Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems

Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Preventing runoff losses in border watersheds: Effectiveness of rainwater harvesting systems (Case study: Esfandak Saravan Watershed)

Mojtaba Mohammadi*[1], Masoomeh Forozanfard[2]

1. Assistant Professor, Desert Management and Control, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran, Email: m.mohamadi@saravan.ac.ir
2. Former M.Sc. Student, Desert Management and Control, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran, Email: Forozanfard@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article history

Received: 11 May 2024

Revised: 01 July 2024

Accepted: 05 July 2024

Published online: 16 November 2024

Keywords:

Rainwater harvesting, Sistan and Balouchestan, TerraClimate, water Resource management

ABSTRACT

Border watersheds, also known as transboundary watersheds, are areas of land that drain water to a shared water body, such as a river, lake, or sea. These watersheds are particularly important for Iran, providing water resources for agriculture, industry, and human consumption, as well as ecological benefits for biodiversity and climate regulation. One such significant border watershed in Iran is located in the eastern province of Balochistan, bordering Pakistan. It, known as Hamoun Mashekil, is the country's easternmost watershed and annually loses 297 million m^3 of runoff from Iran to Pakistan. Given the crucial role of border watersheds in Iran, especially in arid regions, there is an urgent need for integrated and participatory water management, along with sustainable and efficient water use within the country. This study investigates the necessity and significance of surface water harvesting systems and their role in preventing water loss in the Esfandak Saravan border watershed. Recognizing the importance of analyzing runoff in border watersheds and the significance of the Esfandak watershed in Saravan City, the study begins by examining the status and trend of discharge at the Esfandak hydrometry station located at the source of the Mashkid River. For this purpose, the non-parametric Mann-Kendall test is employed. Due to the absence of hydrometry stations throughout the watershed, the study utilizes TerraClimate satellite imagery data to assess the runoff status and volume of runoff flowing from Iran to Pakistan. The results indicate a downward (decreasing) trend in discharge at the studied station on both seasonal and annual scales. Notably, this trend is statistically significant at the 95% level for spring and summer seasons on an annual basis. Analysis of a 22-year dataset (2000-2020) reveals that, on average, over 13 million m^3 of water collected by this watershed flows from Iran to Pakistan via the border river. Without water harvesting structures, watershed management, and aquifer storage, this water is lost through runoff. Therefore, by effectively and efficiently implementing rainwater harvesting systems, the region can achieve its sustainable development goals and enhance its water security.

Citation: Mohammadi, M., & Forozanfard, M. (2024). Preventing Runoff Losses in Border Watersheds: Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems (Case Study: Esfandak Saravan Watershed), *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(3), 33-44.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)

***Corresponding author:** Mojtaba Mohammadi

Address: Department of Desert Management and Control, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

Tel: +985437630091

Email: m.mohamadi@saravan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems

Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Preventing Runoff Losses in Border Watersheds: Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems (Case Study: Esfandak Saravan Watershed)

Mojtaba Mohammadi*[1], Masoomeh Forozanfard[2]

1. Assistant Professor of Desert Management and Control, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran, Email: m.mohamadi@saravan.ac.ir
2. M.Sc. in Rangeland Management, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran, Email: Forozanfard@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Transboundary watersheds are areas of land that drain water into a common body of water, such as a river, lake, or sea. These basins are important for Iran because they provide water resources for agriculture, industry, and human consumption, as well as ecological benefits for biodiversity and climate regulation. One such important transboundary watershed in Iran is located in eastern Baluchistan bordering Pakistan. This watershed, known as Hamun Mashkil, is the easternmost watershed of the country. Here, 297 million m^3 of runoff flow out of Iran and enter Pakistan every year. Therefore, border watersheds in Iran, especially in dry areas, require integrated and collaborative water management, as well as sustainable and efficient water consumption within the country.

Methodology: This study was conducted in the Esfandak watershed, located in southeastern Iran's Sistan and Baluchestan province, near the city of Saravan and bordering Pakistan. The Mashkid River is the main river in this region, originating from the Birk Mountains and flowing approximately 16,000 km through Iranian territory before entering Pakistan. In this vast watershed, only one dam, the Mashkid-e Sofla Dam, is located at the confluence and headwaters of the Mashkid-e Sofla River. Recognizing the importance of analyzing runoff in border watersheds and the significance of the Esfandak watershed in Saravan County, the study begins by examining the status and trend of discharge at the Esfandak hydrometry station located at the headwaters of the Mashkid River. For this purpose, the non-parametric Mann-Kendall test is employed. Due to the absence of hydrometry stations throughout the watershed, the study utilizes TerraClimate satellite imagery data to assess the runoff status and volume of runoff flowing from Iran to Pakistan. By calculating monthly runoff height during the statistical period, the runoff volume was calculated and analyzed. The findings of this study highlight the importance of effective water management strategies in border watersheds like Esfandak to prevent water loss and ensure sustainable water utilization. Implementing rainwater harvesting systems and watershed management practices can play a crucial role in conserving water resources and enhancing water security in these critical regions.

Results and Discussion: Employing the non-parametric Mann-Kendall test, the study revealed a downward (decreasing) trend in discharge at the studied station on both seasonal and annual scales. Notably, this downward trend was statistically significant at the 95% level for spring and summer seasons on an annual basis. While the trend was also downward in autumn and winter, it did not reach statistical significance at the 95% level. An examination of the watershed's physiography indicated that areas with slopes exceeding 10% constitute the elevated regions of the watershed and are located within Iranian territory. Conversely, areas with slopes less than 5% comprise the lower portions of the watershed and lie along the Iran-Pakistan border. Significantly, the proportion of these low-slope areas within Pakistan far exceeds that within Iran. This finding suggests that the hydraulic gradient of groundwater favors Pakistan, with suitable groundwater aquifers predominantly located in Pakistani territory. The results demonstrated that the watershed's hydrological regime is characterized by monthly variations in runoff patterns. Seasonal rainfall triggers runoff events during specific months of the year. The highest percentage of runoff volume during the statistical period occurred in January, May, and June, with respective values of 75.25%, 75.15%, and 54.12%. Conversely, the lowest runoff volumes were recorded in December and February, with values below 1%. The peak runoff event occurred in January 2020, amounting to 411,009,23 m^3.

***Corresponding author:** Mojtaba Mohammadi

Address: Department of Desert Management and Control, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

Tel: +985437630091

Email: m.mohamadi@saravan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

Conclusion: The downward trend in discharge and the physiographic characteristics of the watershed highlight the critical need for effective water management strategies, particularly in the context of transboundary water resources. Implementing sustainable water conservation and utilization practices, particularly rainwater harvesting systems, is crucial for mitigating water loss and ensuring water security in this region. Additionally, the understanding of the watershed's hydrological regime is essential for optimizing water resource management and allocation, particularly during periods of low runoff. By identifying peak runoff periods and implementing appropriate measures, water can be effectively captured and stored for subsequent use, enhancing water availability throughout the year. In conclusion, the analysis of discharge trends and the hydrological regime of the Esfandak Saravan border watershed provides valuable insights into the water dynamics of this transboundary region. These findings underscore the importance of integrated and collaborative water management approaches, along with sustainable water utilization practices, to address water scarcity challenges and ensure the equitable distribution of water resources between Iran and Pakistan.

Ethical Considerations

Data Availability Statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: Financial support: This research was conducted as an independent research.

Authors' contribution: Mojtaba Mohammadi and Masoomeh Forozanfard, as the authors of the paper, conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

جلوگیری از هدررفت رواناب در حوضه‌های آبخیز مرزی: اثربخشی سیستم‌های استحصال آب باران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسفندک سراوان)

مجتبی محمدی[۱*]، معصومه فروزان فرد[۲]

۱. استادیار گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران، mohamadi@saravan.ac.ir

۲. دانش‌آموخته کارشناس ارشد، گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران، forozanfard@gmail.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۳
بازنگری: ۱۱ تیر ۱۴۰۳
پذیرش: ۱۵ تیر ۱۴۰۳
انتشار برخط: ۲۶ آبان ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
سازه‌های‌آبگیر، TerraClimate، سیستان و بلوچستان، مدیریت منابع آب

چکیده

حوضه‌های آبخیز مرزی مناطقی از زمین هستند که آب را به یک مجموعه آبی مشترک مانند رودخانه، دریاچه یا دریا تخلیه می‌کنند. این حوضه‌ها برای ایران مهم هستند زیرا منابع آبی برای کشاورزی، صنعت و مصرف انسانی و همچنین مزایای اکولوژیکی برای تنوع زیستی و تنظیم آب و هوا را فراهم می‌کنند. در این بین یکی از حوزه‌های آبخیز مهم و مرزی ایران در شرق بلوچستان هم مرز با کشور پاکستان قرار دارد. این حوزه آبخیز که با نام هامون ماشکیل شناخته می‌شود، شرقی‌ترین حوزه آبخیز کشور است که سالانه ۲۹۷ میلیون متر مکعب از رواناب حوزه آبخیز از کشور خارج و وارد کشور پاکستان می‌شود. بنابراین از آن‌جایی که حوزه‌های آبخیز مرزی در ایران به‌ویژه در مناطق خشک نیازمند مدیریت یکپارچه و مشارکتی آب و همچنین مصرف پایدار و کارآمد آب در داخل کشور است. در این مطالعه به بررسی ضرورت و اهمیت سامانه‌های سطوح آبگیر نقش آن در جلوگیری از هدررفت آب در آبخیز مرزی اسفندک سراوان پرداخته شده است. در این تحقیق با توجه به ضرورت بررسی رواناب حوضه‌های آبخیز مرزی و با توجه به اهمیت حوزه آبخیز اسفندک در شهرستان سراوان، ابتدا به بررسی وضعیت و روند دبی ایستگاه هیدرومتری اسفندک که در ابتدای رودخانه ماشکید وجود دارد پرداخته می‌شود. برای این منظور از آزمون ناپارامتریک من کندال استفاده شد. و در ادامه به توجه به نبود ایستگاه هیدرومتری در سطح حوزه آبخیز با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواریی TerraClimate به بررسی وضعیت رواناب و حجم رواناب خروجی از ایران به کشور پاکستان پرداخته شد. نتایج جدول نشان می‌دهد که در مقیاس فصلی و سالانه روند دبی در ایستگاه مورد مطالعه روند نزولی (کاهشی) است. به‌طوری‌که در مقیاس‌های سالانه، فصل‌های بهار و تابستان این روند معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است. تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های ۲۲ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که به‌طور متوسط بیش از ۱۳ میلیون متر مکعب آبی که این حوضه جمع‌آوری می‌کند از طریق رودخانه مرزی از ایران به پاکستان می‌ریزد. بدون سازه‌های استحصال آب، آبخیزداری و ذخیره آبخوان، این آب در اثر رواناب هدر می‌رود. بنابراین، با اجرای سیستم‌های برداشت آب باران به‌طور موثر و کارآمد، منطقه می‌تواند به اهداف توسعه پایدار خود دست یابد و امنیت آبی خود را افزایش دهد.

استناد: محمدی، مجتبی و فروزان فرد، معصومه. (۱۴۰۳). جلوگیری از هدررفت رواناب در حوضه‌های آبخیز مرزی: اثربخشی سیستم‌های استحصال آب باران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسفندک سراوان). *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۳)، ۳۳-۴۴.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** مجتبی محمدی
نشانی: گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی سراوان، ایران
تلفن: ۰۵۴۳۷۶۳۰۰۹۱
پست الکترونیکی: m.mohamadi@saravan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

مقدمه

تامین آب کافی مهم‌ترین نیاز برای زندگی انسان است. تقاضا برای آب به‌دلیل افزایش جمعیت زمین از ۲/۵ میلیارد به ۷/۳۵ میلیارد بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۵ افزایش یافته است (Ammar et al, 2016). ازسویی دیگر تغییرات اقلیم و تقاضای فزاینده استفاده از آب برای توسعه کشاورزی و شهری موجب برداشت بی‌رویه از منابع آبی شده است. به‌طوری‌که برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد تخمین می‌زند که بیش از دو میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ تحت شرایط تنش آبی بالا زندگی خواهند کرد که عاملی محدودکننده برای توسعه در بسیاری از کشورهای جهان خواهد بود (Sekar et al, 2007). با این حال، بیش از ۴۰ درصد از سطح زمین توسط مناطق خشک و نیمه خشک پوشیده شده است، به‌طوری‌که در مناطق خشک میانگین بارندگی سالانه فقط حدود ۱۵۰–۳۵۰ میلی‌متر در مناطق نیمه خشک ۳۵۰–۷۰۰ میلی متر است (Ammar et al, 2016). این مناطق به‌طور مرتب با مشکلات کمبود آب، هم برای آب آشامیدنی و هم برای محصولات زراعی و سایر پوشش‌های گیاهی مواجه هستند. کشاورزی دیم سیستم کشاورزی غالب در این مناطق است، اما خشکسالی و عدم قطعیت اقلیمی، چالش‌های عمده‌ای است که کشاورزان متکی به کشاورزی دیم با آن مواجه هستند. کشاورزان این مناطق با میانگین بارندگی سالانه کم و توزیع نامناسب زمانی و مکانی باران مواجه هستند. همه این موارد موجب شده است تا در طول تاریخ ساکنان این مناطق از برداشت آب برای جمع‌آوری آب باران، سیلاب و آب های زیرزمینی استفاده کرده‌اند.

بنابراین در مناطقی که منابع کافی برای آب آشامیدنی و آبیاری به راحتی در دسترس نیست، مردم برای تامین آب مورد نیاز خود به برداشت آب متکی هستند (Beckers et al, 2013). برداشت آب را می‌توان به یکی از چهار گروه: برداشت مه و شبنم، برداشت آب باران، برداشت آب زیرزمینی و برداشت آب سیلاب تقسیم کرد. در خصوص استحصال آب باران (RWH)، تعاریف متعددی استفاده شده است، به‌طور نمونه: استحصال آب باران عبارت است از جمع‌آوری یا انحراف رواناب حاصل بارندگی برای اهداف تولیدی است که استفاده از آن در مناطق خشک و نیمه خشک گسترده است (Prinz, 1996). یکی از کامل‌ترین تعاریف مربوط به پایگاه داده جهانی رویکردها و فناوری‌های حفاظت (WOCAT) است که عبارت است از: جمع‌آوری و مدیریت سیلاب یا روان آب باران برای افزایش دسترسی به آب برای مصارف خانگی و کشاورزی و هم‌چنین تامین اکوسیستم (Mekdaschi and Liniger). به‌هرحال آن‌چه روشن است این است که نقش اصلی RWH افزایش مقدار آب قابل دسترس با جذب آب باران در یک منطقه برای استفاده محلی یا انتقال به منطقه دیگر است.

اولین سازه‌های RWH بیش از ۹۰۰۰ سال پیش در جنوب اردن ساخته شد تا آب آشامیدنی برای انسان‌ها و حیوانات را تامین کند (Boers and Ben-Asher). بیش از ۶۵۰۰ سال پیش، عراقی‌ها شروع به استفاده از سازه‌های RWH به شکل ساده برای تامین آب برای مصارف خانگی و کشاورزی کردند (Oweis et al, 2013). سیستم‌های برداشت آب نیز حدود ۴۰۰۰ سال پیش در چین و هند مورد استفاده قرار می‌گرفت (Prinz, 1996).

در بخش جنوبی تونس، meskat (حوضچه رواناب که به شکل مستطیل شکل است)، jessour و tabias (سطوح آبی کوچکی که برای تغذیه سفره‌های زیرزمینی)؛ در الجزایر collinaires (مخزن‌های کشاورزی)؛ و در سودان ancient hafir (حوضه آبریز مصنوعی)؛ zay (هلالی‌های آبگیر) در غرب آفریقا، برای کمک به تامین نیازهای آب خانگی و دام مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Beckers et al, 2013).

ایران با میانگین بارندگی سالانه حدود ۲۵۰ میلی متر که کم‌تر از یک سوم میانگین جهانی است، یکی از پرتنش‌ترین کشورهای جهان است که در شرایط آبی قرار دارد. حدود ۸۰ درصد از مساحت کشور به‌عنوان خشک یا نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود و بیش از ۹۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر برای کشاورزی استفاده می‌شود. قرون متمادی است که RWH در ایران استفاده از فنون سنتی مانند قنات، کاریز، آب انبارها و آب بندان‌ها رواج داشته است. هرچند که این تکنیک‌ها به دلایل مختلف مانند شهرنشینی، مدرن شدن، عدم نگهداری و تغییرات آب و هوایی در برخی از نقاط و مناطق نادیده گرفته شده یا کنار گذاشته شده‌اند. با این حال، برای مقابله با افزایش تقاضا و کمبود آب، نیاز به احیاء و بهبود شیوه‌های RWH در ایران، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که کمبود آب یک چالش بزرگ برای معیشت و رفاه مردم است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

حوضه‌های آبخیز مرزی مناطقی از زمین هستند که آب را به یک مجموعه آبی مشترک مانند رودخانه، دریاچه یا دریا تخلیه می‌کنند. این حوضه‌ها برای ایران مهم هستند زیرا منابع آبی برای کشاورزی، صنعت و مصرف انسانی و هم‌چنین مزایای اکولوژیکی برای تنوع زیستی و تنظیم آب و هوا را فراهم می‌کنند. با این حال، حوضه‌های آبخیز مرزی نیز چالش‌هایی را برای ایران به همراه دارد، زیرا مدیریت آب فرامرزی با کشورهای همسایه مانند پاکستان، افغانستان، آذربایجان، عراق و ترکیه را در بر می‌گیرد. در این بین یکی از حوزه‌های آبخیز مهم و مرزی ایران در شرق بلوچستان هم مرز با کشور پاکستان قرار دارد. این حوزه آبخیز که با نام هامون ماشکیل شناخته می‌شود، شرقی‌ترین حوزه آبخیز کشور است که سالانه ۲۹۷ میلیون متر مکعب از رواناب از کشور خارج و وارد کشور پاکستان می‌شود. بنابراین از آن‌جایی که حوزه‌های آبخیز مرزی در ایران به‌ویژه در مناطق خشک نیازمند مدیریت یکپارچه و مشارکتی آب و هم‌چنین مصرف پایدار و

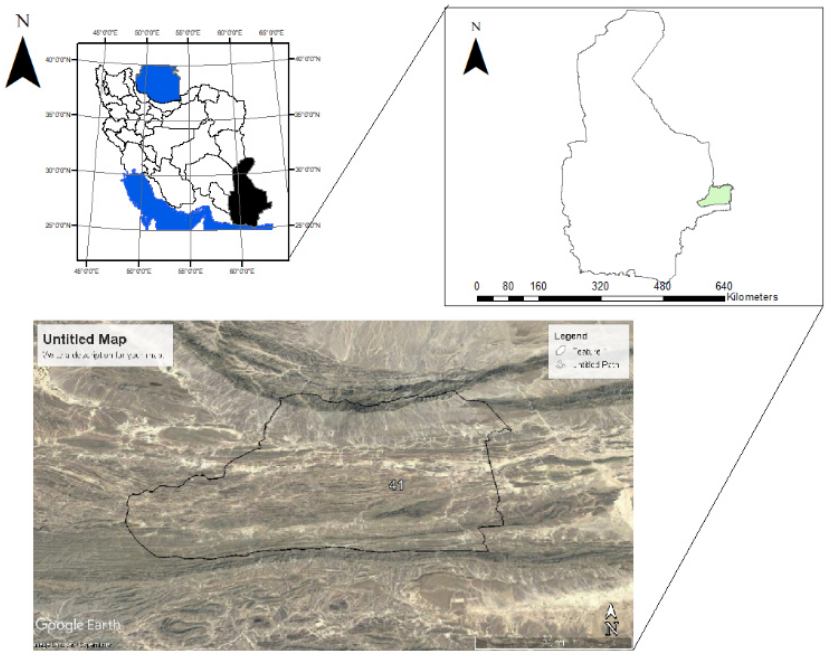
[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

کارآمد آب در داخل کشور است. در این مطالعه به بررسی ضرورت و اهمیت سامانه‌های سطوح آبگیر نقش آن در جلوگیری از هدررفت آب در آبخیز مرزی اسفندک سراوان پرداخته شده است.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در حوزه آبخیز اسفندک (شکل ۱) در جنوب شرق ایران در استان سیستان و بلوچستان در نزدیکی شهرستان سراوان و هم مرز با کشور پاکستان انجام شد. این حوزه آبخیز در مختصات ۵۹ ۱۹ ۶۲ تا ۴۷ ۱۹ ۶۳ طول شرقی و ۲۸ ۴۵ ۲۶ تا ۲۵ ۱۵ ۲۷ عرض شمالی واقع شده است و از شمال به کوه‌های سیاهان، از غرب به روستای کناربست، از شرق به روستای کهنوک و ازجنوب به رود خانه ماشکید محدود می‌شود. رودخانه ماشکید رودخانه اصلی این منطقه ایت که از ارتفاعات بیرک سرچشمه می‌گیرد و پس از جمع‌آوری رواناب حدود ۱۶۰۰۰ کیلومتر از خاک کشورمان وارد خاک پاکستان می‌شود. در این حوزه آبخیز بزرگ فقط یک سد به نام سد ماشکید سفلی در محل تلاقی و ابتدای رودخانه ماشکید سفلی جانمایی شده است.



شکل۱- موقعیت حوزه آبخیز اسفندک در استان سیستان و بلوچستان و ایران

Figure 1- Location of the Esfandak watershed in Sistan and Baluchestan province, Iran

روش تحقیق

در این تحقیق با توجه به ضرورت بررسی رواناب حوض‌های آبخیز مرزی و با توجه به اهمیت حوزه آبخیز اسفندک در شهرستان سراوان، ابتدا به بررسی وضعیت و روند دبی ایستگاه هیدرومتری اسفندک که در ابتدای رودخانه ماشکید وجود دارد، پرداخته می‌شود و در ادامه با توجه به نبود ایستگاه هیدرومتری در سطح حوزه آبخیز با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای به بررسی وضعیت رواناب و حجم رواناب خروجی از ایران به کشور پاکستان پرداخته خواهد شد.

روش ناپارامتریک من- کندال (Mann–Kendall)

در این روش داده‌ها به‌ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده با تمام داده‌های بعد از خود مقایسه می‌شود. مراحل انجام این آزمون به این ترتیب است که ابتدا آماره S از رابطه‌های (۱ و ۲) محاسبه می‌شود. برای متغیرهای تصادفی مستقل و دارای توزیع یکنواخت و بدون

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

گره ۱ (دو یا چند داده با مقادیر عددی مساوی که در یک سری مرتب شده به دنبال هم قرار می‌گیرند) میانگین و واریانس S طبق رابطه‌های (۳ و ۴) محاسبه می‌شود.

$$s=\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} sign(x_i-x_j)$$ رابطه (۱)

$$sign(\theta)=\begin{bmatrix} 1 & if & \theta\rangle 0 \\ 0 & if & \theta=0 \\ -1 & if & \theta\langle 0 \end{bmatrix}$$ رابطه (۲)

E(S)=0 رابطه (۳)

$$Var(S)=\frac{n(n1)(2n+5)}{18}=\sigma^2$$ رابطه (۴)

و اگر در سری داده‌ها گره وجود داشته باشد، مقدار واریانس از رابطه‌ی (۵) محاسبه خواهد شد. به گونه‌ای که t_i تعداد گره با ظرفیت i را نشان می‌دهد. برای مثال اگر در یک سری داده، فقط دو عدد با مقادیر مساوی وجود داشته باشد، یک گره با ظرفیت دو (t2=1) خواهیم داشت.

$$S=\frac{n(n-1)(2n-5)\sum_{i+1}^{n} t_i(i)(i-1)(2i-5)}{18}$$ رابطه (۵)

اگر تعداد داده‌های یک سری بیش از ۱۰ عدد باشد S از توزیع نرمال تبعیت خواهد کرد و مقدار معیار آماری استاندارد (Z) از رابطه (۶) به‌دست می‌آید.

$$Z_s=\begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S\rangle 0 \\ 0 & if \quad S=0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S\langle 0 \end{cases}$$ رابطه (٦)

بنابراین در یک آزمون دوطرفه برای تشخیص روند در سطح اعتماد α فرض صفر رد خواهد شد اگر مقدار Zs بزرگ‌تر یا مساوی Z جدول باشد. برای بررسی روند سری‌ها، چنان‌چه مقادیر مطلق Z به‌دست آمده از آزمون من-کندال از عدد ۱/۹۶ بزرگ‌تر باشد، آن‌گاه روند سری‌ها در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار خواهد بود و چنان‌چه از عدد ۲/۵۶ بزرگ‌تر باشد، آن‌گاه در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار خواهد بود (محمدی و فروزان‌فرد، ۱۳۹۵).

داده‌های ماهانه TerraClimate

در این مطالعه برای محاسبه و برآورد ارتفاع رواناب در حوضه مورد مطالعه از داده‌های ماهانه TerraClimate در دوره آماری ۲۰۲۲-۲۰۰۰ استفاده شد. TerraClimate مجموعه‌ای از داده‌های جهانی از متغیرهای ماهانه آب و هوا و بیلان آب برای سطوح زمینی است. داده‌های TerraClimate با مشاهدات مبتنی بر ایستگاه از شبکه‌های مختلف اعتبار سنجی شده است و مطابقت خوبی با آن‌ها نشان می‌دهد. داده‌های اقلیمی را می‌توان برای مدلسازی و ارزیابی تأثیر آب و هوا در سیستم‌های اکولوژیکی، کشاورزی و هیدرولوژیکی استفاده کرد. داده‌های TerraClimate به‌صورت رایگان برای دانلود یا بهره‌برداری آنلاین از وب سایت آزمایشگاه اقلیم‌شناسی (www.climatologylab.org) در دسترس هستند. در ادامه با محاسبه ارتفاع رواناب به‌صورت ماهانه در دوره آماری حجم رواناب خروجی محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری

کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری، آزمون روند من کندال توسط نرم‌افزار R انجام شد. برای تهیه نقشه‌ها و پهنه‌بندی از قابلیت‌های GIS و R و هم‌چنین محصول ماهواره‌ای TerraClimate استفاده شد.

[1]- Tie

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

نتایج و بحث

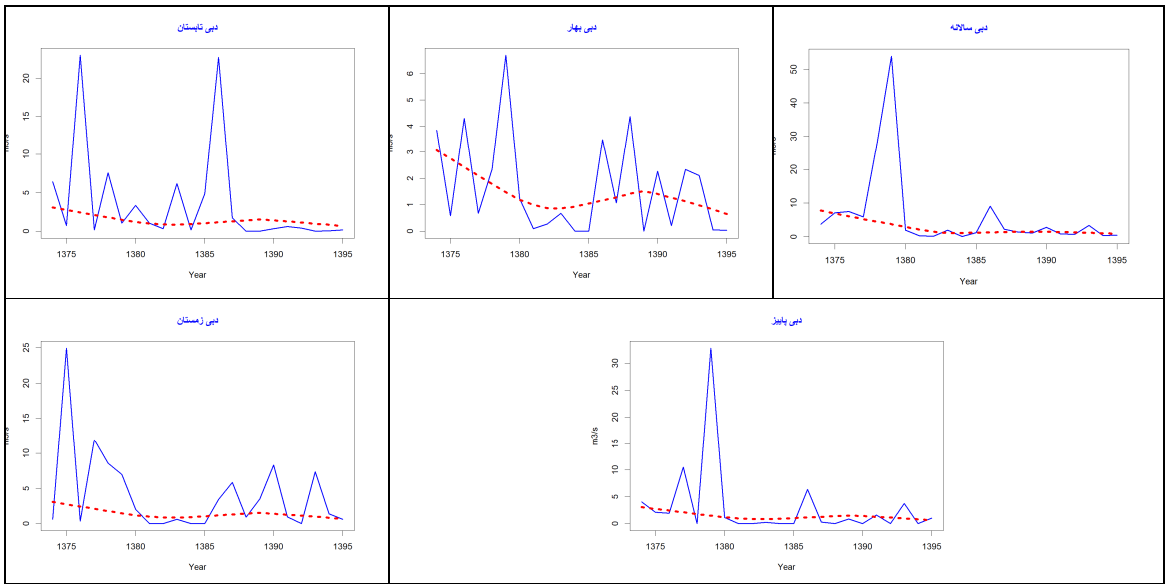
آزمون روند من کندال

در این تحقیق با توجه به ضرورت بررسی رواناب حوضه‌های آبخیز مرزی و با توجه به اهمیت حوزه آبخیز اسفندک در شهرستان سراوان، ابتدا به بررسی وضعیت و روند دبی ایستگاه هیدرومتری اسفندک که در ابتدای رودخانه ماشکید وجود دارد پرداخته شد. برای این منظور روند داده‌ها در دوره آماری (۱۳۶۱– ۱۳۹۵) در مقیاس سالانه و فصلی بررسی شد. نتایج پارامترهای آماری آزمون من کندال در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که در مقیاس فصلی و سالانه روند دبی در ایستگاه مورد مطالعه روند نزولی (کاهشی) است. به‌طوری‌که در مقیاس‌های سالانه، فصل‌های بهار و تابستان این روند معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است. و در فصل‌های پاییز و زمستان روند نزولی است هرچند که این روند در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. شکل ۲ نیز نمودار پراکنش دبی در مقیاس سالانه و فصلی نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر پارامتر آماری آزمون من کندال در ایستگاه هیدرومتری ماشکید

Table 1- Statistical parameter values of the Mann-Kendall Test at the Mashkid Hydrometric Station

P-value	Tau static	Scale
0.02408**	-0.351	Annual
0.02408**	-0.351	Spring
0.01196**	-0.392	Summer
0.2467[n]	-0.189	Autumn
0.61053 [n]	-0.0833	Winter



شکل ۲- نمودار پراکنش دبی در مقیاس سالانه و فصلی

Figure 2- Scatter plot of annual and seasonal flow rates

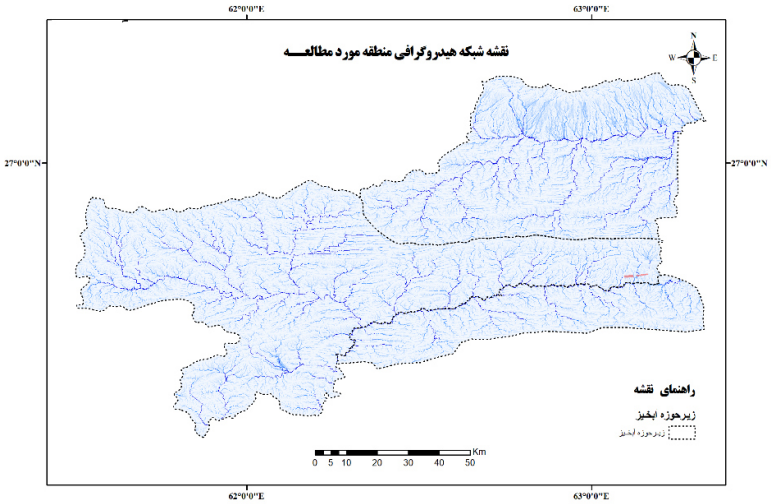
محاسبه و برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از داده‌های ماهانه TerraClimate

برای محاسبه و برآورد ارتفاع رواناب در حوضه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های ماهانه TerraClimate به‌منظور بررسی و اهمیت جلوگیری از هدررفت رواناب از این حوزه آبخیز مرزی، در ابتدا به بررسی و تجزیه تحلیل شرایط فیزوگرافی حوزه آبخیز پرداخته شد. برای این منظور از نقشه DEM منطقه استفاده شد و نقشه‌های شیب و شبکه تجمعی جریان تهیه شد. نقشه شبکه تجمعی جریان نشان داد که تمامی رواناب حوزه ابخیز اسفندک و حوزه آبخیر شمسر پس از جمع‌آوری و تشکیل جریان توسط شبکه آبراهه وارد خاک پاکستان می‌شوند. به‌صورتی‌که در حوزه آبخیز شمسر، رودخانه حوزه آبخیز مرز ایران و پاکستان را تشکیل داده و پس از طی مسیری وارد خاک پاکستان می‌شود (شکل ۳). هم‌چنین نقشه شیب منطقه نشان داد که مناطقی از حوزه که بالای شیب ۱۰ درصد را دارند بخش‌های مرتفع حوزه آبخیز را تشکیل داده و در خاک ایران قرار دارند. مناطقی با شیب کم‌تر از پنج درصد در بخش‌های انتهایی حوزه آبخیز و محدوده

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

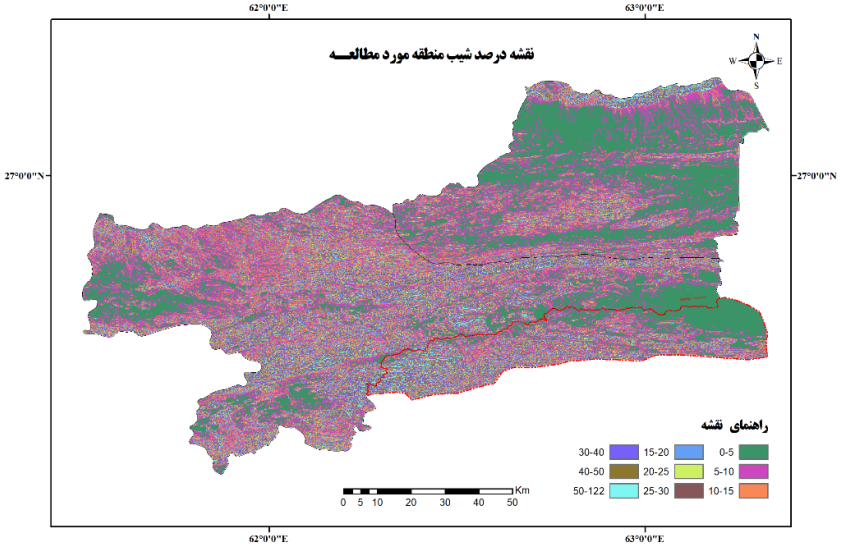
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

مرزی ایران را تشکیل داده‌اند (شکل ۴). به‌طوری‌که درصد این مناطق در خاک پاکستان بسیار بیش‌تر از خاک ایران است که نشـان دهنـده آن است که شیب هیدرولیکی آب‌های زیر زمینی به سمت خاک پاکستان قرار دارد و مناطق مستعد و سفره‌های آب زیرزمینی در خاک ایـن کشور قرار دارد.



شکل ۳- نقشه شبکه هیدروگرافی حوزه آبخیز

Figure 3- Hydrographic network map of the watershed



شکل ٤- نقشه درصد شیب حوزه آبخیز

Figure 4- Slope percentage map of the watershed

در این مطالعه از داده‌های رستری رواناب ماهانه TerraClimate در دوره آماری ۲۰۲۲-۲۰۰۰ استفاده شد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای حوزه‌های آبخیز که فاقد ایستگاه هیدرومتری هستند یک ابزار مفید و موثر است، به‌ویژه در مناطق صعب‌العبور و حوزه‌های آبخیز مرزی که به‌دلیل مسائل امنیتی و نظامی امکان حضور در منطقه و نمونه‌برداری صحرایی وجود ندارد این تکنیک‌ها علی‌رغم وجود عدم قطعیت در داده‌ها، به‌منظور مدیریت منابع ملی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. در ادامه به بررسی حجم رواناب ماهانه، فصلی و سالانه در دوره آماری

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

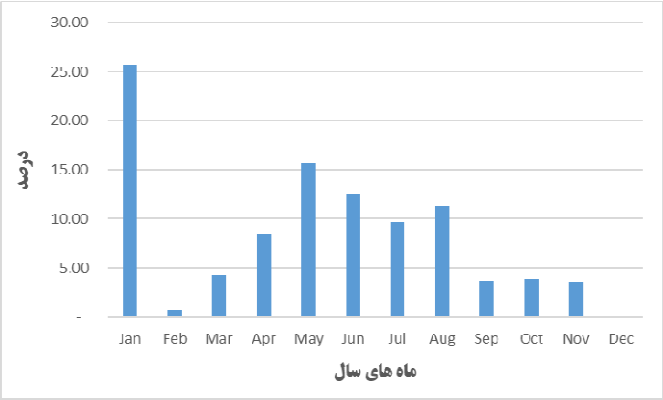
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

پرداخته شد. جدول (۲) مقادیر حجم رواناب را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد رژیم هیدرولوژیکی حوزه آبخیز به‌صورت ماهانه است به‌طوری‌که در بعضی ماه‌های سال در اثر باران‌های فصلی، رواناب در حوزه آبخیز جاری می‌شود. به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد حجم رواناب در طول دوره آماری مربوط به ماه‌های ژانویه، می و ژوئن به‌ترتیب برابر ۲۵/۷۵، ۱۵/۷۵ و ۱۲/۵۴ است. کم‌ترین درصد حجم رواناب مربوط به ماه‌های دسامبر و فوریه با کم‌تر از یک درصد است. بیش‌ترین حجم رواناب مر بوط به ماه ژانویه سال ۲۰۲۰ با مقدار ۲۳۰۰۹۴۱۱ متر مکعب است. شکل (۵) درصد پراکنش حجم رواناب ماهانه در طول دوره آماری را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر حجم رواناب به متر مکعب

Table 2- Runoff volume values in cubic meters

Dec.	Nov.	Oct.	Sep.	Aug.	Jul.	Jun.	May.	Apr.	Mar.	Feb.	Jan.	Year
0	0	0	0	2637636	0	277646	5866	1220078	0	0	1014776	2000
0	0	817296	0	418424	371498	371498	917013	0	0	0	0	2001
0	727354	0	0	1890729	387140	742996	371498	0	2021731	0	93852	2002
0	455574	1927879	0	496634	371498	1116449	1769503	0	0	0	2829250	2003
0	0	0	0	1032373	0	0	0	5026954	0	0	2960252	2004
0	0	281556	0	567023	295243	6690874	6245076	220944	0	0	2094075	2005
0	338259	3911	0	0	0	764504	848580	7492527	848580	0	1615039	2006
0	504455	0	9756710	0	371498	2330661	2688472	3911	0	0	729309	2007
0	1532918	0	0	0	371498	0	396916	1697159	0	0	6706516	2008
0	248317	97763	0	0	1454708	1724533	813385	2741264	0	0	9211194	2009
0	0	0	0	975671	0	0	7781905	0	0	0	1358900	2010
0	393006	82121	0	1372587	3658277	2899639	8438870	50837	0	62568	371498	2011
0	0	15642	0	3750174	2440155	0	756683	1423424	0	17597	3548783	2012
0	1601352	0	0	0	4074746	3757995	4045417	0	1656099	0	1290467	2013
0	0	0	0	371498	2141001	2373676	1372587	0	367587	0	6317421	2014
0	0	0	0	5539230	742996	1583754	3282869	586576	0	0	2805787	2015
0	0	291333	1313930	428200	742996	4287869	150554	17597	0	0	422335	2016
0	0	3911	0	3468618	11732	543560	326527	306975	0	0	5406273	2017
248317	0	35195	0	371498	430156	389095	463395	17597	0	0	166196	2018
43016	148599	1147733	207257	8859249	10091058	4809921	7257897	2238764	7140582	2150778	385185	2019
0	4078657	281556	21508	361722	387140	2711935	234630	35195	590486	0	23009411	2020
0	9776	2444066	15642	2072568	480992	404737	1955	885729	0	170107	0	2021
0	989358	4651546	125136	117315	696070	582665	3911	2144912	371498	0	6446467	2022
12667	479462	525283	497399	1510050	1283496	1668000	2094500	1135237	565068	104393	3425347	Mean



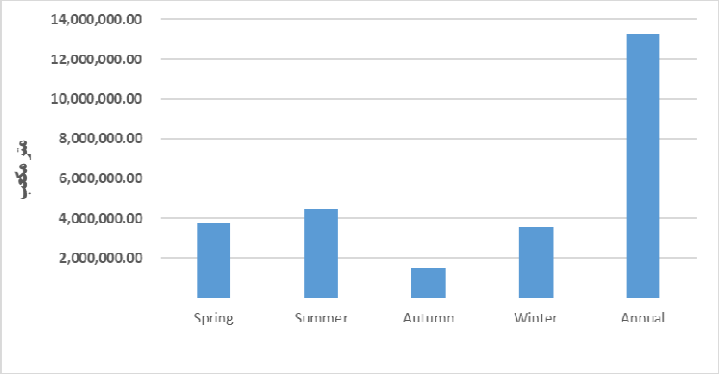
شکل ۵- نمودار درصد پراکنش حجم رواناب ماهانه در طول دوره آماری

Figure 5- Monthly runoff volume scatter plot over the statistical period

بررسی حجم رواناب سالانه و فصلی نیز نشان داد که بیش‌ترین حجم رواناب در فصل‌های تابستان و بهار به‌ترتیب با ۲۸/۵ و ۲۶/۶ درصد جریان دارد. که این موضوع با رژیم بارش‌های منطقه که مبتنی بر بارش‌های مونسون در فصل‌های بهار و تابستان است هم‌خوانی دارد. میانگین حجم رواناب سالانه در دوره آماری بالغ بر ۱۳ میلیون متر مکعب است. به‌طوری‌که بیش‌تر حجم رواناب سالانه مربوط به سال ۲۰۱۹ با مقدار بالغ بر ۴۴ میلیون متر مکعب است (شکل ۶).

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]



شکل ٦- نمودار میانگین حجم رواناب سالانه و فصلی در طول دوره آماری

Figure 6- Chart of the average annual and seasonal runoff volume over the statistical period

نتیجه‌گیری

استحصال آب باران فواید زیادی برای محیط زیست و جامعه در ایران دارد. می‌تواند وابستگی به منابع آب خارجی را کاهش دهد و مقاومت در برابر خشکسالی و سیل را افزایش دهد. می‌تواند منابع طبیعی را حفظ کرده و از فرسایش خاک جلوگیری کند. می‌تواند کیفیت زندگی و سلامت مردم را با ارائه آب آشامیدنی سالم و خدمات بهداشتی بهبود بخشد. هم‌چنین می تواند فرصت‌های شغلی و درآمدزایی برای جوامع محلی ایجاد کند. بنابراین، استحصال آب باران یک تکنیک حیاتی برای مناطق خشک مانند ایران است که با چالش‌های کمبود آب مواجه هستند. از سویی دیگر حوزه‌های آبخیز مرزی در ایران به‌ویژه در مناطق خشک نیازمند مدیریت یکپارچه و مشارکتی آب و هم‌چنین مصرف پایدار و کارآمد آب در داخل کشور است. بنابراین در این مطالعه به بررسی ضرورت و اهمیت سامانه های سطوح آبگیر نقش آن در جلوگیری از هدررفت آب در آبخیز مرزی اسفندک سراوان پرداخته شده است. نتایج بررسی یک دوره آماری ۲۲ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان داد که به‌طور متوسط سالانه بالغ بر ۱۳ میلیون مترمکعب آب که توسط این حوزه آبخیز جمع‌آوری می‌شود توسط رودخانه مرزی از خاک ایران خارج و وارد پاکستان می‌شود. این موضوع آن‌جایی اهمیت پیدا می‌کند که مناطقی شرقی بلوچستان هم‌چون سراوان با چالش‌های جدی کمبود آب شرب و کشاورزی مواجه است. به‌طوری‌که در سال‌های اخیر با کاهش سطح سفره‌های آب زیر زمینی ساکنان مناطق با چالش‌های جدی آب مواجه هستند. از سویی دیگر کاهش منابع آبی موجب تضعیف کشاورزی ساکنان این منطقه شده است که موجب سوق دادن کشاورزان به شغل‌های کاذبی هم‌چون کولبری و سوخت کشی و قاچاق انسان شده است. از این‌رو باتوجه به عدم وجود سازه‌های استحصال آب، آبخیزداری و آبخوان‌داری این حجم از آب ناشی از رواناب از دسترس خارج می‌شود از این رو می‌توان با اجرای موثر و کارآمد سیستم‌های برداشت آب باران می تواند به اهداف توسعه پایدار این منطقه دست یافت و وضعیت امنیت آب را بهبود بخشد.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش در قالب پژوهش آزاد انجام شده است.

مشارکت نویسندگان: مجتبی محمدی، و معصومه فروزان فرد: بخش‌های مختلف مقاله توسط نام‌بردگان انجام و نگاشته شده است.

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

منابع

۱- محمدی، مجتبی، و فروزان فرد، معصومه. (۱۳۹۵). بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در چند نمونه اقلیمی ایران. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. ۱۴(۲۵)، ۱۲۷-۱۴۰. **https://clima.irimo.ir/article_42081.html?lang=f**

References

1. Ammar, A., Riksen, M., Ouessar, M., & Ritsema, C. (2016). Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, *4*(2), 108-120. https://doi. org/10.1016/j.iswcr.2016.03.001.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]

2. Ammar, A., Riksen, M., Ouessar, M., & Ritsema, C. (2016). Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, *4*(2), 108-120. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.03.001
3. Beckers, B., Berking, J., & Schütt, B. (2013). Ancient water harvesting methods in the drylands of the Mediterranean and Western Asia. *eTopoi,* 2, 145–164 https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/19952
4. Boers, T. M., & Ben-Asher, J. (1982). A review of rainwater harvesting. *Agricultural water management,* 5(2), 145-158. https://doi.org/10.1016/0378-3774(82)90003-8
5. Mekdaschi, S., R., & Liniger, H. (2013). Water harvesting: guidelines to good practice. Centre for Development and Environment (CDE), Bern; Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN), Amsterdam; MetaMeta, Wageningen (p. 210) Rome: *The International Fund for Agricultural Development (IFAD)*.
6. Mohammadi, M., & Forozanfard, M. (2016). Investigating the trend of soil temperature changes at different depths in some climatic regions of Iran. *Journal of climate research*, 1395(25), 127-140. https://clima.irimo.ir/article_42081.html?lang=fa [In Persian]
7. Oweis, T. Y., Prinz, D., & Hachum, A. Y. (2012). Rainwater harvesting for agriculture in the dry areas. *CRC Press*.
8. Prinz, D. (1996). Water Harvesting–History, Techniques, Trends. Z. f. Bewaesserungswirtschaft, 31(1), 64-105. https://library.wur.nl/WebQuery/titel/895214
9. Prinz, D. (1996). Water harvesting—past and future. In Sustainability of irrigated agriculture (pp. 137-168). Dordrecht: *Springer Netherlands*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-8700-6_10
10. Sekar, I., & Randhir, T. O. (2007). Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in watershed systems. *Journal of Hydrology*, *334*(1-2), 39-52. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.024

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-10-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.4.1]