Watershed Engineering and Management
DOI: 10.22092/ijwmse.2025.367675.2089

Volume 17, Issue 3, 2025, Pages 302-321

Evaluation of the watershed management measures effects on the peak discharge of the paired watershed of Zidasht Taleghan, Alborz Province

Majid Kazemzadeh[*1], Ali Shahbazi[2], Zahra Noori[2] and Asghar Bayat[3]

[1]Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

[2] Graduated Ph.D. in Watershed Science and Engineering, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

[3] Graduated Master's degree in Watershed Management, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Received: 23 October 2024 Accepted: 07 April 2025

Extended abstract

Introduction

In recent decades, the increasing trend of natural hazards and the destruction of natural resources under the influence of natural and human factors have become increasingly intense. One of the important methods in controlling and reducing surface runoff to mitigate flooding and peak discharge is the implementation of watershed management measures, including management and protection measures, biological and mechanical interventions. Although valuable watershed measures have been implemented in the country in recent years, unfortunately, the scientific documentation and studies regarding their performance, weaknesses, strengths and effectiveness are very little. By studying and evaluation the watershed management measures effects on the important factors of a watershed, such as discharge and water flow, we can take steps to strengthen the strengths and reduce the weaknesses. Therefore, the present study aims to evaluate the performance and effects of biological and mechanical watershed management measures on the peak discharge of treatment and control watersheds in Zidasht Taleghan, Alborz province.

Materials and methods

The paired Zidasht Taleghan watershed, comprising a treatment watershed (104 hectares) and a control watershed (92 hectares), is located inside within a representative watershed with an area of 2750 hectares. In the treatment watershed, along with the protection of the entire area, banqueting along with seeding has been implemented on the area of about 12.5 hectares. In the mechanical measures section, 943 and 72.5 m^2 of gabion structure and dry stone structure were implemented in the treatment watershed, respectively. The total reservoir created by the gabion and dry stone structures was 13,550 and 125 m^2, respectively. In this research, to consider the importance of vegetation cover effect on runoff and peak discharge through curve number in modeling, study and field measurement of vegetation cover changes during the last 5 years (2018 to 2019) in two treatment and control watersheds are presented. In order to investigate the impact of watershed management measures on the peak flow of the control and treatment watersheds, meteorological and discharge data were used from the meteorological station and outlet flumes of the paired watersheds. In addition to comparing the observational data of the peak flow at the outlet of both control and treatment watersheds, rainfall-runoff modeling with the HEC-HMS model was used.

Results and discussion

The evaluation of changes in vegetation under the effects of watershed measures showed that the percentage of vegetation and plant production is about 8% and 265 kg on average in the treatment watershed (on average, 51% vegetation and 777 kg/hectare production) more than the control watershed (on average, 43% vegetation percentage and 512 kg/hectare production). In the discussion of reducing the peak discharge of the treatment and control watersheds, the results of the evaluation of observational data showed that the peak discharge of the treatment watershed under the effects of watershed management measures was 65% lower than that of the control area (without the implementation of watershed management measures). The results of flood modeling showed that in the treatment watershed, the peak flow has decreased about 40% with the implementation of biological measures and 66% with the implementation of biological and

[*] Corresponding author: kazemzadeh@um.ac.ir

DOI: 10.22092/ijwmse.2025.367675.2089

mechanical measures compared to the control watershed. The flood volume has also decreased by 30% on average under the effects of biological and mechanical watershed management measures in the treatment watershed compared to the control watershed.

Conclusion

As a result of the implementation of biological and mechanical measures, in addition to reducing the peak flow, the time to peak flow in the treatment area has also increased (discussion of increasing concentration time). And the peak flow occurred with a longer time delay than the hydrograph of the flood in the case of no watershed management measures in the control watershed. As a result, it can be reported that under the influence of watershed management measures, in addition to reducing flood damage by reducing the peak discharge, with a delay in the time of runoff and flood, more water is infiltrated and stored in the area. The highest amount of peak discharge in these areas occurred in the state without implementation of watershed measures (without structures). Also, considering that the base flow in the treatment watershed was higher than the control watershed in most of the year (on the contrary to the peak flood discharge), the richness of the vegetation cover in the treatment watershed can be considered an important factor in the higher base water flow.

Keywords: Biological measures, Mechanical measures, Control watershed, Modeling, HEC-HMS

Cite this article: Kazemzadeh, M., Shahbazi, A., Noori, Z., Bayat, A., 2025. Evaluation of the watershed management measures effects on the peak discharge of the paired watershed of Zidasht Taleghan, Alborz Province. Water. Eng. Manag. 17(3), 302-321.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۷، شماره ۳، ۱۴۰۴، صفحات ۳۰۲-۳۲۱

Watershed Engineering and Management
Volume 17, Issue 3, 2025, Pages 302-321
DOI:10.22092/ijwmse.2025.367675.2089

ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر دبی اوج خروجی حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان استان البرز

مجید کاظم زاده[1*]، علی شهبازی[2]، زهرا نوری[2] و اصغر بیات[3]

[1] استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[2] فارغ التحصیل دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[3] فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸

چکیده مبسوط

مقدمه

در چند دهه اخیر، روند افزایشی مخاطرات طبیعی و تخریب منابع طبیعی تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی شدت فزاینده‌ای یافته است. یکی از روش‌های مهم در کنترل و کاهش رواناب سطحی برای تعدیل سیلاب و دبی اوج، اقدامات آبخیزداری اعم از اقدامات مدیریتی و حفاظتی، زیستی و یا مکانیکی است. هرچند طی سنوات گذشته اقدامات آبخیزداری ارزشمندی در سطح کشور اجرا شده است، اما متاسفانه مستندسازی علمی و مطالعات در خصوص عملکرد، نقاط ضعف و قوت و اثربخشی آنها بسیار کم است. با مطالعه و ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر عوامل مهم یک حوزه آبخیز ازجمله دبی و جریان آب می‌توان در راستای تقویت نقاط قوت و کاهش نقاط ضعف گام برداشت. بنابراین، مطالعه حاضر به دنبال ارزیابی عملکرد و تأثیر اقدامات آبخیزداری زیستی و مکانیکی بر دبی اوج خروجی حوزه‌های آبخیز نمونه و شاهد زیدشت طالقان استان البرز است.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان شامل حوزه آبخیز نمونه و شاهد که به‌ترتیب دارای مساحت ۱۰۴ هکتار و ۹۲ هکتار بوده، در داخل حوضه معرف با مساحت ۲۷۵۰ هکتار قرار گرفته است. در حوضه نمونه به همراه حفاظت و قرق کل حوضه، در سطح حدود ۱۲/۵ هکتار بانکت‌بندی به همراه بذرکاری (بانکت‌بندی منقطع به همراه چاله فلسی) اجرا شده است. در بخش اقدامات مکانیکی در حوضه نمونه به‌ترتیب ۹۴۳ و ۷۲/۵ مترمکعب سازه گابیونی و سازه خشکه‌چین اجرا شده است. مجموع مخزن ایجادی سازه‌های گابیونی و خشکه‌چین به‌ترتیب ۱۳۵۵۰ و ۱۲۵ مترمکعب بوده است. در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت تأثیر پوشش گیاهی در رواناب و دبی اوج از طریق شماره منحنی در مدل‌سازی، مطالعه و اندازه‌گیری میدانی تغییرات پوشش گیاهی طی پنج سال اخیر (۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲) در دو حوزه آبخیز نمونه و شاهد ارائه می‌شود. به‌منظور بررسی تأثیر اقدامات آبخیز بر دبی اوج حوضه‌های شاهد و نمونه از داده‌های هواشناسی از ایستگاه حوضه زوجی و داده‌های جریان آب و دبی از فلومهای خروجی حوزه‌های آبخیز مذکور استفاده شد. در کنار مقایسه داده های مشاهداتی دبی اوج در خروجی هر دو حوضه شاهد و نمونه از مدل‌سازی بارش-رواناب با مدل HEC-HMS استفاده شد.

* مسئول مکاتبات: kazemzadeh@um.ac.ir

نتایج و بحث

ارزیابی نتایج تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری نشان داد که مقدار درصد پوشش گیاهی و تولید گیاهی به‌طور متوسط حدود هشت درصد و ۲۶۵ کیلوگرم در حوضه نمونه (۵۱ درصد متوسط پوشش گیاهی و ۷۷۷ کیلو گرم در هکتار متوسط تولید) بیشتر از حوضه شاهد (۴۳ متوسط درصد پوشش گیاهی و ۵۱۲ کیلو گرم در هکتار متوسط تولید) بوده است. در بحث کاهش دبی اوج حوزه آبخیز نمونه و شاهد، نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی نشان داد که دبی اوج حوضه نمونه تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری ۶۵ درصد کمتر از حوضه شاهد (بدون اجرای اقدامات آبخیزداری) بوده است. نتایج مدل‌سازی سیلاب نیز تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز مورد مطالعه در حوزه های آبخیز شاهد و نمونه نشان داد که در زیرحوضه نمونه دبی اوج سیلاب با اجرای اقدامات زیستی ۴۰ درصد و با اجرای اقدامات زیستی و مکانیکی ۶۶ درصد نسبت به حوزه آبخیز شاهد کاهش داشته است. حجم سیلاب نیز تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری زیستی و مکانیکی حوضه نمونه نسبت به حوضه شاهد به‌طور متوسط ۳۰ درصد کاهش یافته است.

نتیجه گیری

در اثر اجرای اقدامات زیستی و مکانیکی علاوه‌بر کاهش دبی اوج، زمان رسیدن به دبی اوج در حوضه نمونه نیز افزایش یافته است (بحث افزایش زمان تمرکز) و دبی اوج سیل با تأخیر زمانی بیشتری نسبت به هیدروگراف سیل در حالت بدون اقدامات آبخیزداری حوضه شاهد رخ داده است. در نتیجه می‌توان گفت که تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری علاوه‌بر کاهش خسارت‌های سیل با کاهش دبی اوج، با تأخیر در زمان ایجاد رواناب و سیلاب مقدار آب بیشتری در حوضه نفوذ و ذخیره می‌شود. بیشترین مقدار دبی اوج در این حوضه‌ها در حالت بدون اجرای اقدامات آبخیزداری (بدون سازه) رخ داده است. همچنین با توجه به این‌که دبی پایه در حوضه نمونه در بیشتر مواقع سال بیشتر از حوضه شاهد بوده (برعکس دبی اوج سیلاب)، می‌توان غنی بودن پوشش گیاهی در حوضه نمونه را عامل مهمی در بیشتر بودن جریان آب پایه در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: اقدامات زیستی، اقدامات مکانیکی، حوزه آبخیز شاهد، مدل‌سازی، HEC-HMS

مقدمه

در چند دهه اخیر، روند افزایشی تلفات منابع آب و خاک موجود در حوزه‌های آبخیز در اثر تخریب و کاهش پوشش گیاهی و بهره‌برداری غیراصولی از این منابع، شدت فزاینده‌ای یافته است (Tavakoli et al., 2023). در شرایط فعلی چالش‌های مهم یک حوزه آبخیز تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی در بحث منابع آب و خاک و پوشش گیاهی را می‌توان تخریب اراضی و بهره برداری بیش از حد از توان عرصه‌های طبیعی، افزایش پتانسیل سیل‌خیزی، کاهش منابع آب قابل دسترس، فرسایش خاک و کاهش حاصلخیزی، پر شدن مخازن سدها و کاهش عمر مفید آنها دانست.

به خصوص، سیل و فرسایش خاک از مهم‌ترین مشکلات حوزهای آبخیز کشور است که باعث هدر رفت خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش پوشش گیاهی، افزایش رواناب و سیلاب‌های شدید می‌شود (Hamedi et al., 2022؛ Kazemzadeh and Akbari, 2019). جریان سیل به‌طور عمده ناشی از رواناب سطحی است که حاصل ویژگی‌های بارش و ویژگی‌های حوزه آبخیز است. یکی دیگر از عوامل تشدید سیلاب دخالت بی‌رویه انسان در محیط زیست و عرصه‌های طبیعی است که در ظهور سیلاب‌ها نقش قابل ملاحظه‌ای دارد. توسعه روند روزافزون شهرنشینی و پوشش‌های غیرقابل نفوذ بر سطح زمین هر روز احتمال سیل‌خیزی در مناطق مسکونی را افزایش می‌دهد. با از بین رفتن روزافزون پوشش گیاهی مراتع و جنگل‌ها (تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی)، همه ساله خسارت جریان‌های سطحی آب در مقیاس وسیع‌تری افزایش یافته است.

در این میان، اقدامات آبخیزداری با رویکرد نرم و سخت به دنبال کاهش مخاطرات طبیعی و بهبود شرایط فعلی حوزه‌های آبخیز از جنبه‌های مختلف به‌خصوص کاهش سیل و رواناب سطحی است. به عبارتی یکی از

روش‌های مهم در کنترل و کاهش رواناب سطحی برای تعدیل سیلاب و دبی اوج، اقدامات آبخیزداری اعم از اقدامات مدیریتی و حفاظتی، زیستی و یا مکانیکی است (Nourali and Ghahraman, 2016). یکی از مسائل مهم و اساسی در مدیریت حوزه‌های آبخیز و مطالعات کنترل سیل که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است،

بررسی تأثیر اقدامات مدیریتی و اصلاحی آبخیزداری اجرا شده، اثر بخشی آنها در کاهش دبی اوج است. انجام عملیات اصلاحی از قبیل احداث سدهای تأخیری، بانکت و سایر فعالیت‌ها روی پاسخ حوزه آبخیز نسبت به بارش اثرات متفاوتی می‌گذارد. ساخت تأسیسات و اجرای هر گونه عملیات درون حوضه‌ای، با ایجاد تغییراتی در ضریب زبری، زمان تمرکز، تغییر وضعیت پوشش‌گیاهی و در نتیجه تغییر در نفوذپذیری خاک شده و موجب بروز وضعیت‌های جدیدی در تولید رواناب و در نتیجه دبی اوج سیل می‌شود. به‌منظور ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری اجرا شده بر روی ویژگی‌های جریان آب ازجمله دبی اوج نیاز به داده‌های آب‌سنجی و مدلسازی بارش-رواناب و بررسی هیدروگراف‌های خروجی حوزه‌های آبخیز است که در ادامه به چندین مطالعه در این خصوص پرداخته می شود.

Nourali and Ghahraman, (2016) به ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر آبنمود سیل با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز گوش و بهره در استان خراسان رضوی پرداختند. در این مطالعه با توجه به اهمیت ارزیابی اثربخشی اقدامات آبخیزداری، از شاخص های دبی اوج سیلاب و حجم جریان استفاده کردند و نتایج پژوهش آنها نشان داد که انجام اقدامات زیستی و مکانیکی باعث کاهش مقدار دبی اوج سیلاب تا ۳۶/۲۱ و کاهش حجم سیلاب تا ۳۴/۷۸ درصد در دوره‌های بازگشت مختلف شده است. Ghermezcheshmeh et al., (2019) پژوهشی با هدف ارزیابی تأثیر اقدامات‌آبخیزداری در حوضه هفتان استان مرکزی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که اقدامات آبخیزداری بیشترین تأثیر خود را بر روی وقایع سیلاب های کوچک گذاشته است.

همچنین هم‌زمان با افزایش شدت بارش، تأثیر سازه ها بر کاهش دبی اوج کمتر شده است. با توجه به نتایج سیلاب شبیه‌سازی شده در خروجی حوضه هفتان، مشخص شد که تأثیر اقدامات آبخیزداری بر کاهش دبی اوج از ۲۱ تا ۸۳ درصد و بر کاهش حجم سیلاب از ۱۱ تا ۷۹ درصد متغیر بوده است که این نتیجه بیانگر تأثیر بیشتر اقدامات آبخیزداری بر روی کاهش دبی اوج نسبت به کاهش حجم سیلاب بوده است. Tavakoli et al., (2023) پژوهشی با هدف ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز گل‌گل استان ایلام با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS انجام دادند.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که در سناریوی اول (وجود سازه آبخیزداری) و دوم (عدم وجود سازه آبخیزداری) دبی اوج شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۱۳۷ مترمکعب بر ثانیه و ۱۱۴/۲ مترمکعب بر ثانیه محاسبه شده که تأثیر سازه‌ها بر دبی اوج را با کاهش ۲۲/۸ مترمکعب بر ثانیه نشان داد. Soleimani Sardoo et al., (2024) پژوهشی به‌منظور ارزیابی نقش پروژه‌های آبخیزداری در کاهش دبی اوج سیلاب از مدل بارش-رواناب HEC-HMS در حوزه آبخیز حسین‌آباد جیرفت انجام دادند تا بتوانند میزان دبی قبل از اجرای فعالیت‌های آبخیزداری و بعد از اجرایی فعالیت‌های آبخیزداری محاسبه کنند. نتایج این پژوهش آنان نشان داد که فعالیت‌های آبخیزداری در منطقه حسین آباد جیرفت نقش اساسی در کاهش دبی اوج سیلاب داشته اند این کاهش در بعضی از زیر حوضه‌ها بیش از ۹۵ درصد بوده که نشان‌دهنده تأثیرگذاری پروژه‌های آبخیزداری و میزان اثربخشی آنها بر روی دبی اوج سیلاب بوده است.

Noor et al., (2024) پژوهشی در خصوص ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر فرسایش خاک و تولید رواناب در مقیاس کرت و آبخیز زوجی کاخک انجام دادند و نتایج پژوهش آنها نشان داد که متوسط سالانه هدررفت خاک دو زیرحوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۲۷ تن بر هکتار در سال است. همچنین در مجموع حدود ۱۳۶ هزار مترمکعب ذخیره رواناب و ۲۹۴ تن کنترل رسوب معلق در اثر اقدامات آبخیزداری در زیرحوضه نمونه صورت پذیرفته است.

هرچند طی سنوات گذشته اقدامات آبخیزداری ارزشمندی در سطح کشور اجرا شده است، اما متاسفانه مستندسازی علمی و مطالعات در خصوص عملکرد، نقاط ضعف و قوت و اثربخشی آنها بسیار کم است. با مطالعه و ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر عوامل مهم یک حوزه آبخیز ازجمله دبی و جریان آب می‌توان در راستای تقویت نقاط قوت و کاهش نقاط ضعف گام برداشت. چرا که برای برنامه‌ریزی‌های آتی طرح‌های اجرایی آبخیزداری، ارزیابی عملکرد اقدامات گذشته امری ضروری است و نبود ارزیابی و بازنگری فعالیت‌ها در دراز مدت منجر به انحراف از اقدامات اساسی مورد نیاز و نتیجه اتلاف نیروها و سرمایه می‌شود.

از طرفی دیگر نبود داده و اطلاعات کافی به‌منظور پایش و ارزیابی اقدامات آبخیزداری در بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور، بحث پایش و ارزیابی را در سطح کشور با مشکل روبه‌رو کرده است. در این میان، طی یکی و دو دهه اخیر، حوزه‌های آبخیز زوجی به‌صورت پایلوت در بعضی از استان‌های کشور ازجمله استان البرز، با پایش و ثبت داده‌های مختلف ازجمله جریان آب، پوشش گیاهی، فرسایش و رسوب و غیره پتانسیل مناسبی را بر مطالعه و ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری ایجاد کرده اند. بنابراین پژوهش حاضر به دنبال ارزیابی عملکرد و تأثیر اقدامات آبخیزداری زیستی و مکانیکی بر دبی اوج خروجی حوزه‌های آبخیز نمونه و شاهد زیدشت طالقان استان البرز است.

مواد و روش‌ها

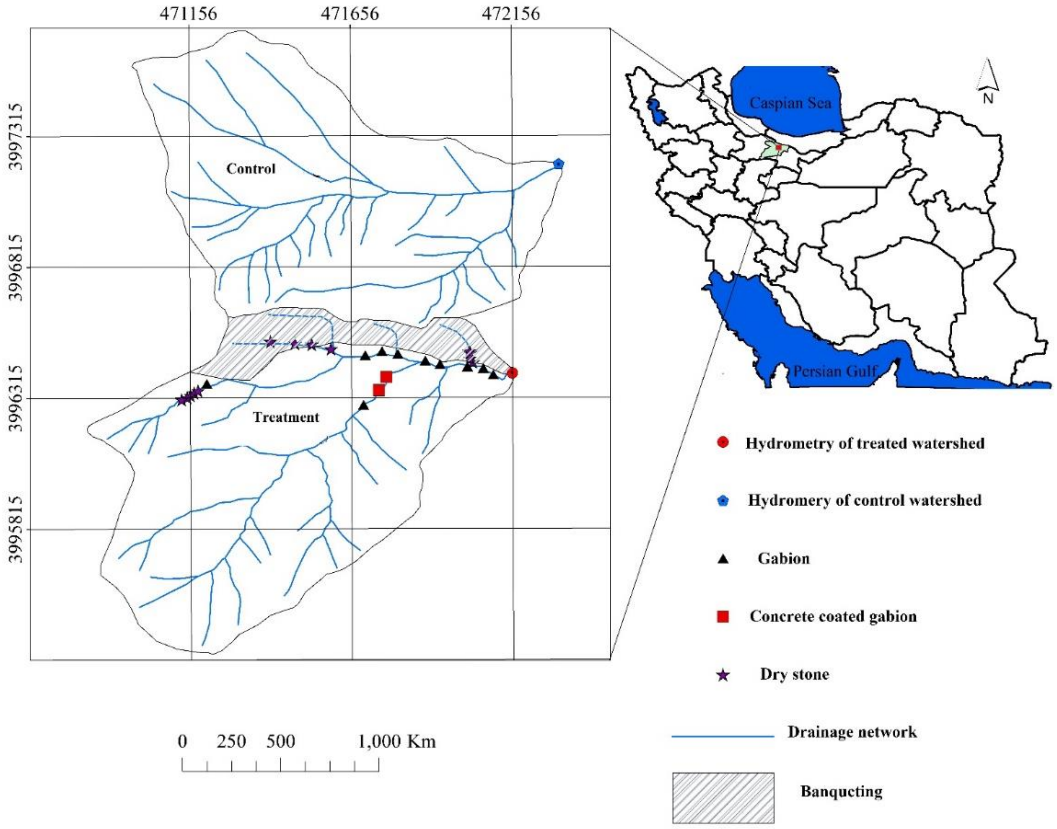
منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان شامل حوزه آبخیز نمونه و شاهد که به‌ترتیب دارای مساحت ۱۰۴ هکتار و ۹۲ هکتار بوده، در داخل حوضه معرف با مساحت ۲۷۵۰ هکتار قرار گرفته است. حوزه آبخیز زیدشت یکی از زیرحوزه‌های آبخیز طالقان در استان البرز است که در بین "۵۶ ' ۰۹ °۵۱ تا "۵۶ ۱۸ °۵۱ طول شرقی و "۳۲'۰۴ °۳۶ تا "۳۱ '۱۰ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. محیط حوضه معرف و زوجی طالقان ۲۷/۰۴ کیلومتر، کمینه ارتفاع حوضه ۱۸۱۳ متر و بیشینه ارتفاع آن ۲۹۱۰ متر از سطح دریا است. شیب متوسط منطقه موردمطالعه ۵۰ درصد است. در حوزه آبخیز معرف طالقان، یک روستا با نام میان بیشه وجود دارد. اقلیم منطقه مورد مطالعه براساس سامانه طبقه‌بندی آمبرژه و دومارتن به‌ترتیب جز طبقه ارتفاعات و بسیار مرطوب است.

آبخیزهای معرف و زوجی واحدهای هیدرولوژیکی هستند که در مناطق همگن ازنظر اقلیمی، لیتولوژی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و خاک با مساحت یکسان استقرار و راه‌اندازی می‌شوند. داخل حوزه‌های آبخیز معرف، زیرحوضه شاهد و نمونه قرار می‌گیرند که به آنها آبخیزهای زوجی گفته می‌شود. زیرحوضه نمونه برای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب، رواناب و پارامترهای دیگر و همچنین بررسی اثرات اقدامات مختلف آبخیزداری بر شرایط فیزیکی و اجتماعی آبخیز استفاده می‌شود. زیرحوضه شاهد بدون اجرای اقدامات آبخیزداری بوده، برای ثبت ویژگی‌های طبیعی یک حوضه معرف و مطابقت آن با حوضه نمونه استفاده می‌شود (Kazemzadeh et al., 2022).

ایستگاه هواشناسی (در طول جغرافیایی "۳۲ ' ۴۰ °۵۰ و عرض جغرافیایی " ۳۹ '۰۷ °۳۶) حوضه معرف و زوجی زیدشت طالقان پس از نصب حساسه‌های رقومی ساخت لامبرشت آلمان از سال ۲۰۱۱ شروع به ثبت داده‌ها در بازه ۱۰ دقیقه‌ای کرده است که حساسه های موجود در ایستگاه شامل دمای هوا، رطوبت هوا، تبخیر، فشارهوا، رطوبت خاک، دمای سطح خاک، دمای عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک، دمای عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک، سرعت باد، جهت باد و غیره هستند. میانگین بارش و دمای سالانه منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب حدود ۶۲۰ میلی‌متر و حدود ۷/۸ درجه سانتی‌گراد است. به‌منظور مطالعه ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری بر سیلاب و دبی اوج حوضه زوجی زیدشت از اطلاعات ایستگاه مذکور استفاده شد (Kazemzadeh et al., 2020) (شکل ۱).

اقدامات آبخیزداری اجرا شده در حوزه آبخیز زوجی زیدشت: در سطح حوزه آبخیز نمونه اقدامات آبخیزداری به شرح جدول ۱، طی سنوات گذشته اجرا شده است. حوضه نمونه از سال ۱۳۸۸ از طریق حصارکشی قرق و حفاظت شده است و در سال ۱۳۹۹ در سطح حدود ۱۲/۵ هکتار بانکت‌بندی به همراه بذرکاری (بانکت‌بندی منقطع به همراه چاله فلسی) اجرا شده است. در بخش اقدامات مکانیکی در حوضه نمونه

به‌ترتیب ۹۴۳ و ۷۲/۵ مترمکعب سازه گابیونی و سازه خشکه‌چین اجرا شده است. مجموع مخزن ایجادی سازه‌های گابیونی و خشکه‌چین به‌ترتیب ۱۳۵۵۰ و ۱۲۵ مترمکعب بوده است. سازه‌های گابیونی به مقدار ۱۰۳۴۰ مترمکعب و سازه‌های خشکه‌چین ۱۲۱ مترمکعب رسوب تولیدی حوضه نمونه را در مخازن خود تثبیت کرده، از خارج شدن رسوبات از حوضه جلوگیری کرده‌اند. لازم به ذکر است تمامی مشخصات مورد نیاز اقدامات آبخیزداری اجرا شده طی سنوات گذشته در پژوهش حاضر با بررسی‌های میدانی و دفتری مطالعه و ثبت شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و اقدامات اجرا شده آبخیزداری در حوضه زوجی زیدشت طالقان

Fig. 1. Location of the studied area and implemented watershed management measures in Zidasht Taleghan

جدول ۱- خلاصه اقدامات اجرا شده حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان طی سنوات گذشته

Table 1. Summary of implemented measures of Zidasht Taleghan Watershed during the past years

Row	The type of watershed measures implemented in the treatment watershed	Magnitude	Implemented year
1	Protection	104 ha	1388
2	Banqueting	12.5 ha	1399
3	Seeding (Amygdalus)	10 ha	1399
4	Gabion structure	943 m^3	1388-1399-1400
5	Dry stone structure	72.5 m^3	1388-1399-1400

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سازه‌های آبخیزداری اجرا شده (گابیونی) در حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان
Table 2. Physical characteristics of the watershed constructions implemented (Gabion) in Zidasht Taleghan Watershed

Row	Structure type	Name	X (m)	Y (m)	Height (m)	Total height (m)	Volume of the structure (m^3)	Reservoir volume (m^3)	Filled sediment volume (m^3)	Remaining volume (m^3)
1		G1	472065	3996427	3	4	60	1100	700	400
2		G2	472096	3996402	2	3	53.35	700	500	200
3		G3	471885	3996456	3	4	52.8	1250	890	360
4		G4	471800	3996481	3	4	87	1050	700	350
5		G5	471931	3996442	2	3	60	600	600	0
6	Gabion	G6	472016	3996433	2	3	70	1200	800	400
7		G7	470413	3998122	2	3	46	600	200	400
8		G8	471207	3996369	3	4	73	650	100	550
9		G9	471693	3996287	3	4	90	1000	1000	0
10		G10	471751	3996492	3	4	90	1100	850	250
11		G11	471699	3996477	2	3	36	600	300	300
12	Concrete coated gabion	GM12	471764	3996394	3	4	95	1200	1200	0
13		GM13	471741	3996343	3	4	130	2500	2500	0
	Sum				-	-	943	13550	10340	3210

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سازه‌های آبخیزداری اجرا شده (خشکه‌چین) در حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان
Table 2. Physical characteristics of the watershed constructions implemented (Dry stone) in Zidasht Taleghan Watershed

Row	Structure type	Name	X (m)	Y (m)	height (m)	Total height (m)	Volume of the structure (m^3)	Reservoir volume (m^3)	Filled sediment volume (m^3)	Remaining volume (m^3)
1		Kh1	472033	3996449	0.7	0.7	3.6	10	10	0
2		Kh2	472024	3996464	0.9	0.9	4.8	6	6	0
3		Kh3	472025	3996485	0.9	0.9	3.9	8	8	0
4		Kh4	472022	3996491	0.9	0.9	4.5	15	15	0
5		Kh5	471168	3996334	1	1	5	5	4	1
6		Kh6	471156	3996324	1	1	5	5	4	1
7	Dry stone	Kh7	471146	3996316	1	1	5	5	4	1
8		Kh8	471593	3996501	1	1	7	15	15	0
9		Kh9	471533	3996518	1	1	7	15	15	0
10		Kh10	471481	3996522	1	1	8	15	15	0
11		Kh11	471405	3996529	1	1	7	15	15	0
12		Kh12	471129	3996308	0.93	0.93	6.7	6	6	0
13		Kh13	471180	3996342	1	1	5	5	4	1
	Sum						72.5	125	121	4

ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری: مطالعه و بررسی تغییرات پوشش گیاهی هر ساله با اندازه‌گیری و مطالعه میدانی پوشش گیاهی در زمان اوج رویشی پوشش گیاهی (دوره بیشینه رشد گیاهان در هر سال) منطقه یعنی در حدوداً در اواسط خردادماه انجام می‌شود. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و پیمایش و مطالعه میدانی نسبت به تشخیص و تفکیک تیپ‌های مرتعی از یکدیگر اقدام شده است. لذا، بر اساس غلبه گونه‌ها و سیمای ظاهری، واحدهای گیاهی نسبتاً متجانس و همگن مشخص و بر اساس درجه غلبه یک یا دو گونه (در بعضی مواقع سه گونه) هر یک از واحدها نام‌گذاری شده است. با توجه به وسعت کم دو زیر حوزه آبخیز (نمونه و شاهد) در هر حوضه یک تیپ گیاهی مشخص شد.

شکل ۲- تصویری اقدامات اجرایی از سازه‌های خشکه‌چین (a)، سازه‌های گابیونی اجرا شده (b) بانکت‌بندی و بذرکاری در داخل بانکت‌بندی (c) در حوزه آبخیز نمونه (منبع تصاویر: نویسندگان)

Fig. 2. Illustration of implementation measures of dry stone structures (a), implemented gabion structures (b) Banqueting and seeding (c) in the watershed of the treatment (source of images: the authors)

در هر تیپ گیاهی با توجه به مساحت محدوده و طول و عرض حوضه و انجام بازدید میدانی دو مسیر عمود بر هم به‌صورت ترانسکت خطی برای نمونه‌برداری در نظر گرفته شده است و اولین کرت‌ها به‌صورت تصادفی در مرز حوضه مستقر شد و کرت‌های بعدی به فواصل هر ۱۰۰ متر یک کرت در امتداد مسیر مشخص شده است. در نهایت در هر دو منطقه معرف تعداد ۳۵ عدد (۱۸ کرت در حوضه شاهد و ۱۷ کرت در حوضه نمونه) کرت به فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر در نظر گرفته شده است. اندازه کرت‌ها با توجه به نوع و پراکنش گونه‌ها به روش کمینه سطح ۱×۱ مترمربعی انتخاب شده است (Zare Chahouki et al., 2012). در هر کرت اطلاعات لیست گونه‌های گیاهی، درصد تاج پوشش، درصد سنگریزه سطحی، درصد لاشبرگ، درصد خاک لخت اندازه‌گیری می‌شود (Kazemzadeh et al., 2022). در پژوهش حاضر نتایج ارزیابی پوشش گیاهی در حوزه آبخیز نمونه و شاهد طی پنج سال گذشته (۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲) ارائه می‌شود.

اندازه‌گیری میدانی جریان آب و دبی خروجی حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان: تجهیزات هیدرومتری و پارشال فلوم مربوط به هر یک از حوزه های آبخیز شاهد و نمونه در خروجی حوضه‌ها قرار دارند

و به‌وسیله دستگاه تالیمدس ارتفاع آب خروجی هر یک از حوضه به فاصله پنج دقیقه‌ای اندازه گیری می‌شود. همچنین به‌منظور اندازه گیری رسوبات بار بستر در ورودی هر یک از پارشال فلوم‌ها نیز حوضچه جمع‌آوری رسوب به ابعاد ۲۴ مترمکعب احداث شده است. عرض هر یک از فلوم ها دو متر و ارتفاع آنها یک متر است (شکل ۳). در جدول ۴ مشخصات فیزیکی مورد نیاز برای ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری بر کاهش حجم و دبی اوج سیلاب در حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان ارائه شده است.

شکل ۳- تصاویری از فلوم خروجی حوزه آبخیز شاهد زیدشت طالقان (منبع تصاویر: نویسندگان)
Fig. 3. Images of the outlet flume of control watershed of Zaidasht Taleghan (source of images: the authors)

جدول ۴- مشخصات فیزیکی حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان
Table 4. Physical characteristics of Zidasht Taleghan Watershed

Watershed	Area (ha)	Stream length (m)	Mean slope (%)	Curve number	Hour (Lag time)	Concentration time (hour)
Control	92.1	1500	42.4	71	0.23	0.38
Treatment	104.2	1750	50.2	65	0.28	0.46

مدلسازی بارش- رواناب (HEC-HMS): مدل ریاضی بارش-رواناب HEC-HMS یک مدل مفهومی شبیه‌ساز سیلاب و رواناب در سطح حوضه است که به وسیله مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات متحده آمریکا توسعه داده شده است. این مدل در رده مدل‌های یکپارچه قرار داشته، در ابتدا تنها برای مدل‌سازی وقایع رخدادی مورد استفاده قرار می‌گرفت ولی در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای وارد کردن مدل‌سازی پیوسته در مدل HEC-HMS شده است. در این مدل به‌منظور شبیه‌سازی سیلاب ابتدا شماتیک توپولوژی زیرحوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ها، برای هر حوزه آبخیز طراحی شد (شکل ۵ تا ۱۰).

همچنین عوامل شبیه‌سازی حوضه‌ها، زیرحوضه‌ها و رودخانه‌ها که شامل مساحت، مولفه‌های نوع تابع بارش به رواناب و دبی پایه رودخانه و روش روندیابی است در این بخش تعریف شدند. مدل HEC-HMS در این مطالعه بر اساس روش SCS برای محاسبه نفوذ، روش هیدروگراف واحد SCS در تبدیل بارش به رواناب و روش ماسکینگام برای روندیابی در رودخانه مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفت.

استفاده از معادله رواناب SCS برای اجرای مدل HEC-HMS: روش‌های مختلفی برای محاسبه متغیرهای مؤثر در تولید رواناب حوضه با استفاده از مدل HEC-HMS وجود دارد که بر مبنای نظر کارشناسی کاربر و میزان دسترسی به اطلاعات مورد نیاز در هر روش و هدف کاری انتخاب می‌شود. لذا، در این پژوهش فقط مبانی تئوریک روش مورد استفاده آورده شده و از توضیحات دیگر روش‌ها در این مدل صرف‌نظر شده است (Zynati Shoaa, 2007).

تا سال ۱۹۵۰ سازمان حفاظت خاک آمریکا معادله ای را که بتوان با استفاده از اطلاعات قابل دسترس برای کلیه نقاط از آن استفاده کرد، ارائه نکرده بود. سازمان مذکور پس از تحقیقات لازم رابطه بارش-رواناب را به صورت زیر معرفی کرد.

اگر مقادیر تجمعی رواناب ناشی از بارندگی در مقابل بارندگی تجمعی در یک نمودار رسم شود، ملاحظه می شود که به ازای مقادیر بارندگی اولیه، روانابی وجود نخواهد داشت و با مدتی تأخیر از زمان شروع بارندگی رواناب پدید می‌آید. ارتباط بین متغیرهای مربوطه به شرح زیر است.

$$P = S + Q \quad (۱)$$

$$S = I_a + F \quad (۲)$$

$$P = I_a + F + Q \quad (۳)$$

که در این رابطه‌ها، P ارتفاع بارندگی بر حسب اینچ، S حداکثر پتانسیل نفوذ تجمعی بر حسب اینچ، Q میزان رواناب ناشی از بارندگی بر حسب اینچ، I_a مقدرا نگهداشت اولیه بر حسب اینچ و F مقدار نفوذ تجمعی حاصل از بارندگی بر حسب اینچ است. برای مقادیر بارندگی بر روی سطح خاک حوزه آبخیز و مجموعه عوامل مؤثر گفته شده برای I_a مقدار آن از صفر تا S تغییر می‌کند. به‌طوری‌که اگر در یک میزان بارندگی شرایط غرقابی به سرعت حاصل شود، می‌توان اظهار داشت که تقریباً بارندگی حاصله به رواناب تبدیل شده، به زبان ریاضی می‌توان رابطه‌های زیر را ارائه کرد.

$$I_a \to 0 \quad \to S = 0 \quad \to P \approx Q \quad F \approx 0 \quad (۴)$$

با توجه به رابطه و با نگرش دقیق‌تر، ارتفاع بارندگی باریده شده (P) می‌تواند بیشینه پتانسیل رواناب نامیده شود. بر اساس فرضیاتی معادله زیر ارائه شد.

$$\frac{F}{S'} = \frac{Q}{P} \quad (۵)$$

که در آن، S' بیشینه پتانسیل نگهداشت در شرایطی که نگهداشت اولیه در نظر گرفته نشود. تفاوت بین بارندگی و رواناب با در نظر نگرفتن میزان نگهداشت اولیه برابر با مقدار نفوذ تجمعی (F) است و رابطه ساده زیر در این مورد قابل ارائه است.

$$F = P - Q \quad (۶)$$

با فرض:

$$I_a = 0.2S \quad (۷)$$

رابطه (۲) به رابطه زیر تبدیل می‌شود.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (۸)$$

در مورد فرض ارائه شده در اشتقاق رابطه (۷) باید اظهار داشت که ضریب S از صفر تا یک متغیر است. با قبول فرض به‌کار رفته در رابطه (۷) مقدار رواناب به وسیله رابطه (۸) قابل محاسبه است که در آن مقدار ارتفاع رواناب به دو عامل ارتفاع بارندگی (P) و بیشینه پتانسیل نفوذ (S) بستگی دارد که S به‌وسیله رابطه زیر به متغیر دیگری به نام شماره منحنی (CN) ارتباط داده شده است.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۹)$$

برآورد مقادیر شماره منحنی (CN): مقدار معین CN با استفاده از نوع کاربری، پوشش گیاهی (وضعیت هیدرولوژیکی) و میزان نفوذپذیری خاک (گروه‌های هیدرولوژیک خاک) به‌دست می‌آید. دامنه تغییرات مقدار CN که یک عدد بدون بعد است بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. CN برابر ۱۰۰ مربوط به خاکی است که کلیه مقادیر بارندگی به رواناب تبدیل شود و مقدار نفوذ برابر با صفر است. در پژوهش حاضر برای مدلسازی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر کاهش و کنترل سیل از اطلاعات جدول شماره منحنی استفاده شد.

محاسبه زمان تمرکز و زمان تأخیر: زمان تمرکز مدت زمانی است که آب از دورترین نقطه حوضه به

نقطه خروجی برسد. زمان تمرکز در طراحی سرریزها، برآورد حجم سیلاب، تهیه هیدروگراف سیل و بسیاری از تحلیل‌های هیدرولوژیکی دیگر مورد نیاز است. برای محاسبه زمان تمرکز و زمان تأخیر (فاصله زمانی بین مرکز بارندگی تا نقطه اوج هیدروگراف) به‌صورت زیر عمل می‌شود.

زمان تأخیر بر حسب تعریف فاصله زمانی بین مرکز بارش (نقطه زمانی وسط بارندگی) تا زمان اوج هیدروگراف است. در روش SCS زمان تأخیر (فاصله زمانی بین مرکز بارندگی تا نقطه اوج هیدروگراف)، بر حسب ساعت، L طول رودخانه اصلی بر حسب متر، Y متوسط شیب حوضه بر حسب درصد که غالباً برابر شیب متوسط وزنی حوزه آبخیز یا رودخانه بوده، CN شماره منحنی است. در این فرمول نمایه ویژگی‌های حوضه ازنظر نفوذپذیری است.

$$T_{lag}=\frac{2.58L^{0.8}\left(\left(\frac{1000}{CN}\right)-9\right)^{0.7}}{1900(Y)^{0.5}} \quad (۱۰)$$

$$T_{Lag}=0.6Tc \quad (۱۱)$$

Tc زمان تمرکز بر حسب ساعت وT_{lag} زمان تاخیر بر حسب ساعت است.

لازم به ذکر است علت استفاده از روش زمان تأخیر، این است که به توان با در نظر گرفتن تغییرات شماره منحنی طی سنوات گذشته، تأثیر اقدامات زیستی و مکانیکی را در زمان تأخیر و دبی اوج ارزیابی کرد. همچنین با توجه به تجربی بودن رابطه‌ها در بعضی موارد نتایج روش‌های زمان تمرکز باهم اختلاف‌های فاحشی را دارند که خود این موضوع بستگی به نوع پارامترهای مورد استفاده آن روش دارد. به‌منظور مدل‌سازی سیلاب از طریق مدل HEC-HMS سه واقعه بارشی برای واسنجی مدل و یک واقعه (واقعه بارش ۱۲-۳-۲۰۲۱ - ۱۳۹۹/۱۲/۲۲) برای صحت‌سنجی استفاده شد و در ادامه نتایج مدل‌سازی واقعه بارشی ۱۳۹۹/۱۲/۲۲ ارائه می‌شود. همچنین به‌منظور بررسی واسنجی و صحت‌سنجی مدل از شاخص‌های ناش-ساتکلیف[1] و میانگین خطای مطلق[2] که در نتایج خود خروجی‌های مدل وجود دارد، استفاده شده است.

نتایج و بحث

ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی تحت اقدامات آبخیزداری: ارزیابی نتایج تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری در حوضه زوجی زیدشت طالقان طی پنج سال گذشته در جدول ۵ نشان داد که در سنوات گذشته مقدار درصد پوشش گیاهی و تولید گیاهی به‌طور متوسط حدود هشت درصد و ۲۶۵ کیلوگرم در حوزه آبخیز نمونه (۵۱ درصد متوسط پوشش گیاهی و ۷۷۷ کیلوگرم در هکتار متوسط تولید) بیشتر از حوضه شاهد (۴۳ درصد متوسط پوشش گیاهی و ۵۱۲ کیلوگرم در هکتار متوسط تولید) بوده است. همچنین بررسی روند تغییرات درصد پوشش گیاهی نشان داد که مقدار درصد پوشش گیاهی و تولید آن در هر دو حوضه به‌صورت افزایشی بوده است. لازم به ذکر است کاهش مقدار تولید پوشش گیاهی در طی سال‌های اخیر بیشتر مربوطه به کاهش شدید بارش بوده است که متاسفانه آمار هواشناسی ایستگاه زوجی زیدشت طالقان کاهش تقریبا بیش از ۵۰ درصدی طی سنوات گذشته داشته است.

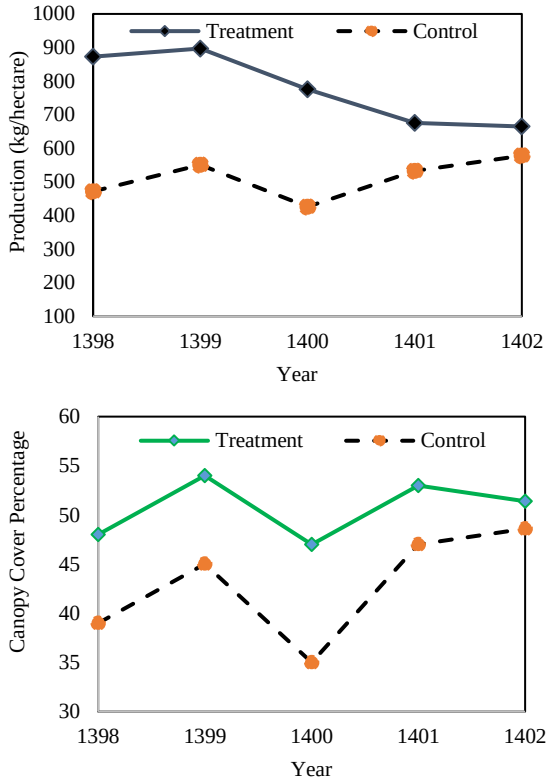
جدول ۵- نتایج ارزیابی میدانی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری طی سنوات گذشته

Table 5. The results of the field evaluation of vegetation changes under the effect of watershed measures during the past years

Row	Year	Canopy Cover Percentage		Production (kg/hectare)	
		Treatment	Control	Treatment	Control
1	1398	48	39	873	472
2	1399	54	45	897	551
3	1400	47	35	776	426
4	1401	53	47	676	533
5	1402	51.4	48.6	665	578

[1] Nash–Sutcliffe Efficiency

[2] Mean Absolute Error (MAE)



شکل ۴- تغییرات درصد پوشش گیاهی و تولید گیاهی تحت اقدامات آبخیزداری طی سنوات گذشته در حوضه زوجی زیدشت

Fig. 4. Changes in the percentage of canopy cover and plant production under watershed management measures during the past years in paired watersheds of Zidasht

نتایج ارزیابی و تحلیل وقایع بارش و دبی اوج مشاهداتی تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری: با بررسی مهم‌ترین وقایع بارش و دبی اوج مشاهداتی از زمان احداث و آماربرداری حوضه زوجی زیدشت چهار واقعه بارش و دبی اوج به‌ترتیب جدول ۶ مشخص شد. با توجه به این‌که در خروجی هر یک از حوزه‌های آبخیز زوجی یک فلوم برای اندازه‌گیری دبی مشاهداتی قرار داشته، داده‌های آنها به‌طور هم‌زمان ثبت شده است. لذا ارائه نتایج و تحلیل هر کدام از این وقایع مشاهداتی در خروجی حوزه آبخیز شاهد و نمونه به‌صورت جداگانه بسیار ارزشمند بوده، در ادامه به‌صورت تحلیلی وقایع مربوطه یک به یک ارائه و تحلیل می‌شود.

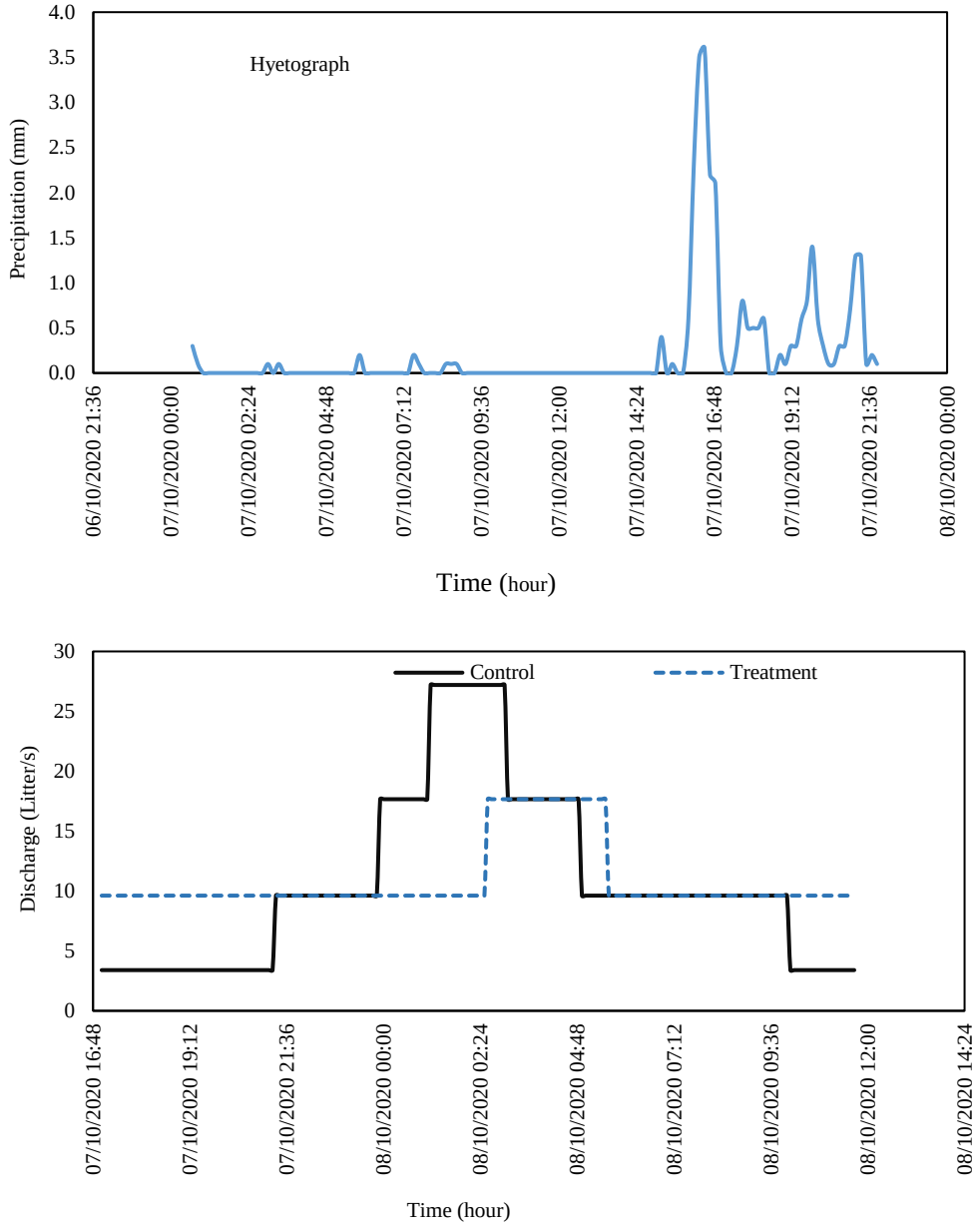
جدول ۶- مهم‌ترین وقایع بارش و دبی مشاهداتی در حوضه زوجی زیدشت طالقان

Table 6. The most important events of rainfall and runoff observed in the Zidasht Taleghan paired watershed

Row	Event date	Precipitation (mm)	Duration	Max intensity (mm/h)	Max discharge in (L/s) control	Max discharge in treatment (L/s)
1	2020-10-07 (1399/7/16)	28.8	7 hour	14.3	27	18
2	2020-11-21 (1399/9/1)	27.1	15 hour	3	27.2	17.5
3	2021-3-12 (1399/12/22)	45	21 hour	4.6	217.6	124
4	2023-3-8 (1401/12/17)	8.6	9 hour	2.7	107.5	76.9

واقعه بارش ۷-۱۰-۲۰۲۰ (۱۳۹۹/۷/۱۶): در این واقعه بارش، مقدار بارش ۲۸/۸ میلی‌متر در مدت هفت ساعت بوده که با اندازه‌گیری دبی خروجی از حوضه‌های زوجی مشخص شد، دبی بیشینه در حوزه آبخیز نمونه

و شاهد به‌ترتیب ۱۸ و ۲۷ لیتر بر ثانیه بوده است. در این واقعه بیشینه شدت بارش ساعته به مقدار ۱۴/۳ میلی‌متر ثبت شده است. با بررسی دقیق‌تر هیدروگراف دبی اوج مشخص شد که دبی پایه قبل از افزایش آن در حوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۹/۶ و ۳/۴ لیتر بر ثانیه بوده که بارش مذکور باعث افزایش ۸/۴ لیتر بر ثانیه (۸۷/۵ درصد افزایش) در حوضه نمونه و ۲۳/۶ لیتر بر ثانیه (۶۹۴/۱ درصد افزایش) در حوضه شاهد نسبت به دبی پایه شده است. بررسی زمانی وقوع دبی اوج نیز نشان داد که دبی اوج در حوزه آبخیز شاهد یک ساعت و ۲۵ دقیقه (۱:۱۰ صبح) زودتر از حوزه آبخیز نمونه (۲:۳۵ صبح) به وقوع پیوسته است. به عبارتی دبی اوج در حوزه آبخیز نمونه با تأخیر یک ساعت و ۲۵ دقیقه اتفاق افتاده است (شکل ۵).

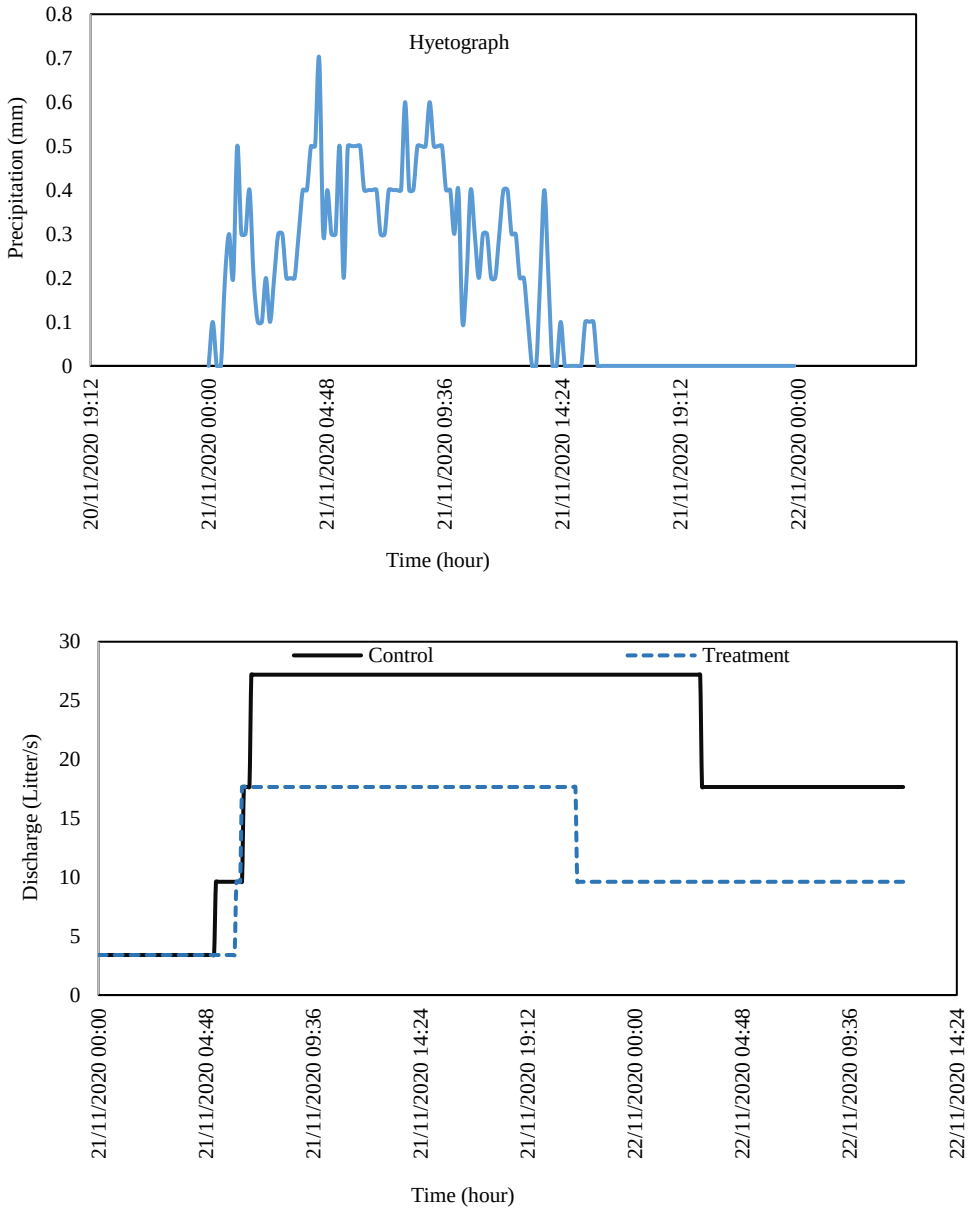


شکل ۵- هایتوگراف و هیدروگراف حاصل از بارش ۲۸/۸ میلی‌متری واقعه بارش مورخ ۷-۱۰-۲۰۲۰

Fig. 5. Hyetograph and hydrograph resulting from the 28.8 mm precipitation of event dated 10-7-2020

واقعه بارش ۲۱-۱۱-۲۰۲۰ (۱۳۹۹/۹/۱): در این واقعه بارش، مقدار بارش ۲۷/۱ میلی‌متر در مدت ۱۵ ساعت بوده که با اندازه‌گیری دبی خروجی از حوضه‌های زوجی مشخص شد، دبی بیشینه در حوزه آبخیز نمونه و شاهد

به‌ترتیب ۱۷/۵ و ۲۷/۲ لیتر بر ثانیه بوده است. در این واقعه بیشینه شدت بارش ساعته به مقدار ۳/۳ میلی‌متر ثبت شده است. با بررسی دقیق‌تر هیدروگراف دبی اوج مشخص شد که دبی پایه قبل از افزایش آن در حوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۳/۴ و ۳/۴ لیتر بر ثانیه بوده که بارش مذکور باعث افزایش ۱۴/۱ لیتر بر ثانیه (۴۰۰/۱۵ درصد افزایش) در حوضه نمونه و ۲۳/۸ لیتر بر ثانیه (۷۰۰ درصد افزایش یا هفت برابر) در حوضه شاهد نسبت به دبی پایه شده است. بررسی زمانی وقوع دبی اوج نیز نشان داد که دبی اوج در حوزه آبخیز شاهد ۵۵ دقیقه (۵:۱۵ صبح) زودتر از حوزه آبخیز نمونه (۶:۱۰ صبح) به وقوع پیوسته است. به عبارتی دبی اوج در حوزه آبخیز نمونه با تأخیر ۵۵ دقیقه اتفاق افتاده است (شکل ۶).

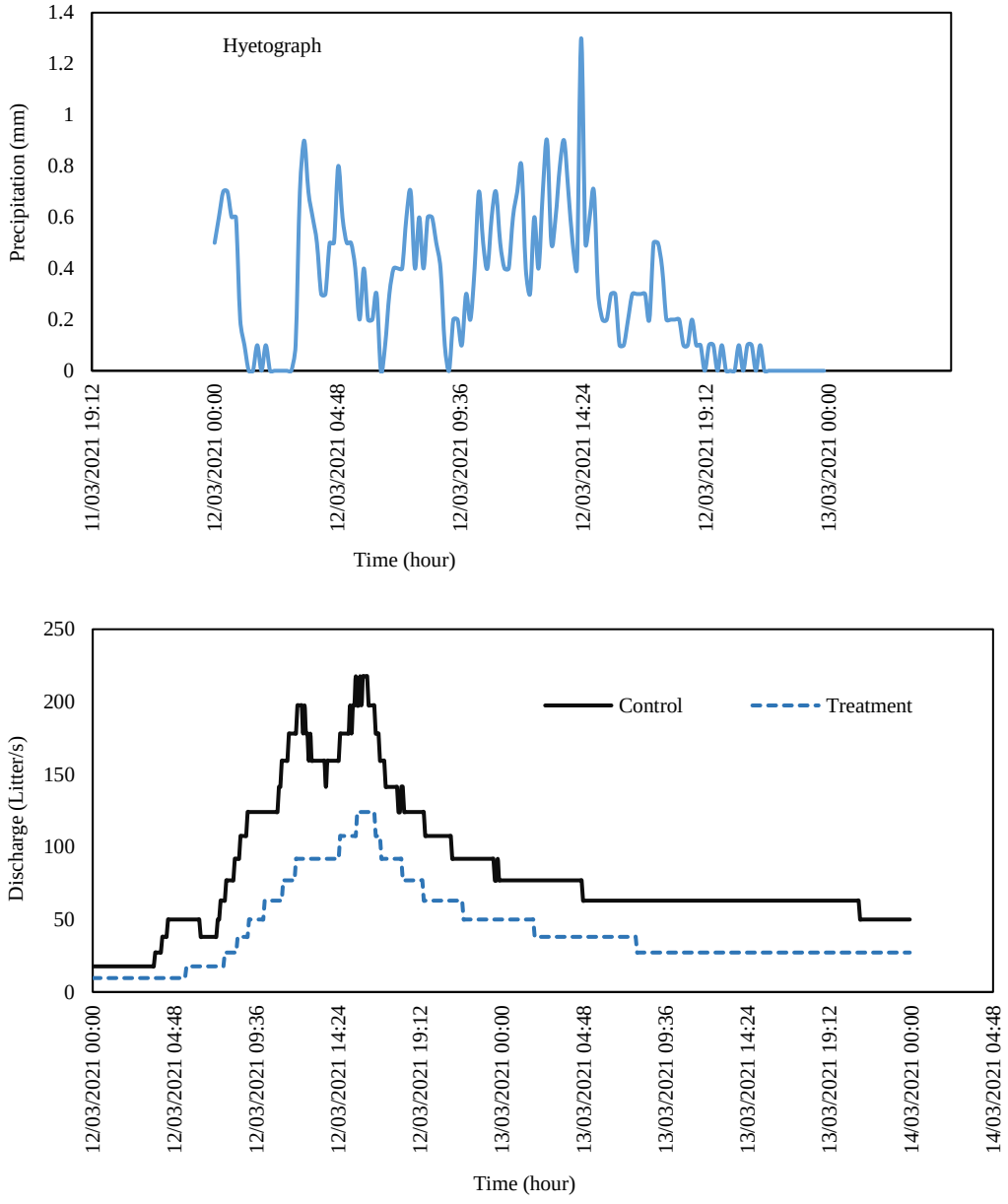


شکل ۶- هایتوگراف و هیدروگراف حاصل از بارش ۲۷/۱ میلی‌متری واقعه بارش مورخ ۲۱-۱۱-۲۰۲۰

Fig. 6. Hyetograph and hydrograph resulting from the 27.1 mm precipitation of event dated 21-11-2020

واقعه بارش ۱۲-۳-۲۰۲۱ (۱۳۹۹/۱۲/۲۲): در این واقعه بارش، مقدار بارش ۴۵ میلی‌متر در مدت ۲۱ ساعت بوده که با اندازه‌گیری دبی خروجی از حوضه‌های زوجی مشخص شد دبی بیشینه در حوزه آبخیز نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۲۴و ۲۱۷/۶ لیتر بر ثانیه بوده است. در

این واقعه بیشینه شدت بارش ساعته به مقدار ۴/۶ میلی‌متر ثبت شده است. با بررسی بیشتر هیدروگراف دبی اوج مشخص شد که دبی پایه قبل از افزایش آن در حوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۰ و ۱۸ لیتر بر ثانیه بوده که بارش مذکور باعث افزایش ۱۱۴ لیتر بر ثانیه (۱۱۴۰ درصد افزایش) در حوضه نمونه و ۱۹۹/۶ لیتر بر ثانیه (۱۱۰۸/۸ درصد افزایش) در حوضه شاهد نسبت به دبی پایه شده است. بررسی زمانی وقوع دبی اوج نیز نشان داد که دبی اوج در حوزه آبخیز شاهد پنج دقیقه (۱۵:۲۵ عصر) زودتر از حوزه آبخیز نمونه (۱۵:۳۰ عصر) به وقوع پیوسته است. به عبارتی دبی اوج در حوزه آبخیز نمونه با تاخیر پنج دقیقه اتفاق افتاده است (شکل ۷).

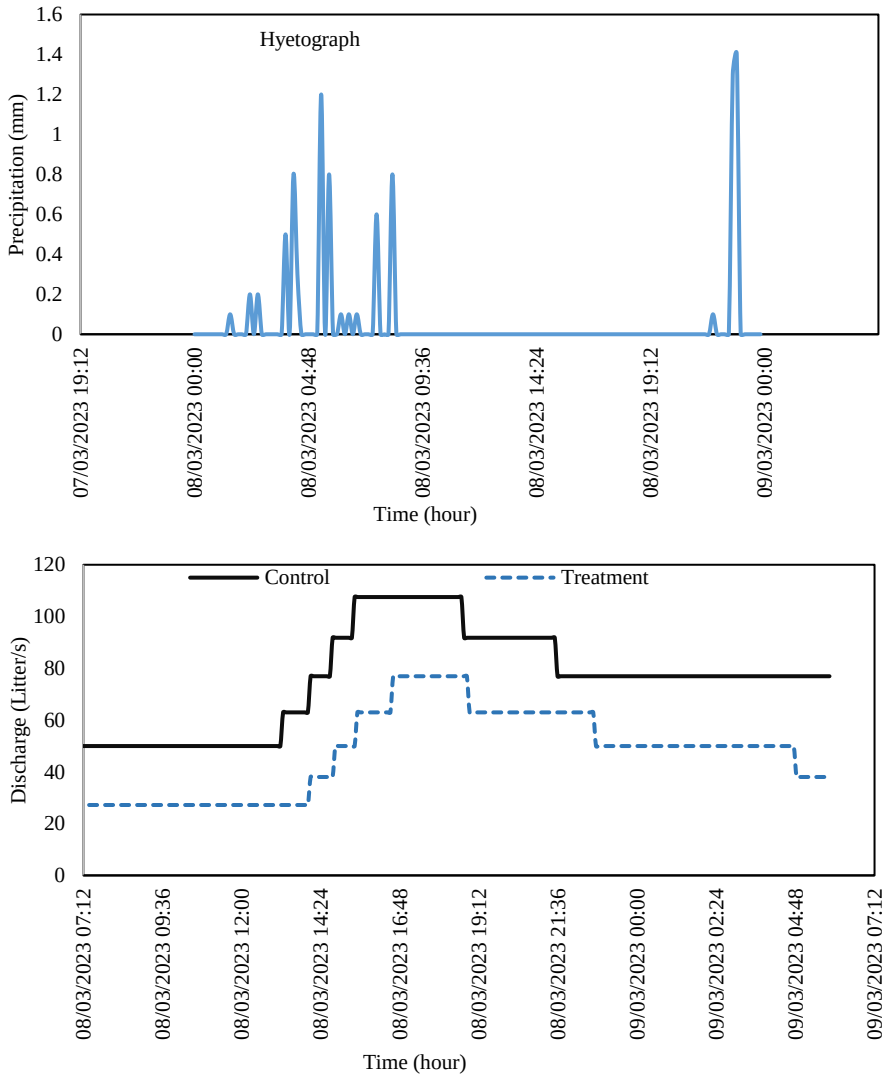


شکل ۷- هایتوگراف و هیدروگراف حاصل از بارش ۴۵ میلی‌متری واقعه بارش مورخ ۱۲-۳-۲۰۲۱

Fig. 7. Hyetograph and hydrograph resulting from the 45 mm precipitation of event dated 12-3-2021

واقعه بارش ۸-۳-۲۰۲۳ (۱۴۰۱/۱۲/۱۷): در این واقعه بارش، مقدار بارش ۸/۶ میلی‌متر در مدت نه ساعت بوده که با اندازه‌گیری دبی خروجی از حوضه‌های زوجی مشخص شد دبی بیشینه در حوزه آبخیز نمونه و شاهد به‌ترتیب ۷۶/۹ و ۱۰۷/۵ لیتر بر ثانیه بوده است. در این واقعه بیشینه شدت بارش ساعته به مقدار ۲/۷ میلی‌متر ثبت شده است. در این واقعه دبی پایه قبل از افزایش آن در حوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۲۷/۲۰ و

۵۰ لیتر بر ثانیه بوده که بارش مذکور باعث افزایش ۴۹/۷ لیتر بر ثانیه (۱۸۲/۷ درصد افزایش) در حوضه نمونه و ۵۷/۵ لیتر بر ثانیه (۱۱۵/۰درصد افزایش) در حوضه شاهد نسبت به دبی پایه شده است. بررسی زمانی وقوع دبی اوج نیز نشان داد که دبی اوج در حوزه آبخیز شاهد ۷۰ دقیقه (۱۵:۲۵ عصر) زودتر از حوزه آبخیز نمونه (۱۶:۳۵ عصر) به وقوع پیوسته است. به عبارتی دبی اوج در حوزه آبخیز نمونه با تاخیر ۷۰ دقیقه اتفاق افتاده است (شکل ۸).



شکل ۸- هایتوگراف و هیدروگراف حاصل از بارش ۸/۶ میلی‌متری واقعه بارش مورخ ۸-۳-۲۰۲۳

Fig. 8. Hyetograph and hydrograph resulting from the 8.6 mm precipitation of event dated 8-3-2023

نتایج مدلسازی HEC-HMS: نتایج مدلسازی سیلاب تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز مورد مطالعه در زیرحوضه‌های شاهد و نمونه در جدول ۷ نشان داده شده است. به‌دلیل آن‌که هدف بررسی و ارزیابی نقش اقدامات آبخیزداری در تغییرات حجم سیلاب و دبی اوج در حوزه آبخیز است، حجم و دبی سیلاب خروجی با و بدون در نظر گرفتن اقدامات آبخیزداری در حوضه شاهد (بدون اجرای اقدامات آبخیزداری) و حوضه نمونه (با اجرای اقدامات آبخیزداری) شبیه‌سازی شد. سپس تأثیر اقدامات آبخیزداری بر روی کاهش حجم سیلاب و دبی اوج خروجی از حوزه آبخیز زوجی بررسی شد. لازم به ذکر است نتایج ضریب ناش-ساتکلیف و میانگین خطای مطلق برای دوره واسنجی مدل برای حوضه شاهد به‌ترتیب ۰/۵ و ۰/۰۱۴ (مترمکعب بر ثانیه) و برای حوضه نمونه به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۰۱۵ (مترمکعب بر

ثانیه) بوده است. همچنین نتایج ضریب ناش-ساتکلیف و میانگین خطای مطلق برای دوره صحت‌سنجی مدل برای حوضه شاهد به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۰۱۲ (مترمکعب بر ثانیه) و برای حوضه نمونه به‌ترتیب ۰/۶ و ۰/۰۱۱ (مترمکعب بر ثانیه) بوده است.

با توجه به جدول ۷ در زیرحوضه نمونه دبی اوج سیلاب با اجرای اقدامات زیستی ۴۰ درصد و با اجرای اقدامات زیستی و مکانیکی ۶۶ درصد نسبت به حوزه آبخیز شاهد کاهش داشته است. حجم سیلاب نیز تحت اقدامات آبخیزداری زیستی و مکانیکی حوضه نمونه به‌طور متوسط ۳۰ درصد کاهش یافته است. نتایج پژوهش حاضر با Nourali and Ghahraman, (2016) در حوزه آبخیز گوش و بهره در استان خراسان رضوی همخوانی دارد. نتایج پژوهش آنها نشان داد که انجام اقدامات زیستی و مکانیکی باعث کاهش مقدار دبی اوج سیلاب تا ۳۶/۲۱ و کاهش حجم سیلاب تا ۳۴/۷۸ درصد در دوره‌های بازگشت مختلف شده است.

همچنین در این راستا Ghermezcheshmeh et al., (2019) نیز در پژوهشی مشابه در حوضه هفتان استان مرکزی به این نتیجه رسیدند که تأثیر اقدامات آبخیزداری بر کاهش دبی اوج از ۲۱ تا ۸۳ درصد و بر کاهش حجم سیلاب از ۱۱ تا ۷۹ درصد متغیر بوده است. Tavakoli et al., (2023) نیز در حوزه آبخیز گل‌گل استان ایلام با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به این نتیجه رسیدند که در سناریوی اول (وجود سازه آبخیزداری) و دوم (عدم وجود سازه آبخیزداری) دبی اوج شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۱۳۷ مترمکعب بر ثانیه و ۱۱۴/۲ مترمکعب بر ثانیه محاسبه شده که تأثیر سازه‌ها بر دبی اوج را با کاهش ۲۲/۸ مترمکعب بر ثانیه نشان داد. Soleimani Sardoo et al., (2024) نیز در حوزه آبخیز حسین‌آباد جیرفت یافتند که فعالیت‌های آبخیزداری در منطقه حسین آباد جیرفت نقش اساسی در کاهش دبی اوج سیالب داشته اند. این کاهش در بعضی از زیر حوضه‌ها بیش از ۹۵ درصد بوده که نشان‌دهنده تأثیرگذاری پروژه‌های آبخیزداری و میزان اثربخشی آنها بر روی دبی اوج سیلاب بوده است.

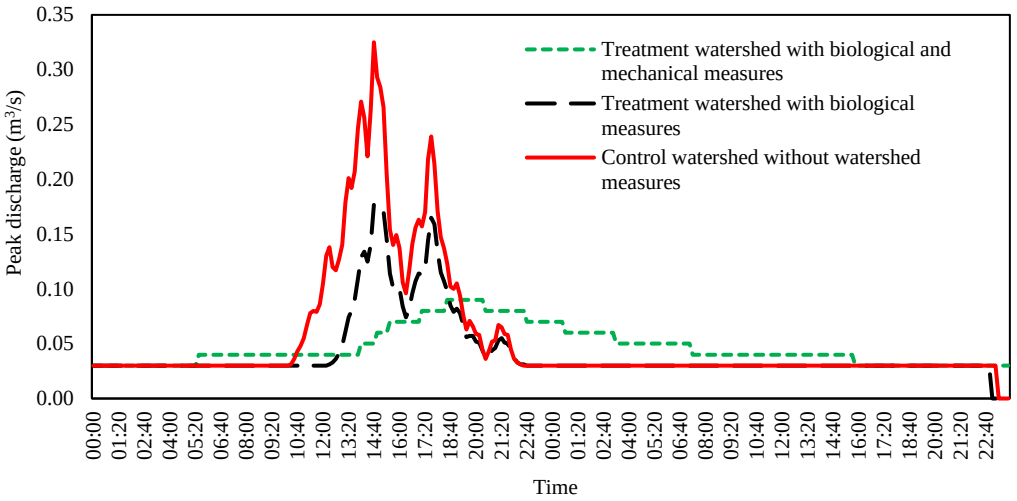
Rahmani et al., (2023) نیز در پژوهش خود در راستای بررسی اثربخشی عملیات آبخیزداری اجرا شده در حوزه آبخیز چنداب استان تهران نشان داد که کشاورزان و روستاییان ساکن در حوزه آبخیز مورد مطالعه، از اجرای پروژه‌های سد زیرزمینی و سامانه‌های پخش سیلاب بر آبخوان اجرا شده، رضایت کامل دارند و اجرای این پروژه‌ها در وضعیت حوزه آبخیز به لحاظ بهبود پوشش گیاهی، کنترل سیلاب، توسعه سطح زراعت، دامداری و بهبود درآمد و معیشت روستاییان اثرات مثبت قابل توجهی داشته است.

تأثیر اجرای اقدامات آبخیزداری در کاهش دبی اوج در حوضه زوجی زیدشت طالقان در شکل ۹ نشان می‌دهد که اجرای اقدامات آبخیزداری باعث کاهش دبی اوج شده است و در اثر اجرای اقدامات زیستی و سازه‌ها و مخازن علاوه‌بر کاهش دبی اوج، زمان رسیدن به دبی اوج در حوضه نمونه افزایش یافته است و دبی اوج سیل با تأخیر زمانی بیشتری نسبت به هیدروگراف سیل در حالت بدون اقدامات آبخیزداری حوضه شاهد رخ داده است. در نتیجه علاوه‌بر کاهش خسارت‌های سیل مقدار آب بیشتری در حوضه نفوذ و ذخیره می‌شود. بیشترین مقدار دبی اوج در این حوضه‌ها در حالت بدون اجرای اقدامات آبخیزداری (بدون سازه) رخ داده است.

جدول ۷- نتایج مدلسازی مقادیر حجم سیلاب و دبی اوج سیلاب در حوزه آبخیز زوجی تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری

Table 7. Results of the flood volume and peak flow modeling in the paired watershed under the effect of watershed measures

Watersheds		Peak discharge of the flood (cubic meters per second)			The volume of the flood (thousands of cubic meters)		
		Control	Treatment		Control	Treatment	
Type of watershed measures		Without watershed measures	With biological watershed measures	With biological and mechanical watershed measures	Without watershed measures	With biological watershed measures	With biological and mechanical watershed measures
Magnitude and change percentage	Magnitude	0.3	0.18	0.1	10.20	7.30	7.00
	Percentage	----------	-40.00	-66.67	-------	-29.41	-31.37



شکل ۹- نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حالت‌های بدون و با اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز نمونه و شاهد

Fig. 9. Results of flood hydrograph simulation in the states without and with watershed management measures in the treatment and control watersheds

نتیجه‌گیری

حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان شامل حوزه آبخیز نمونه و شاهد که به‌ترتیب دارای مساحت ۱۰۴ هکتار و ۹۲ هکتار بوده و در داخل حوضه معرف با مساحت ۲۷۵۰ هکتار قرار گرفته است. در حوضه نمونه به همراه حفاظت و قرق کل حوضه، در سطح حدود ۱۲/۵ هکتار بانکت‌بندی به همراه بذرکاری (بانکت‌بندی منقطع به همراه چاله فلسی) اجرا شده است. در بخش اقدامات مکانیکی در حوضه نمونه به‌ترتیب ۹۴۳ و ۷۲/۵ مترمکعب سازه گابیونی و سازه خشکه‌چین اجرا شده است. مجموع مخزن ایجادی سازه‌های گابیونی و خشکه‌چین به‌ترتیب ۱۳۵۵۰ و ۱۲۵ مترمکعب بوده است. سازه‌های گابیونی به مقدار ۱۰۳۴۰ مترمکعب و سازه‌های خشکه‌چین ۱۲۱ مترمکعب رسوب تولیدی حوضه نمونه را در مخازن خود تثبیت کرده، از خارج شدن رسوبات از حوضه جلوگیری کرده‌اند.

ارزیابی نتایج تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری نشان داد که مقدار درصد پوشش گیاهی و تولید گیاهی به‌طور متوسط حدود هشت درصد و ۲۶۵ کیلوگرم در حوضه نمونه (۵۱ درصد متوسط پوشش گیاهی و ۷۷۷ کیلوگرم در هکتار متوسط تولید) بیشتر از حوضه شاهد (۴۳ متوسط درصد پوشش گیاهی و ۵۱۲ کیلو گرم در هکتار متوسط تولید) بوده است.

در بخش ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری با استفاده از داده‌های هیدرومتری خروجی زیرحوضه‌ها (مشاهداتی) حاصل از چهار واقعه مهم بارشی و هیدروگراف دبی مشخص شد که برآیند اقدامات آبخیزداری اجرا شده در حوضه نمونه باعث کاهش دبی اوج سیلاب نسبت به دبی پایه خود حوضه، به‌طور متوسط ۲۰۰ درصد کمتر از حوزه آبخیز شاهد بوده است.

به عبارتی در هر واقعه بارشی پاسخ هیدرولوژیکی دبی اوج حوزه آبخیز نمونه نسبت به آب پایه به‌طور متوسط ۲۰۰ درصد کمتر از حوضه شاهد نسبت به پایه آن بوده است. در بحث کاهش دبی اوج حوزه آبخیز نمونه و شاهد، نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی نشان داد که دبی اوج حوضه نمونه تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری ۶۵ درصد کمتر از حوضه شاهد (بدون اجرای اقدامات آبخیزداری) بوده است.

نتایج مدل‌سازی سیلاب نیز تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز مورد مطالعه در حوزه‌های آبخیز شاهد و نمونه نشان داد که در زیرحوضه نمونه دبی اوج سیلاب با اجرای اقدامات زیستی ۴۰ درصد و با اجرای اقدامات زیستی و مکانیکی ۶۶ درصد نسبت به حوزه آبخیز شاهد کاهش داشته است. حجم سیلاب نیز تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری زیستی و مکانیکی حوضه نمونه نسبت به حوضه شاهد به‌طور متوسط ۳۰ درصد کاهش یافته است.

در اثر اجرای اقدامات زیستی و مکانیکی علاوه‌بر کاهش دبی اوج، زمان رسیدن به دبی اوج در حوضه نمونه نیز افزایش یافته است و دبی اوج سیل با تأخیر زمانی بیشتری نسبت به هیدروگراف سیل در حالت بدون اقدامات آبخیزداری حوضه شاهد رخ داده است. در نتیجه علاوه‌بر کاهش خسارت‌های سیل مقدار آب بیشتری در حوضه نفوذ و ذخیره می‌شود.

بیشترین مقدار دبی اوج در این حوضه‌ها در حالت بدون اجرای اقدامات آبخیزداری (بدون سازه) رخ داده است. همچنین با توجه به این‌که دبی پایه در حوضه نمونه در بیشتر مواقع سال بیشتر از حوضه شاهد بوده (برعکس دبی اوج سیلاب)، می توان غنی بودن پوشش گیاهی در حوضه نمونه را عامل مهمی در بیشتر بودن جریان آب پایه در نظر گرفت. این نشان می‌دهد که هرچند به‌طور متوسط ارتفاع جریان آب در حوضه نمونه بیشتر است ولی حساسیت حوضه شاهد نسبت به بارش ورودی بیشتر از آن بوده است.

تشکر و قدردانی

از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز بابت حمایت و همکاری برای تهیه پژوهش حاضر صمیمانه قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان است.

منابع مورد استفاده

Ghermezcheshmeh, B., Nikcheh Farahani, S., Agharazi, H., 2019. Effects of Watershed Management Practices on Some of flood characteristics change in Haftan Watershed. J. Water. Manag. Res. 10(19), 106-116 (in Persian).

Hamedi, E., Chezgi, J., Noor, H., 2022. The effect of watershed management scenarios on discharge and sedimentation with SWAT model in arid and semi-arid regions. J. Arid Biome. 12(2), 1-11 (in Persian).

Noor, H., Arabkhedri, M., Parvizi, Y., 2024. Evaluating the effect of watershed management measures on soil erosion and runoff production at the plot and watershed scales in Kakhk Paired Watersheds. Watershed Engine. Manage. 16(1), 16-32.

Kazemzadeh, M., Jahantigh, M., Noori, Z., Bayat, A., Elyasi, A.A., 2022. Evaluation of watershed management measures effects on particle size distribution and phosphorus and organic carbon amounts in sediments (case study: Taleghan paired Watersheds). J. Water Soil Cons. 28 (3), 93-113 (in Persian).

Kazemzadeh, M., Salajegheh, A., Malekian, A., Liaghat, A., 2020. Assessment the watershed management measures role in evapotranspiration processes in paired watersheds of Taleghan. Watershed Engine. Manage. 12(3), 643-656. doi:10.22092/ijwmse.2019.126335.1654 (in Persian).

Kazemzadeh, M., Akbari, J., 2019. Spatial resolution analysis of TRMM satellite images to estimate meteorological drought index, case study: Iran. Watershed Engine. Manage. 11(4), 903-916. doi: 10.22092/ijwmse.2018.108697.1238 (in Persian).

Nourali, N., Ghahraman, B., 2016. Assessment of watershed management projects on flood hydrograph using HEC-HMS model (case study: Goosh-Bahreh Watershed). J. Watershed Manag. Res. 7(13), 71-60 (in Persian).

Rahmani, S., Mazhari, M., Tahmasabi, J., 2024. The success of watershed management efforts in the Chandab Watershed region of Tehran Province resulted from research achievements. Water. Engine. Manage. 16(1), 82-97. doi:10.22092/ijwmse.2023.362240.2020 (in Persian).

Soleimani Sardoo, F., Noori, H., Shahrokhi, M.R., Nasab Pour, M., 2024. Evaluating the effectiveness of watershed projects on peak flood discharge (case study: Hossein Abad Jiroft watershed). J. Watershed Sci. Engine. 18 (64), 1-7 (in Persian).

Tavakoli, M., Kohzadi, M., Ebrahimi, H., 2023. Evaluation and prediction of the effects of watershed check dams on peak flows, case study: Gol-Gol Watershed, Ilam. Integra. Water. Manage. 3(2), 67 -79 (in Persian).

Zare Chahouki, M.A., Khojasteh, F., Tavili, A., 2012. Distribution of vegetation type according 1000 to edaphic properties and topography in Iran. Pol. J. Environ. Stud. 21, 1001, 1071-1077.

Zynati Shoaa, T., 2007. Investigating the impact of storm displacement in rainfall-runoff simulation, a case study in the Latian Watershed. Master's Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran (in Persian).