation of soil quality during land use change in Cheshme Ali area of Chaharmahal Bakhtiari province. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2014, 14(1): 28-38. (In Persian).
[88]. Khazayi M, Shafeie A, Molayi A. Comparison of the Effect of Land Cover on Runoff, Sediment in the Mehrian Watershed. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 2013; 17(64): 185-195. (In Persian).
[89]. Leili, S. The effect of vegetative form and vegetation percentage on the amount of runoff and sediment. Master's thesis in the field of rangeland natural resources engineering, *University of Kurdistan*, 2017, 83p. (In Persian).
[90]. Mandal, U.K., Rao, K.V., Mishra, P.K., Vittal, K.P.R., Sharma, K.L., Narsimlu, B., Venkanna, K. Soil infiltration, runoff and sediment yield from a shallow soil with varied stone cover and intensity of rain. *European Journal of Soil Science*, 2005; 56: 435-443.
[91]. Martínez-Zavala L., Jordán López A., Bellinfante N. Seasonal variability of runoff and soil loss on forest road backslopes under simulated rainfall. *Catena*, 2008; 74: 73-79.
[92]. Battany M.C., Grismer M.E. Rainfall Runoff and Erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. *Hydrological Processes*, 2000; 14: 1289-1304.

[93]. Wainwright J., Parsons A.J., Abrahams A.D. Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: case studies from Arizona and New Mexico. *Hydrological Processes*, 2000; 14: 2921-2943.
[94]. Zangiabadi, M., Rangavar, A., Rafahi, H. G., Shorafa, M., Bihamta, M. R .Investigation of the most important factors affecting on soil erosion in Kalat semi-arid rangelands. *Water and Soil*, 2010; 24(4): 737-744. (In Persian).
[95]. Vasquez-Mendez, R., Ventura-Ramos, E., Oleschko, K., Hernandez-Sandoval, L. Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. *Catena*, 2010; 80: 162-169.
[96]. Kateb, H.E., Zhang. H., Zhang, P., Mosandl, R. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*, 2013; 105.
[97]. Casermeiro, M.A., Molina, J.A., Delacruz Caravaca, M.T., Hernando Massanet, M.I., Moreno, P.S. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate, Catena, 2004; 7: 97-107.
[97]. Navas, N. Soil losses under simulated rainfall in semi-arid shrublands of the Ebro Valley, Spain. *Soil Use Manage*, 1993; 9(4): 152-156.
[98]. Asgari, E., Esmali, A., Mostafazadeh, R., Ahmadzadeh, G. The relationship between runoff start threshold and soil surface characteristics and vegetation cover in the watershed of Ghareshiran, Ardabil. *1st National Conference of Ideas and New Technics in Geographical Science*, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 2017; 1-6. (In Persian).
[99]. Nunes, A.N., de Almeida, A.C., Coelho, C.O.A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography*, 2011; 31: 687-699.
[100]. Govers, G., Poesen, J. Assessment of interrill and rill contribution to total soil loss from an upland field plot. *Geomorphology*, 1988; 1: 343-354.
[101]. Cheng, G.W. Forest change: Hydrological effects in the upper Yangtze River valley. *Ambio*, 1999; 28(5): 457-459.
[102]. Gyssels, G., Poesen, J. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2003; 28(4): 371-384.
[103]. Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography*, 2005; 29(2): 189–217.
[104]. Zhou, Z.C., Shangguana, Z.P., Zhao, D. Modeling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau Area of China. *Ecological Modelling*, 2006; 198: 263-268.
[105]. Yu, X.X., Zhang, X.X., Li, J.L., Zhang, M.L., Xie, Y.Y. Effects of vegetation cover and precipitation on the process of sediment produced by erosion in a small watershed of loess region. *Acta Ecological Sinica*, 2006; 26(1): 1-8.
[106]. Du, J., Shi, C.X., Zhang, C.D. Modeling and analysis of effects of precipitation and vegetation coverage on runoff and sediment yield in Jinsha River Basin. *Water Science and Engineering*, 2013; 6(1): 44-58.