Journal of Ecohydrology
Online ISSN: 2423-6101
University of Tehran Press
Home Page: https://ije.ut.ac.ir

Investigation of plant cover on water balance components in extreme rainfall events (Case study: Kakhk Paired Watershed of Gonabad)

Fereshteh Rahimi AghCheshmeh,[1] Mohammad Taghi Dastorani,[2] Kamaluddin Naseri,[3] Ali Bagherian Kalat,[4] Masoud Eshghizadeh[5]

1. PhD Student, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: fereshterahimi72@gmail.com
2. Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: dastorani@um.ac.ir
3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: klnaseri@um.ac.ir
4. Researcher, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran. Email: alibagheriankalat@gmail.com
5. Assistant Professor, Department of Agricultural and Natural Resources Engineering, Faculty of Science, Gonabad Higher Education Complex, Khorasan Razavi, Gonabad, Iran. Email: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 1 December 2024
Received in revised form 13 January 2025
Accepted 26 February 2025
Available online 21 March 2025

Keywords:
water balance,
rain simulation,
TDR device,
soil moisture,
runoff.

ABSTRACT

Objective: Reducing the volume and intensity of surface runoff in watersheds is of great importance as one of the central issues in natural resource management, especially watershed management and soil conservation. plant cover, with significant effects on the hydrological cycle, is an important factor in increasing water infiltration and reducing flooding.

Method: This study was conducted to investigate the effect of plant cover on water balance components in the Kakhk Gonabad paired basin of Khorasan Razavi province. Experiments were conducted on 10 experimental plots measuring 120 × 89 cm, at 2 low and high slopes (15-25 percent and 40-55 percent) and a rainfall intensity of 84 mm/h using a rain simulator. The plots included five types of plant cover (bunchgrasses, forb, shrub and Combination cover, without cover) with two replications. Runoff, sediment load, and soil loss data were collected from the reservoirs at the ends of the plots, and soil moisture was measured with a TDR device in two stages (before and after rainfall).

Results: The results showed that plot number 2, with 73% shrub cover, had the lowest runoff (2.2 liters) and soil loss (40.3 grams). Also, the slope of the land had a significant effect on runoff and water infiltration.

Conclusions: These findings emphasize the importance of selecting appropriate plant species, with characteristics such as strong roots and dense cover, in soil and water conservation programs.

Cite this article: Rahimi AghCheshmeh, F., Dastorani, M.T., Naseri, K., Bagherian Kalat,A., Eshghizadeh, M. (2025). Investigation of plant cover on water balance components in extreme rainfall events (Case study: Kakhk Paired Watershed of Gonabad). *ECOHYDROLOGY*, 12 (1), 595-612. https://doi.org/10.22059/IJE.2025.386114.1853

© Fereshteh Rahimi AghCheshmeh, Mohammad Taghi Dastorani, Kamaluddin Naseri, Ali Bagherian Kalat, Masoud Eshghizadeh.
Publisher: University of Tehran Press. DOI: https://doi.org/10.22059/IJE.2025.386114.1853

Introduction

Plant cover is one of the effective factors in reducing the negative effects of surface runoff and soil loss in watersheds. Plants play an important role in runoff control and soil protection by strengthening soil structure, increasing permeability, and reducing water flow velocity. At the same time, climate change and heavy rainfall have created special conditions in watersheds that call into question the effect of plant cover on water balance components. This study aimed to investigate these effects and identify the type of plant cover suitable for runoff control and soil protection.

Materials and Methods

This study investigates the effect of plant cover on water balance components under heavy rainfall conditions in the Kakhk Gonabad watershed, Khorasan Razavi Province. The experiments were conducted using a portable non-pressure rain simulator on plots measuring 89 × 120 cm and on two slopes: low (15-25%) and high (40-55%) under artificial rainfall at an intensity of 84 mm/h. Five types of plant cover including (bunchgrasses, forb, shrub and Combination cover and without cover were investigated. Research data such as runoff, rainfall volume, runoff rate and soil loss were collected and recorded using experimental plots under the rain simulator and precise instruments such as TDR device to measure soil moisture and hydrometric method to determine soil texture. To investigate the effects of rainfall on soil moisture and permeability, soil moisture was measured before and after rainfall with TDR device. Also, the produced runoff was transferred to the laboratory to determine the amount of mud and sediment and the amount of soil loss was examined.

Results

The results of the study showed that shrub cover has the greatest effect on reducing runoff and soil loss, so that plot number 2, with 73% shrub cover, had the lowest runoff (2.2 liters) and soil loss (40.3 grams). Also, a significant relationship was observed between the slope of the land and the amount of runoff and infiltration. The findings showed that plant species with a strong root system and dense cover play a key role in reducing runoff and protecting soil. As a result, the use of native species that are adapted to regional conditions was suggested as an effective solution for managing natural resources and protecting watersheds.

Conclusion

Appropriate plant cover can play an effective role in reducing runoff and preserving soil resources. The use of plant species that are adapted to regional conditions and have characteristics such as strong roots and dense cover is recommended for water and soil protection. Furthermore, the results indicate that as the land slope increases, the volume of surface runoff increases significantly and water infiltration into the soil decreases. Land slope not only accelerates surface flows, but also intensifies the effects of precipitation on the hydrological cycle.

Author Contributions

In this study, all authors participated in different stages of the research. The first author was responsible for data collection, initial analysis, and writing the draft of the article. The second author played a key role in data analysis, interpretation of results, and review of the scientific content of the article. The third author also contributed to the interpretation of results and improved the structure of the article. The fourth and fifth authors provided support in setting up the rain simulator and visiting and familiarizing themselves with the area.

Data Availability Statement

It is a part of Ph.D thesis which is undergoing in the Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad.

Acknowledgements
The authors would like to thank the Gonabad County Department of Natural Resources and Watershed Management for their support.

Ethical considerations
The authors avoided from data fabrication and falsification.

Funding
No fund.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

مجله اکوهیدرولوژی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپای الکترونیکی: ۶۱۰۱-۲۴۲۳
سایت نشریه: https://ije.ut.ac.ir

بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر روی مؤلفه‌های بیلان آبی در وقایع بارشی شدید (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ زوجی کاخک گناباد)

فرشته رحیمی آغ‌چشمه،[۱] محمدتقی دستورانی،[۲*] کمال‌الدین ناصری،[۳] علی باقریان کلات،[۴] مسعود عشقی‌زاده[۵]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: fereshterahimi72@gmail.com
۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: dastorani@um.ac.ir
۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: klnaseri@um.ac.ir
۴. محقق، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: alibagheriankalat@gmail.com
۵. استادیار گروه مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، خراسان رضوی، گناباد، ایران. رایانامه: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
بیلان آبی،
شبیه‌سازی باران،
دستگاه TDR،
رطوبت خاک،
رواناب.

چکیده

موضوع: کاهش حجم و شدت رواناب سطحی در حوزه‌های آبخیز، به‌عنوان یکی از موضوعات محوری در مدیریت منابع طبیعی، به‌ویژه آبخیزداری و حفاظت خاک، اهمیت بالایی دارد. پوشش گیاهی، با تأثیرات قابل توجه بر چرخهٔ هیدرولوژیکی، عامل مهمی در افزایش نفوذ آب و کاهش سیل‌خیزی به شمار می‌رود.

هدف: این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های بیلان آبی در حوزهٔ زوجی کاخک گناباد استان خراسان رضوی انجام شد.

روش تحقیق: آزمایش‌ها بر روی ۱۰ پلات آزمایشی به ابعاد ۱۲۰×۸۹ سانتی‌متر، در ۲ شیب کم و زیاد (۱۵–۲۵ درصد و ۴۰–۵۵ درصد) و شدت بارش ۸۴ میلی‌متر بر ساعت با استفاده از شبیه‌ساز باران انجام شد. پلات‌ها شامل پنج نوع پوشش گیاهی (گندمیان، پهن‌برگان یک‌ساله، بوته‌ای، ترکیبی و شاهد بدون پوشش) با دو تکرارند. داده‌های رواناب، میزان گل‌آلودگی و هدررفت خاک از مخازن انتهای پلات‌ها جمع‌آوری شد و رطوبت خاک با دستگاه TDR در دو مرحله (پیش و پس از بارش) اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پلات شمارهٔ ۲، با ۷۳ درصد پوشش بوته‌ای، کمترین میزان رواناب (۲/۲ لیتر) و هدررفت خاک (۴۰/۳گرم) را داشتند. همچنین، شیب زمین تأثیر معنی‌داری بر رواناب و نفوذ آب داشت.

نتیجه‌گیری: این یافته‌ها بر اهمیت انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب، با ویژگی‌هایی مانند ریشهٔ قوی و پوشش متراکم، در برنامه‌های حفاظت آب و خاک تأکید دارد.

استناد: رحیمی آغ‌چشمه، فرشته؛ دستورانی، محمدتقی؛ ناصری، کمال‌الدین؛ باقریان کلات، علی؛ عشقی‌زاده، مسعود. بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر روی مؤلفه‌های بیلان آبی در وقایع بارشی شدید (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ زوجی کاخک گناباد). *اکوهیدرولوژی*، ۱۲(۱)، ۵۹۵-۶۱۲.
https://doi.org/10.22059/IJE.2025.386114.1853

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.
© فرشته رحیمی آغ‌چشمه، محمدتقی دستورانی، کمال‌الدین ناصری، علی باقریان کلات، مسعود عشقی‌زاده.

مقدمه

تغییرات در پوشش گیاهی، به‌عنوان یکی از جنبه‌های کلیدی تغییرات اکولوژیکی و محیطی، تأثیرات چشمگیری بر فرایندهای آبی و هیدرولوژیکی سطح زمین دارد. این تأثیرات، به‌ویژه در شرایط تغییر اقلیم و کاهش منابع آبی، چالشی جدی در مدیریت منابع آب محسوب می‌شوند. پوشش گیاهی ازطریق تأثیر بر تبخیر و تعرق، تشکیل رواناب، نفوذ آب به خاک، و درنهایت بر بیلان آبی مناطق مختلف اثرگذار است (سعیدیان و مرادی، ۱۴۰۱؛ دان[1] و همکاران، ۲۰۲۲). فرایند تعرق گیاهان، که شامل جذب آب از خاک و انتقال آن به جو از طریق برگ‌هاست، نقش مهمی در تبخیر و تعرق زمینی ایفا کرده و منجر به کاهش دسترسی آب در رودخانه‌ها و منابع زیرزمینی می‌شود.

یکی از پژوهش‌های برجسته در این حوزه، مطالعه‌ای از اسمیت، براون و گرین[2] (۲۰۱۹) است که به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر رواناب در مناطق خشک پرداخته است. این مطالعه با بهره‌گیری از داده‌های مشاهده‌ای و مدل‌سازی، نشان داد که افزایش پوشش گیاهی منجر به کاهش حجم و شدت رواناب در جریان‌های سطحی می‌شود. این نتیجه به‌دلیل کاهش انسداد سطح خاک توسط گیاهان و افزایش جذب آب توسط خاک تفسیر شده است. همچنین پژوهش عسگری و همکاران (۱۴۰۲) با عملیات شبیه‌سازی بارش و با هدف بررسی تأثیر پوشش گیاهی وتیور و پوشش سنگریزه بر مقدار رواناب و هدررفت خاک در دامنهٔ محدب موازی انجام شد. 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. تراتمن[3] و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GRACE برای اندازه‌گیری تغییرات ذخیرهٔ آب زیرزمینی، تحقیقی با هدف ارزیابی تأثیر تغییرات پوشش گیاهی بر ویژگی‌های نفوذپذیری خاک و رواناب در مناطق جنگلی چین انجام دادند. یافته‌ها نشان داد که افزایش تراکم پوشش گیاهی باعث کاهش رواناب و افزایش نفوذپذیری خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. همچنین، اثرات پوشش گیاهی و چرای دام بر نفوذ آب و میزان رواناب در اراضی مرتعی در پژوهش‌هایی نظیر ود و بلکبرن[4] و بازبی و جیفورد[5] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهند که قرق اراضی و به‌دنبال آن افزایش پوشش گیاهی، موجب کاهش ضریب رواناب می‌شود (ود و بلکبرن، ۱۹۸۱؛ بازبی و جیفورد، ۱۹۸۱). رحمانی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرپذیری مؤلفه‌های رواناب و رسوب در ترکیب‌ها و درصدهای مختلف پوشش گیاهی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی تأثیر معنی‌داری بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب دارند؛ به‌طوری‌که بیشترین زمان شروع رواناب در تیمار بوته‌ای پراکنده با ارتفاع متوسط و کم مشاهده شد، درحالی‌که کمترین میزان رواناب و حداقل هدررفت خاک در تیمار ترکیب بوته‌ای متراکم همراه با گرامینه به دست آمد. همچنین، حداقل غلظت رسوب در تیمار بوته‌ای متراکم با پوشش یکنواخت مشاهده شد. علیدوست، صبح زاهدی و پورنصراله (۱۳۸۵) در پژوهش خود به بررسی نقش پوشش گیاهی در کاهش رواناب در حوزهٔ آبخیز پل‌رود پرداختند. یافته‌ها نشان داد که کاربری جنگلی، به‌دلیل وجود پوشش گیاهی درختی و درختچه‌ای و همچنین لاشبرگ، در مقایسه با کاربری زراعی، باعث کاهش قابل‌توجه رواناب و بارش مازاد می‌شود. حاجی‌زاده، امیدوار و قاسمیه (۱۴۰۱) با استفاده از شبیه‌ساز باران، تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب را بررسی کردند. در این پژوهش، پوشش‌های گیاهی با سه سطح مختلف (۳۵، ۶۵ و ۹۰ درصد) و یک تیمار شاهد (بدون پوشش) تحت بارندگی با شدت ۹۰ میلی‌متر در ساعت و به‌مدت ۷۰ دقیقه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد پوشش، حجم رواناب به‌ترتیب ۴۲/۹۱، ۴۵/۷۳ و ۶۲/۸۹ درصد کاهش یافت و ضریب رواناب نیز به‌ترتیب ۴۰، ۴۱ و ۷۲ درصد کاهش داشت. همچنین، آزمون تجزیهٔ واریانس نشان داد که حجم رواناب در تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای دارای پوشش بود. جونز، اسمیت و گرین (۲۰۲۰) نیز تأثیر پوشش گیاهی بر نفوذ آب را در مناطق مختلف بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که در مناطقی با پوشش گیاهی غنی، نفوذ آب به خاک بهبود یافته و این امر می‌تواند به‌طور مؤثر موجب کاهش رواناب سطحی شود. صالح و همکاران (۱۴۰۱) پژوهشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی چمخانی کهگیلویه و بویراحمد انجام دادند که در آن اثر سطح و تراکم پوشش گیاهی دو گونه ماشک مراغه و ماشک گلشن بر کاهش رواناب و رسوب بررسی شد. نتایج نشان داد که تیمار ماشک مراغه توانسته است بیشترین کاهش

1. Duan
2. Smith, Brown & Green
3. Trautmann
4. Wood & Blackburn
5. Busby & Gifford

حجم رواناب (۹۷ درصد) و غلظت رسوب (۹۴ درصد) را ایجاد کند. همچنین، این تحقیق نشان داد که خصوصیات گیاهی مانند سطح تاج پوشش و تراکم گیاهان، همبستگی بالایی با کاهش رواناب و رسوب داشته و نقش مؤثری در حفاظت آب و خاک ایفا می‌کنند. اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در مطالعه‌ای مشابه، اهمیت پوشش گیاهی در کاهش رواناب و رسوب را تأیید کردند. در این پژوهش، مقدار رسوب در مناطقی با حداقل پوشش گیاهی، ۶/۸ برابر مناطق با حداکثر پوشش گیاهی و ۱/۹۹ برابر مناطق با پوشش گیاهی متوسط بود که نشان‌دهندهٔ تأثیر قابل‌توجه پوشش گیاهی بر کاهش رسوب است. در پژوهش دیگری، تانگ[1] و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که با افزایش شدت بارندگی، یک رابطهٔ رگرسیونی میان میزان پوشش گیاهی و حجم رواناب ایجاد می‌شود. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و رسوب به‌شدت وابسته به شدت بارندگی است. لیو[2] و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که ایجاد پوشش گیاهی در شیب‌های تا ۱۵ درجه می‌تواند به حفاظت آب و خاک کمک کند، اما با افزایش شیب، این توانایی کاهش می‌یابد. همچنین، ویلسون،[3] براون و گرین در بررسی خود تأثیر شدت بارش و شیب زمین بر بیلان آبی در مناطق کوهستانی را ارزیابی کردند و نقش این عوامل را در مدیریت آب و خاک برجسته دانستند. این تحقیق، با بهره‌گیری از داده‌های مشاهده‌شده و مدل‌سازی عددی، نشان داده است که تغییرات در شدت بارش و شیب زمین می‌توانند تغییرات قابل توجهی در بیلان آبی و میزان رواناب در مناطق مختلف ایجاد کنند. براون (۲۰۲۳) با استفاده از داده‌های طولانی‌مدت مناطق مختلف و مدل‌سازی هیدرولوژیکی نظیر مدل SWAT، تأثیر تغییرات پوشش گیاهی بر جریان‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار داد. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر در پوشش گیاهی می‌تواند به‌طور چشمگیری جریان‌های سطحی و میزان دسترسی به آب زیرزمینی را تحت‌تأثیر قرار دهد. براساس نتایج مطالعات، ارزان‌ترین و مؤثرترین راه برای حفاظت خاک، استفاده از پوشش گیاهی است (خسروپور، ۱۳۹۶). گیاهانی که برای این منظور کشت می‌شوند باید دارای پوشش و تراکم مناسب ساقه و سیستم ریشه‌ای قوی باشند. در اراضی زراعی، گیاهان علوفه‌ای با ایجاد پوشش سطحی، خاک را در برابر ضربات باران و پدیدهٔ آبشویی محافظت کرده و مانع از فرسایش می‌شوند. با افزایش انبوهی پوشش گیاهی، شدت جریان رواناب کاهش یافته و نفوذ آب به خاک بیشتر می‌شود. گیاهان خانوادهٔ لگومینوز و ترکیب آن‌ها با گیاهان گرامینه، به‌ویژه در اراضی شیب‌داری که در معرض فرسایش هستند، به‌عنوان مؤثرترین ابزار حفاظت خاک شناخته می‌شوند. تأثیر این پوشش‌ها به نوع خاک، شدت بارندگی و حجم رواناب بستگی دارد (صالح، خرائی و واعظی، ۱۳۹۹). این مطالعات نشان می‌دهند که پوشش گیاهی نه‌تنها نقش مهمی در کاهش رواناب و بهبود کیفیت آب ایفا می‌کند، بلکه به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در مدیریت منابع آب و خاک و تقویت پایداری اکولوژیکی نیز عمل می‌کند (کروردان[4] و همکاران، ۲۰۱۹؛ هو[5] و همکاران، ۲۰۲۰). در شرایط ایدئال، گونه‌های گیاهی که توانایی حفظ آب باران کافی برای تأمین نیازهای رویشی خود را دارند، می‌توانند از هدررفت خاک جلوگیری کرده و درنهایت موجب بهبود زیستگاه‌های محلی شوند (لیو و همکاران ۲۰۱۹).

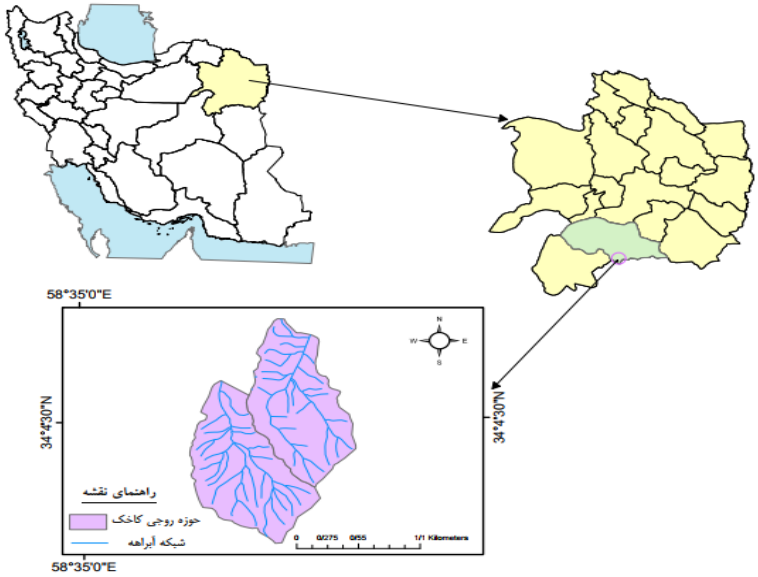
درمجموع مطالعات پیشین به‌طور گسترده تأثیر پوشش گیاهی و شیب بر فرایندهای آبی و هیدرولوژیکی را تأیید کرده‌اند. این پژوهش‌ها نشان داده‌اند که افزایش پوشش گیاهی و شیب کم می‌تواند باعث کاهش رواناب، هدررفت خاک، و رسوب شده و همچنین نفوذپذیری خاک را بهبود بخشد. این اثرات به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که مدیریت منابع آبی چالش‌برانگیز است، برجسته‌ترند. تمرکز این پژوهش بر پلات‌هایی با پوشش گیاهی مختلف (گندمیان، پهن‌برگان، بوته‌ای و ترکیبی از پوشش‌های غالب منطقه) و تحلیل ویژگی‌های خاص هر گونه (مانند تراکم و درصد تاج پوشش) در شرایط خاک یکسان و شیب متفاوت، برای ارائهٔ راهکارهای عملی در مدیریت بهینهٔ رواناب، از جنبه‌های نوآورانهٔ این مطالعه محسوب می‌شود. همچنین دربارهٔ تأثیر پوشش گیاهی بر عوامل هیدرولوژی و خاکی، پژوهش‌های زیادی انجام شده است لیکن، تحقیقی که به‌صورت جامع، تأثیر این پارامتر را بر تمام مؤلفه‌های بیلان آبی یک منطقه به‌منظور حفظ و نگهداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی بررسی کرده باشد، انجام نشده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر پوشش گیاهی بر تغییرات مؤلفه‌های بارش–رواناب ناشی از باران شبیه‌سازی شده طراحی و اجرا شد. این تحقیق در پلات‌هایی واقع در اراضی مرتعی حوزهٔ زوجی کاخک گناباد در استان خراسان رضوی انجام شده است.

1. Tang
2. Liu
3. Wilson
4. Kervroëdan
5. Hou

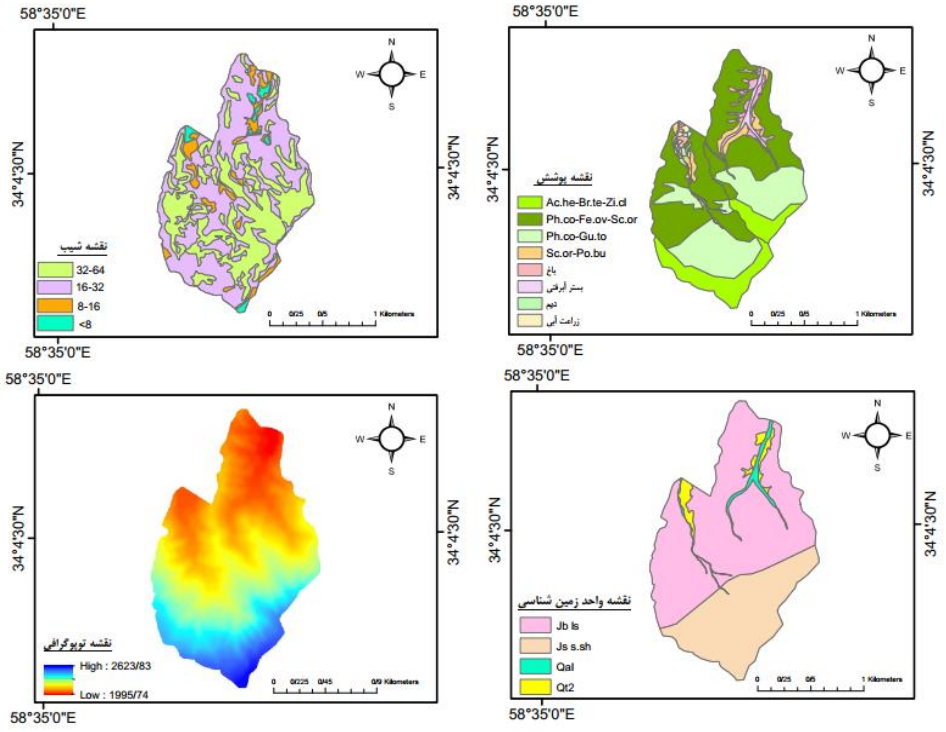
مواد و روش‌ها

۱. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز زوجی کاخک در فاصلهٔ ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر گناباد بین طول‌های "۳۷ '۳۵ °۵۸ تا "۴۱ '۳۶ °۵۸ شرقی و عرض‌های "۴۶ '۰۳ °۳۴ تا "۰۶ '۰۵ °۳۴ شمالی واقع شده است. مساحت کل حوزهٔ آبخیز معرف ۲۱۷/۱ هکتار است که شامل زیرحوضهٔ نمونه به مساحت ۱۰۶/۵ هکتار و زیرحوضهٔ شاهد به مساحت ۱۱۰/۶ هکتار است. همچنین با توجه به نقشهٔ شیب، طبقهٔ شیب ۳۰ تا ۴۰ درصد بیشترین فراوانی را در هر دو زیرحوضهٔ نمونه و شاهد به خود اختصاص داده است. براساس آمار ایستگاه هواشناسی مستقر در حوزهٔ معرف کاخک، متوسط بارش سالانهٔ حوزه ۲۴۰/۳ میلی‌متر است. براساس نتایج حاصل از دو روش آمبرژه و دومارتن، اقلیم حوزهٔ زوجی کاخک گناباد، به ترتیب نیمه‌خشک سرد و نیمه‌خشک برآورد شده است. حوزهٔ زوجی کاخک ازنظر زمین‌شناسی تماماً بر روی تشکیلات شمشک قرار گرفته است. شکل ۱، موقعیت حوزهٔ زوجی کاخک گناباد در استان خراسان رضوی و کشور ایران و شکل ۲ نقشهٔ پوشش گیاهی، شیب، زمین‌شناسی و توپوگرافی حوزهٔ مطالعاتی ۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت حوزهٔ زوجی کاخک گناباد در کشور ایران، استان خراسان رضوی و شهرستان گناباد



شکل ۲. نقشهٔ پوشش گیاهی (بالا راست)، شیب (بالا چپ)، زمین‌شناسی (پایین راست) و توپوگرافی (پایین چپ) حوزهٔ مطالعاتی

روش پژوهش

برآورد درصد پوشش گیاهی

در این پژوهش پوشش گیاهی در ۱۰ پلات (پلات‌های تعبیه‌شده در زیر دستگاه شبیه‌ساز باران در ابعاد ۱۲۰ در ۸۹ سانتی‌متر) در دو شیب متفاوت (۱۵ تا ۲۵ درصد و ۴۰ تا ۵۵ درصد) و در ۴ سطح پوشش گیاهی غالب منطقه گندمی (استیپا)، پهن‌برگ و یک‌ساله (کما)، بوته‌ای (بادامشک) و پوشش ترکیبی (استیپا، کما و بادامشک) و یک تیمار شاهد (بدون پوشش) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پوشش به‌صورت نقطه‌ای در بهار سال ۱۴۰۳ صورت گرفت و در فرم‌های مربوط، اندازه‌گیری‌ها از تمام بخش‌های سطح پلات یادداشت شد. انتخاب نقاط براساس پیمایش سطحی منطقه و مشاهدهٔ ویژگی‌های سطحی زمین انجام گرفت. شکل ۳، تصویر پلات‌های پوشش گیاهی مورد استفاده را نمایان می‌کند.

شکل ۳. تصاویری از اندازه‌گیری پوشش گیاهی به روش نقطه‌ای (راست) و همچنین اندازه‌گیری درصد شیب (چپ)

شبیه‌سازی باران

باران‌سازها به‌عنوان یکی از ابزارهای کاربردی در مطالعات محیطی و هیدرولوژیکی، با شبیه‌سازی شرایط بارش طبیعی، امکان تحلیل اثرات بارندگی بر رواناب و منابع آبی را فراهم می‌کنند. با توجه به اهداف این تحقیق که شامل انجام آزمایش‌های صحرایی با استفاده از یک دستگاه شبیه‌ساز باران با قابلیت استقرار بر روی کرت‌های آزمایشی در نقاط مختلف حوزه است، از یک دستگاه باران‌ساز از نوع غیر فشاری قابل حمل ساخته‌شده از مواد پلکسی‌گلاس با ابعاد ۸۹ ×۱۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع حداقل ۱/۵ متر استفاده شد. این دستگاه باران‌ساز، با پایه‌های قابل تنظیم، قابلیت استقرار در شیب‌های مختلف را داراست و با یک مخزن با حجم ۵۱/۶ لیتر و دارا بودن ۲۱۶ عدد قطره‌چکان در صفحهٔ ریزش باران، قادر به تولید بارش با شدت‌های مختلف با زمان تداوم‌های مختلف است (باقریان و همکاران، ۱۳۹۳). در این روش به‌منظور انجام آزمایش ابتدا بایستی آماده‌سازی پلات صورت گیرد. بنابراین نوار مهارکننده یا همان حاشیه‌های پلات در محل آزمایش قرار داده شده و از اطراف ایزوله می‌شوند؛ به‌نحوی‌که رواناب تولیدی تنها در یک جهت و یک نقطه که لولهٔ خروجی پلات است، حرکت کند (پرهمت و همکاران، ۱۳۹۱) در هریک از آزمایش‌ها بارش با شدت ۸۴ میلی‌متر بر ساعت تنظیم گردید. بدین منظور با باز کردن شیر منبع پس از مدت کوتاهی، آب ازطریق باران‌سازها بر روی سطح پلات باریده شد. سپس زمانی که رواناب در سطح پلات جاری گردید، یادداشت و از این به بعد رواناب خروجی توسط ظروف مدرج اندازه‌گیری شد. همچنین پس از قطع بارندگی نیز تا زمانی که رواناب جاری بود، اندازه‌گیری آن ادامه یافت. بنابراین حجم کل بارش، زمان آغاز رواناب (زمان آستانه)، حجم بارش تا زمان وقوع آستانهٔ رواناب، حجم رواناب خروجی در فواصل زمانی مختلف در آزمایش اندازه‌گیری و ثبت گردید. همچنین قابل ذکر است که برای جلوگیری از اثر باد در انجام آزمایش‌ها، پلاستیکی محافظ به دور دستگاه باران‌ساز کشیده شد تا در حین آزمایش براثر وزش باد، بارش‌ها از سطح پلات خارج نشوند. شکل ۴ تصویر دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده را نمایان می‌کند.

شکل ۴. تصاویری از دستگاه شبیه‌ساز باران

اندازه‌گیری رطوبت خاک

در این پژوهش، اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) که یکی از روش‌های پیشرفته برای بررسی میزان رطوبت در خاک و همچنین مطالعهٔ نفوذ باران است، انجام شد. دستگاه TDR می‌تواند به‌طور مداوم رطوبت خاک را در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری کند و تغییرات رطوبت را قبل و بعد از بارش ثبت کند (نیک‌نژاد، ۱۴۰۲). این اطلاعات می‌توانند به محققان کمک کنند تا نحوه و سرعت نفوذ باران به درون خاک را بررسی کنند. در این روش، پروب‌های TDRکه شامل سه الکترود هستند، به عمق مورد نظر در خاک نصب می‌شوند (شکل ۵). در این پژوهش میزان رطوبت خاک در هر پلات با استفاده از دستگاه TDR در ۲ مرحله (قبل از بارش و بعد از بارش) اندازه‌گیری و یادداشت شد. در این راستا برای اندازه‌گیری نفوذ، سطح پلات در عمق مشخصی که رطوبت اندازه‌گیری شده، ضرب شده و حجم خاک مربوط در اختلاف رطوبت قبل و بعد از بارش ضرب می‌شود و مقدار آب بارش نفوذیافته در پلات به دست می‌آید.

اندازه‌گیری بافت خاک

بافت خاک نسبت ذرات شن، رس و سیلت در نمونه خاک است. در این پژوهش، از کنار هر پلات، یک نمونه خاک (به عمق ۲۰ سانتی‌متر از سطح خاک) برداشت شد و برای مشخص شدن بافت خاک به آزمایشگاه دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیطزیست دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد (شکل ۵). نمونه‌های خاک برداشتی برای آزمایش از کنار پلات‌ها برداشته شد تا در سطح پلات به‌هم‌ریختگی نداشته باشد و در نتایج شبیه‌سازی باران خللی ایجاد نکند. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده شد (یاوری، محمدی و شهبازی، ۱۳۹۹). در این روش ۵۰ گرم از خاک نمونه، بعد از الک کردن (الک ۲ میلی‌متری)، داخل ارلن ریخته شده و سپس ۱۵۰ لیتر آب مقطر و ۵ گرم سدیم به آن اضافه می‌گردد و سپس داخل سیلندر مخصوص دستگاه میکسر ریخته شده، همزن دستگاه وارد محلول می‌گردد تا به‌مدت ۱۵ دقیقه مخلوط شود. پس از آن محلول در داخل مزور ریخته شده و توسط همزن دستی مخلوط می‌گردد و بلافاصله پس از اختلاط، زمان یادداشت می‌شود و با استفاده از هیدرومتری، یک بار پس از ۴۰ ثانیه و بار دیگر پس از ۲ ساعت چگالی محلول اندازه‌گیری می‌شود. بار اول، ذرات رس و سیلت و بار دوم، ذرات رس با قطر کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر تعیین می‌شود. درصد شن نیز حاصل تفریق مجموع این دو عدد از ۵۰ خواهد بود.

شکل ۵. تصاویری از اندازه‌گیری رطوبت خاک با دستگاه TDR (راست)، برداشت نمونهٔ خاک برای آزمایش بافت خاک (وسط) و اندازه‌گیری‌های بافت خاک در آزمایشگاه (چپ)

اندازه‌گیری رواناب و گل‌آلودگی

در این پژوهش در هر بارش، رواناب جاری و خارج‌شده از سطح هر پلات توسط ظروف مدرج قرار داده‌شده در انتهای پلات‌ها (شکل ۶) جمع‌آوری و ثبت شد (نیک‌کامی، ۱۳۹۸). سپس برای تحلیل وزن گل‌آلودگی، ۱۰ نمونه رواناب و رسوب خروجی (مربوط به هر پلات) به آزمایشگاه دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه فردوسی مشهد برده و به‌مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شد تا ته‌نشینی کامل صورت گیرد. پس از طی مدت‌زمان مذکور، مقدار آب اضافی نمونه‌ها تا حد امکان و به‌آرامی تخلیه شد (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ حزباوی و صادقی، ۱۳۹۵). سپس رسوب باقی‌مانده از هر نمونه، به درون ظروفی با وزن مشخص تخلیه و در دمای محیط نهاده و خشک شد. سپس اختلاف وزن نمونه‌های خشک شده و وزن ظروف اولیهٔ بدون رسوب، به‌عنوان وزن هدررفت خاک برحسب گرم محاسبه شد. همچنین برای اندازه‌گیری ضریب رواناب هریک از پلات‌ها، میزان رواناب خروجی از پلات بر کل حجم بارندگی تقسیم شد و با ضرب در عدد ۱۰۰، درصد ضریب رواناب محاسبه شد.

شکل ۶: تصاویری از برداشت رواناب ایجادشده پس از بارش (راست و وسط) و اندازه‌گیری‌های وزن رسوبات در آزمایشگاه (چپ)

بررسی میزان تبخیر

پارامتر تبخیر یکی از عوامل اصلی شرکت‌کننده در بیلان هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز است. این پدیده نقش محدودیت‌زا داشته و همواره باعث از دست رفتن منابع رطوبتی در طبیعت می‌گردد؛ لذا تعیین مقدار آن به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ایستگاه‌های هواشناسی، اندازه‌گیری تبخیر معمولاً توسط تشتک تبخیر کلاس A انجام می‌شود. تشتک تبخیر در کشور ما و حوزهٔ مطالعاتی از نوع A آمریکایی است (شکل ۷). برای برآورد تبخیر در پژوهش حاضر، از آمار تشتک تبخیر موجود در ایستگاه سینوپتیک حوزهٔ زوجی کاخک گناباد استفاده شد. بر این اساس، آمار تبخیر روزهای آزمایش شبیه‌سازی باران، از کارشناس آمار بردار مربوط اخذ و براساس ساعات انجام آزمایش مقدار درصد تبخیر، از تبخیر روزانه برآورد گردید و در محاسبات مؤلفه‌های بیلان آبی هر پلات لحاظ شد. در این راستا برای اندازه‌گیری مقدار تبخیر هر پلات، مقدار سطح پلات (۸۹×۱۲۰ سانتی‌متر) در ارتفاع تبخیر آب به‌دست‌آمده از تشتک ضرب می‌شود و مقدار حجم آب بارش تبخیریافته در پلات به دست می‌آید. جدول ۱، آمار تبخیر روزانهٔ کسب‌شده از ایستگاه هواشناسی در روزهای آزمایشی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آمار ارتفاع تبخیر آب در روزهای ماه می ۲۰۲۴ حوزهٔ زوجی کاخک

روزهای آزمایشی	ارتفاع تبخیر (mm)
۱۴۰۳/۰۲/۳۱	۹
۱۴۰۳/۰۳/۰۱	۱۰
۱۴۰۳/۰۳/۰۲	۱۰/۱

شکل ۷: نمایی از تشتک تبخیر موجود در ایستگاه سینوپتیک کاخک

نتایج

در این پژوهش، ۲ پلات بدون پوشش گیاهی (خاک لخت)، ۲ پلات با پوشش غالب گندمی، ۲ پلات با پوشش غالب پهن‌برگ و یک‌ساله، ۲ پلات با پوشش غالب بوته‌ای و ۲ پلات با پوشش ترکیبی از گیاهان غالب منطقه (گندمی و پهن‌برگ–یکساله) انتخاب شدند (شکل ۸ تا ۱۲) که در سطح هر پوشش غالب، یک پلات در شیب کم (۱۵ تا ۲۵ درصد) و یک پلات در شیب زیاد (۴۰ تا ۵۵ درصد) شبیه‌سازی باران با شدت بارش ۸۴ میلی‌متر بر ساعت صورت گرفت.

نتایج حاصل از انجام شبیه‌سازی باران به تفکیک پلات‌های با پوشش گیاهی غالب منطقه در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین در ادامه، نتایج تبخیر برآوردشده از تشتک موجود در حوزهٔ مطالعاتی و نتایج برآورد رطوبت خاک با اندازه‌گیری‌های TDR و محاسبهٔ نفوذ آب نیز ارائه شده است. در این تحقیق برای ارزیابی تلفات بارش ناشی از ربایش تاجی، از تحقیقات اسماعیل‌پور، دستورانی و فرزام (۱۳۹۸)، تاج‌بخش و همکاران (۱۴۰۱) و مهاجرپور (۱۳۹۲) استفاده شد و با توجه به مطالعات انجام‌شده و تراکم پوششی و درصد فضای خالی پلات‌های آزمایشی درصد برگاب نیز در هر آزمایش لحاظ گردید.

پلات‌های بدون پوشش گیاهی (خاک لخت) شامل پلات ۵ با شیب کمتر (۲۳ درصد) و پلات ۹ با شیب بیشتر (۵۱ درصد) هستند که حجم رواناب تولیدی در پلات با شیب کم، ۵/۹ لیتر و در پلات با شیب بیشتر، ۱۲/۷ لیتر شده است. سطح پلات‌های شمارهٔ ۵ و ۹ بدون پوشش گیاهی است و درنتیجه مقدار برگاب صفر است. با توجه به محاسبهٔ رطوبت خاک و نتایج آزمایش‌های گل‌آلودگی مشخص گردید که مقدار حجم آب نفوذیافته در این پلات‌ها به‌ترتیب ۳۸/۱ لیتر و ۳۱/۳ لیتر و مقدار وزن هدررفت خاک به‌ترتیب ۹/۲ گرم و ۱۵/۸ گرم است. همچنین طبق نتایج آمار تشتک تبخیر موجود در ایستگاه سینوپتیک، تبخیر آب در ساعات آزمایشی و در سطح پلات‌ها معادل ۱/۴ لیتر برآورد می‌گردد (شکل ۸).

پلات‌های با پوشش غالب گندمی شامل پلات ۳ با شیب کمتر (۲۰ درصد) و پلات ۱۰ با شیب بیشتر (۳۶ درصد) هستند که حجم رواناب تولیدی در پلات با شیب کم، ۳/۶ لیتر و در پلات با شیب بیشتر، ۶/۲ لیتر شده است. در پلات ۳ با ۵۷ درصد پوشش گیاهی گندمی، مقدار برگاب در سطح پلات ۱/۳ لیتر و در پلات ۱۰ با ۶۱ درصد پوشش گیاهی گندمی مقدار برگاب در سطح پلات ۱/۴ لیتر برآورد می‌گردد. با توجه به محاسبهٔ رطوبت خاک و نتایج آزمایش‌های گل‌آلودگی مشخص گردید که مقدار حجم آب نفوذ یافته در این پلات‌ها به ترتیب ۳۹ لیتر و ۳۶/۴ لیتر و مقدار وزن هدررفت خاک به‌ترتیب ۷/۹ گرم و ۱۰/۲ گرم است. همچنین مقدار تبخیر آب در ساعات آزمایشی و در سطح پلات معادل ۱/۴ لیتر برآورد می‌گردد (شکل ۹).

پلات‌های با پوشش غالب پهن‌برگ و یک‌ساله شامل پلات ۶ با شیب کمتر (۲۳ درصد) و پلات ۱ با شیب بیشتر (۵۵ درصد) هستند که حجم رواناب تولیدی در پلات با شیب کم، ۳/۱ لیتر و در پلات با شیب بیشتر، ۵/۷ لیتر شده است. در این دو پلات با ۴۷ درصد پوشش گیاهی پهن‌برگ و یک‌ساله، مقدار برگاب در سطح پلات ۱/۷ لیتر برآورد می‌گردد. با توجه به محاسبهٔ رطوبت خاک و نتایج آزمایش‌های گل‌آلودگی مشخص گردید که مقدار حجم آب نفوذیافته در این پلات‌ها به‌ترتیب ۳۹/۴ لیتر و ۳۶/۵ لیتر و مقدار وزن هدررفت خاک به‌ترتیب ۷/۱ گرم و ۹ گرم است. همچنین مقدار تبخیر آب در ساعات آزمایشی و در سطح پلات معادل ۱/۳ لیتر برآورد می‌گردد (شکل ۱۰).

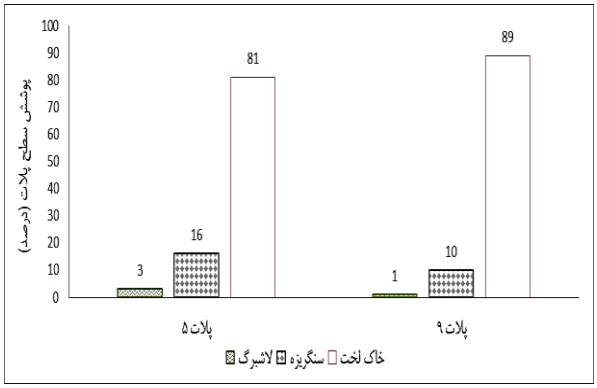
پلات‌های با پوشش غالب بوته‌ای شامل پلات ۲ با شیب کمتر (۱۹ درصد) و پلات ۷ با شیب بیشتر (۴۲ درصد) هستند که حجم رواناب تولیدی در پلات با شیب کم، ۲/۲ لیتر و در پلات با شیب بیشتر، ۴/۱ لیتر شده است. در پلات ۲ با ۷۳ درصد پوشش گیاهی بوته‌ای، مقدار برگاب در سطح پلات ۳/۳ لیتر و در پلات ۷ با ۵۷ درصد پوشش گیاهی بوته‌ای مقدار برگاب در سطح پلات ۲/۶ لیتر برآورد می‌گردد. با توجه به محاسبهٔ رطوبت خاک و نتایج آزمایش‌های گل‌آلودگی مشخص گردید که مقدار حجم آب نفوذیافته در این پلات‌ها به‌ترتیب ۳۸/۷ لیتر و ۳۶/۷ لیتر و مقدار وزن هدررفت خاک به‌ترتیب ۵/۵ گرم و ۸/۲ گرم است. همچنین مقدار تبخیر آب در ساعات آزمایشی و در سطح پلات معادل ۱/۳ لیتر برآورد می‌گردد (شکل ۱۱).

پلات‌های با پوشش ترکیبی از گیاهان غالب منطقه (گندمی و پهن‌برگ یکساله) شامل پلات ۴ با شیب کمتر (۲۳ درصد) و پلات ۸ با شیب بیشتر (۴۲ درصد) هستند که حجم رواناب تولیدی در پلات با شیب کم، ۳/۲ لیتر و در پلات با شیب بیشتر، ۵/۶ لیتر شده است. در پلات ۴ با ۴۵ درصد پوشش گیاهی ترکیبی، مقدار برگاب در سطح پلات ۱/۳ لیتر و در پلات ۸ با ۵۱ درصد پوشش گیاهی

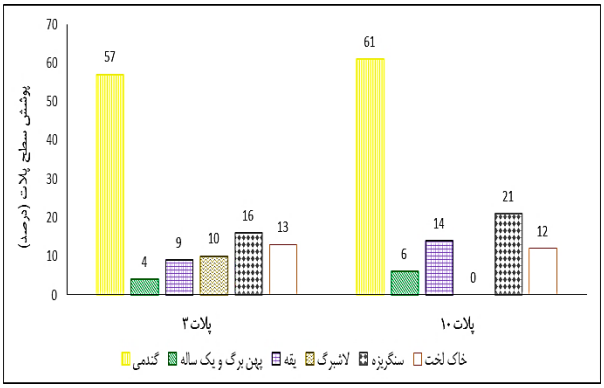
ترکیبی مقدار برگاب در سطح پلات ۱/۵ لیتر برآورد می‌گردد. با توجه به محاسبهٔ رطوبت خاک و نتایج آزمایش‌های گل‌آلودگی مشخص گردید که مقدار حجم آب نفوذیافته در این پلات‌ها به‌ترتیب ۳۹/۳ لیتر و ۳۶/۹ لیتر و مقدار وزن هدررفت خاک به‌ترتیب ۷ گرم و ۸/۹ گرم است. همچنین مقدار تبخیر آب در ساعات آزمایشی و در سطح پلات معادل ۱/۴ لیتر برآورد می‌گردد (شکل ۱۲).

جدول ۲. نتایج تأثیر پلات‌های آزمایشی در مقدار رواناب

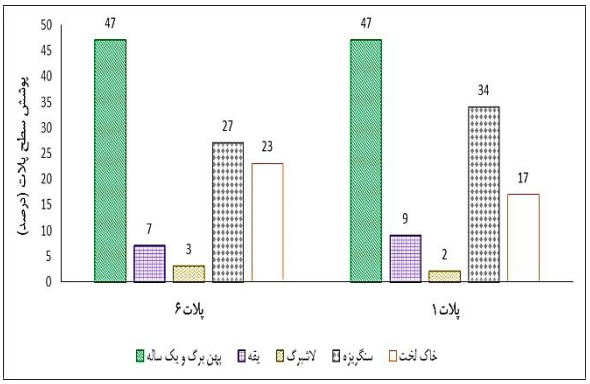
پارامترهای اندازه‌گیری‌شده / پلات‌های آزمایشی		حجم بارش (lit)	شدت بارش (mm/hr)	درصدپوشش سطح پلات	بافت خاک	درصد شیب	حجم رواناب (lit)	وزن رسوبات (gr)
پلات‌های بدون پوشش گیاهی (خاک لخت)	پلات ۵	۴۵/۴	۸۴	۸۱	شنی- لومی	۲۳	۵/۹	۱۸۰/۹
	پلات ۹	۴۵/۴	۸۴	۸۹	شنی- رسی- لومی	۵۱	۱۲/۷	۴۵۷/۲
پلات‌های دارای پوشش گیاهی گندمی	پلات ۳	۴۵/۴	۸۴	۵۷	شنی- لومی	۲۰	۳/۶	۹۴/۸
	پلات ۱۰	۴۵/۴	۸۴	۶۱	شنی- لومی	۳۶	۶/۲	۲۰۰/۵
پلات‌های دارای پوشش گیاهی یک‌ساله	پلات ۶	۴۵/۴	۸۴	۴۷	شنی- لومی	۲۴	۳/۱	۷۳/۴
	پلات ۱	۴۵/۴	۸۴	۴۷	شنی- رسی- لومی	۵۵	۵/۷	۱۷۱
پلات‌های دارای پوشش گیاهی بوته‌ای	پلات ۲	۴۵/۴	۸۴	۷۳	شنی- لومی	۱۹	۲/۲	۴۰/۳
	پلات ۷	۴۵/۴	۸۴	۵۷	شنی- رسی- لومی	۴۲	۴/۱	۱۱۲/۱
پلات‌های دارای پوشش گیاهی ترکیبی	پلات ۴	۴۵/۴	۸۴	۴۵	شنی- لومی	۲۱	۳/۲	۷۴/۷
	پلات ۸	۴۵/۴	۸۴	۵۱	شنی- لومی	۴۲	۵/۶	۱۶۶/۱



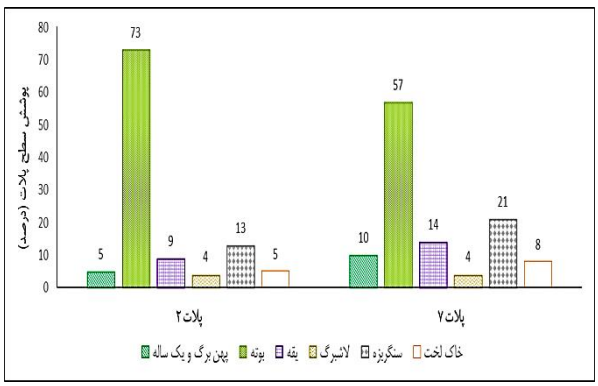
شکل ۸. درصد سطح پوشش پلات‌های بدون پوشش گیاهی



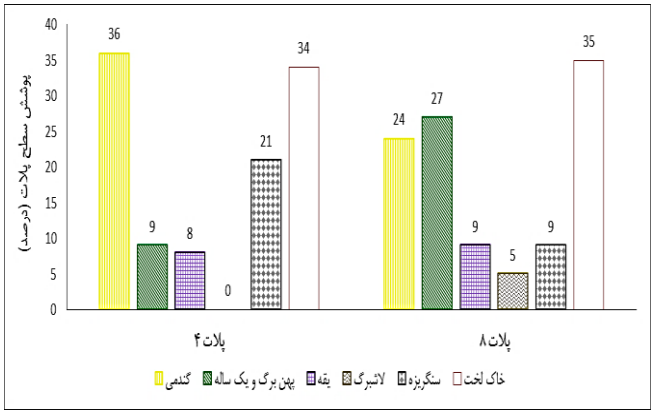
شکل ۹. درصد پوشش پلات‌های با پوشش غالب گندمی



شکل ۱۰: درصد پوشش پلات‌های با پوشش غالب پهن‌برگ و یک‌ساله



شکل ۱۱: درصد پوشش پلات‌های با پوشش غالب بوته‌ای



شکل ۱۲. درصد پوشش پلات‌های با پوشش غالب ترکیبی

بحث

افزایش رواناب، باعث کاهش توان خاک در جذب آب و افزایش سرعت جریان سطحی می‌شود که منجر به بروز سیلاب‌های ناگهانی و خطرناک در حوزه‌های آبخیز می‌گردد. این سیلاب‌ها می‌توانند به‌شدت به زیرساخت‌ها، کشاورزی، و جوامع انسانی آسیب برسانند. همچنین می‌توانند خاک‌ها را به‌سرعت جابه‌جا کرده و موجب افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری در مناطق پایین‌دست شوند، که این مسئله نه‌تنها به منابع آب آسیب می‌زند بلکه از کیفیت خاک‌ها و منابع آبی نیز می‌کاهد. رواناب اضافی در هنگام بارش شدید، به‌جای نفوذ به داخل خاک و تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی، به‌سرعت از منطقه خارج می‌شود. این وضعیت باعث می‌شود که ذخایر آب زیرزمینی به‌طور ناکافی تغذیه شوند. این مسئله به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که به منابع آب زیرزمینی وابسته‌اند، به‌شدت قابل توجه است و ممکن است به کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و درنهایت به کمبود منابع آبی منجر شود. همچنین، رواناب‌ها می‌توانند ذرات خاک و گل را با خود حمل کرده و موجب افزایش گل‌آلودگی آب‌ها شوند که درنهایت به مشکلاتی در تصفیهٔ آب و افزایش هزینه‌ها منجر می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۲۱).

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات رواناب از پلات‌های بدون پوشش گیاهی (خاک لخت) به پلات‌های با پوشش گیاهی به‌صورت کاهشی بوده است. (جدول ۳). در واقع عدم پوشش گیاهی باعث افزایش سرعت رواناب و کاهش نفوذ آب به داخل خاک شده است؛ به‌طوری‌که مقدار رواناب در مناطق با شیب کم در پلات خاک لخت ۵/۹ لیتر به دست آمد و در پلات با پوشش گندمی ۳/۶ لیتر، پوشش گیاهی پهن‌برگ و یک‌ساله ۳/۱ لیتر، پوشش گیاهی بوته‌ای ۲/۲ لیتر و در پوشش گیاهی ترکیبی ۳/۲ لیتر است. همچنین در این جدول، تغییرات رواناب از پلات‌های شیب کم به پلات‌های شیب زیاد با پوشش‌های یکسان و مختلف مقایسه شد که نتایج نشان داد که در شیب زیاد با توجه به اینکه حرکت رواناب سریع‌تر است و آب فرصت کمتری برای نفوذ دارد، پلات‌های با شیب بالاتر رواناب بیشتری تولید می‌کنند که با نتایج تحقیقات اکیو و هریل[1] (۲۰۱۰) هم‌راستاست. همچنین میزان گل‌آلودگی این پژوهش، در پلات‌های بدون پوشش گیاهی به‌مراتب بیشتر از پلات‌های دارای پوشش است. این افزایش در گل‌آلودگی به‌علت فرسایش خاک و حرکت ذرات خاکی به‌همراه رواناب است. پوشش گیاهی بوته‌ای بیشترین تأثیر را در کاهش فرسایش و درنتیجه میزان گل‌آلودگی دارد که با نتایج رحمانی و همکاران (۱۴۰۰) مطابقت دارد.

با توجه به نتایج آزمایش‌های این پژوهش، پوشش گیاهی در پلات‌ها، نقش بسیار مؤثری در کاهش رواناب و گل‌آلودگی و افزایش نفوذ ایفا می‌کند. پلات‌های دارای پوشش گیاهان بوته‌ای، به‌دلیل ریشه‌های قوی و عمیق‌تر و سطح پوشش بالایی که دارند، نسبت به بقیهٔ پلات‌های آزمایشی بیشتر به کاهش سرعت جریان آب بر روی سطح خاک کمک کرده و جذب آب را افزایش می‌دهند. این ویژگی باعث می‌شود که نفوذ آب به خاک بهبود یابد و حجم رواناب و مقدار فرسایش کمتر و درنتیجه گل‌آلودگی کاهش پیدا کند. در پلات‌های بدون پوشش (خاک لخت)، نبود گیاهان، منجر به افزایش مستقیم رواناب می‌شود. در این شرایط، آب به‌سرعت بر روی سطح خاک جاری شده و به‌دلیل فقدان موانع فیزیکی، فرسایش خاک و رواناب به‌شدت افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، در پلات‌های بدون پوشش گیاهی، بارش منجر به رواناب قابل توجهی می‌شود، درحالی‌که در پلات‌های دارای پوشش گیاهی،

1. Ekwue

حتی در شیب‌های تند، حجم رواناب به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. نتایج مطالعات جونز،[1] اسمیت و گرین (۲۰۲۰) و حاجی‌زاده، امیدوار و قاسمیه (۱۴۰۱) نیز نشان داده است که پلات‌های دارای پوشش گیاهی می‌توانند تا حدود ۶۰ درصد از رواناب جلوگیری کنند، درحالی‌که پلات‌های بدون پوشش این توانایی را ندارند و با افزایش شیب زمین، میزان رواناب به‌طور تصاعدی افزایش پیدا می‌کند. همچنین ژانگ[2] و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه‌ای بررسی کردند که چگونه پوشش گیاهی و شیب زمین بر روی فرایندهای رواناب و فرسایش تأثیر می‌گذارد. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که پوشش گیاهی غلات و علف‌ها باعث کاهش قابل توجه فرسایش نسبت به زمین‌های بدون پوشش گیاهی (خاک لخت) می‌شود. همچنین، این مطالعه اشاره کرد که افزایش شیب باعث افزایش رواناب می‌شود، اما با وجود پوشش گیاهی، تأثیر شیب بر رواناب کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج این تحقیق درخصوص تأثیر پوشش گیاهی و همچنین شیب بر روی رواناب هم‌راستاست؛ درنتیجه، می‌توان گفت که پوشش گیاهی در مقایسه با پلات‌های خاک لخت، اثرات مثبتی بر کنترل رواناب و گل‌آلودگی و افزایش نفوذ آب دارد و استفاده از گیاهان پوششی به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر در مدیریت منابع آب و خاک توصیه می‌شود.

به‌طورکلی با توجه به مطالعهٔ حاضر و مطالعات صورت‌گرفته، افزایش رواناب در حوزه‌های آبخیز می‌تواند پیامدهای منفی و گسترده‌ای ازجمله سیلاب، هدررفت منابع آب، فرسایش خاک، کاهش تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی، کاهش کیفیت آب و گل‌آلودگی ایجاد کند. بنابراین، مدیریت صحیح رواناب و حفظ پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز برای کاهش این عواقب بسیار حیاتی است. اتخاذ راهکارهایی نظیر ایجاد تدابیر کنترلی برای کاهش رواناب، تقویت پوشش گیاهی و بهبود ویژگی‌های خاک می‌تواند به کاهش این مشکلات کمک کرده و در بلندمدت منافع اکولوژیکی و اقتصادی فراوانی به همراه داشته باشد.

همچنین با توجه به مطالعات صورت‌گرفته می‌توان به این نتیجه رسید که تغییر اقلیم و تضعیف پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز، به‌ویژه در مناطق خشک، تبعات گسترده‌ای در بلندمدت دارد. این تغییرات می‌توانند به بحران‌های آبی، افزایش فرسایش خاک، کاهش تنوع زیستی، کاهش بهره‌وری کشاورزی و تشدید تغییرات اقلیمی منجر شوند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱) بنابراین، مدیریت پایدار منابع طبیعی، تقویت پوشش گیاهی، استفاده از روش‌های کشاورزی مقاوم به خشکی و تلاش برای کاهش تغییرات اقلیمی ازجمله اقداماتی است که می‌تواند اثرات منفی این روندها را کاهش دهد و به حفظ اکوسیستم‌ها و منابع آبی در درازمدت کمک کند.

جدول ۳. نتایج تأثیر شیب بر روی حجم رواناب تولیدی در پوشش‌های مختلف

پوشش غالب سطح پلات	شیب کم (۱۵ تا ۲۵ درصد)		شیب زیاد (۴۰ تا ۵۵ درصد)	
	حجم رواناب تولیدی (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)	حجم رواناب تولیدی (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)
خاک لخت	۵/۹	۱۳	۱۲/۷	۲۸
پوشش گیاهی غالب گندمی	۳/۶	۷/۸	۶/۲	۱۳/۶
پوشش گیاهی غالب پهن‌برگ و یک‌ساله	۳/۱	۶/۷	۵/۷	۱۲/۶
پوشش گیاهی غالب بوته‌ای	۲/۲	۴/۷	۴/۱	۹
پوشش گیاهی ترکیبی	۳/۲	۶/۹	۵/۶	۱۲/۳

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش گیاهی، به‌ویژه گونه‌های بوته‌ای با ریشه‌های قوی و پوشش متراکم، نقش کلیدی در کاهش رواناب، کاهش هدررفت خاک و افزایش نفوذ آب در حوزهٔ زوجی کاخک گناباد دارد. پوشش گیاهی، با فراهم کردن محافظت سطح خاک و ایجاد ساختارهای اکولوژیکی، نقش مؤثری در بهبود نفوذ آب و کاهش خطرات ناشی از رواناب سطحی و فرسایش دارد. علاوه‌بر این، نتایج حاکی از آن است که با افزایش شیب زمین، حجم رواناب سطحی به‌طور چشمگیری افزایش یافته

1. Jones
2. Zheng

و نفوذ آب به خاک کاهش می‌یابد. شیب زمین نه‌تنها منجر به تسریع جریان‌های سطحی می‌شود، بلکه اثرات بارش بر چرخهٔ هیدرولوژیکی را تشدید می‌کند. این یافته‌ها بر اهمیت ترکیب پوشش گیاهی و مدیریت شیب زمین در کنترل رواناب و کاهش فرسایش خاک تأکید می‌کند.

بااین‌حال، این پژوهش با محدودیت‌هایی مواجه بود. استفاده از شبیه‌ساز باران، گرچه داده‌های دقیقی را فراهم کرد، اما نمی‌تواند تمامی پیچیدگی‌های بارش طبیعی و عوامل محیطی را بازنمایی کند. همچنین، محدودیت در تعداد پلات‌های آزمایشی و ابعاد آن‌ها، به‌همراه تمرکز بر یک منطقهٔ خاص (حوزهٔ زوجی کاخک گناباد)، تعمیم‌پذیری نتایج را به سایر مناطق محدود می‌کند.

ازآنجاکه این پژوهش در شرایط احیاشده (قرق حوزهٔ زوجی کاخک گناباد) صورت گرفته، برای پژوهش‌های آینده، پیشنهاد می‌شود که مطالعات مشابه در مناطق مختلف با شرایط واقعی و تحت بهره‌برداری‌شده و یا شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی متفاوت انجام شود تا تعمیم‌پذیری نتایج افزایش یابد. علاوه‌بر این، بررسی تأثیر پوشش گیاهی در مقیاس بزرگ‌تر و در شرایط واقعی بارش، همراه با تحلیل اقتصادی و ارزیابی هزینه–فایده، می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های عملی در مدیریت منابع آب و خاک کمک کند. همچنین، پیشنهاد می‌شود که متغیرهای دیگری نظیر حجم و عمق ریشه در تحلیل‌ها گنجانده شود تا تأثیرات جامع‌تری بررسی گردد.

Refrences

Alidoost, M. Sobhzahedi, Sh., & Poornasrollah, M.R. (2005). The effect of vegetation on decreasing runoff and soil erosion, in Polrood watershed, *Proceeding of second national conference on watershed and water and soil resources management*, *3*(6), 56-61. (In Persian).

Asgari, E. Talebi, A. Kiani-Harchegani, M., & Amanian, N. (2023). Comparing the effect of vetiver vegetation and surface gravel on the amount of runoff and soil loss in a convex-parallel slope under laboratory conditions. *Ecohydrology*, *10*(3), 335-353. (In Persian).

Bagherian Kalat, A. Lashkaripour, Gh.R. Ghafouri, M., & Abbasi, Ali A.A. (2015). Investigation and evaluation of runoff quality from erosion-sensitive formations using artificial rainmakers (urban and non-urban runoff quality). *National Conference on Rainwater Catchment Surface Systems.*

Brown, L. (2023). Quantifying impacts of climate change on headwater streamflow regime in Robinson Forest: Insights from 35-years of data collection. https://doi.org/10.18297/etd/4179

Busby, R.E. & Gifford, G.E. (1981). Effects of livestock grazing on infilteration and erosion rates measured on chained and unchained pinygon-junipersites in Southeastern Utah. *Journal of Range Mange*, *34*(1), 400-405.

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*(11), 106 132.

Ekwue, E. I., & Harrilal, A. (2010). Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, *105*(1), 112-118.

Esmaeili, A., Kavian, A., Jafarian Z., & Kavianpoor, A.H. (2015). Effect of vegetation covers on decreasing runoff and soil loss using rainfall simulation in Nesho Rangeland, Mazandaran Province. *Geography and Environmental Planning*, *26*(2), 179-190 (in Persian).

Esmaeilpour Zarmehri, A. Dastorani, M.T., & Farzam, M. (2019). Investigating the status of canopy rainfall abduction in a number of shrub species (Case study: Ferdowsi University of Mashhad). *Ecohydrology*, *6*(3), 809-819. (In Persian). https://doi.org/10.22059 / ije.2019. 278363.1076

Hajizadeh, Z., Omidvar, E., & Ghasemieh, H. (2023). The effect of Medicago sativa cover on runoff production at the scale of erosion plots using a rain simulator. *Soil and water modeling and management.* (In Persian). https://doi.org/10.22098/mmws.2023.12800.1278

Hazbavi, Z. & Sadeghi, S. H. R. (2016). Potential effects of vinasse as a soil amendment to control runoff and soil loss. *SOIL Discussions*, *2*(1), 71-78. https://doi.org/10.5194/soil-2-71-2016, 2016.

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*, *20*(244), 1-32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118771

Jones, A., Smith, B., & Green, D. (2020). Vegetation Cover and Soil Infiltration: Implications for Water Resource Management. *Journal of Soil and Water Conservation*, *135*(2), 234-247.

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*(1), 511-524. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04142-6

Khosropour, N. (2018). Investigating the economic value of soil protection function of pasture vegetation. *Proceeding of the 7th National Conference on Pasture and Pasture Management of Iran*, Karaj, (inPersian).

Liu, Y. F., Liu, Y., Wu, G.L., & Shi, Z. H. (2019). Runoff maintenance and sediment reduction of different grasslands based on simulated rainfall experiments, *Journal of Hydrology*, *572*(17), 329-335. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.008

Liu, R., Thomas, X., Shi, X., Zhang, Z., Wang, Z., & Zhang, Y. (2021). Effects of ground cover management on improving water and soil conservation in tree crop systems: a meta-analysis. *Catena*, 199, 105-85. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105085

Mohajerpour, M., Alizadeh, A., & Mousavi Baygi, M. (2014). The Investigation the Amount of Interception in Sprinkler Irrigationin Wheat and Soybean. *Water and Soil Journal*, *28*(3), 470-462. (In Persian).

Niknezhad, D. (2024). Possibility of Measuring Water Content of Fine Textured Saline Soils by Time Domain Reflectometry. *Iranian Journal of Soil Research*, *38*(1), 99-111. (in Persian).

Nikkami, D. (2020). Sampling accuracy of runoff and sediment from erosion plot tanks using bucket.*Watershed Engineering and Management*, *12*(3), 635-642, (in Persian).

Porhemmat, R., Nasseri, H. R., Porhemmat, J., & Molaei, A. (2013). Estimation of runoff coefficient in karstic area (A case study: Delibajak Sepidar, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province). *Iran-Water Resources Research*, *9*(1), 36-47. (in Persian).

Rahmani Nanehkaran, F., Esmaeli-Ouri, A., Kalehouei, M., Ahmadi, M., Mostafazadeh, R., & Hezbavi, Z. (2022). The Changeability of Runoff and Sediment Components from Different Compositions and Percentages of Vegetation. *Journal of Environmental Erosion Research*, *12*(4), 158-173. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.22517812.1401.12.4.8.9

Saleh, I., Khazaei, M., & Vaezi, B. (2021). Introducing the effective forage plants for soil conservation in dry-farming lands. Technical Report. *Soil Conservation and Watershed Management Institute*, *11*(3), 1-33 (in Persian).

Saleh, I., Khazayi, M., Peyrowan, H., & Vaezi, B. (2023). The effect of plant height, vegetation cover and density of Vicia Dasicarpa and Villosa on reducing runoff and sediment. *Watershed Engineering and Management*, *15*(1), 96-108. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijwmse.2022.359411.1983

Saeediyan, H. & Moradi, H. (2022). Comparing of the runoff and sediment of different land uses in Gachsaran and Aghajari formations under rain simulation. *Water and Soil Management and Modelling*, *2*(2), 55-68. (In Persian).

Smith, J. Brown, A. & Green, C. (2019). Impact of Vegetation Cover on Runoff in Arid Regions. *Journal of Hydrology*, *123*(4), 567-580.

Soleimani, F., Kavian, A., Solaimani, K., Sharifi, F., & Shahedi, K. (2018). Effect of application of several amendments on threshold and coefficient of runoff in various conditions under rainfall simulation. *Watershed Engineering and Management*, *10*(2), 214-230. (in Persian). https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.116467

Tang, C.Y. Liu, Z. Li, L. Guo, A. Wu & Zhao. J. (2021). Effectiveness of vegetation cover pattern on regulating soil erosion and runoff generation in red soil environment, southern China. *Ecological Indicatos*, *129*(17), 1-9. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107956

Tajbakhsh, M., Aliabadi, M., Ghalasimoud, Sh., & Rostampour, M. (2022). Investigating the situation of crown rain interception in two types of pastures. *Ecohydrology*, *9*(2), 345-352. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ije.2022.340160.1617

Trautmann, T., Koirala, S., Carvalhais, N., Güntner, A., & Jung, M. (2022). The importance of vegetation in understanding terrestrial water storage variations. *Hydrology and Earth System Sciences*, *26*(4), 1089-1109.

Wood, M. & Blackburn, E.H. (1981). Grazing systems: Their influence on infiltration in the Rolling Plains of Texas. *J. of Range Manage*, *34*(4), 331-335.

Wilson, C., Brown, D., & Green, E. (2021). Impact of Rainfall Intensity and Slope on Water Balance: Case Studies in Mountainous Regions. *Hydrology Research*, *142*(3), 456-470.

Yavari, M., Mohammadi, M. H., & Shahbazi, K. (2021). Comparison of some methods for measuring primary soil particle size distribution and introducing appropriate times for the four-reading method for determining soil texture. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(12), 2999-3015. 10.22059/ijswr.2020.310061.668738.

Zhang, X., Hu, M., Guo, X., Yang, H., Zhang, Z., & Zhang, K. (2018). Effects of topographic factors on runoff and soil loss in Southwest China. *Catena*, *1*(160), 394-402. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.013

Zheng, K., Tan, L., Sun, Y., Wu, Y., Duan, Z., Xu, Y., & Gao, C. (2021). Impacts of climate change and anthropogenic activities on vegetation change: Evidence from typical areas in China. *Ecological Indicators*, 108-126. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107648