Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

The effect of alfalfa cover on runoff generation at the scale of erosive plots using a rainfall simulation

Zeynab Hajizadeh[1], Ebrahim Omidvar[2*], Hoda Ghasemieh[2]

[1] Ph.D. Student, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

[2] Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract

Introduction

Vegetation is a universal and effective method for water and soil conservation. The significant implications of soil loss necessitate the adoption of appropriate soil conservation practices and soil management solutions according to the regional climate. Investigation of the effects of soil cover on the soil erosion process can provide the information necessary for the success of soil and water conservation practices. In general, vegetation cover can mitigate runoff by increasing water infiltration, enhancing sediment trapping, reducing the kinetic energy of raindrop impact, increasing surface roughness, decreasing flow velocity, and controlling runoff hydraulic properties. The impact of vegetation cover on runoff generation has been studied at different spatial scales, from experimental to watershed scales, and most studies have shown the effectiveness of vegetation cover in reducing surface runoff. In arid regions, it may be difficult and economically infeasible to cover the entire surface area of a soil conservation project with vegetation. Therefore, the question arises as to how much of the soil surface should be covered to have an optimal impact on runoff generation. The main objective of this study was to evaluate the effects of different ratios of alfalfa coverage on runoff generation under simulated rainfall conditions.

Materials and methods

A completely randomized design was used with treatments based on the ratio of alfalfa coverage (0, 35, 65, and 90 %) under artificial rainfall conditions. The texture of the studied soil was sandy loam and collected from the surface horizon of farmlands in Kashan. All experimental plots were 2 m long, 0.55 m wide, and 0.35 meters deep with a metal runoff collector. Alfalfa seeds were planted at a spacing of 15×15 cm in the 35 % plot, 10×10 cm in the 65 % plot, and five in 10 cm in the 90 % plot. All plots were subjected to a simulated rainfall with an intensity of 90 mm hr^{-1} for 70 min. To achieve uniform antecedent moisture conditions, all plots were subjected to a 10-minute long simulated rainfall at an intensity of 90mm h^{-1} exactly one hour before the experiment.

During the experiment, the runoff and sediment samples were gathered using the metal collector (placed at the plot outlet) at 5-minute intervals. In order to investigate the changes in runoff reduction efficiency in different treatments and different testing periods, statistical criteria of runoff reduction efficiency were used. The Kolmogorov–Smirnov, one-way ANOVA, and Duncan's tests were used for data analysis.

Results and Discussion

The results indicated that the plant cover treatments were most effective in reducing runoff during the first 15 minutes of the experiments. However, their effectiveness decreased as the experiments progressed due to the soil's inability to pass water at a higher rate once the infiltration reached its final rate. The coverage ratio treatments (0, 35, 65, and 90 %) showed a significant difference in runoff generation ($p < 0.01$). The bare plots had the highest average runoff generation and were classified into a separate group (a). The plots with 35, 65, and 90 % coverage ratios had average runoff rates of 0.329 mm min^{-1}, 0.222 mm min^{-1}, and 0.112 mm min^{-1}, respectively, and were placed in separate groups as well. In the bare soil treatments, the high amount of rainfall drops on the soil surface without vegetation interception exceeded the infiltration rate and subsequently produced runoff. Additionally, soil sealing and crusting processes due to raindrop impacts could reduce infiltration and generate higher runoff. The

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

effectiveness of runoff reduction was also evaluated at 35, 65, and 90 % alfalfa cover. The results showed that 65 and 90 % cover significantly reduced runoff production, but no significant difference was observed between the 35 and 65 % levels.

Conclusion

In this study, we evaluated the influence of alfalfa coverage ratios on runoff generation in experimental conditions subjected to artificial rainfall. We found that higher coverage of alfalfa was associated with a delay and reduction in runoff generation. While all the examined vegetation cover percentages demonstrated an acceptable performance in reducing runoff and sediment. Furthermore, we were able to determine a practical threshold for coverage ratio, which could result in a significant decrease in surface runoff production. We found that a minimum of 65% alfalfa coverage was necessary to achieve this reduction. This threshold could be considered a beneficial criterion for soil and water conservation practices, especially in arid areas where dense vegetation establishment can be difficult and more expensive. This study is also particularly important for dry and semi-arid regions that face challenges of drought and soil erosion. The use of alfalfa as a vegetative cover can help to conserve soil moisture, reduce erosion, and improve water quality in these areas. In addition, vegetation plays a crucial role in soil and water conservation, and alfalfa, being a perennial plant with a deep root system, is a suitable option for erosion and runoff control in various regions, especially in dry and semi-arid areas.

Keywords: Alfalfa, Runoff coefficient, Soil and water conservation, Surface flow.

Article Type: Research Article

Acknowledgment

We would like to express our sincere gratitude to the University of Kashan for the financial and logistical support that significantly contributed to the research project.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the writing or publication of the contents and results of this research.

Data availability statement

All information and results are presented in the paper.

Authors' contribution

Zeinab Hajizadeh: Experiments, writing the initial version of the paper, performing software/statistical analysis; **Ebrahim Omidvar:** Guiding, conceptualization, editing the paper, controlling the results; **Hoda Ghasemieh:** Conceptualization, consultation, revision.

*Corresponding Author, E-mail: ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir

Citation: Hajizadeh, Z., Omidvar, E., & Ghasemieh, H. (2024). The effect of alfalfa cover on runoff generation at the scale of erosive plots using a rainfall simulation. *Water and Soil Management and Modeling,4(4), 99-110.*
DOI: 10.22098/mmws.2023.12800.1278

Received: 27 April 2023, Received in revised form: 14 June 2023, Accepted: 17 June 2023, Published online: 17 June 2023.
Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 4, pp. 99-110
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

تأثیر پوشش گیاه یونجه بر رواناب تولیدی در مقیاس کرت‌های فرسایشی با استفاده از شبیه‌ساز باران

زینب حاجی‌زاده[۱]، ابراهیم امیدوار[۲*]، هدی قاسمیه[۲]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

[۲] دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده

پوشش گیاهی یکی از عوامل مهم در کاهش میزان رواناب به واسطهٔ ربایش قطرات باران توسط تاج پوشش و کاهش انرژی جنبشی آن شده که این امر نشان‌دهندهٔ نقش بالای پوشش گیاهی در حفاظت خاک است. این پژوهش با هدف بررسی نقش پوشش گیاهی در مهار میزان رواناب با استفاده از شبیه‌ساز باران انجام شده است. در این پژوهش از سه سطح پوشش گیاهی (۳۵، ۶۵ و ۹۰ درصد) و یک تیمار شاهد (بدون پوشش) در سه تکرار تحت بارندگی با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت و دوام ۷۰ دقیقه‌ای استفاده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده با افزایش سطح پوشش از صفر به ۳۵، ۶۵ و ۹۰ درصد حجم رواناب به‌طور متوسط به‌ترتیب ۴۰/۷۷، ۵۱/۰۲ و ۵۹/۴۹ درصد کاهش یافت. هم‌چنین، ضریب رواناب در تیمارهای مذکور به‌ترتیب ۴۰، ۴۱ و ۷۲ درصد کاهش یافته است. نتایج حاصل از بررسی تغییرات زمانی رواناب نیز نشان داد که در انواع سطح پوشش‌ها میزان رواناب در دقایق ابتدایی آزمایش با شیب بالایی افزایش یافته و با نزدیک شدن به زمان‌های میانی و انتهایی به یک مقدار ثابت رسیده است. این یافته‌ها حاکی از آن بود که با نزدیک شدن به انتهای آزمایش و اشباع شدن خاک کارایی کاهش رواناب در انواع سطح پوشش‌ها کم‌تر شده است. نتایج حاصل از آزمون تجزیهٔ واریانس یک طرفه نیز نشان داد که مقادیر حجم رواناب در تیمار شاهد با تیمارهای مختلف پوشش گیاهی دارای اختلاف معناداری در سطح یک درصد هستند. در یک نتیجه‌گیری نهایی می‌توان بیان نمود که هر سه سطح پوشش‌گیاهی (۳۵، ۶۵ و ۹۰ درصد) عملکرد مناسبی در کاهش رواناب دارند. لذا برآورد میزان رواناب تولیدی در درصدهای مختلف برای شناخت چگونگی کنترل فرسایش خاک، سیل‌خیزی و تعیین بهینه‌ترین درصد سطح پوشش اهمیت ویژه‌ای دارد.

واژه‌های کلیدی: جریان سطحی، حفاظت آب و خاک، ضریب رواناب، یونجه

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir

استناد: حاجی‌زاده، زینب، امیدوار، ابراهیم، و قاسمیه، هدی (۱۴۰۳). تأثیر پوشش گیاه یونجه بر رواناب تولیدی در مقیاس کرت‌های فرسایشی با استفاده از شبیه‌ساز باران. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۴)، ۹۹-۱۱۰.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12800.1278

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۴، صفحه ۹۹ تا ۱۱۰

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

رواناب یکی از فرآیندهای مهمی است که باعث هدررفت خاک و عناصر غذایی آن می‌شود و کاهش حاصل‌خیزی خاک را به دنبال دارد (Perez-Latorre et al., 2010). هم‌چنین، کاهش رواناب و فرآیندهای فرسایش خاک در دامنه‌های پوشش گیاهی متأثر از عوامل زیادی مانند آب و هوا، توپوگرافی، درجهٔ شیب، تراکم آبراهه‌ها و بافت خاک است (Dunkerley, 2021; Saeediyan and Moradi, 2022). فعالیت‌های انسانی از قبیل چرای مفرط و جنگل‌زدایی منجر به کاهش پوشش گیاهی و در پی آن کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب شده است (Duan et al., 2022). پوشش گیاهی می‌تواند یکی از ابزارهای مهم برای مهار فرسایش آبی باشد (Rahmani Nenekaran et al., 2021). تعداد زیادی از مطالعات میدانی و آزمایشگاهی، اثربخشی پوشش‌های مختلف سطح خاک (مانند بقایای گیاهی، قطعات سنگ، خاک‌پوش‌های آلی، پوشش‌گیاهی، ریشه و ساقه‌های گیاهی) را در کاهش رواناب و از دست دادن خاک در شرایط مختلف محیطی نشان داده‌اند (Pan and Shangguan, 2006; Morgan, 2007). در این راستا، پوشش گیاهی نقش مهمی را در چرخهٔ هیدرولوژیک از طریق تبخیر، گیرش هوایی بارش‌ها، توزیع مکانی و زمانی آن‌ها، نگهداشت سطحی، نفوذ در سطح زمین، کاهش سرعت برخورد قطرات باران بر سطح زمین، کاهش رواناب و افزایش نفوذ آن ایفا می‌کند که اهمیت فوق‌العاده‌ای در حفاظت آب و خاک دارد (Azartaj et al., 2018). بنابراین، پوشش گیاهی می‌تواند به‌عنوان یک مانع فیزیکی در رخداد فرسایش عمل کرده و جریان رسوبات را در سطح زمین تغییر دهد (Negi et al., 1998). تخریب پوشش گیاهی و عدم مدیریت صحیح آن‌ها موجب مشکلات محیط زیستی و افزایش مخاطرات طبیعی در کشور شده است (Noor et al., 2023).

وجود پوشش گیاهی در سطح خاک می‌تواند از عوامل مهم کاهش فرسایش و رواناب باشد. بنابراین، کمبود سطح تاج پوشش و گیاهان به‌طور معناداری، میزان نرخ نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد؛ به این دلیل که انرژی جنبشی قطرات باران با سطح عاری از پوشش‌گیاهی، رابطهٔ مستقیم دارد (Kamphorst, 1987). از نظر هیدرولوژی نیز پذیرفته شده است که استفاده از پوشش گیاهی باعث کنترل فرسایش خاک، افزایش نفوذ، افزایش سطح زبری، به دام انداختن برخی از رسوبات و کاهش تعرق می‌شود (Pan and Shangguan, 2010). تولید رواناب با افزایش پوشش گیاهی در شرایط مختلف، کاهش نمایی نیز می‌تواند داشته باشد (Snelder and Bryan, 1995). هم‌چنین، وجود پوشش گیاهی در سطح خاک در هر منطقه‌ای، باعث افزایش زبری و کاهش سرعت جریان‌های سطحی می‌شود (Pan and Shangguan, 2006). در این زمینه مطالعات متعددی پیرامون اثر پوشش گیاهی بر میزان رواناب صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، Casermeiro et al. (2004) تأثیر بوته‌ها روی رواناب را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که ساختار و فرم رویشی پوشش‌گیاهی، عامل مهمی در شکل‌گیری رواناب است. در پژوهش دیگری، Marques et al. (2007) در جنوب مادرید کشور اسپانیا به بررسی اثر پوشش‌گیاهی روی رواناب و فرسایش خاک تحت شدت کم باران شبیه‌سازی‌شده پرداختند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که در کرت‌های حاوی پوشش‌گیاهی ضریب رواناب حدود ۰/۰۴ درصد و متوسط ضریب رواناب در خاک بدون پوشش گیاهی، چهار درصد است. هم‌چنین، Wu et al. (2011) نیز اثر پوشش یونجه در رواناب، فرسایش و ویژگی‌های هیدرولیک جریان سطحی را بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند که توانایی یونجه برای مقاومت در برابر فرسایش خاک و حرکت رسوب، بیش‌تر از خاک لخت بوده و اثر قابل‌توجهی در کاهش رواناب داشته است.

از سایر پژوهش‌ها، Kavianpour et al. (2015) با استفاده از شبیه‌ساز باران در مراتع استان مازندران به این نتیجه رسیدند که مقادیر مختلف پوشش گیاهی، تأثیر معناداری بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب در داشته است. به‌طوری که پوشش گیاهی حداکثر، بیش‌ترین سهم را در کاهش رواناب داشته است. در شهرستان بجنورد نیز Hatefi et al. (2020) در یک بررسی آزمایشگاهی با استفاده از شبیه‌ساز باران به نقش پوشش گیاهی در تولید رواناب در کرت‌های کوچک تحت چرخهٔ انجماد ذوب منطقه پرداختند. آن‌ها از چهار تیمار، بدون پوشش گیاهی (شاهد)، دو گونهٔ گندمی (*Medicago sativa*، *Agropyron trichophorum*) و یک گونهٔ علفی (*Lolium prenne*) استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تیمار گونه‌ها به‌ترتیب *Medicago sativa*، *Agropyron trichophorum* و *Lolium prenne* ۲/۹، ۲/۷ و ۶۷/۶ درصد حجم رواناب را نسبت به تیمار شاهد کاهش داده است. در ادامه، Rahmani Nenekaran et al. (2021) پاسخ هیدرولوژیکی پوشش گیاهی تحت شرایط شبیه‌سازی بارندگی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی بوته‌ای تأثیری مثبت و معنادار بر کاهش رواناب تولیدی به میزان ۷۵/۴۵ درصد دارد و بر عکس آن، پوشش گرامینه نتوانسته است نتایج قابل‌قبولی را در کاهش میزان رواناب نشان دهد. در نهایت، Rahmani Nenekaran et al. (2022) اثر نُه تیمار از ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی شامل غالبیت گرامینه بررسی و به این نتیجه رسیدند که اثر ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی بر تغییرات مؤلفه‌های رواناب معنادار است به‌طوری‌که حداکثر زمان شروع رواناب در تیمار بوته‌های پراکنده با ارتفاع عمدتاً کم و متوسط و حداقل میزان رواناب و ضریب رواناب در تیمار ترکیب بوته‌ای متراکم با گرامینه است.

مطالعات مختلف تحت شرایط مختلف محیطی نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت پوشش گیاهی بر میزان رواناب و فرسایش خاک است (Dunjo et al., 2004; Kuras et al., 2012). از آن‌جایی‌که اندازه‌گیری میزان رواناب و هدررفت خاک تحت شرایط طبیعی بارندگی، زمان‌بر و پرهزینه است (Sheridan et al., 2008)، لذا بهره‌گیری از شبیه‌سازهای باران می‌تواند در حل این دشواری کارگشا باشد. در هر حال باید توجه داشت که استفاده از باران‌سازها خود با محدودیت‌هایی از جمله این‌که بین ویژگی‌های بارندگی طبیعی و شبیه‌سازی شده مانند توزیع اندازهٔ قطرات و غیره تفاوت‌هایی وجود داشته است، مواجه هست (Mingguo et al, 2007). مطالعهٔ اثر پوشش گیاهی بر فرآیند رواناب می‌تواند اطلاعات لازم را برای موفقیت روش‌های حفاظت از خاک و آب فراهم کند. جمع‌بندی بررسی مستندات قابل دسترس در زمینه پژوهش مورد مطالعه نشان می‌دهد که علی‌رغم مطالعات فراوان در زمینهٔ پوشش‌های گیاهی مختلف در سطوح مختلف مطالعه‌ای روی گیاه یونجه در درصدهای مختلف بر کنترل رواناب، ضریب رواناب و بررسی تغییرات زمانی رواناب صورت نگرفته است. لذا، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر انواع درصدهای پوشش گیاه یونجه در عملکرد رواناب و ضریب رواناب برنامه‌ریزی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در بهبود توصیه‌های مدیریتی سازگار با مدیریت حوزه‌های آبخیز کشور و کمی نمودن تغییرات رواناب مفید واقع شود.

۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش پوشش گیاه یونجه (*Medicago stiva*) بر تولید رواناب در سطح کرت‌های آزمایشگاهی در گلخانهٔ دانشگاه کاشان انجام شده است. گیاه یونجه یکی از گیاهان چندسالهٔ دائمی با برگ‌های سه برگچه‌ای و ریشه‌های راست و جانبی است. این گیاه سازگاری بالایی با شرایط آب و هوایی مختلف دارد و تحمل بالایی را نسبت به خشکی نشان می‌دهد. خاک مورد مطالعه از اراضی کشاورزی شهرستان کاشان جمع‌آوری شد. این خاک با بافت لومی شنی (محتوای شن ۷۵/۸ درصد، سیلت ۱۶/۰ درصد و رس ۸/۲ درصد) و ۱/۶۹ درصد مادهٔ آلی در گروه هیدرولوژیکی B طبقه‌بندی می‌شود. آب و هوای شهرستان کاشان دارای کوهستانی و کویری است. موقعیت جغرافیایی این شهرستان از شمال و شمال غربی به استان قم، از طرف شرق و شمال شرقی به آران و بیدگل و دشت کویر، از طرف جنوب به شهرستان نطنز و از طرف غرب به شهرستان دلیجان منتهی می‌شود. با توجه به سیستم‌های هواشناسی این شهرستان دمای هوا در ارتفاعات مختلف متفاوت است و به‌طور متوسط دمای آن ۱۹/۷ درجهٔ سانتی‌گراد است (Yaghmai et al., 2008).

۲-۱- ویژگی کرت‌های آزمایشی و دستگاه شبیه‌ساز باران

کرت‌های آزمایشی، دارای اندازه‌هایی به ابعاد سطحی دو متر طول، ۰/۵۵ متر عرض و ۰/۳۵ متر عمق و با توجه به شیب متوسط منطقه، درجهٔ شیب کرت، ۱۵ درصد در نظر گرفته شد. در انتهای هر کرت نیز، جمع‌آوری‌کنندهٔ فلزی رواناب برای هدایت رواناب به یک ظرف نصب شد. به‌منظور یکسان‌سازی شرایط آزمایش و حداقل نمودن تفاوت بین تیمارهای مختلف، تمامی خاک‌های برداشت شده از صحرا با توجه به بررسی منابع مختلف از جمله Pan and Shangguan (2006) و Zhang et al. (2014) برای ایجاد شرایط مساعد برای رشد گیاه، حذف سنگ‌ریزه‌ها و قطعات درشت و بقایای گیاهی و دست‌یابی به شرایط آزمایشی یکنواخت، از الک ۱۰ میلی‌متری عبور داده شدند (Zhang et al., 2014). هم‌چنین، از یک دستگاه شبیه‌ساز باران (توسط شرکت سازنده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ساخته شده است) که سیستم بارش آب‌پاشی در آن قابل تنظیم بوده و در آن شدت بارش دقیقاً با تغییر سرعت چرخهٔ حرکت، تعداد چرخهٔ حرکت، زمان توقف در ابتدا و انتهای چرخه و زاویهٔ قرارگیری نازل (افشانک) و فشار آب تنظیم نمود، استفاده شد. ارتفاع باران‌ساز از سطح کرت، دو متر بوده است (شکل ۱). به‌منظور تنظیم دقیق شدت بارندگی، واسنجی دستگاه قبل از آزمایش‌ها انجام شد.

شکل ۱- کرت‌های آزمایشی تحت شبیه‌ساز بارندگی
Figure 1- Experimental plots under rainfall simulator

۲-۲- آزمایش شبیه‌سازی باران

در این مطالعه از گیاه یونجه به‌عنوان یک گیاه مصرفی منطقهٔ معرف انتخاب شد. به‌منظور ایجاد پوشش گیاهی و نیز آزمایش‌های مرتبط با پوشش گیاهی، ابتدا اقدام به کشت گیاه ذکر شده در

کرت‌های آماده شده در گلخانه شد. بدین‌صورت که آزمایش‌ها در چهار سطح مختلف پوشش گیاه یونجه شامل خاک بدون پوشش، ۳۵، ۶۵ و ۹۰ درصد پوشش و با سه تکرار انجام شد. به‌منظور ایجاد سطوح سه‌گانهٔ درصد پوشش، با توجه به روش ارائه شده توسط Pan and Shangguan (2006) عملیات کشت به‌گونه‌ای انجام شد که فاصلهٔ کشت بذرها در پلات ۳۵ درصد به‌صورت ۱۵ × ۱۵ سانتی‌متر، پلات ۶۵ درصد به‌صورت ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر و در پلات ۹۰ درصد به‌صورت ۷/۵×۷/۵ سانتی‌متر باشد. در نهایت، پس از گذشت چهار ماه از زمان کشت (اوایل خرداد ماه)، درصد پوشش گیاه یونجه به‌صورت چشمی به حد مورد نظر رسید. اما به‌منظور اندازه‌گیری دقیق درصد تاج پوشش در تیمارهای پوشش گیاهی، از روش عکس‌برداری و محاسبهٔ درصد فضاهای سبزرنگ در نرم‌افزار Photoshop cs5 استفاده شد (Wu et al., 2011). پس از آماده‌سازی کرت‌ها در ابتدا به‌منظور یکنواخت کردن رطوبت پیشین در بین تمامی تیمارها و تکرارها به مدت ۱۰ دقیقه بارش با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در سطح کرت صورت گرفت و پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه بارش متوقف شده تا آب نفوذ یافته به‌صورت یکنواخت در لایه‌های خاک توزیع شود. آزمایش شبیه‌سازی مورد نظر پس از ۲۰ دقیقهٔ مذکور، به مدت ۷۰ دقیقه با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت به انجام رسید. هم‌چنین، طی آزمایش، به‌منظور تعیین حجم رواناب هر پنج دقیقه یک مرتبه رواناب در انتهای کرت در سطل‌هایی جمع‌آوری شده و در خاتمهٔ آزمایش مجموع رواناب تولید شده در فواصل زمانی پنج دقیقه برای هر کرت محاسبه شد. لازم به ذکر است که شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت و تداوم ۷۰ دقیقه بر اساس آزمایش‌های مقدماتی، به‌منظور دست‌یابی به حداکثر تولید رواناب در نظر گرفته شد. هم‌چنین، با وجود واسنجی دستگاه باران‌ساز توسط شرکت سازنده برای تولید چنین شدتی، ابتدا آزمایش‌های اولیهٔ شدت بارندگی‌های مختلف از جمله ۹۰ میلی‌متر با استفاده از اندازه‌گیری باران توسط شش ظرف جمع‌آوری باران در قسمت‌های مختلف پلات (یک در دو متری) زیر باران‌ساز انجام و از صحت شدت باران اطمینان حاصل شد.

۲-۳- تجزیهٔ داده‌ها

پس از برداشت حجم رواناب در فواصل زمانی پنج دقیقه‌ای، ابتدا هیدروگراف‌ها برای تیمارهای مختلف با درصد پوشش متفاوت در محیط نرم‌افزار Excel 2016 رسم شده و سپس تغییرات زمانی آن‌ها بررسی شد. در این مطالعه ضریب رواناب با استفاده از تناسب رواناب تولید شده به بارش وارد شده ضرب در ۱۰۰ در کرت‌های آزمایشی محاسبه شد. به‌منظور بررسی تغییرات کارایی کاهش رواناب در تیمارهای مختلف و زمان‌های مختلف آزمایش از معیارهای آماری کارایی کاهش رواناب استفاده شد. این معیارها با مقایسهٔ رواناب تیمار نمونه با تیمار شاهد (خاک بدون پوشش) و براساس رابطهٔ (۱) محاسبه شدند (Sutherland,1998):

$$RRE_i = \left(R_{control} - R_i / R_{control}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

در رابطهٔ بالا، RRE_i اثربخشی کاهش رواناب به درصد، $R_{control}$ رواناب تیمار شاهد و R_i رواناب تیمار نمونه هستند. هم‌چنین، به‌منظور بررسی تغییرات میانگین متغیرهای حجم رواناب در تیمارهای مختلف درصد پوشش گیاه یونجه پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون تجزیهٔ واریانس یک طرفه و روش مقایسهٔ میانگین دانکن استفاده شد. در این خصوص از نرم‌افزارهای آماری Microsoft Excel 2016 و IBM SPSS Statistic 26 به‌منظور آماده‌سازی داده‌ها و تجزیهٔ آماری داده‌ها استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبهٔ آماره‌های توصیفی مقادیر حجم و ضریب رواناب در جدول ۱ ارائه شده است.

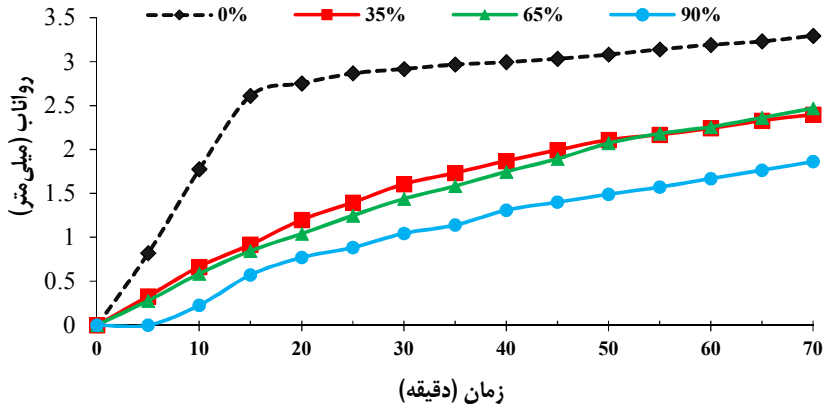
جدول ۱- مقادیر آماره‌های توصیفی حجم رواناب و ضریب رواناب در کل تیمارها

Table 1- Descriptive statistical values of runoff volume and runoff coefficient in all treatments

مؤلفه	شمارهٔ کرت	شاهد	35 درصد پوشش گیاهی	65 درصد پوشش گیاهی	90 درصد پوشش گیاهی
حجم رواناب (لیتر)	1	42.56	25.95	23.11	20.03
	2	42.1	26.86	19.98	16.27
	3	43.3	22.97	19.59	15.54
	میانگین	42.65	25.26	20.89	17.28
	انحراف معیار	0.61	2.03	1.93	2.41
	درصد ضریب تغییرات	1.43	8.04	9.24	13.94
ضریب رواناب (درصد)	1	0.94	0.52	0.57	0.28
	2	0.93	0.59	0.59	0.27
	3	0.95	0.58	0.50	0.24
	میانگین	0.94	0.56	0.55	0.26
	انحراف معیار	0.01	0.04	0.05	0.02
	درصد ضریب تغییرات	1.06	7.14	9.09	7.69

۳-۱- تغییرات زمانی ویژگی‌های رواناب در پوشش گیاهی یونجه

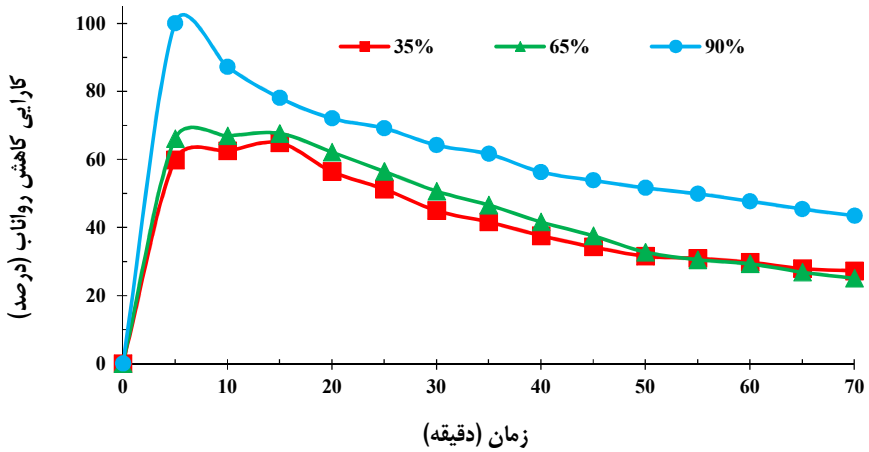
نتایج حاصل از محاسبهٔ تغییرات زمانی میانگین ارتفاع رواناب در تکرارهای مربوط به تیمارهای مختلف پوشش گیاهی یونجه در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در سطح ۳۵ درصد و ۶۵ درصد از همان پنج دقیقهٔ ابتدایی رواناب تولید شده است. به‌طوری‌که در پنج دقیقه ابتدایی در سطح ۳۵ و ۶۵ درصد، به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۲۷ میلی‌متر بر دقیقه بوده است و در سطح ۹۰ درصد، تولید رواناب در پنج دقیقهٔ دوم شروع شده است که برابر با ۰/۲۲ میلی‌متر بر دقیقه است. پوشش ۹۰ درصد نیز به علت تراکم بالا و جلوگیری از حرکت رواناب که باعث نفوذ بیش‌تر رواناب به خاک می‌شود باعث کاهش رواناب شده است.



شکل ۲- تغییرات زمانی ارتفاع رواناب در درصدهای مختلف پوشش پوشش گیاهی
(هر نمودار مربوط به میانگین سه تکرار در هر تیمار است)

Figure 2- Time changes in runoff height under different percentages of vegetation cover
(Each graph is the average of three replicates per treatment)

میزان کارایی کاهش رواناب نیز در سطح ۳۵، ۶۵ و ۹۰ درصد پوشش گیاه یونجه محاسبه و نمودار آن در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل و در مقایسه با میانگین تیمارهای بدون پوشش می‌توان بیان نمود که پوشش ۶۵ درصد و ۹۰ درصد کاهش چشم‌گیری در میزان تولید رواناب داشته، اما سطح ۳۵ درصد تفاوت زیادی با سطح ۶۵ درصد نداشته است. نتایج حاصل از آزمون تجزیهٔ واریانس یک طرفه در مورد حجم و ضریب رواناب نشان داد که مقادیر حجم و ضریب رواناب در خاک لخت با تیمارهای مختلف پوشش گیاهی دارای اختلاف معناداری در سطح یک درصد بوده است (جدول ۲).



شکل ۳- تغییرات زمانی کارایی کاهش رواناب در درصدهای مختلف پوشش گیاهی
(هر نمودار مربوط به میانگین سه تکرار در هر تیمار است)

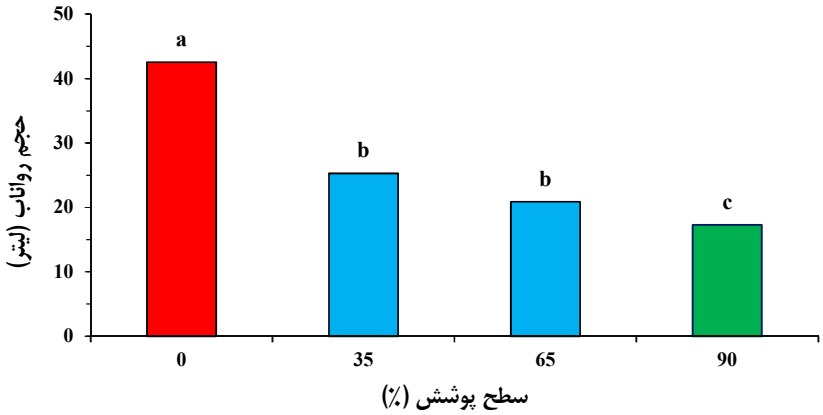
Figure 3- Time changes in runoff reduction efficiency under different percentages of vegetation cover
(Each graph is the average of three replicates per treatment)

جدول ۲- نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس یک طرفهٔ مقادیر حجم و ضریب رواناب در تیمارهای مختلف سطح پوشش گیاه

Table 2- One-way analysis of variance test results of volume and runoff coefficient values in different plant cover level treatments

	منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	سطح معناداری (یک درصد)
حجم رواناب	بین گروه‌ها	1128.03	3	376.01	0.00
	درون گروه‌ها	27.77	8		
	کل	1155. 80	11		
ضریب رواناب	بین گروه‌ها	0.688	3	0.229	0.00
	درون گروه‌ها	0.008	8		
	کل	0.696	11		

پس از مشخص شدن اختلاف معنادار آماری بین تیمارها به‌منظور مقایسهٔ میانگین مقادیر حجم رواناب در تیمارهای مختلف از آزمون دانکن استفاده شد. نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین در شکل ۴ نشان داد که پوشش صفر درصد (خاک لخت) با بیش‌ترین میانگین ارتفاع رواناب اختلاف معناداری در سطح یک درصد با سایر تیمارها داشته است. هم‌چنین، تیمار ۳۵ و ۶۵ درصد در یک گروه قرار گرفتند و نتایج اختلاف معناداری را بین این دو گروه نشان نداد. با توجه به این یافته‌ها در چنین شرایطی، اگر هدف ایجاد پوشش گیاهی در سطوح بین ۳۵ تا ۶۵ درصد باشد، از نقطه نظر تولید رواناب اختلاف معناداری بین این دو میزان پوشش وجود ندارد. در نتیجه با توجه به هزینه‌های ایجاد پوشش گیاهی، درصد پوشش بهینه در این سطوح (۳۵ و ۶۵ درصد) می‌تواند همان ۳۵ درصد باشد هرچند که پوشش ۹۰ درصد تولید رواناب به مراتب کم‌تری دارد.



شکل ٤- نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف درصد پوشش گیاه با استفاده از آزمون دانکن

Figure 4- Results of comparison of average treatments of plant cover percentage using Duncan's test

نتایج حاصل از محاسبهٔ تغییرات زمانی کارایی کاهش رواناب نشان داد که بیش‌ترین کارایی کاهش رواناب در تمامی تیمارهای سطح پوشش خاک، طی گام‌های زمانی صفر تا ۱۵ دقیقه بوده است. دلیل این امر، این است که خاک هنوز به‌اندازهٔ کافی اشباع نبوده و به‌دلیل سرعت نفوذ بالا، خاک درصد بیش‌تری از بارندگی را به خود جذب کرده است و هنوز رواناب قابل‌توجهی ایجاد نشده است. سایر نتایج، بیان‌گر این بود که هر چه به بازه‌های میانی نزدیک شده، رواناب بیش‌تری تولید شده و پوشش‌های گیاهی ۶۵ و ۹۰ درصد با کم کردن و متوقف کردن سرعت رواناب، فرصت نفوذ بیش‌تری را فراهم کرده و در نتیجه کارایی بالاتری از خود نشان داده‌اند. در انتهای آزمایش نیز با نزدیک شدن به سرعت نفوذ نهایی، رواناب در تمامی تیمارها افزایش یافته و در نتیجه کارایی آن‌ها در کاهش رواناب تقریباً یکسان شد. البته در این‌جا نیز پوشش‌های گیاهی بیش‌تر باز هم کارایی بالاتری داشته‌اند. این روند کلی در تغییرات ویژگی‌های رواناب طی زمان آزمایش با یافته‌های Pan and Shangguan (2006)، Gao et al. (2009) و Wildhaber et al. (2012) روی پوشش گیاهی، مطابقت دارد. سایر نتایج بررسی تغییرات زمانی نشان داد که پوشش گیاهی در تمام تیمارهای مطالعاتی دارای اثر حفاظتی بالایی بوده به‌گونه‌ای که میزان تولید رواناب به‌طور معنادار (در سطح یک درصد) کاهش یافته است. نتایج میزان اثربخشی کاهش رواناب در تیمارهای پوشش گیاه نیز نشان داد که تیمارهای ۳۵، ۶۵ و ۹۰ درصد پوشش گیاهی به‌ترتیب حجم

رواناب را ۴۰/۷۷، ۵۱/۰۲ و ۵۹/۴۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داده‌اند. هم‌چنین، تیمارهای مذکور ضریب رواناب را به‌ترتیب ۴۰، ۴۱ و ۷۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داده‌اند. بررسی دیگر نتایج حاصل از تأثیر پوشش گیاهی یونجه نیز حاکی از تأثیر مثبت و کارایی بالای این نوع پوشش بر کاهش رواناب بوده است. این یافته با نتایج Kim et al. (2014) مبنی بر این‌که حجم رواناب در گونه‌های پهن‌برگ به‌دلیل سطح بیش‌تر برگ کم‌تر است، مشابهت دارد. این گیاه به‌دلیل فاصلهٔ بسیار کمی که از سطح زمین دارد، آب باران را به‌درون خاک نفوذ می‌دهد که منجر به افزایش رطوبت اولیهٔ خاک می‌شود. هم‌چنین، Gao et al. (2009) نیز در پژوهش خود نشان دادند که حجم رواناب در تیمارهای مختلف پوشش گیاهی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۹۰ درصد)، به مراتب کم‌تر از خاک لخت بوده است. در نتیجه، نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌گران مذکور مبنی بر کاهش رواناب در کرت‌های دارای پوشش نسبت به کرت شاهد نیز تشابه قابل‌قبولی دارد. مقدار حجم رواناب در پوشش صفر درصد نیز به‌دلیل عدم وجود پوشش گیاهی، استعداد قابل‌توجهی در تولید رواناب دارد و در اثر بارش باران بر روی سطح خاک، حجم قابل‌توجهی از ذرات خاک شسته شده (Casermeiro et al., 2004; Pan and Shangguan, 2006) و در سطح زمین به حرکت در می‌آید و رواناب و رسوب ایجاد می‌کند. پوشش گیاهی عمدتاً از طریق چندین فرآیند، به مهار رواناب منجر می‌شود: (۱) گیاه به‌عنوان یک سپر می‌تواند از خاک محافظت کند و بخش قابل‌توجهی از انرژی قطرات باران را توسط شاخ و برگ و ساقه و ریشهٔ گیاهان کاهش دهد و میزان تخریب قطرات باران را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد، در نتیجه به کاهش سرعت رواناب از طریق افزایش نگهداشت باران و شدت نفوذپذیری خاک کمک می‌کند (Hou et al., 2020). (۲) پوشش گیاهی خاک به‌عنوان یک فیلتر، میزان به تله افتادن ذرات ریز فرسایش یافته را افزایش می‌دهد. هم‌چنین، ساقه‌های پوشش گیاهی به‌طور مؤثری به کاهش ظرفیت انتقال رسوب منجر می‌شود (Kervroëdan et al., 2019). (۳) سیستم ریشه‌ای پوشش گیاهی نیز از طریق اتصال و به‌هم پیوستگی ذرات خاک به افزایش نفوذپذیری و مقاومت آن نسبت به فرسایش منجر می‌شود. پوشش گیاهی، رطوبت سطح خاک را برای مدت طولانی حفظ می‌کند و این اثر، در کاهش میزان خیس شدن لایه‌های تحتانی پوشش گیاهی و در نتیجه روند خشکی خاکدانه‌ها مفید است (Duan et al., 2022). نتایج پوشش ۳۵ درصد و ۶۵ درصد اختلاف معناداری را نشان نداد که می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در صورت اتخاذ راه‌کارهای مدیریتی فرسایش از پوشش ۳۵ درصد استفاده کرد در حالی‌که برای مهار رواناب و سیل باید از پوشش‌های بالاتر، ۹۰ درصد استفاده کرد. نتایج به‌دست آمده با مطالعات Nie et al. (2020) و Duan et al. (2022) مبنی بر کاهش رواناب مطابقت دارد که در توجیه این امر می‌توان بیان کرد که پوشش گیاهی به‌عنوان یک لایهٔ حفاظتی روی خاک عمل و باعث کاهش رواناب و فرسایش می‌شود.

٤- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر پوشش گیاه یونجه بر میزان تولید رواناب در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت تحت شرایط شبیه‌سازی باران انجام شد. نتایج نشان داد که پوشش گیاه باعث تأخیر در شروع رواناب، افزایش نفوذ آب به درون خاک و رواناب زیرسطحی می‌شود. به‌طورکلی، نتایج حاصل از این پژوش نشان داد که پوشش گیاه یونجه دارای کارایی قابل‌قبولی در کاهش رواناب بوده و در یک جمع‌بندی کلی، می‌توان بیان نمود که پوشش سطح ۹۰ درصد نیز بیش‌ترین کارایی را در بین سطوح پوشش مورد بررسی داشته است. با توجه به این‌که امکان استقرار چنین پوششی در اراضی طبیعی به سختی فراهم بوده و حتی از نظر اقتصادی نیز به صرفه نبوده، بهتر است هدف درصدهای پوشش کم‌تر باشد. با توجه به نتایج این پژوهش در بین سطوح پوشش کم‌تر (۳۵ و ۶۵ درصد) تفاوت معناداری وجود نداشته و در شرایط مشابه با این پژوهش از نقطه نظر تولید رواناب می‌توان سطح پوشش ۳۵ درصد را به‌عنوان حد بهینهٔ پوشش گیاهی معرفی نمود. به‌طورکلی، نتایج پژوهش حاضر تنها از نقطه نظر تولید رواناب ارائه شده است. هرچند که پوشش گیاهی دارای مزایایی مانند کاهش فرسایش و رسوب، بهبود ساختمان خاک، ارزش علوفه‌ای، پایدار بودن و غیره هست. اما برای استقرار یک پوشش مناسب ممکن است چند سالی خاک بدون پوشش یا با پوشش کم باقی بماند. هم‌چنین، احیای پوشش گیاهی در بوم‌سازگان تخریب یافته سخت و دشوار است. از طرفی استفاده از پوشش گیاهی با تراکم زیاد معمولا در مراحل ابتدایی احیای پوشش گیاهی در این مناطق با وجود فرسایش شدید مشکل است. نتایج مطالعه حاضر بیان‌گر اثرگذاری مناسب پوشش گیاهی با تراکم کم در کاهش رواناب بوده که راه‌حل مناسبی را برای کنترل رواناب و کاهش سیل‌خیزی در مناطق با تولید رواناب و رسوب بالا که شرایط و امکان استقرار گیاه فراهم است، به مدیران ارائه می‌دهد. در نهایت، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تمامی انواع درصدهای پوشش گیاهی مورد بررسی دارای کارایی قابل‌قبولی در کاهش رواناب و رسوب هستند. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و سوابق پیشین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مشابه در کرت‌های با ابعاد بزرگ‌تر و یا در سطح دامنه روی انواع پوشش‌های گیاهی مختلف صورت پذیرد تا بتوان یک جمع‌بندی جامعی را در مورد اثر پوشش گیاهی روی تولید رواناب انجام نمود.

سپاسگزاری

از همکاری و مساعدت دانشگاه کاشان جهت حمایت و تأمین مالی پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

تمامی اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

زینب حاجی‌زاده: انجام عملیات کاشت و نگهداری در گلخانه و آزمایش‌های شبیه‌سازی باران، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری؛ **ابراهیم امیدوار:** راهنمایی، مفهوم‌سازی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج؛ **هدی قاسمیه:** مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله.

منابع

آذرتاج، الناز، رسول‌زاده، علی و اصغری، علی (۱۳۹۷). بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر رواناب و فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌سازی بارندگی در منطقه حیران اردبیل. *مهندسی و مدیریت آبخیزداری*، ۱۰(۱)، ۱-۱۳.

رحمانی ننه‌کران، فردین، اسمعلی‌عوری، اباذر، حزباوی، زینب، کله‌هوئی، مهین، احمدی، محمد، و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۴۰۰). شبیه‌سازی اثر نوع پوشش گیاهی بر پاسخ هیدرولوژیکی در مقیاس کرت صحرایی. دهمین کنفرانس بین‌المللی سامانه‌های سطوح آبگیر باران. دانشگاه کردستان، ۱-۷.

رحمانی ننه‌کران، فردین، اسمعلی‌عوری، اباذر، کله‌هوئی، مهین، احمدی، محمد، مصطفی‌زاده، رئوف، حزباوی، زینب (۱۴۰۱). تغییرپذیری مؤلفه‌های رواناب و رسوب از ترکیب‌ها و درصدهای مختلف پوشش گیاهی. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۲(۴)، ۱۵۸-۱۷۳.

سعیدیان، حمزه، و مرادی، حمیدرضا (۱۴۰۱). مقایسه رواناب و رسوب سازندهای گچساران و آغاجاری تحت شبیه‌سازی باران در کاربری‌های مختلف اراضی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۶۸-۵۵.

کاویان‌پور، امیرحسین، جعفریان، زینب، اسمعلی، اباذر، کاویان، عطاالله (۱۳۹۴). اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران در مراتع نشو استان مازندران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۶ (۵۸ (۲))، ۱۷۹-۱۹۰.

نور، حمزه، عرب‌خدری، محمود، و دسترنج، علی (۱۴۰۲). ارزیابی اثر قرق مرتع بر فرسایش خاک در مقیاس کرت (مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۲)، ۶۶-۷۷.

هاتفی، میلاد، صادقی، حمیدرضا، عرفان‌زاده، رضا، و بهزادفر، مرتضی (۱۳۹۹). بررسی آزمایشگاهی نقش پوشش گیاهی در تولید رواناب در کرت‌های کوچک تحت چرخه انجماد ذوب. *آب و خاک*، ۳۴(۴)، ۷۵۵-۷۶۴.

یغمایی، لیلا، صبوحی، راضیه و حجه‌فروش‌نیا، شیلا (۱۳۸۸). آنالیز خشکسالی با استفاده از GIS (مطالعه موردی منطقه کاشان)، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن.

References

Azartaj, E., Rasoulzadeh, A., & Asghari, A. (2018). Investigation of land use change effect on runoff and soil erosion using rainfall simulation in Heiran area, Ardabil, *Watershed Engineering and Management*, *10*(1), 1-13. doi:10.22092/ijwmse.2018.115656. [In Persian]

Casermeiro, M.A., Molina, J.A., Delacruz Caravaca, M.T., Hernando Massanet, M.I., & Moreno, P.S. (2004). Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate, *Catena*, 7, 97-107. doi:10.1016/s0341 8162(03)00160-7

Duan, J., Liu, Y.J., Wang, L.Y., Yang, J., Tang, C.J., & Zheng, H.J. (2022). Importance of grass stolons in mitigating runoff and sediment yield under simulated rainstorms. *Catena*, *213*, 106132. doi:10.1016/j.catena.2022.106132

Dunjo, G., Pardini, G., & Gispert, M. (2004). The role of land use–land cover on runoff generation and sediment yield at a microplot scale. *Journal of Arid Environment*, 57, 99–116. doi:10.1016/S0140-1963(03)00097-1

Dunkerley, D. (2021). The importance of incorporating rain intensity profiles in rainfall simulation studies of infiltration, runoff production, soil erosion, and related land surface processes. *Journal of Hydrology*, *603*, 126834. doi:10.1016/j.jhydrol.2021.126834

Gao, Y., Zhu, B., Zhou, P., Tang, J.L., Wang, T., & Miao, C.Y. (2009). Effects of vegetation cover on phosphorus loss from a hillslope cropland of purple soil under simulated rainfall: a case study in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *85*, 263-273. doi:10.1007/s10705-009-9265-8

Hatefi, M., Sadeghi, H.R., Erfanzadeh, R. & Behzadfar, M. (2020). Laboratory investigation of the role of vegetation in the production of runoff in small plots under the freeze-thaw cycle. *Journal of Water and Soil, 34*(4), 764-755. doi: 10.22067/JSW.V34I4.76389. [In Persian]

Hou, G., Bi, H., Huo, Y., Wei, X., Zhu, Y., Wang, X., & Liao, W. (2020). Determining the optimal vegetation coverage for controlling soil erosion in *Cynodon dactylon* grassland in

North China. *Journal of Cleaner Production*, *244*, 118771. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118771

Kamphorst, A. (1987). A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility. *Agriculture Science*, *35*, 407-415. doi:10.18174/njas.v35i3.16735

Kavianpour, A.M., Jafarian, Z., Ismaili, A., & Kavian, A. (2015). The effect of vegetation cover on reducing runoff and soil loss using a rain simulator in uncultivated pastures of Mazandaran province. *Geography and Environmental Planning*, *26*(58(2)), 179-190. doi: 20.1001.1.20085362.1394.26.2.12.3. [*In Persian*]

Kervroëdan, L., Armand, R., Saunier, M., & Faucon, M. P. (2019). Effects of plant traits and their divergence on runoff and sediment retention in herbaceous vegetation. *Plant and Soil*, *441*, 511-524. doi:10.1007/s11104-019-04142-6

Kim, J.K., Onda, Y., Kim, M.S., & Yang, D.Y. (2014). Plot-scale study of surface runoff on well-covered forest floors under different canopy species. *Quaternary International*, *344*, 75-85. doi:10.1016/j.quaint.2014.07.036

Kuras, P.K., Alila, Y., & Weiler, M. (2012). Forest harvesting effects on the magnitude and frequency of peak flows can increase with return period. *Water Resources Research*, *48*(1). doi:10.1029/2011WR010705

Marques, M.J., Bienes, R., Jiménez, L., & Pérez-Rodríguez, R. (2007). Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots. *Science of the Total Environment*, *378*(1-2), 161-165. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.01.043

Mingguo, Z., Qiangguo, C., & Hao, C. (2007). Effect of vegetation on runoff-sediment yield relationship at different spatial scales in hilly areas of the Loess Plateau, North China. *Acta Ecologica Sinica*, *27*(9), 3572-3581.doi:10.1016/S1872-2032(07) 60075-4

Morgan, R.P. (2007). Vegetative-based technologies for erosion control. In *Eco-and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability: Proceedings of the First International Conference on Eco-Engineering 13–17 September 2004* (pp. 265-272). doi:10.1007/978-1-4020-5593-5_26

Negi, G.C.S., Joshi, V., & Kumar, K. (1998). Spring sanctuary development to meet household water demand in the mountaiCns: a call for action. *Research for Mountain Development: Some Initiatives and Accomplishments. Gyanodya Prakashan, Nainital, India*, 25-48.

Nie, J., Dai, P., & Sobel, A.H. (2020). Dry and moist dynamics shape regional patterns of extreme precipitation sensitivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*(16), 8757-8763. doi:10.1073/pnas.1913584117

Noor, H., Arabkhedri, M., & Dastranj, A. (2023). Evaluation of the effect of range exclosure on soil erosion at plots scale (Case study: Sanganeh Soil Conservation Research Site). *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(2), 66-77. doi:10.22098/mmws.2022.11286.1116. [In Persian]

Pan, C., & Shangguan, Z. (2006). Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions. *Journal of Hydrology*, *331*(1-2), 178-185. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.05.011

Pan, C., Ma, L., & Shangguan, Z. (2010). Effectiveness of grass strips in trapping suspended sediments from runoff. *Earth Surface Processes and Landforms*, *35*(9), doi:1006-1013. doi:10.1002/esp.1997

Perez-Latorre, F.J., de Castro, L., & Delgado, A. (2010). A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. *Soil and Tillage Research*, *107*(1), 11-16. doi:10.1016/j.still.2009.12.009

Rahmani Nenekaran, F., Esmaeli Ouri, A., Hazbavi, Z., Kalehhouei, M., Ahmadi, M., & Mostafazadeh, R. (2021). Simulation of the effect of vegetation type on hydrological response at the scale of a field plot. The 10th International Conference on Rain Catchment Surface Systems, Kordestan, Iran, Pp. 1-7. [In Persian]

Rahmani Nenehkaran, F., Esmaeli Ouri, A., Kalehhouei, M., Ahmadi, M., Mostafazadeh, R., & Hazbavi, Z. (2022). The changeability of runoff and sediment components from different compositions and percentages of vegetation. *Environmental Erosion Research Journal*, 12(4), 158-173. 20.1001.1.22517812.1401.12.4.8.9. [In Persian]

Saeediyan, H., & Moradi, H.R. (2022). Comparing of the runoff and sediment of different land uses in Gachsaran and Aghajari formations under rain simulation. *Water and Soil Management and Modeling*, *2*(2), 55-68. doi:10.22098/MMWS.2022.9802.1065. [In Persian]

Sheridan, G.J., Noske, P.J., Lane, P.N., & Sherwin, C. B. (2008). Using rainfall simulation and site measurements to predict annual interrill erodibility and phosphorus generation rates from unsealed forest roads: Validation against in-situ erosion measurements. *Catena*, *73*(1), 49-62. doi:10.1016/j.catena.2007.08.006

Snelder, D.J., & Bryan, R.B. (1995). The use of rainfall simulation tests to assess the influence of vegetation density on soil loss on degraded rangelands in the Baringo District, Kenya. *Catena*, *25*(1-4), 105-116. doi:10.1016/0341-8162(95)00003-B

Sutherland, R.A. (1998). Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a

critical review, synthesis and analysis of available data. I. Background and formative years. *Land Degradation & Development*, *9*(6), 465-486. doi:10.1002/(SICI)1099145X(199811/12)9:6<465::AID-LDR311>3.0.CO;2-4

Wildhaber, Y.S., Bänninger, D., Burri, K., and Alewell, C. (2012). Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland, *Catena*, 91, 56-62. doi: 10.1016/j.catena.2011.03.004

Wu, S., Wu, P., Feng, H., & Merkley, G.P. (2011). Effects of alfalfa coverage on runoff, erosion and hydraulic characteristics of overland flow on loess slope plots. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, *5*, 76-83. doi:10.1007/s11783-011-0282-x

Yaghmai, L., Sabohi, R., & Hajjaforushnia, Sh. (2008). Drought analysis using GIS (case study of Kashan region), The Second National Conference on the Effects of Drought and Its Management Solutions. [In Persian]

Zhang, G., Liu, G., Zhang, P., & Yi, L. (2014). Influence of vegetation parameters on runoff and sediment characteristics in patterned *Artemisia capillaris* plots. *Journal of Arid Land*, *6*, 352-360. doi:10.1007/s40333-013-0224-5