Watershed Engineering and Management
DOI: 10.22092/ijwmse.2024.366459.2073
Volume 17, Issue 1, 2025, Pages 64-81

The role of watershed measures in management, protection and restoration of water resources
(Examination of some latest reports on the effectiveness of watershed measures in Iran)

Maryam Sadat Jaafarzadeh[1*] and Ebrahim Karimi Sangchini[2]
[1] Postdoc Researcher, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[2] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran

Received: 04 June 2024 Accepted: 23 September 2024

Extended abstract

Introduction

Watershed management measures are implemented to maintain or restore the ecological functions of watersheds by reducing the impacts of events such as floods, landslides, and erosion in downstream areas, while also enhancing resource productivity and improving local livelihoods. These measures become effective when they identify, restore, or reinforce areas of high ecological value that must be protected from degradation or conversion to other uses. Therefore, it is essential to assess the effectiveness of watershed management measures (both in research and implementation phases) to develop a model of their positive or negative impacts, guiding decision-makers in planning and executing successful watershed management projects. Project reports often emphasize the strengths and positive outcomes of these measures, while their inefficiencies are less frequently highlighted. This study reviews and evaluates recent watershed management projects to examine both their strengths and weaknesses.

Materials and methods

In this study, the effectiveness of several recent watershed management projects implemented in different watersheds of Iran was assessed based on the latest available documents. The evaluated watersheds include Behshahr-Galoogah, Maragheh (Markazi Province), Khaveh-Delijan, Asiaborud (Chalus City), and Faryab-Golashgerd (Kerman Province). The state of water resources in these areas was also analyzed.

Results and discussion

The findings indicate both positive and negative outcomes for each project. In the Behshahr-Galoogah watershed, sub-basins where a combination of different structures was implemented along the stream network experienced reduced peak discharge and increased concentration time. However, in sub-basins with few check dams relative to their area and stream length, the measures did not significantly alter stream length, concentration time, or peak discharge, but they did help stabilize the stream's longitudinal profile. In the Maragheh watershed (Markazi Province), specific erosion and sediment rates before and after the implementation of watershed measures were recorded as 10.78 and 3.14 (Ton/km^2), and 3.1 and 66.9 (Ton/km^2), respectively. The effectiveness of watershed measures in the Khaveh-Delijan watershed was also evident. The construction of check dams led to a reduction in peak discharge for different return periods (5, 10, 20, 50, and 100 years), with values decreasing from 3.9 to 0.6, 4.9 to 2.7, 9.4 to 5.1, 14.6 to 8.0, and 22.4 to 12.4 m^3/s, respectively. Additionally, base time and lag time of the hydrograph increased by approximately 3.5 hours. The Asiaborud watershed project demonstrated that, following the implementation of watershed measures, specific erosion was recorded at 3.89 Ton/ha/year, and specific sedimentation was estimated at 1.87 Ton/ha/year. Hydrological studies from 2000 to 2019 indicated a decrease in curve number (CN), an increase in concentration time, and reductions in both peak discharge and flood volume (by 1078.49 mm^3). Consequently, financial losses caused by floods in this watershed decreased due to the reduction in flood volume. Similarly, findings from the Faryab-Golashgerd watershed project indicated a significant increase in concentration time and a reduction in peak discharge across all studied return periods.

* Corresponding author: m.s.Jaafarzadeh@ut.ac.ir

DOI: 10.22092/ijwmse.2024.366459.2073

Conclusion

Overall, the results show that most of the implemented watershed management projects had significant positive effects, including reduced peak flood/runoff discharge, decreased erosion and sedimentation, and increased concentration time. However, maintaining the long-term effectiveness of these measures depends on proper care and maintenance. Additionally, integrating suitable biological measures alongside mechanical interventions in watersheds plays a crucial role in sustaining the effectiveness of these measures.

Keywords: Check dams, Mechanical intervention, Watershed measures, Watershed projects, Soil loss, Water resources

Cite this article: Jaafarzadeh., M., Karimi Sangchini, E., 2025. The role of watershed measures in management, protection and restoration of water resources (Examination of some latest reports on the effectiveness of watershed measures in Iran). Water. Eng. Manag 17(1), 64-81.

© 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 ۱، ۱۴۰۴، صفحات ۶۴-۸۱

Watershed Engineering and Management
Volume 17, Issue 1, 2025, Pages 64-81
DOI:10.22092/ijwmse.2024.366459.2073

نقش آبخیزداری در مدیریت، حفاظت و بازیابی منابع آب
(بررسی برخی از آخرین گزارش‌های اثربخشی اقدامات آبخیزداری در کشور)

مریم سادات جعفرزاده[1*] و ابراهیم کریمی سنگچین[2]

[1] پژوهشگر پسادکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[2] استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲

چکیده مبسوط

مقدمه

اقدامات آبخیزداری در جهت حفظ یا بازیابی عملکرد اکوسیستم حوزه‌های آبخیز، با کاهش اثرات رویدادهایی چون سیل، زمین‌لغزش، فرسایش و غیره در پایین‌دست و در عین حال، افزایش بهره‌وری منابع موجود و بهبود معیشت محلی، انجام می‌شوند. این اقدامات زمانی مؤثر می‌شوند که مناطقی با ارزش اکولوژیکی بالا که باید از تخریب یا تبدیل به سایر مصارف محافظت شوند را شناسایی و بازسازی یا تقویت نمایند. ازاین‌رو، بررسی و ارزیابی اثربخشی اقدامات آبخیزداری، به‌منظور داشتن الگویی از اقدامات صحیح و یا اثرات منفی ناشی از این اقدامات، به جهت راهنمایی کاربران (چه در بخش پژوهش و چه در بخش اجرا)، در برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های موفق مدیریت حوزه آبخیز آتی، بسیار ضروری است. در گزارش هر پروژه عمدتاً نقاط قوت و اثرات مثبت اقدامات برجسته می‌شود و کمتر به نتیجه بخش نبودن برخی اقدامات اشاره می‌شود. در این پژوهش، گزارشاتی از جدیدترین پروژه‌های اثربخشی اقدامات آبخیزداری انجام شده تهیه شد تا نقاط قوت و نقاط ضعف آنها بررسی شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به بررسی اثربخشی چند نمونه از جدیدترین پروژه‌های اثربخشی اقدامات آبخیزداری اجرا شده سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (حوزه‌های آبخیز بهشهر-گلوگاه، مراغه–استان مرکزی، خاوه-دلیجان، آسیابرود شهرستان چالوس و فاریاب- گلاشگرد استان کرمان) پرداخته شد. روش پژوهش به‌صورت کتابخانه‌ای و با بررسی اسناد و گزارش‌های موجود بوده است.

نتایج و بحث

هر یک از پروژه‌های مورد نظر و نتایج مثبت و منفی حاصل از اقدامات آبخیزداری در هر کدام، مورد بررسی قرارگرفتند. نتایج اجرای پروژه در حوزه‌های آبخیز ساحلی بهشهر-گلوگاه نشان داد، در زیرحوضه‌های که عملیات آبخیزداری به‌صورت ترکیبی از سازه‌های متفاوت نسبت به رژیم آبراهه احداث شده، در کاهش دبی پیک سیلاب و افزایش زمان تمرکز تأثیرگذار بود. در زیرحوضه‌هایی با سازه‌های اصلاحی به تعداد کم، با توجه به مساحت زیرحوضه‌ها و طول زیاد آبراهه‌ها،

* مسئول مکاتبات: m.s.Jaafarzadeh@ut.ac.ir

این سازه‌ها نقش چندانی در کاهش طول آبراهه و تغییر در زمان تمرکز و دبی اوج سیل نداشته ولی منجر به تثبیت پروفیل طولی آبراهه شده‌اند. بر اساس یافته‌های اثربخشی عملیات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز مراغه-استان مرکزی نیز، میزان فرسایش و رسوب ویژه این حوضه در قبل و بعد از اجرای طرح به‌ترتیب ۱۰/۷۸ و ۳/۱۴ (تن بر کیلومترمربع) و ۳/۱ و ۹/۶۶ (تن بر کیلومترمربع) ارزیابی شد. پروژه اثربخشی اجرای عملیات آبخیزداری حوزه آبخیز خاوه دلیجان نیز نشان داد، احداث سازه‌های اصلاحی باعث کاهش دبی اوج (برای دروه بازگشت‌های پنج، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله دبی اوج به‌ترتیب از ۰/۶ به ۰/۳، ۴/۹ به ۲/۷، ۹/۴ به ۵/۱، ۱۴/۶ به ۸ و ۲۲/۴ به ۱۲/۴ مترمکعب بر ثانیه)، افزایش زمان پایه هیدروگراف و افزایش میزان تأخیر در زمان تا اوج برای هیدروگراف‌ها (حدود ۳/۵ ساعت) شده‌اند. بر اساس نتایج پروژه اثربخشی اجرای عملیات آبخیزداری حوزه آبخیز آسیابرود شهرستان چالوس نیز، بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری، میزان فرسایش ویژه در حوضه برابر ۳/۸۹ تن بر هکتار بر سال و میزان رسوب ویژه نیز ۱/۸۷تن بر هکتار بر سال برآورد شد. با توجه به مطالعات بخش هیدرولوژی منطقه در بین سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۰۰ میلادی، CN کاهش، زمان تمرکز افزایش و دبی پیک و حجم سیلابی به میزان ۱۰۷۸/۴۹ میلیون مترمکعب کاهش یافت. متعاقباً با کاهش حجم سیلابی، خسارات مالی ناشی از سیل نیز در این حوضه کاهش یافت. پژوهش یافته‌های پروژه اثربخشی عملیات آبخیزداری حوزه آبخیز فاریاب- گلاشگرد نیز افزایش قابل‌توجه زمان تمرکز و کاهش دبی اوج را در تمام دور برگشت‌های مورد بررسی نشان داد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش‌ها در بیشتر موارد اثرات مثبت و مهمی در کاهش دبی اوج سیلاب، کاهش فرسایش و تولید رسوب، افزایش زمان تمرکز و غیره داشتند. اما ادامه اثربخشی این اقدامات وابسته به رسیدگی و حفظ این سازه‌ها و عملیات اجرا شده دارد. همچنین، اقدامات بیولوژیکی مناسب در کنار سازه‌های مکانیکی که در حوضه‌ها انجام می‌شوند، در تداوم اثربخشی این عملیات بسیار حائز اهمیت هستند.

واژه‌های کلیدی: سازه مکانیکی، سازه اصلاحی آبخیزداری، طرح‌های آبخوان‌داری، منابع آب، هدررفت خاک

مقدمه

در سال‌های اخیر رشد روز افزون جمعیت و رویکرد جوامع بشری به الگوهای مصرف گرایانه، نیاز به آب و مواد غذایی را دو چندان نموده است. انسان‌ها برای تأمین نیازهای آنی خود به بهره‌برداری از عرصه‌های منابع طبیعی روی آورده‌اند. این بهره‌برداری‌ها در بیشتر موارد چنان سریع، نامعقول و منفعت طلبانه بود که باعث برهم زدن نظم و تعادل سیستمی حوزه‌های آبخیز شد. امروزه اینکه از مهم‌ترین اقدامات در جهت تقلیل اثرات مخاطرات محیطی (خشکسالی، سیلاب و کاهش سطح سفره منابع آب زیرزمینی)، انجام اقدامات آبخیزداری و آبخوان‌داری است، بر کسی پوشیده نیست. هر حوزه آبخیز از نظر فیزیوگرافی، اکولوژی، آب و هوا، کیفیت آب، کاربری زمین و فرهنگ انسانی منحصر به فرد است.

بنابراین، هر رویکرد تعمیم‌یافته‌ای برای مدیریت آبخیزداری باید در هر شرایطی که عملی می‌شود، سفارشی باشد (Tomer, 2014). این نوع مدیریت، مستلزم تعهد بلندمدتی است که باید با تغییرات جمعیت، اقلیم، فرهنگ و نیازهای استفاده از منابع، سازگار باشد تا بتواند از بروز سیلاب و هدررفت رواناب‌ها پیش‌گیری نماید. پژوهش‌های بسیاری در زمینه ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری در سطح جهانی و همچنین مناطق مختلفی از کشور انجام شده است.

Moghadasi et al., (2015) به ارزیابی کیفی طرح‌های آبخیزداری به روش توصیفی همبستگی در حوزه آبخیز سد بوستان با هدف بررسی اثرات اجتماعی اجرای فعالیت‌های آبخیزداری مانند رضایت و نگرش مردم، مشارکت مردمی، میزان پذیرش مردمی از پروژه‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که اجرای پروژه‌ها تا حدی توانسته است معضل سیل را حل کند و با جذب مردم در مشارکت در انجام این اقدامات، در ایجاد اشتغال و متعاقبا رضایت مردم نیز موفق باشد.

Nur Ali and Ghahraman, (2016) به ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر آبنمود سیل با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز گوش و بهره پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه، انجام عملیات بیولوژیکی و مکانیکی باعث کاهش مقدار دبی اوج سیلاب تا ۳۶/۲۱ درصد و کاهش حجم سیلاب تا ۳۴/۷۸ درصد در دوره بازگشت‌های مختلف شده است. Haji Baglo et al., (2017) ارزیابی هیدرولوژیکی عملکرد اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیلاب در حوزه آبخیز بالادست سد وشمگیر را با استفاده از مدل HEC-HMS برای دو وضعیت قبل و بعد اقدامات آبخیزداری انجام دادند.

یافته‌های این پژوهش نشان داد، تأثیر اقدامات آبخیزداری بر روی دبی پیک معنی‌دار نبوده ولی حجم سیلاب کاهش قابل توجه و معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد داشت. بیشترین تأثیر اقدامات بر پارامترهای ذکر شده در دوره بازگشت پایین (دو تا ۱۰ سال) مشاهده شد. Chamanpira and Roghani., (2018) تأثیر عملیات آبخیزداری در کاهش سیلاب حوضه دادآباد را با استفاده از مدل HEC-HMS برای دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری ارزیابی کردند. براساس نتایج به دست آمده، در دوره بازگشت‌های پایین، حوضچه‌های ذخیره آب، از توانایی لازم برای ذخیره‌سازی رواناب و کاهش دبی اوج سیلاب برخوردارند، اما با افزایش دوره بازگشت، نقش این اقدامات در مهار سیلاب و کاهش دبی اوج کاهش می‌یابد.

Ghermezcheshmeh et al., (2019) تأثیر اقدامات مدیریتی آبخیزداری را در تغییر برخی از مشخصات سیلاب حوزه آبخیز هفتان، با استفاده از مدل HEC-HMS بررسی نمودند. یافته‌ها نشان داد عملیات آبخیزداری بیشترین تأثیر را بر وقایع سیلاب‌های کوچک نشان داده‌اند. این در حالی است که با افزایش بارش، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج کمتر شده است. نتایج سیلاب شبیه‌سازی شده در خروجی حوضه نیز نشان داد که تأثیر عملیات آبخیزداری بر کاهش دبی اوج از ۲۱ تا ۸۳ درصد و بر کاهش حجم سیلاب از ۱۱ تا ۷۹ درصد بوده است.

Tajbakhsh et al., (2020) نیز تأثیر کمی اجرای پروژه‌های آبخیزداری را بر سطح آب زیرزمینی دشت فریزی چناران در پروژه جمع‌آب ارزیابی کردند. طرح تغذیه مصنوعی جمع‌آب در سناریوی شاهد، باعث افزایش سالانه ۴۵۳۷۱۷/۶ مترمکعب آب به آبخوان شد. حداکثر حجم آب ورودی به سیستم آبخوان از طریق تغذیه مصنوعی جمع‌آب بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ برابر با ۱/۸ میلیون مترمکعب بوده و با توجه به سناریوی شاهد میزان ۱/۳۵ میلیون مترمکعب افزایش داشته است. این مقدار افزایش تغذیه باعث شده است متوسط ارتفاع سطح ایستابی آبخوان دشت فریزی چناران نسبت به سناریوی شاهد در دوره پیش‌بینی در سال‌های ۹۳، ۹۴، ۹۵ به‌ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۱۱ و ۰/۱۷ متر افزایش یابد.

Foroutan (2021) به ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل‌خیزی در حوزه آبخیز پردیسان پرداخت. در این پژوهش، از روش AHP در Arc-GIS برای مقایسه جفتی و تعیین وزن عوامل تأثیرگذار بر سیلابی شدن استفاده شد. نتایج نشان داد، با انجام اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری، طبقات سیل‌خیزی خیلی زیاد و متوسط به‌ترتیب ۷/۳ و ۳۹/۷ درصد کاهش و طبقات با حساسیت کم و خیلی کم به‌ترتیب ۲۲/۱۸ و ۲۲/۸۲ درصد افزایش خواهد یافت. Mirdrikvand et al., (2021) به ارزیابی تأثیر اجرای عملیات آبخیزداری بر ویژگی‌های کمی جریان و رسوب معلق در حوزه آبخیز قلعه گل استان لرستان پرداختند.

یافته‌های این پژوهش نشان داد میزان دبی و رسوب زیرحوضه با عملیات آبخیزداری اجرا شده بیش از زیرحوضه بدون اجرای عملیات آبخیزداری بوده است و اختلاف معنی‌دار بین دبی اوج جریان خروجی و رسوب اوج خروجی نبوده است. به‌طور کلی اجرای عملیات آبخیزداری بعد از گذشت چند سال تأثیرگذاری لازم برای کاهش میزان دبی، رسوب و رواناب خروجی حوضه را از دست داده‌اند. لذا، برای افزایش کارایی سازه‌های مکانیکی اجرا شده در آبراهه‌ها، بایستی همزمان اقدام به اجرای عملیات بیولوژیک و بیومکانیک در روی دامنه‌ها نمود.

Hasanshahi et al., (2023) اثر بندهای آبخیزداری احداث شده بر میزان ورودی به مخزن سد جیرفت و

دبی سطح حوضه را از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۱ مطالعه کردند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیشترین میزان ورودی به سد مربوط به سال ۱۹۹۶ با ۵۱۰ میلیون مترمکعب و کمترین آن سال ۱۹۹۲ با ۲۴۵ میلیون مترمکعب است. همچنین، سال ۱۹۹۴ نیز دارای ۴۸۷ میلیون مترمکعب و سال ۱۹۹۷ دارای ۵۰۰ میلیون مترمکعب ورودی به سد بوده است. میزان ورودی به سد نیز در مقایسه با دوره قبل کاهش چشمگیری داشت. به طوری‌که سال ۱۹۹۶ دارای ۵۱۰ میلیون مترمکعب بوده ولی در سال ۲۰۰۶ دارای ۴۳۸ میلیون مترمکعب ورودی بوده است.

در این دوره کمترین میزان ورودی به سد مربوط به سال ۲۰۲۱ با ۴۲۰ میلیون مترمکعب و بیشترین مربوط به سال ۲۰۱۷ با ۴۷۰ میلیون مترمکعب است. مطالعات مشابه بین‌المللی بسیاری نیز در این زمینه انجام گرفته است (Boening-Ulman et al., 2022؛ López-Yang et al., 2024؛ Ballesteros et al., 2023؛ Belayneh, 2023؛ Acuña-Alonso et al., 2021؛ Elhassnaoui et al., 2021؛ Khajuria et al., 2014).

از آنجایی که خاک و پوشش گیاهی، ارتباط مستقیم و نزدیکی با چرخه آب دارند، حوزه‌های آبخیز، مفیدترین واحدهای برنامه‌ریزی برای مدیریت یکپارچه منابع آب و زمین محسوب می‌شوند. به این منظور، اقدامات آبخیزداری در جهت حفظ یا بازیابی عملکرد اکوسیستم حوزه‌های آبخیز، با کاهش اثرات منفی ناشی از رویدادهایی چون سیل، زمین‌لغزش، فرسایش و غیره در پایین‌دست و در عین حال، افزایش بهره‌وری منابع موجود و بهبود معیشت محلی، انجام می‌شوند. این اقدامات زمانی مؤثر می‌شوند که مناطقی با ارزش اکولوژیکی بالا که باید از تخریب یا تبدیل به سایر مصارف محافظت شوند را شناسایی و بازسازی یا تقویت نمایند.

ازاین‌رو، بررسی و ارزیابی اثربخشی اقدامات آبخیزداری، به‌منظور داشتن الگویی از اقدامات صحیح و یا اثرات منفی ناشی از این اقدامات، به جهت راهنمایی کاربران (چه در بخش پژوهش و چه در بخش اجرا)، در برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های موفق مدیریت آبخیز آتی، بسیار ضروری است. پس از هر پروژه‌ای گزارشی تهیه و ارائه می‌شود اما عمدتاً نقاط قوت و اثرات مثبت اقدامات برجسته می‌شود و کمتر به نتیجه بخش نبودن برخی اقدامات اشاره می‌شود. لازم به ذکراست که دسترسی به این گزارش‌ها به‌دلیل برخی مناسبات اداری، میسر نیست.

در این پژوهش، گزارش‌هایی از جدیدترین طرح‌های آبخیزداری انجام شده تهیه شد. از بین این گزارش‌ها، طرح‌هایی که به لحاظ سطح و اقدامات آبخیزداری، گسترده‌تر بودند، انتخاب شده و نتایج آنها بررسی شد. هدف، زیر سوال بردن اقدامات انجام گرفته نبوده بلکه بررسی نقاط قوت و نقاط ضعف در انجام پروژه‌های اثربخشی اقدامات آبخیزداری است. همچنین، وضعیت منابع آبی کشور نیز بر اساس آخرین آمار ارائه و تأیید شده وزارت نیرو و همچنین مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی به جهت یک دید کلی از وضعیت فعلی کشور ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی: پروژه‌های آبخیزداری شامل عملیات آبخیزداری بوده و عبارتند از به کارگیری مجموعه تمهیدات و تغییراتی در کاربری اراضی، پوشش گیاهی و سایر اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای که در یک حوزه آبخیز انجام می‌شود تا بتوان به اهداف آبخیزداری دست یافت. در این پژوهش، سعی بر بررسی گزارش‌های اثربخشی برخی طرح‌های آبخیزداری اجرا شده شد تا اثرات مثبت و منفی این اقدامات و محدودیت‌های موجود شناسایی شود.

به این منظور، برخی گزارش‌های آخرین طرح‌های کار شده در حوزه‌های آبخیز مختلف از سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور که متولی بخش اجرایی این طرح‌ها است، در سال ۱۴۰۲ اخذ و مطالعه شد. در نهایت با نظر به شرایط فعلی کشور از لحاظ مشکلات ناشی از بحران کم آبی و آمار و اطلاعات دریافتی از مراجع مربوطه ازجمله دفتر آمار و مطالعات منابع آب وزارت نیرو در سال ۱۴۰۲، سعی بر تحلیل و ارائه مناسب برای این شرایط شد. روش مطالعه به‌صورت کتابخانه‌ای و با بررسی اسناد و گزارشات موجود است. در ادامه، این پروژه‌ها به‌صورت خلاصه معرفی و نتایج به‌دست آمده از اجرای هر یک ارائه شده‌اند.

اثرات عملیات آبخیزداری-حوزه‌های آبخیز ساحلی بهشهر-گلوگاه: این پروژه در سال ۱۳۹۹ توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری مازندران، با هدف ارزیابی اثربخشی اقدامات مکانیکی آبخیزداری بر وضعیت منابع آب حوضه از قبیل کاهش دبی اوج و قدرت سیل در ۱۴ زیرحوضه دارای بندهای سنگی ملاتی، بندهای سرشاخه‌گیر و کف‌بندها از حوزه آبخیز بهشهر-گلوگاه انجام شد.

اثربخشی عملیات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز مراغه –استان مرکزی: این پروژه نیز در سال ۱۳۹۹ توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی، انجام شد. هدف از این طرح، بررسی اثرات اقدامات آبخیزداری در حوضه قبل و بعد از اجرای آنها بود. در این راستا، ۲۸/۴۴ هکتار عملیات بیولوژیکی، ۴۴/۱۶ هکتار عملیات بیومکانیکی و حدود ۷/۸ هکتار نیز عملیات مکانیکی انجام گرفت. ارزیابی تأثیرات پروژه‌های اجرایی در حوزه آبخیز مراغه از جهت کنترل سیلاب و رواناب، افزایش آبدهی چاه‌ها، چشمه‌ها و بهبود معیشت مردم (ایجاد اشتغال و افزایش مشاغل جدید) بوده که مواردی مانند کنترل سیلاب و رواناب در سه بخش کنترل سیل در اراضی مسکونی، زراعی و باغی و راه‌های ارتباطی انجام گرفت.

پروژه اثر بخشی اجرای عملیات آبخیزداری حوزه آبخیز خاوه دلیجان: این پروژه در سال ۱۴۰۰ توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی، به منظور ارزیابی عملکرد هیدرولوژیک سازه‌های اجرا شده در این حوضه انجام شد. به‌منظور ارزیابی تأثیر بندهای اصلاحی، هیدروگراف سیل برای بارش‌های با تداومی برابر با زمان تمرکز حوضه در دوره بازگشت‌های مختلف در حالت قبل و بعد از احداث سازه‌ها (با فرض زمان تاخیر دو برابر حالت قبل از احداث)، با استفاده از مدل HEC-HMSشبیه‌سازی شد.

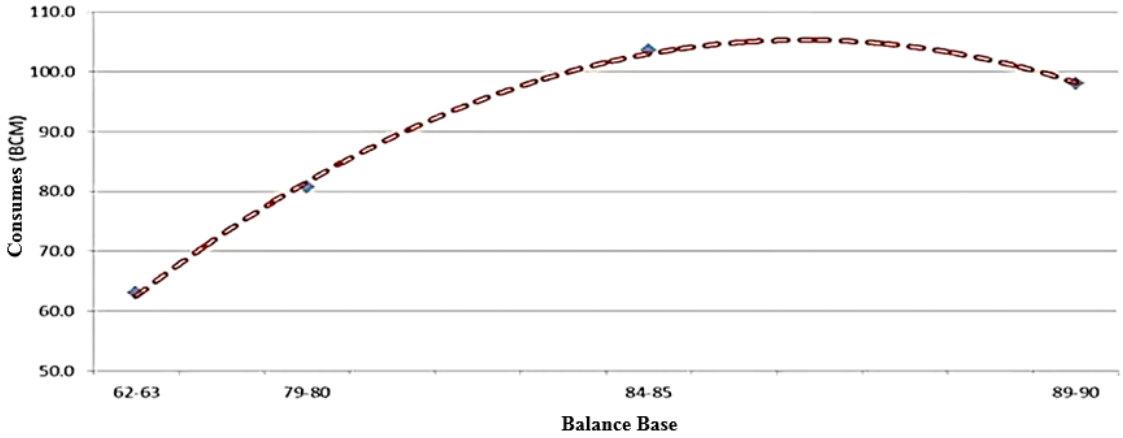
پروژه اثربخشی اقدامات آبخیزداری در زیرحوضه آسیابرود شهرستان چالوس: این طرح در سال ۱۳۹۹ توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران صورت گرفت. مانند اغلب نقاط کشور فرسایش در اراضی محدوده مطالعاتی آسیابرود چالوس نیز از نوع فرسایش پاشمانی شروع شده و این فرسایش خود، زمینه‌ساز به‌وجود آمدن و توسعه سایر انواع فرسایش مانند فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی و غیره شده است. عامل مهم دیگر در تولید رسوب و به ویژه حمل آن، فرسایش رودخانه‌ای به‌خصوص در مناطقی است که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها قدرت هدایت آب بدون فرسودگی بستر و کناره‌های خود را نداشته باشند.

پروژه ارزیابی عملیات آبخیزداری حوزه آبخیز فاریاب-گلاشگرد: این پژوهش در سال ۱۴۰۰ توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمان، با هدف ارزیابی اثربخشی اقدامات مکانیکی آبخیزداری بر وضعیت منابع آب، فرسایش، پوشش گیاهی و ابعاد اجتماعی و اقتصادی حوزه آبخیز فاریاب-گلاشگرد انجام شد. در ارزیابی اثرات اقدمات اجرایی در وضعیت منابع آب حوضه، میزان حجم سیلاب‌های کنترل شده سالیانه حوضه در قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری تعیین شد. میزان کاهش دبی پیک سیلاب حوضه نیز در قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، میزان تأثیر سازه‌های اجرایی در زمان تمرکز سیلاب مشخص شد.

وضعیت منابع آبی کشور بر اساس آخرین گزارشات وزارت نیرو: چالش‌های زیادی در رابطه با منابع آب کشور مطرح است که برخی از آنها عبارتند از رشد برداشت‌های آب، تخصیص بیش از حد آب در حوضه‌های آبریز، رشد و تغییر شرایط اقتصادی و تنوع گسترده‌تر بهره‌برداران با تقاضاهای مختلف آب، گسترش مناقشات میان بخشی، بین استانی و بین کشوری، تنزل بوم‌سازگان‌های آب شیرین و از بین رفتن کارکردهای سیستم رودخانه، تغییر روابط (اندرکنش) و رفتار منابع آب سطحی و زیرزمینی (به دلیل افزایش برداشت‌ها و کاهش منابع آبی موجود، رفتار منابع آب سطحی و زیرزمینی و اندرکنش این منابع دچار تغییر شده است).

اگرچه بنا بر آماربرداری‌های اخیر، میزان مصرف آب کمتر شده است اما این کاهش میزان مصرف در مقایسه با دهه‌های قبل نه تنها مقدار بسیار ناچیزی بوده، بلکه کاهشی صورت نگرفته است. به‌طوری‌که در مقایسه میزان مصرف آب کشور طی سه دهه اخیر، ارتقاء بسیار قابل توجهی مشاهده می‌شود. این میزان تغییرات در کشور، از حدود ۶۰ میلیارد مترمکعب به حدود ۱۰۰

میلیارد مترمکعب افزایش یافته است که در شکل ۱ نیز کاملاً مشخص است. با در نظر گرفتن میزان مصرف از دهه ۶۰، میزان مصرف آب با افزایش شدید همراه بوده و صرفاً در سال‌های اخیر (از سال ۸۷ به بعد) کمی سیر نزولی یافته است که چندان قابل توجه نیست. دلیل این کاهش مقطعی هم، افزایش بارش‌ها در این سال‌ها بوده (اصطلاحاً سال پر آب) که تا حدودی امکان ذخیره فراهم بود (Report of Important Water and Electricity Indices, Ministry of Energy, 2023).



شکل ۱- تغییرات مجموع مصارف آب در کشور (وزارت نیرو، گزارش شاخص‌های مهم آب و برق، ۱۴۰۲)

Fig. 1. Changes in total water consumption in the country (Report of Important Water and Electricity Indices, Ministry of Energy, 2023)

بر اساس اعلام سازمان ملل، برداشت آب در سراسر جهان، طی ۵۰ سال گذشته، سه برابر شده است (Report of Important Water and Electricity Indices, Ministry of Energy, 2023). بنابراین، جهت تأمین آب برای مصرف‌کنندگان جدید نیاز به رویکردی غیر از احداث سدهای جدید است. چراکه به رغم بیش تخصیص منابع آب در حوزه‌های آبخیز و فقدان ساختگاه‌های بیشتر، افزایش تعداد سدها در حوزه‌های آبخیز و عدم امکان ساخت سدهای جدید، مصرف کل رواناب‌های حوزه‌های آبخیز، قادر به پاسخگویی میزان تقاضاهای جدید نیستند.

بنابراین، با توجه به تمام این موارد، افزایش برهم‌کنش منابع آب سطحی و زیرزمینی رخ داده است که شامل افزایش برداشت‌های سطحی و زیرزمینی، ترکیب کاهش تغذیه آبخوان‌ها و افزایش برداشت زیرزمینی، پررنگ‌تر شدن ارتباط بین آب سطحی و زیرزمینی و غیره است. وقایع مختلف رخ داده در بخش آب بسته به میزان اهمیت آنها، بیان‌گر وضعیت این بخش در موضوعات مختلف سازه‌ای، مدیریتی، تنش‌های آبی، سرمایه‌گذاری و غیره بوده و اطلاع از آنها به شناخت بهتر وضعیت این بخش کمک می‌کند.

وقایع مهم بخش آب در سال ۱۴۰۲ به شرح ذیل احصاء شده است:

- بحرانی‌تر شدن وضعیت تأمین آب شرب در مناطق جنوب شرق کشور به‌ویژه استان سیستان و بلوچستان (عدم رهاسازی حقابه ایران از رودخانه هیرمند از سوی افغانستان و اعتراض ساکنین منطقه)،
- شروع عملیات اجرایی انتقال آب از دریای عمان به نوار شرقی کشور (به طول ۱۷۹۰ کیلومتر، اعتبار سه میلیارد یورو و پیشرفت هشت درصدی)،
- وقوع زمین لغزش در بستر سد کرج (بزرگترین منبع تأمین آب شرب تهران)، ناشی از وقوع رگبارهای شدید بهاری و قطع اتصال به سامانه‌های آبرسانی تأمین آب شرب،
- اجرای طولانی‌ترین خط انتقال پساب به صنعت به طول ۱۰۰ کیلومتر با استفاده از توان بخش خصوصی و با مبلغ ۵۰۰۰ میلیارد ریال در یزد،
- آغاز عملیات آبگیری سد مخزنی کهیر شهرستان کنارک در استان سیستان و بلوچستان با ظرفیت ۳۴۵ میلیون مترمکعب،

- بهره‌برداری از شبکه‌های پایاب سد آیدوغموش، سهند و صومعه کبودین در استان آذربایجان شرقی جهت آبرسانی به ۱۸۴۰ هکتار از اراضی کشاورزی.

شاخص‌های مهم هواشناسی در نه ماهه منتهی به خردادماه سال ۱۴۰۲ بیانگر بهبود بارش‌های کشور نسبت به مدت مشابه سال قبل بوده، اما کشور همچنان نسبت به دوره‌های مشابه بلندمدت با افت بارش و خشکسالی مواجه بوده است. وضعیت کلی بخش آب کشور با استفاده از داده‌های آب و هواشناسی از ابتدای سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ تا اواخر خردادماه سال جاری و همچنین شاخص‌های مهم این بخش طی فصل بهار در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- وضعیت شاخص‌های کلان بخش آب کشور در سال ۱۴۰۲ (Islamic Council Research Center, 2023)

Table 1. The status of macro indices of the Iran water sector in 2023 (Islamic Parliament Research Center, 2023)

Row	Indicator Title	Status	Remarks
1	Precipitation	204 mm	From the beginning of the water year to the end of June 2023
		14%	Decrease compared to the long-term average
		11%	Increase compared to the same period of the previous water year
2	Temperature Change	0.7°C	Increase compared to the long-term average
3	Drought (SPEI)	Severe	Northern Zagros, Caspian Sea coast, southern slopes of Alborz, and eastern regions
		Wet Conditions	Scattered in the provinces of Chaharmahal and Bakhtiari, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, northern Fars, southern Isfahan, western Kerman, and Kurdistan
4	Potable Water	1.6 billion cubic meters	Volume of drinking and industrial water consumption
		476	Number of cities exposed to water stress
5	Major Shared Basins	East (Afghanistan)	Continued drought in most regions
		West (Iraq)	Generally normal to slightly wet conditions
6	Reservoir Storage	31 billion cubic meters	End of June 2023
		20%	Increase compared to the same period of the previous water year
7	Hydropower Generation	7.520 MWh	Equivalent to 8% of the country's total electricity production
8	Groundwater Resources Balance	143 billion cubic meters	Minimum cumulative deficit in aquifers
9	Budget Status	8.8 trillion Rials	Budget allocation for 2023, equivalent to 3% of capital asset acquisition credits
		324 projects	Funding for water stress mitigation projects

با توجه به شاخص‌های مهم آب و هواشناسی، از ابتدای سال آبی جاری تا اواخر خردادماه سال ۱۴۰۲، به رغم وقوع ترسالی در مناطقی از کشور به‌ویژه استان‌های بخش جنوب غربی، پهنه‌های بیشتری از سطح کشور با خشکسالی مواجه شده‌اند. شدت خشکسالی در شرق کشور بیش از سایر مناطق بوده و در غرب کشور نیز خشکسالی خفیفی رخ داده است (National Meteorological Organization, 2023). این در حالی است که متوسط بارش کل کشور از ابتدای سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ تا انتهای خردادماه سال ۱۴۰۲، نسبت به مدت مشابه سال آبی گذشته، روند افزایشی داشته، اما نسبت به میانگین بلندمدت، به میزان ۱۴ درصد کاهش یافته است، به‌طوری‌که از مجموع ۳۱ استان کشور، ۲۲ استان دچار کاهش بارش شده‌اند.

بنابراین کشور با وجود بهبود میانگین نزولات آسمانی، برای سومین سال پیاپی دچار خشکسالی و کاهش نزولات جوی شده است (Ministry of Energy, 2023). سدهای واقع در جنوب غرب کشور و حوزه آبخیز دریاچه ارومیه به میزان ۶۰ درصد و بالاتر پر شدگی داشته‌اند، اما شرق کشور که با بیشترین افت بارش‌ها نیز مواجه بوده است، در استان سیستان و بلوچستان، میزان ذخیره آب چاه‌های نیمه عمیق که به‌طور کامل به منابع آب ورودی رودخانه مرزی و مشترک هیرمند وابسته‌اند، به کمتر از ۱۰ درصد رسیده و در شرایط بسیار بحرانی قرار گرفته‌اند.

به‌دلیل افت محسوس حجم ذخایر سدهای واقع در استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی و جنوب استان فارس، سهم منابع آب سطحی در تأمین مصارف کاهش یافته، همچنین افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و وقوع تنش آب شرب در این مناطق به وقوع پیوسته است. در نوار شمالی کشور نیز به‌دلیل افت بارش‌ها، افت تولید محصولات کشاورزی و چالش در تأمین نیازهای این بخش بسیار محتمل بوده و در استان گلستان هم به علت حجم

اندک ذخایر سدهای استان و عملاً خشک شدن آنها، وقوع تنش آب شرب نیز مورد انتظار است.

تا کنون ۲۳ درصد از حوزه‌های آبخیز کشور معادل ۳۱ میلیون هکتار عملیات آبخیزداری انجام شده است (Watershed Deputy, Rangeland and Desert Affairs, Natural Resources and Watershed Organization of the country, 2023). همچنین، هدف‌گذاری برای اجرای طرح‌های آبخیزداری کشور در طول برنامه ششم توسعه یک میلیون هکتار بوده که با جهش دو سال اخیر مساحت طرح‌ها تقریباً دو برابر شده است. در نتیجه استفاده از سازه‌های آبخیزداری خسارت سیلاب‌های اخیر تا ۷۰ درصد کاهش داشته است و هر هکتار آبخیزداری ۵۳۰ مترمکعب آب را کنترل می‌کند. از طرفی با توجه به اینکه به ازای هر واحد سرمایه‌گذاری در حوضه، آبخیزداری می‌تواند هفت تا هشت تن فرسایش خاک و خسارت سیلاب را کنترل کند (Watershed Deputy, Rangeland and Desert Affairs, Natural Resources and Watershed Organization of the country, 2023).

در برنامه هفتم توسعه ۵۰ میلیون هکتار و در برنامه هشتم توسعه ۴۰ میلیون هکتار عملیات آبخیزداری در کشور برنامه‌ریزی شده است. با این حال در نقاط مختلف کشور اقدامات سنتی در مقابله با مدیریت سیلاب و استفاده از سیلاب‌ها برای مصارف کشاورزی و زراعتی همچون کشت علوفه، نخلیات و غیره انجام می‌شود که خود نوعی روش آبخیزداری و آبخوان‌داری محسوب می‌شود. تلفیق روش‌های علمی و سنتی که در آن مردم مشارکت دارند برای اهداف آبخیزداری می‌تواند نتایج خوبی داشته باشد.

ارائه این مطالب صرفا جهت اطلاع از وضعیت موجود منابع طبیعی کشور طبق آخرین مستندات ارائه شده از وزارت نیرو، سازمان منابع طبیعی و همچنین مرکز پژوهش‌های مجلس بوده و در ادامه با توجه به شرایط موجود، برخی از آخرین طرح‌های آبخیزداری که در کشور به‌منظور رفع این مشکلات، اجرا شده‌اند ارائه شده است.

نتایج و بحث

نتایج بررسی ترکیبی سازه‌های آبخیزداری احداث شده در حوزه‌های آبخیز ساحلی بهشهر-گلوگاه در آبراهه‌ها نشان داد که در زیرحوضه‌های که عملیات آبخیزداری به‌صورت ترکیبی از سازه‌های متفاوت نسبت به رژیم آبراهه انجام شده، توانسته تأثیر قابل‌توجهی در کاهش دبی پیک سیلاب و افزایش زمان تمرکز داشته باشد. در زیرحوضه‌هایی با تعداد کم سازه‌های اصلاحی، با توجه به مساحت زیرحوضه‌ها و طول زیاد آبراهه‌ها، تأثیر زیادی در زمان تمرکز و دبی اوج سیل نداشته اما منجر به تثبیت پروفیل طولی آبراهه شده‌اند. با افزایش تعداد سازه‌های اصلاحی و رعایت فاصله مناسب بین آنها، سازه‌های اصلاحی احداث شده می‌توانند منجر به زمان تمرکز بیشتر حوضه و کاهش بیشتر دبی اوج سیلاب شوند.

در این پروژه، در برخی از زیرحوضه‌ها که هدف تثبیت بستر آبراهه بوده، با زیاد در نظرگرفتن ارتفاع بندها، کف‌کنی و فرسایش کناره‌های آبراهه در پایین دست محل احداث بندها و تخریب حوضچه آرامش و آب‌شستگی پایاب آن در اکثر بندهای سنگی ملاتی اتفاق افتاده است. از طرفی دیگر، وجود سنگ‌های بزرگ و حجیم و آبراهه‌های کم‌عرض و عمیق، در زمان وقوع سیل باعث به‌وجود آمدن سدهای کوتاه موقتی شده و با افزایش حجم سیلاب در پشت این بند موقت، انرژی سیلاب افزایش یافته و به تناوب موجب تخریب این بندها و درنهایت افزایش حجم سیلاب به پایین‌دست شده است. نتایج این پروژه در جدول‌های ۲ تا ۴، ارائه شده است.

مطالعه میزان اثربخشی عملیات آبخیزداری در حوضه‌های آبخیز مراغه-استان مرکزی نیز از جهات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های این پژوهش، میزان فرسایش و رسوب ویژه این حوضه در قبل و بعد از اجرای طرح به‌ترتیب ۱۰/۷۸ و ۳/۱۴ (تن بر کیلومترمربع) و ۳/۱ و ۹/۶۶ (تن بر کیلومترمربع) ارزیابی شد. همچنین نتایج نشان داد که طبق نظرسنجی انجام شده از روستائیان منطقه، این پروژه حدود ۷۶ درصد در کاهش خسارت مالی سالیانه سیلاب این حوضه مؤثر بوده و اثرات منفی این طرح بر اساس نظر ۸۶ درصد مردم، متوسط و بسیارکم بوده است (Report on The Effectiveness of Watershed Measurments in Maragheh Watershed-Markazi Province, 2020). نتیجه تغییرات ایجاد شده در هر یک از بخش‌های مورد مطالعه (استحصال آب، رسوب و فرسایش، خسارت سیلاب و میزان پوشش گیاهی) در جدول ۵، ارائه شده است.

همچنین افزایش منابع آب زیرزمینی (آبدهی چاه‌ها، چشمه‌ها) پس از اجرای طرح، نشان داد از نظر ۷۰ درصد مردم منطقه این منابع افزایش قابل توجهی داشتند. با توجه به یافته‌های اقدامات اجرایی ازجمله کنترل فرسایش، تله‌اندازی رسوب، استحصال آب در حوضه و غیره، پیاده‌سازی اقدامات آبخیزداری در حوضه مورد بررسی، منجر به ۲۳۴۰۰ مترمکعب استحصال آب، کنترل و کاهش ۶۹۸۶۲/۵ مترمکعب سیلاب و همچنین کنترل رسوب و فرسایش در محدوده مطالعاتی شده است (جدول ۶).

جدول ۲- نتایج محاسبات تعیین زمان تمرکز در زیرحوضه‌های مطالعاتی حوزه آبخیز بهشهر-گلوگاه

Table 2. The results of calculations for determining the concentration time in the study sub-basins of Behshahr-Gologah watershed

Sub-basin	Characteristics	Before	After	Sub-basin	Characteristics	Before	After
	Length (m)	3829.64	3829.64		Length (m)	9046.45	9046.45
RO1	Slope (%)	10.15	10.15	P	Slope (%)	8.55	8.44
	Concentration Time (min)	27.01	27.01		Concentration Time (min)	55.94	56.22
	Length (m)	3512.63	3512.63		Length (m)	10485.77	10485.42
RO2	Slope (%)	11.58	11.58	BH	Length (m)	7.88	7.77
	Concentration Time (min)	24.02	24.02		Slope (%)	64.67	65.02
	Length (m)	6100.52	6100.50		Concentration Time (min)	4964.45	4964.45
ROint	Slope (%)	7.58	7.56	T1	Length (m)	14.19	14.19
	Concentration Time (min)	43.26	43.30		Slope (%)	29.00	29.00
	Length (m)	4787.41	4787.41		Length (m)	4016.55	4016.45
KO1	Slope (%)	9.69	9.69	T2	Slope (%)	17.57	17.49
	Concentration Time (min)	32.66	32.66		Concentration Time (min)	22.69	22.73
	Length (m)	4709.09	4709.09		Length (m)	2505.18	2505.18
KO2	Slope (%)	11.53	11.53	T3	Slope (%)	21.17	21.17
	Concentration Time (min)	30.16	30.16		Concentration Time (min)	14.68	14.68
	Length (m)	8090.15	8090.11		Length (m)	10124.22	10124.18
KOint	Slope (%)	7.59	7.56	Z	Slope (%)	13.83	13.81
	Concentration Time (min)	53.74	53.82		Concentration Time (min)	50.69	50.72
	Length (m)	5546.63	5546.07		Length (m)	10238.48	10238.27
M	Slope (%)	8.45	8.17	SE	Slope (%)	15.19	15.09
	Concentration Time (min)	38.56	39.06		Concentration Time (min)	49.32	49.44

جدول ۳- دبی‌های پیک سیلابی در زیرحوضه‌های مطالعاتی حوضه بهشهر-گلوگاه قبل از اجرای عملیات آبخیزداری

Table 3. Flood peak discharges in the study sub-basins of Behshahr-Golugah basin - before the watershed measures.

Subbasin	2	5	10	25	50	100
RO 1	0.11	0.43	1.57	3.88	6.14	8.72
RO 2	0.28	0.18	1.04	2.98	4.94	7.28
RO int	0.70	0.71	4.51	7.17	9.33	11.64
KO 1	0.36	0.06	0.61	0.02	3.48	5.25
KO 2	0.49	0.08	0.79	2.63	4.56	6.88
KO int	0.07	0.99	0.62	3.81	5.32	6.98
M	0.11	0.20	0.88	2.30	3.71	5.36
P	0.23	0.60	2.41	6.12	9.70	13.91
BH	0.00	1.40	3.80	8.11	12.05	16.49
T 1	0.46	0.03	0.51	1.84	3.27	5.01
T 2	0.73	0.05	0.79	2.86	5.09	7.97
T 3	0.14	0.09	0.53	1.50	2.48	3.65
Z	0.52	0.60	2.90	7.89	12.91	18.72
SE	0.65	0.51	2.74	7.68	12.71	18.56

جدول ۴- دبی‌های پیک سیلابی در زیرحوضه‌های مطالعاتی بهشهر-گلوگاه بعد از اجرای عملیات آبخیزداری
Table 4. Flood peak discharges in the study sub-basins of Behshahr-Golugah basin - after the watershed measures.

Subbasin	2	5	10	25	50	100
RO 1	0.11	0.43	1.57	3.88	6.14	8.72
RO 2	0.28	0.18	1.04	2.98	4.94	7.28
RO int	0.69	0.71	4.51	7.16	9.33	11.63
KO 1	0.36	0.06	0.61	0.00	3.48	5.25
KO 2	0.49	0.08	0.79	2.63	4.56	6.88
KO int	0.07	0.99	2.06	3.80	5.32	6.97
M	0.11	0.20	0.88	2.28	3.68	5.32
P	0.23	0.60	2.41	6.10	9.67	13.87
BH	0.00	1.40	3.79	8.01	12.01	16.43
T 1	0.46	0.03	0.51	1.84	3.27	5.01
T 2	0.73	0.05	0.79	2.86	5.08	7.97
T 3	0.14	0.09	0.53	1.50	2.48	3.65
Z	0.52	0.60	2.89	7.89	12.91	18.72
SE	0.65	0.51	2.73	7.67	12.69	12.53

جدول ۵- نتایج اقدامات اجرایی در حوضه
Table 5. The results of the watershed measures in the basin

Row	Factor	Volume/Area	Unit
1	Water Harvesting	23400	m^3
2	Sediment	58847.5	m^3
3	Erosion Control	61730.2	Tons
4	Flood Damage Reduction	69862.5	m^3
5	Forage Increase	5404	Kg

جدول ۶- شرایط فعلی منابع آب زیرزمینی در حوضه
Table 6. Current conditions of groundwater resources in the basin

Row	Type of Water Sources	Quantity	Annual Discharge (m^3)	Average Flow (l/s)
1	Spring	100	227059.2	0.79
2	Qanat	4	1617796.8	1.8
	Total	104	1844856	-

تحلیل اقتصادی ناشی از مدیریت حوضه (هزینه به هزینه ۰/۹ بوده که این میزان در طول سال‌های اجرا کرد، سود و نسبت سود به هزینه) نیز در این پژوهش ضرب شده و بالاتر از عدد یک به‌دست آمد که محاسبه شد. با توجه به جدول‌های ۷ و ۸، نسبت سود نشان‌دهنده توجیه اقتصادی پروژه است.

جدول ۷- عوامل هزینه‌کرد برنامه‌ها در حوضه
Table 7. Cost factors of measurments in the basin

Row	Cost factors	Factor	Volume/Area	Unit	Unit price (Million IRR)	Expenditure (Million IRR)
1	Mechanical	77,681	m^3	5.86	455,186	
2	Biomechanical	44.16	ha	4	177	
3	Biological	28.44	ha	3	85	
4	Managerial	-	ha	-	-	
	Total expenditure					455,488

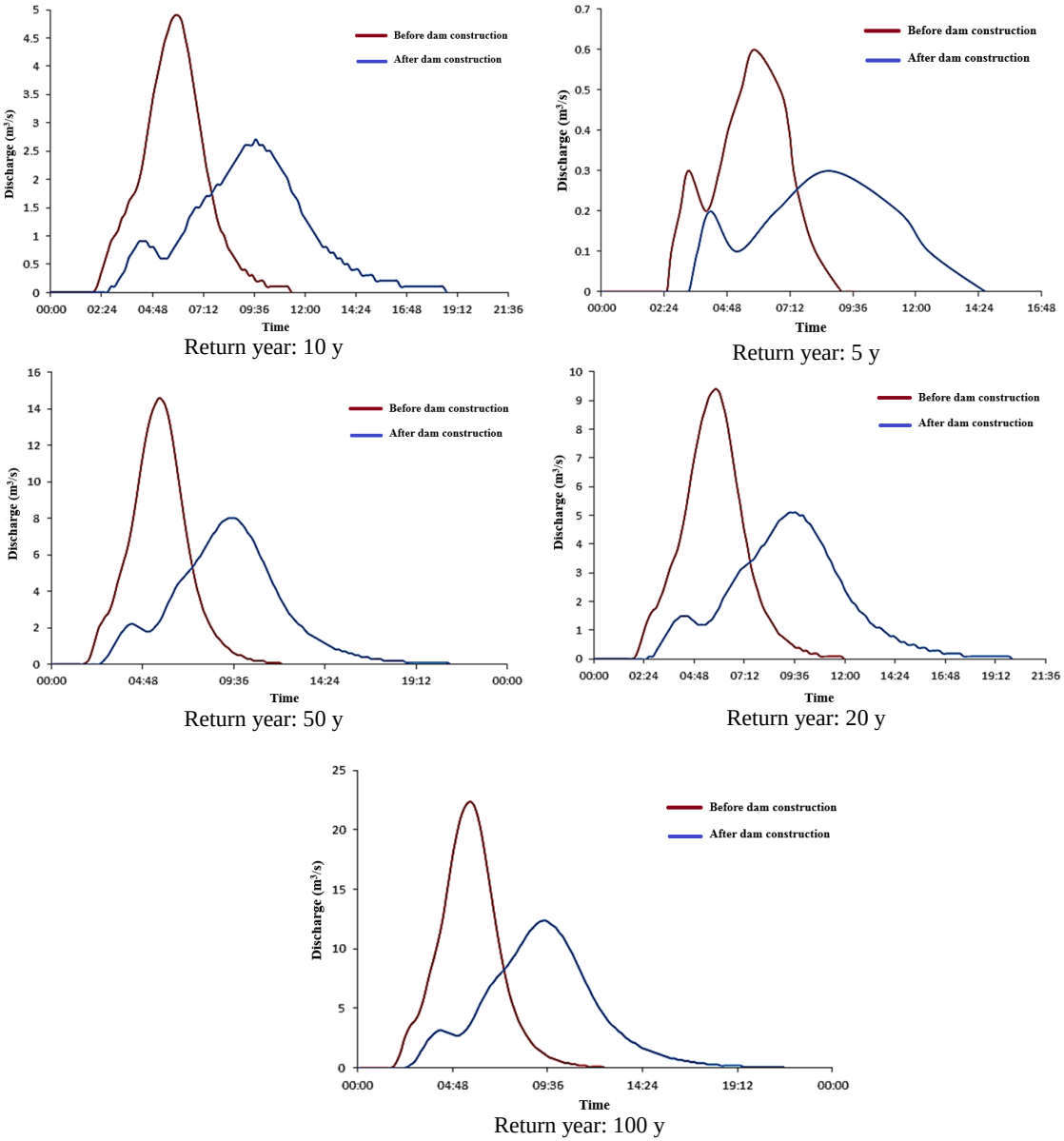
پروژه اثربخشی اجرای اقدامات آبخیزداری در حوزه پنج، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله دبی اوج به‌ترتیب از ۰/۶ آبخیز خاوه دلیجان نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. به ۰/۳، ۴/۹ به ۲/۷، ۹/۴ به ۵/۱، ۱۴/۶ به ۸/۰ و ۲۲/۴ یافته‌های این مطالعه نشان داد احداث سازه‌های به ۱۲/۴ مترمکعب بر ثانیه)، افزایش زمان پایه اصلاحی باعث کاهش دبی اوج (برای دوره بازگشت‌های هیدروگراف (برای دوره بازگشت‌های پنج، ۱۰، ۲۰، ۵۰

و ۱۰۰ ساله به‌ترتیب از ۶/۸ به ۱۱/۲، ۹/۳ به ۱۶/۰، ۱۰/۲ به ۱۷/۵، ۱۰/۵ به ۱۸/۵ و ۱۰/۸ به ۲۹/۳) و افزایش میزان تأخیر در زمان تا اوج برای هیدروگراف‌ها (حدود ۳/۵ ساعت) شده‌اند. تغییرات هیدروگراف‌های خروجی مدل برای دوره بازگشت‌های مختلف در حالت های قبل و بعد از احداث سازه‌ها نیز در نمودارهای شکل ۲، ارائه شده است.

جدول ۸- عوامل سود برنامه‌ها در حوضه

Table 8. Profit factors of measurments in the basin

Row	Profit factors	Factor	Volume/Area	Unit	Unit price (Million IRR)	Profit (Million IRR)
1	Water Harvesting *	23400	m^3	0.007	114660	
2	Sediment	58847.5	m^3	1.5	88271.5	
3	Erosion Control	61730.2	Tons	1.5	92595.3	
4	Flood Damage Reduction	23410	m^3	1.5	104793.75	
5	Forage Increase	5404	Kg	0.02	108.08	
	Total Profit					400428



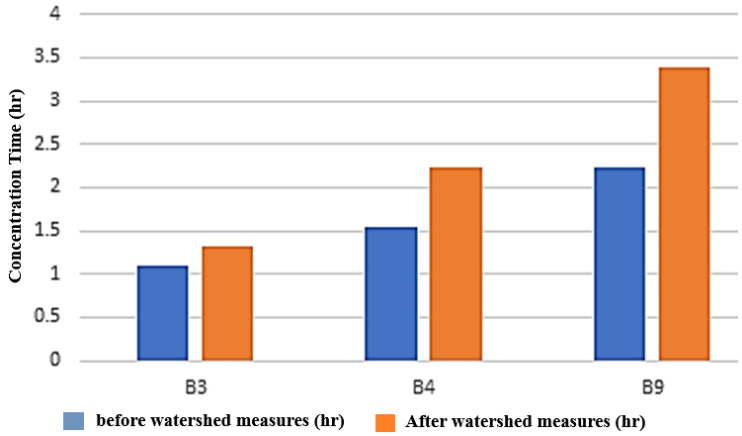
شکل ۲- تغییرات هیدروگراف‌های خروجی مدل برای دوره بازگشت‌های مختلف

Fig. 2. Changes in model output hydrographs for different return periods

پروژه اثربخشی اجرای عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز آسیابرود شهرستان چالوس مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های این پژوهش، میزان فرسایش ویژه در حوضه قبل از اجرای اقدامات برابر ۳/۴۴ تن بر هکتار بر سال بوده و میزان رسوب ویژه نیز در دوره قبل از اجرای اقدامات ۱/۶۵ تن بر هکتار بر سال برآورد شد. این در حالی است که بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری (مکانیکی و بیومکانیکی)، میزان فرسایش ویژه در حوضه برابر ۳/۸۹ تن بر هکتار بر سال و میزان رسوب ویژه نیز ۱/۸۷ تن بر هکتار بر سال برآورد شد.

زیرا در دو زیرحوضه از مجموع ۱۳ زیرحوضه (A3-int و A3-2-2)، میزان فرسایش بیشتر بوده و این موضوع موجب این اختلاف شده است. احتمالاً تنوع انواع فرسایش، دلیل کنترل کمتر فرسایش در این دو زیرحوضه، بوده است. با توجه به مطالعات بخش هیدرولوژی منطقه در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی، CN کاهش، زمان تمرکز افزایش و دبی پیک و حجم سیلابی به میزان ۱۰۷۸/۴۹ میلیون مترمکعب در اثر اجرای اقدامات آبخیزداری کاهش یافت. متعاقباً با کاهش حجم سیلابی، خسارات مالی ناشی از سیل نیز در این حوضه کاهش یافت.

اثربخشی اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز فاریاب-گلاشگرد نیز بررسی شد. تغییرات زمان تمرکز و میزان کاهش دبی پیک سیلاب حوضه نیز در قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری مقایسه شد. نتایج این بررسی افزایش قابل توجه زمان تمرکز را نشان داد (شکل ۳). دبی پیک هر سه زیرحوضه نیز در تمام دور برگشت‌های مورد بررسی، با اجرای اقدامات آبخیزداری، کاهش داشتند (جدول‌های ۹ و ۱۰).



شکل ۳- وضعیت هر یک از زیرحوضه‌ها از نظر زمان تمرکز قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری

Fig. 3. The situation of each sub-basin in terms of time of concentration before and after watershed measures

جدول ۹- دبی پیک سیلاب زیرحوضه‌ها در قبل از اجرای عملیات آبخیزداری

Table 9. The peak flood discharge of the sub-basins before watershed measures

Unit	The peak flood discharge of different returne periods (before watershed measures)					
	2	5	10	25	50	100
B3	3.7	14.8	21.2	36.2	47.4	57.4
B4	5.6	20.1	27.8	46.5	61.4	74.2
B9	0.4	4.3	7.4	15.2	22.1	28.1
Entire the Basin	11.6	56.3	82.3	150.9	206.9	255.6

جدول ۱۰- دبی پیک سیلاب زیرحوضه‌ها در بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

Table 10. The peak flood discharge of the sub-basins after watershed measures

Unit	The peak flood discharge of different returne periods (after watershed measures)					
	2	5	10	25	50	100
B3	2.91	11.64	16.68	28.48	37.29	45.16
B4	3.13	11.25	15.56	26.03	34.37	41.53
B9	0.19	2.09	3.59	7.38	10.72	13.64
Entire the Basin	9.85	47.80	69.87	128.11	175.65	217.00

نتیجه‌گیری

با توجه به پژوهش و مطالعات صورت گرفته، می‌توان گفت پس از پیاده‌سازی و اجرایی کردن اقدامات آبخیزداری، پایش این اقدامات به‌منظور حفظ و تقویت این منابع ارزشمند، باید مورد توجه قرار گیرد. همان طور که در برخی پژوهش‌های فوق نیز اشاره شده، اقدامات آبخیزداری در برخی مناطق انجام شده اما به دلیل ضعف و اهمال در پایش پس از اجرا، هزینه، وقت و انرژی صرف شده برای این اقدامات نیز به نتیجه مطلوب و مورد انتظار نرسیده است. بنابراین، حتی زمانی که تغییرات مدیریتی به خوبی طراحی و به‌طور کامل اجرا شده باشند، اگر دوره پایش، طراحی برنامه و دفعات نمونه‌برداری برای رفع مشکلات محتمل موجود کافی نباشد، اقدامات آبخیزداری ممکن است، نتایج مناسبی را نشان ندهند.

در رابطه با اقدامات آبخیزداری پروژه ساحلی بهشهر-گلوگاه، ازجمله کف‌کنی و فرسایش کناره‌های آبراهه در پایین‌دست محل احداث بندها و تخریب حوضچه آرامش و آب‌شستگی پایاب آن در اکثر بندهای سنگی ملاتی، ناشی از زیاد گرفتن ارتفاع بندها، توصیه می‌شود در این حوضه از سازه‌های با ارتفاع کم و تعداد بیشتر و به فاصله کم، به‌صورت سراب و پایاب اجرا شود (که ممکن است هزینه‌های اجرایی بسیار بالایی داشته باشد). همچنین، جهت تقلیل اثرات تخریب بسیاری از بندهای سنگی ملاتی از محل دستک‌ها، می‌توان رسوبات درشت دانه وسط آبراهه را به کناره‌ها انتقال داد تا مقطع عرضی آبراهه‌ها از حالت محدب خارج شود، به طوری که جریان آب به وسط آبراهه هدایت شود و مانع از فرسایش کناره بندها شود.

در مجموع، نتیجه حاصل از مطالعه اثر اقدامات آبخیزداری پروژه ساحلی بهشهر-گلوگاه، بیانگر ارتباط مثبت و معنی‌دار بین تعداد سازه‌های اصلاحی و افزایش زمان تمرکز و کاهش شیب، سرعت، دبی اوج سیلاب و توان جریان است. البته افزایش تعداد سازه‌های اصلاحی، افزایش هزینه‌های اجرایی چنین پروژه‌هایی را نیز در بر می‌گیرد که نیاز به مطالعه و پژوهش‌های بیشتری دارد، اما هر گونه هزینه‌کرد در مباحث آبخیزداری و اعمال مدیریت جامع در سطح حوضه‌های آبخیز، نوعی سرمایه‌گذاری مطمئن بوده و باید به‌عنوان زیرساخت و اساس توسعه پایدار همواره مد نظر مدیران و برنامه‌ریزان کشور قرار گیرد.

از اقدامات مؤثر و مناسب در سطح حوزه آبخیز مراغه اجرای برنامه‌های بیولوژیک و بیومکانیک در آن است که بیشتر در قسمت شمالی و مرکزی حوضه صورت گرفته است. هرچند که این برنامه‌ها در قسمت‌های مورد نظر بازخورد مناسبی به لحاظ اجتماعی داشته ولی در سطح مراتع حوضه عملیات بیولوژیکی زیادی به‌غیر از دو محدوده که بیشتر در حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش‌های خندقی بوده، صورت نگرفته که نیاز توجه بیشتر و انجام برنامه‌های مدیریتی و اصلاحی در برخی قسمت‌های حوضه دارد.

در بحث اقدامات مکانیکی، ازنظر اصول اجرایی و نحوه اجرا، سازه‌های احداثی از کیفیت مناسبی برخوردار بوده، و صرفا در سازه‌های گابیونی و در برخی قسمت‌ها نیاز است در ساخت دستک‌ها و درگیر شدن آنها با دیواره‌های کناری تغییراتی در نحوه اجرا حادث شود. در مجموع اقدامات مکانیکی ایجاد شده در حوزه آبخیز مراغه متناسب با برنامه‌های آبخیزداری (کنترل سیلاب، نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی و تغذیه آنها، ایجاد سازه‌های متناسب با منابع قرضه در حوضه و تغییرات کم در جابجایی مصالح) بوده است.

در رابطه با افزایش میزان فرسایش ویژه و رسوب ویژه که در حوزه آبخیز آسیابرود رخ داده، لازم به ذکر است که این مطالعه در ۱۳ زیرحوضه از آسیابرود مورد بررسی قرار گرفته که عمدتاً هم عملیات بیولوژیکی بوده‌اند. عملیات بیولوژیکی در چنین مناطقی تأثیر خیلی زیادی در فرسایش و رسوب معمولاً ندارد (عملیات بیولوژیکی معمولاً چون زمان‌بر هستند، طی طولانی مدت اثرات این اقدامات قابل مشاهده است). در دو زیرحوضه از مجموع این ۱۳ زیرحوضه، میزان فرسایش بیشتر بوده و این موضوع موجب شده در مجموع، میزان فرسایش و رسوب هرچند کم، ولی قدری بیش از حالت اولیه باشد و این اختلاف مشاهده شود.

به این معنی که در سایر زیرحوضه‌ها با اینکه فرسایش و رسوب کاهش یافته اما این کاهش خیلی زیاد نبوده است، از طرفی هم در دو زیرحوضه مذکور، کاهشی اتفاق نیفتاده بلکه قدری هم افزایش رخ داده است که این تغییرات منجر به این نتیجه شده است. بر

اساس گزارش اثربخشی اقدامات آبخیزداری آسیابرود، با توجه به تنوع انواع فرسایش در منطقه مورد مطالعه و امکان کنترل کمتر فرسایش در این دو زیرحوضه، که عمدتاً ناشی از شرایط توپوگرافی آنها بوده، این تفاوت مشاهده شده است. در کل، وقوع چنین شرایطی، خصوصاً در بخش‌های شمالی کشور دور از تعجب نیست.

زیرا در این مناطق امکان انجام اقدامات آبخیزداری به‌ویژه در بالادست به‌دلیل جنگلی بودن عرصه‌ها، چندان میسر نیست و حتی اگر اقداماتی در این راستا نیز انجام شود ممکن است با یک بارش تند یا لغزش زمین، اثر مثبت این اقدامات کاهش یابد و اثربخشی قابل توجهی مشاهده نشود. بهترین اثربخشی در بخش‌های شمالی کشور، در اراضی میان‌دست مشاهده می‌شود. افزایش فرسایش و رسوب پس از اقدامات آبخیزداری ممکن است ناشی از طولانی شدن پروسه انجام اقدامات نیز باشد، به این معنا که اگر اقدامات لازم به موقع انجام نشود یا ناقص انجام شود، فعالیت مکانیکی یا بیولوژیکی مدنظر، به‌دلایل مختلف اثربخشی لازم را نشان نخواهند داد (ممکن است تخریب شوند و غیره).

البته همانطور که بالاتر نیز اشاره شد، عملیات بیولوژیکی معمولاً چون زمان‌بر هستند، اثرات این اقدامات پس از طی مدت زمان قابل توجهی، آشکار می شود. توجه به نتایج مطالعات صورت گرفته که صرفا بخش کوچکی از پژوهش‌های صورت گرفته و اقدامات انجام شده در کشور است، نشان از بهبود اوضاع این منابع در صورت اعمال اقدامات آبخیزداری است. این امر مهم نیازمند همکاری جمعی و کار گروهی متخصصان و سازمان‌های مختلف است.

از طرفی با توجه به اینکه اقدامات بیولوژیکی و بیومکانیکی معمولاً دارای هزینه کمتری نسبت به عملیات سازه‌ای هستند، پیشنهاد می‌شود تا در مواردی که هدف، کنترل رواناب، کاهش دبی اوج و حجم سیلاب است، سهم بیشتری را در برنامه‌های اجرایی برای این نوع عملیات در نظر گرفت. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که ریزش‌های جوی ضمن ناچیز بودن از پراکنش نامتناسبی نیز برخوردار هستند، بهره‌برداری از سیلاب‌ها کلید حل مسائل کم آبی در این مناطق هستند. در این راستا، اقدامات آبخیزداری ضمن کاهش خطرات ناشی از سیلاب‌ها باعث بهبود منابع آب سطحی، نفوذ و تغذیه آبخوان‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی و بهبود پوشش گیاهی و حتی رفاه آبخیزنشینان خواهد شد.

به عبارتی، اهداف پیش‌بینی شده در طرح‌های آبخیزداری شامل مهار و مبارزه با فرسایش و هدررفت آب، بهینه‌سازی استفاده از منابع آب و خاک، افزایش تولیدات آبخیزها اعم از گیاهی و دامی، افزایش درآمد ساکنین آبخیزها و کاهش خسارات ناشی از فرسایش خاک و سیلاب و غیره است. ازجمله اقداماتی که در زمینه آبخیزداری انجام می‌شود، اقدامات در بالادست حوضه‌های آبخیز است. هرچند عملیات آبخیزداری با هدف نفوذ رواناب، کاهش دبی اوج سیلاب و جلوگیری از رسوب‌گذاری در پشت سدها انجام می‌شود، ضمن بهبود وضعیت محیط‌زیستی حوضه‌های آبخیز و بهره‌برداری پایدار از منابع آن، وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنین آن را نیز ارتقا خواهند داد.

به‌طور کلی، عملیات آبخیزداری شامل سه دسته عملیات سازه‌ای (گابیون، بند سنگی ملاتی، چپری، بند خاکی، خشکه‌چین و غیره)، بیولوژیکی (بذرکاری، کپه‌کاری، بذرپاشی، نهال‌کاری، قرق، کنتورفارو، بانکت‌بندی و غیره) و بیومکانیکی است. در این خصوص، تأثیر عملیات سازه‌ای در خصوص کاهش حجم سیلاب و دبی اوج سیل در سال‌های ابتدایی بیشتر و با گذشت زمان کم می‌شود. در حالیکه عملیات بیولوژیکی و بیومکانیکی با گذشت زمان و استقرار گونه‌های گیاهی تأثیر بیشتری خواهند داشت.

یکی از کارکردهای سازه‌ها و طرح های آبخیزداری در کنار هدف اصلی که تعادل بخشی جریان سطحی آب، جلوگیری از انتقال رسوبات به پایین‌دست و فرسایش خاک است، تقویت پوشش گیاهی، افزایش آبدهی چشمه‌ها، حفاظت از زمین‌های کشاورزی در برابر سیل و فرسایش است. در نتیجه اقدامات آبخیزداری و چنین نتایجی، بهره‌برداران و ساکنان حوزه آبخیز رضایت بیشتری خواهند داشت. عملیات آبخیزداری همچنین با کاهش میزان گل‌آلودگی و مهار فرسایش و هدررفت خاک باعث کنترل سیلاب و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی خواهد شد. از آنجایی که ساخت سازه‌های

آبخیزداری از منابع قرضه موجود در منطقه استفاده می‌شود، ضمن تأثیر مثبت بر ویژگی‌های سیلابی شدن و کاهش حجم سیلاب، این عملیات از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه هستند.

بنابراین در هر منطقه متناسب با شرایط اقلیمی و ویژگی‌های ریخت‌سنجی می‌توان از عملیات مناسب با آن استفاده کرد. درنهایت هرچند اقدامات آبخیزداری در سطح گسترده در کشور دارای سابقه طولانی نیست، با این حال اقدامات مناسبی انجام شده و ارزیابی طرح‌های انجام شده نیز به‌صورت مستند ارائه شده است. نتایج تجزیه و تحلیل عملیات آبخیزداری انجام شده در نقاط مختلف کشور نشان می‌دهد آبخیزداری به عنوان اقدامی انسانی و با هدف حصول اطمینان از استفاده پایدار از منابع حوزه آبخیز است که بر خلاف رویکردهای توسعه‌ای، با بررسی تعامل میان فرایندهای طبیعی مختلف، مدیریت زمین، آب و بوم‌سازگان حوزه آبخیز سعی در ایجاد یک مدیریت یکپارچه دارد.

آبخیزداری با حفظ منابع آب و خاک و با بهبود وضعیت اقتصادی و اجتماعی بهره‌برداران و آبخیزنشینان، امنیت غذایی و بهبود عملکرد وضعیت زراعی و باغی را نیز به‌همراه خواهد داشت. در این راستا، هرچند عمر سازه‌های آبخیزداری دوره بازگشت کوتاه را شامل می‌شود، اما با ترکیب عملیات سازه‌ای و بیولوژیکی می‌تواند نتایج مثبت بیشتری داشت و با تثبیت خاک و فراهم کردن بستری مناسب برای رشد گیاهان بر ویژگی‌های بوم‌سازگان و بیومس موجود در آبخیزها نیز مؤثر باشد.

در مجموع می‌توان گفت پژوهش‌های زیادی در رابطه با تأثیر اقدامات آبخیزداری بر کاهش خطرات سیل انجام شده است و تأیید کننده تأثیر مثبت این اقدامات بوده است. با این حال، هرچند اقدامات آبخیزداری برای کاهش خطرات سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های کم تأثیرگذاری بیشتری داشته‌اند اما اگر اقدامات بیولوژیکی مناسب نیز انجام شود می‌تواند برای دوره بازگشت‌های بالاتر نیز مؤثر باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری مسؤلین محترم سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور در تهیه این مقاله تشکر می‌نمایند.

تعارض منافع

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

منابع مورد استفاده

Acuña-Alonso, C., Fernandes, A.C.P., Álvarez, X., Valero, E., Pacheco, F.A.L., Varandas, S.D.G.P., Fernandes, L.F.S., 2021. Water security and watershed management assessed through the modelling of hydrology and ecological integrity: A study in the Galicia-Costa (NW Spain). Sci. Total Environ. 759, 143905.

Belayneh, M., 2023. Factors affecting the adoption and effectiveness of soil and water conservation measures among small-holder rural farmers: The case of Gumara watershed. Resour. Conserv. Recycl. Advanc. 18, 200159.

Boening-Ulman, K.M., Winston, R.J., Wituszynski, D.M., Smith, J.S., Tirpak, R.A., Martin, J.F., 2022. Hydrologic impacts of sewershed-scale green infrastructure retrofits: Outcomes of a four-year paired watershed monitoring study. J. hydrol. 611, 128014.

Chamanpira, R., Roghani, M., 2018. Evaluation of the impact of watershed measurments in reducing floods in Dadabad basin. J. Watershed Engineer. Manage. 10(3), 350-360 (in Persian).

Elhassnaoui, I., Moumen, Z., Tvaronavičienė, M., Ouarani, M., Ben-Daoud, M., Serrari, I., Hasnaoui, M.D., 2021. Management of water scarcity in arid areas: a case study (Ziz Watershed). Insights Region. Develop. 3(1), 80-103.

Foroutan, A., 2021. Evaluation of the effect of biological measures of watershed management on flooding - case study: Pardisan watershed in Qom province. Geograph. Inform. 30(120), 171-186 (in Persian).

GhermezCheshmeh, B., Nikcheh Farahani, Sh., Agharazi, H., 2019. Evaluating the effect of watershed management measures in changing some characteristics of floods in the Haftan watershed. Watershed Manage. J. 10(19), 106-116 (in Persian).

Haji Baglo, M., Rashidi, M., Mohabati, A., 2017. Hydrological assessment of the performance of watershed management measures on flood characteristics in the watershed upstream of Vashemgir dam in Golestan province. Iran. J. Nat. Ecosyst. 8(2), 67-82 (in Persian).

Khajuria, A., Yoshikawa, S., Kanae, S., 2014. Adaptation technology: benefits of hydrological services-watershed management in semi-arid region of India. J. Water Resour. Protec.

López-Ballesteros, A., Trolle, D., Srinivasan, R., Senent-Aparicio, J., 2023. Assessing the effectiveness of potential best management practices for science-informed decision support at the watershed scale: The case of the Mar Menor coastal lagoon, Spain. Sci. Total Environ. 859, 160144.

Mirdrikvand, B., Sepehvand, A., Zeiniwand, H., 2021. Evaluation of the effect of watershed management measurments on the quantitative characteristics of flow and suspended sediment in the Qalagol watershed of Lorestan Province. Marta Watershed Mag. 4(74), 851-861 (in Persian).

Moghadasi, N., Bardi Sheikh, V., Najafinejad, A., 2015. Qualitative evaluation of watershed management projects by descriptive correlation method, case study: Bostan Dam watershed, Water Soil Conserv. Res. 218-205 (in Persian).

Natural Resources and Watershed Management Organization of the country, Watershed Deputy, Pasture and Desert Affairs., 2023 (in Persian).

Nur Ali, M., Ghahraman, B., 2016. Evaluation of the impact of watershed measurments on the flood pattern using the HEC-HMS model (case study: Gosh and Behar watershed). Watershed Manage. Res. J. 7(13), 60-71 (in Persian).

Report of Important Water and Electricity Indices, Ministry of Energy, 2023 (in Persian).

Report on The Effectiveness of Watershed Measurments in Maragheh Watershed-Markazi Province., 2020 (in Persian).

Tajbakhsh, M., Memarian, H., Parsa Sadr, H., 2020. Evaluating the quantitative effect of the implementation of watershed projects on the groundwater level (case study: Jamab project). J. Rainwater Catch. Sys. 8 (27), 51-62 (in Persian).

Tomer, M.D., 2014. Watershed Management. USDA Agricultural Research Service, Ames, IA, USA. Elsevier Inc. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.

Water Resources Report of Islamic Council Research Center., 2023 (in Persian).

Watershed Deputy, Rangeland and Desert Affairs, Natural Resources and Watershed Organization of the Country., 2023 (in Persian).

Yang, H., Wang, T., Yang, D., Yan, Z., Wu, J., Lei, H., 2024. Runoff and sediment effect of the soil-water conservation measures in a typical river basin of the Loess Plateau. Catena 243, 108218.

Yirgu, T., 2022. Assessment of soil erosion hazard and factors affecting farmers' adoption of soil and water management measure: A case study from Upper Domba Watershed, Southern Ethiopia. Heliyon 8(6).