

Comparative Analysis of Sediment Volume Measurement Methods in Check Dams (Case Study: Rhine Shirabad Watershed)

Ali Akbar Khezri¹ , Seyed Morteza Seyedian^{1*} , Abolhasan Fathabadi¹ 

¹Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 09 April 2026

Revised 10 June 2026

Accepted 18 June 2026

Published online 22 June 2026

Keywords:

Sediment Volume

Check Dam

Watershed management

Bias Correction

ABSTRACT

Objective: Check dams play a significant role in watershed management by reducing sediment transport and controlling erosion. Accurately estimating the volume of sediment accumulated behind these structures is crucial for effective watershed planning and sediment management. This study aims to compare four different methods for estimating sediment volume behind check dams: the geometric, pyramidal, trapezoidal, and prismatic methods. The study area is the Rhein Shirabad watershed in the Maneh and Samalqan region of North Khorasan Province, Iran.

Methods: Field data collection involved measuring sediment volume and geometric characteristics of the check dams using topographic surveying techniques. The geometric, pyramidal, trapezoidal, and prismatic methods were applied to estimate sediment volume. To enhance the accuracy of the estimations, bias correction was implemented on the computed values. Statistical performance metrics, including the coefficient of determination (R^2), normal root mean square error (NRMSE), and mean bias error (MBE), were used to assess the accuracy of each method. The calculated values from each method were compared with actual field measurements to determine their reliability.

Results: The findings indicate that the geometric and prismatic methods provide higher accuracy in estimating sediment deposition compared to the pyramidal and trapezoidal methods. Before bias correction, the NRMSE values for the prismatic and geometric methods were lower (0.30 and 0.31, respectively) than those of the trapezoidal and pyramidal methods. The MBE values suggested that the prismatic method had the least estimation error. After applying bias correction, the NRMSE values for all methods decreased significantly, indicating improved estimation accuracy. The mean bias error (MBE) values for all methods approached zero after correction, demonstrating a closer alignment between estimated and actual sediment volumes.

Conclusions: These findings have practical implications for watershed management, enabling more precise assessment of sediment deposition and enhancing decision-making in soil and water conservation projects. Future research should focus on refining these estimation techniques and exploring advanced methods, such as remote sensing and GIS-based modeling, to further improve sediment volume assessments.

*, corresponding author, E-mail: Seyedian@gonbad.ac.ir

Cite this article: Khezri, A., Seyedian, S.M. Fathabadi, A. (2026). Comparative Analysis of Sediment Volume Measurement Methods in Check Dams (Case Study: Rhine Shirabad Watershed). *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 5(2), 194-210. <http://doi.org/10.22034/nawee.2025.515827.1149>



© The Author(s).

Publisher: Gonbad Kavous University.

DOI: <http://doi.org/10.22034/nawee.2025.515827.1149>

Introduction

Watershed degradation and accelerated soil erosion are among the most critical environmental challenges in arid and semi-arid regions. Rapid land-use changes, overgrazing, deforestation, and the increasing occurrence of high-intensity rainfall events have significantly intensified sediment production and transport in many watersheds. Excessive sediment delivery not only reduces soil fertility and agricultural productivity but also shortens the service life of reservoirs, deteriorates water quality, increases flood hazards, and negatively affects downstream ecosystems. Consequently, the implementation of watershed management practices, particularly structural measures such as check dams, has become a widely adopted strategy for reducing sediment transport and enhancing watershed sustainability.

Check dams are designed to decrease flow velocity, dissipate Stream Energy, and trap transported sediments before they reach downstream channels and reservoirs. Their efficiency depends on several factors, including watershed characteristics, hydrological conditions, channel morphology, sediment properties, and the geometric design of the structures. Although numerous studies have confirmed the effectiveness of check dams in reducing sediment yield, their performance varies considerably between watersheds due to differences in climatic and geomorphological conditions. Therefore, periodic evaluation of sediment retention efficiency is essential for improving future watershed management projects and optimizing the design and placement of conservation structures.

The present study evaluates the sediment trapping performance of check dams constructed in the Nehzatabad watershed. The research focuses on quantifying the volume of sediments deposited upstream of the structures and investigating how geometric characteristics of the dams influence sediment storage capacity. By applying field measurements and geometric calculations, the study aims to estimate the retained sediment volume and compare the efficiency of different structures within the watershed. The findings provide valuable information for improving sediment control strategies and enhancing the effectiveness of watershed management practices in similar environments. Overall, this research contributes to a better understanding of the role of check dams in mitigating soil erosion, conserving land resources, and extending the operational lifespan of downstream hydraulic infrastructures.

Method

The study was conducted in the Nehzatabad watershed, where several check dams have been constructed as part of watershed management and soil conservation programs. A field-based investigation was performed to assess the sediment accumulation behind selected check dams. The research involved systematic field surveys, measurement of the geometric characteristics of each structure, and estimation of sediment deposits retained upstream of the dams.

Field observations included measuring the height, crest width, upstream sediment wedge dimensions, channel width, sediment length, and other relevant geometric parameters. Standard surveying equipment was employed to obtain accurate measurements of the sediment wedges formed behind the structures. The collected data were subsequently analyzed using established geometric relationships for sediment volume estimation. The deposited sediment was approximated using appropriate geometric models that represent the shape of sediment accumulation behind check dams. These models allowed the calculation of stored sediment volume with acceptable engineering accuracy while maintaining simplicity and applicability under field conditions.

To evaluate the effectiveness of the structures, sediment retention volumes were compared among the investigated dams. The relationships between dam dimensions and sediment storage capacity were also examined to identify the primary factors influencing trapping efficiency. Descriptive statistical analyses were performed to summarize the measured parameters and compare the performance of different structures throughout the watershed.

The adopted methodology combines direct field measurements with practical geometric calculations, providing a reliable approach for estimating sediment retention where advanced surveying technologies are unavailable. This method is cost-effective, repeatable, and suitable for watershed management agencies responsible for monitoring the long-term performance of soil and water conservation structures. The methodological framework also enables future comparisons with similar watersheds and supports the development of improved design criteria for check dams under comparable environmental conditions.

Results

The results demonstrate that the investigated check dams have played an important role in reducing sediment transport and promoting sediment deposition within the Nehzatabad watershed. Considerable amounts of sediment were retained upstream of the structures, confirming their effectiveness as sediment control measures. However, the trapping performance differed among the evaluated dams due to variations in structural dimensions, channel geometry, watershed characteristics, and local hydrological conditions.

Field observations revealed that sediment accumulation generally formed wedge-shaped deposits extending upstream from each structure. The geometry of these deposits was strongly influenced by dam height and channel slope. Larger structures with greater storage capacity retained substantially higher sediment volumes, whereas smaller dams reached their storage limits more rapidly. In some locations, significant sediment accumulation indicated that the structures were approaching full capacity, suggesting the need for periodic maintenance and sediment removal to maintain long-term effectiveness.

The analysis further indicated that geometric estimation methods provided practical and sufficiently accurate estimates of stored sediment volume. These approaches can therefore be effectively employed in routine monitoring programs where sophisticated remote sensing technologies are unavailable or economically impractical. The observed agreement between field measurements and geometric calculations demonstrates the suitability of this method for engineering applications and watershed management projects.

Comparison among the investigated structures highlighted the importance of appropriate site selection and structural design. Dams constructed in locations with favorable channel morphology and sufficient upstream storage space exhibited greater sediment retention efficiency than those installed under less suitable conditions. These findings emphasize that successful watershed management depends not only on the construction of check dams but also on careful planning based on geomorphological and hydrological analyses.

Overall, the results confirm that check dams significantly reduce sediment transport, stabilize stream channels, decrease erosion intensity, and contribute to the conservation of soil and water resources. Their cumulative impact enhances watershed resilience, reduces downstream sediment delivery, and increases the sustainability of hydraulic infrastructures. The outcomes are consistent with previous national and international studies reporting the positive role of check dams in sediment control and watershed rehabilitation.

Conclusions

The present study demonstrates that check dams constitute an effective structural measure for controlling sediment transport and improving watershed conditions in the Nehzatabad watershed. Field measurements confirmed that these structures successfully trap substantial quantities of sediment and reduce the movement of eroded materials toward downstream channels and reservoirs. Their contribution extends beyond sediment retention by decreasing flow velocity, stabilizing channel morphology, and supporting long-term watershed rehabilitation.

The adopted geometric approach proved to be a practical, economical, and reliable technique for estimating sediment storage behind check dams. Because the method requires relatively simple field measurements, it can be readily implemented by watershed management organizations for routine monitoring and performance assessment. Such periodic evaluations are essential for determining the remaining storage capacity of check dams and identifying structures requiring maintenance or sediment excavation.

The study also highlights the importance of appropriate design, location selection, and regular maintenance in maximizing sediment trapping efficiency. Future watershed management programs should integrate detailed geomorphological analyses with continuous monitoring to improve the long-term performance of conservation structures. Furthermore, combining field measurements with modern technologies such as UAV photogrammetry, remote sensing, GIS analysis, and numerical modeling could further enhance the accuracy of sediment estimation and facilitate comprehensive watershed assessments.

In conclusion, the findings provide valuable scientific and practical evidence supporting the continued application of check dams as an effective watershed management practice. The results can assist engineers, planners, and natural resource managers in optimizing future conservation projects and developing sustainable strategies for erosion control, sediment management, and environmental protection under changing climatic and land-use conditions.

Author Contributions

Conceptualization, Seyed Morteza Seyedian Seyed Morteza Seyedian; methodology, Ali Akbar Khezri and Seyed Morteza Seyedian; software, Seyed Morteza Seyedian and Abolhasan Fathabadi; writing—original draft preparation, Seyed Morteza Seyedian; writing—review and editing, Seyed Morteza Seyedian and Seyed Morteza Seyedian.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



مقایسه روش‌های تعیین حجم رسوبات پشت سدهای اصلاحی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رئین شیر آباد)

علی اکبر خضری^۱، سیدمرتضی سیدیان^{۱*}، ابوالحسن فتح آبادی^۱

^۱ گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: سدهای اصلاحی به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش فرسایش و کنترل رسوبات در حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. برآورد دقیق حجم رسوبات انباشته‌شده پشت این سدها از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که اطلاعات دقیق در این زمینه می‌تواند به بهینه‌سازی طراحی و اجرای پروژه‌های آبخیزداری کمک کند. این پژوهش با هدف مقایسه دقت چهار روش مختلف شامل روش‌های هندسی، منشور، دوزنقه‌ای و هرمی در تخمین حجم رسوبات پشت سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز رئین شیرآباد شهرستان مانه و سملقان انجام شد. همچنین، اصلاح اریبی بر نتایج این روش‌ها اعمال گردید تا میزان دقت تخمین‌ها بهبود یابد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۰	مواد و روش‌ها: برای انجام این مطالعه، ابتدا داده‌های میدانی مربوط به حجم رسوبات انباشته‌شده پشت سدهای اصلاحی از طریق نقشه‌برداری دقیق و اندازه‌گیری‌های مستقیم جمع‌آوری گردید. سپس، چهار روش هندسی، منشور، دوزنقه‌ای و هرمی برای برآورد حجم رسوبات مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی دقت هر یک از این روش‌ها، معیارهای آماری از جمله ضریب همبستگی (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) و میانگین خطای اریب (MBE) محاسبه شد. علاوه بر این، اصلاح اریبی بر داده‌های حاصل از این روش‌ها اعمال شد تا تأثیر آن در بهبود دقت نتایج بررسی شود.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰	نتایج: نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های هندسی و منشور دارای دقت بیشتری در تخمین حجم رسوبات در مقایسه با روش‌های دوزنقه‌ای و هرمی هستند. پیش از اعمال اصلاح اریبی، مقدار NRMSE برای روش منشور برابر با ۰/۳۰ و برای روش هندسی ۰/۳۱ بود، که نسبت به روش‌های دوزنقه‌ای و هرمی مقدار کمتری داشت. همچنین، مقدار MBE در روش منشور نشان‌دهنده کمترین میزان خطای تخمین بود. پس از اعمال اصلاح اریبی، مقادیر خطای روش هندسی و منشور تقریباً ۲۵٪ کاهش داشته‌اند و مقدار NRMSE هر چهار روش حدود ۰/۲۹ شده و میزان دقت برآوردها به‌طور چشمگیری بهبود پیدا کرد. مقادیر MBE نیز به صفر نزدیک شدند که نشان‌دهنده کاهش خطای تخمین و افزایش دقت محاسبات بود.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۸	نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که انتخاب روش مناسب برای برآورد حجم رسوبات پشت سدهای اصلاحی تأثیر قابل‌توجهی در دقت نتایج دارد. روش‌های هندسی و منشور به‌عنوان دقیق‌ترین روش‌ها در این مطالعه شناخته شدند، به‌ویژه پس از اعمال اصلاح اریبی که موجب کاهش چشمگیر خطا شد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در بهینه‌سازی روش‌های برآورد حجم رسوبات و بهبود مدیریت پروژه‌های آبخیزداری و حفاظت از منابع آب و خاک مؤثر باشد. پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده، از روش‌های پیشرفته‌تری مانند مدل‌سازی رقمی زمین و سنجش از دور برای ارزیابی دقیق‌تر حجم رسوبات پشت سدهای اصلاحی استفاده شود.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱	
کلیدواژه‌ها: حجم رسوب سد اصلاحی آبخیزداری اصلاح اریبی	

*نویسنده مسئول، E-mail: Seyedian@gonbad.ac.ir

استناد: نام خانوادگی، نام؛ و نام خانوادگی، نام (۱۴۰۳). عنوان مقاله. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، ۵ (۲)،

<http://doi.org/10.22034/nawee.2025.515827.1149>

۱۹۴-۲۱۰



مقدمه

تلفات منابع آب و خاک حوزه‌های آبخیز در چند دهه اخیر در اثر بهره‌برداری غیراصولی از منابع به شدت افزایش یافته است (Cao et al, 2022; Fowler et al, 2007). رودخانه‌ها و آبراهه‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و یا دخالت‌های انسان دچار فرسایش بستر، فرسایش کناره‌ها و جابجایی عرضی می‌شوند. فرسایش رودخانه‌ای به نوبه خود موجب بروز خطرات و خسارات عدیده‌ای برای اراضی مجاور رودخانه‌ها و مستحدمات ساحلی می‌شود، به‌طوری که سالانه میلیون‌ها تن از خاک‌های با ارزش اراضی حاشیه رودخانه دچار فرسایش شده و علاوه بر هدر رفتن خاک با ارزش، باعث تشدید وقوع سیلاب‌ها و افزایش نرخ تولید رسوب و کاهش عمر مفید مخازن سدها و موجبات کاهش تولید و تلفات سرمایه‌های ملی کشور را فراهم نموده است (روغنی، ۱۳۹۰).

براساس اطلاعات موجود در ایران برای جلوگیری از تخریب خاک و کاهش آن و ممانعت از هدر رفت آب اقدامات حفاظت آب و خاک از سال ۱۳۲۷ آغاز شده و تاکنون ادامه دارد (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ۱۴۰۱). به همین منظور فعالیت‌های متنوعی در ارتباط با پیش‌گیری از فرسایش در حوزه‌های آبخیز در حال انجام است. به دلیل تنوع شرایط اکولوژیکی، اولویت‌بندی عملیات آبخیزداری متناسب با پتانسل‌های موجود اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. یکی از سیاست‌های مدیریت آبخیزداری در استان‌های سراسر کشور برای حفاظت خاک در حوزه آبخیز، سازه‌های ساخته شده و در حال ساخت است. یکی از روش‌های مکانیکی ساده و اقتصادی برای تله‌اندازی رسوبات و کاهش شیب بستر آبکندها و آبراهه‌ها در بسیاری از کشورها، بهره‌گیری از سازه‌های اصلاحی است (Pham and Kim, 2023).

سازه‌های اصلاحی، سازه‌های کوچکی هستند که به منظور کاهش شیب آبراهه، کاهش سرعت جریان و مهار فرسایش در آبراهه‌ها و با استفاده از مصالحی مانند چوب، سنگ، سنگ و ملات و توری‌سنگی ساخته می‌شوند. این سازه‌ها در سطح گسترده‌ای در طرح‌های حفاظت خاک و آبخیزداری توسط دستگاه‌های اجرایی در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته و بخش عمده‌ای از هزینه‌ها را به خود اختصاص داده است (عباسی، ۱۳۹۱).

آرمین و همکاران، (۱۴۰۳) با بررسی تأثیر احداث سازه‌های اصلاحی بروی مرفولوژی آبراهه و ترسیب رسوبات در حوزه آبخیز نهضت آباد گزارش کردند که عملکرد سازه‌های اصلاحی ایجاد شده در تله‌اندازی رسوبات ریزدانه در قسمت‌های مختلف آبراهه متفاوت است و در این بین سازه‌های انتهایی عملکرد بهتری را داشته‌اند. از سراب آبراهه به سمت پایین‌دست، پهنای آبراهه افزایش یافته و به تبع آن شیب آبراهه کاهش پیدا کرده و میزان رسوبات تله انداخته شده توسط سازه‌های انتهایی بیشتر از رسوبات ترسیب شده در سراب آبراهه است. جعفری و همکاران، (۱۳۹۹) تأثیر عملیات آبخیزداری بر رسوب‌گذاری و عمر مفید سازه علی‌کندی را بررسی نمود. برای ارزیابی عملیات آبخیزداری دوره بهره‌برداری از سد را به دو بخش قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری تقسیم نمودند و با استفاده از آمار دبی رسوب موجود و روش‌های هیدرولیکی، متوسط بار رسوبی ورودی مخزن در طی این دوره را به صورت مجزا محاسبه و مشاهده نمودند که اقدامات آبخیزداری صورت گرفته موجب بهبود وضعیت رسوب‌دهی شده‌اند. قضاوی و همکاران، (۱۳۹۲) به بررسی عملکرد سدهای اصلاحی آبخیزداری در مهار کردن رسوبات در حوزه‌های آبخیز شهرستان اقلید، مرودشت و ممسنی استان فارس پرداختند. در این تحقیق نقاط قوت و ضعف این سدهای کوچک نیز مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا رسوب‌گیری اولیه و حجم رسوبات ترسیب شده در پشت سدهای اصلاحی موجود در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه با استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم و روابط تجربی متداول تخمین زده شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد سدهای اصلاحی در مهار کردن رسوب مؤثر بوده به‌طوری که در حوزه‌های مورد مطالعه قسمت بسیار زیادی از رسوبات در پشت سدها به دام افتاده است.

اسماعیلی‌نامقی و حسن‌لی، (۱۳۸۶) در حوضه سد درودزن به بررسی کمی و کیفی کارایی سدهای خشکه‌چین در ترسیب بارمعلق سیلاب پرداختند. این تحقیق نشان داد اگر هدف اصلی از تأسیس این سازه‌ها ترسیب رسوبات دانه ریز باشد بهتر است تا این سازه‌ها در پایین‌دست آبراهه احداث شود. بایز شریف و همکاران، (۱۴۰۲) در جهت برآورد رسوب‌دهی ابتدا ۱۰ بند که دارای ۱۲ سال عمر بود و طی این مدت سرریز نکرده بودند انتخاب شد و سپس میزان رسوبات هر بند با استفاده از عملیات صحرایی اندازه‌گیری شد. Castillo et al, (2007) در منطقه نیمه‌خشک مدیترانه‌ای اسپانیا به بررسی نقش سازه‌های اصلاحی بر

روی تثبیت خندق‌ها و جریان‌های زودگذر، برای کاهش آورد رسوب در پایین‌دست پرداختند. در منطقه مورد مطالعه، ۳۶ سازه مورد بررسی قرار گرفت. که از این تعداد ۲۹ مورد از رسوبات پر شده، ۲ مورد از بین رفته و فقط ۵ مورد هنوز کاملاً پر از رسوبات نبودند. نهرهای بالاتر از سدها دارای رسوباتی بودند که منجر به کاهش شیب طولی شده بود. مشاهدات میدانی از تغییرات در شکل مقطعی کانال جریان، ترکیب مواد بستر کانال و اندازه‌گیری حجم رسوبات انباشته شده نشان داد که سدها باعث کاهش فرسایش در پایین‌دست هستند. میزان رسوبات ذخیره شده توسط سدها بیشتر از مقدار مواد فرسایش یافته در پایین‌دست رودخانه سد بود.

(Sugens et al, 2011) میزان تخریب و فرسایش تپه‌های دارای پوشش گیاهی فقیر در منطقه‌ای از رشته کوه اسپانیا را با روش اندازه‌گیری مستقیم حجم رسوبات انباشته شده در پشت ۲۰ سد اصلاحی بررسی کردند. نتایج نشان داد رسوبات انباشته شده در پشت سدهای اصلاحی بین ۴ تا ۹۲۰ متر مکعب برای حوضه‌ها با مساحت ۱.۵ تا ۳۱۷ هکتار متغیر است.

(Diaz et al, 2014) در سایت احیای تالاب‌های مدیرانه‌ای در اسپانیای مرکزی به بررسی نقشه‌برداری توپوگرافی برای ارزیابی بهتر حجم رسوبات انباشته شده در پشت سدهای اصلاحی پرداختند. در این تحقیق ابتدا رسوبات پشت ۱۵ سد اصلاحی توسط روش نقشه‌برداری اندازه‌گیری شد. همچنین نتایج نشان داد که بین اعداد به‌دست آمده توسط روش توپوگرافی و سایر روش‌های تجربی مرسوم اختلاف معناداری وجود دارد که این اختلاف با اندازه سد اصلاحی در ارتباط بوده و با بالا رفتن اندازه سازه، اختلافات نیز بیشتر می‌شود. در نهایت مشخص شد نتایج به‌دست آمده به‌وسیله روش‌های تجربی مرسوم ۱۴ الی ۲۰ درصد کمتر از نتایج روش نقشه‌برداری توپوگرافی می‌باشد.

(Diaz et al, 2017) روش‌های مرسوم برآورد حجم رسوب انباشته شده در پشت سدهای اصلاحی را مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. در این تحقیق انواع روش‌های هندسی و روش توپوگرافی با یکدیگر مقایسه شدند. جهت این مقایسه از اطلاعات مربوط به رسوبات انباشته شده در ۱۰ سد اصلاحی موجود در خلیج سالدا در کشور اسپانیا استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد روش توپوگرافی در تعیین حجم رسوب پشت سدهای اصلاحی دارای بیشترین دقت است و با نتایج به‌دست آمده از عملیات میدانی دارای ۸ درصد اختلاف است. اما روش‌های هندسی دارای دقت کمتری بوده و این اختلافات به بیش از ۲۸ درصد می‌رسد. همچنین مشخص شد که در استفاده از روش‌های هندسی باید نهایت دقت را به کار برده و در صورت اصلاح نتایج می‌توان از آن‌ها استفاده کرد، این در حالی است که روش توپوگرافی با اینکه دارای دقت بسیار بالایی می‌باشد اما بسیار پرهزینه و زمان‌بر است و در بسیاری از مواقع توجیح زمانی و مالی ندارد.

در حالی که مطالعات پیشین به اثربخشی سدهای اصلاحی در به دام اندازی رسوبات و تاثیر اقدامات مدیریت حوضه آبخیز بر رسوب‌گذاری را بررسی و بسیاری از پژوهش‌ها صرفاً به بررسی تأثیر کیفی این سدها در کاهش رسوب یا تغییرات مورفولوژیکی پرداخته‌اند، تعیین دقیق حجم رسوبات با هدف بهینه‌سازی طراحی، اجرا و نگهداری سازه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. با وجود تلاش‌های گسترده در زمینه احداث و ارزیابی عملکرد سدهای اصلاحی در حوضه‌های آبخیز، همچنان خلأ معناداری در مقایسه دقت روش‌های مختلف برآورد حجم رسوبات انباشته‌شده پشت این سازه‌ها وجود دارد. از این‌رو، مطالعه حاضر با تمرکز بر مقایسه چهار روش رایج تخمین حجم رسوبات و بررسی دقت آن‌ها، تلاشی در راستای پر کردن این خلأ علمی و ارتقای سطح تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب و خاک کشور به‌شمار می‌رود.

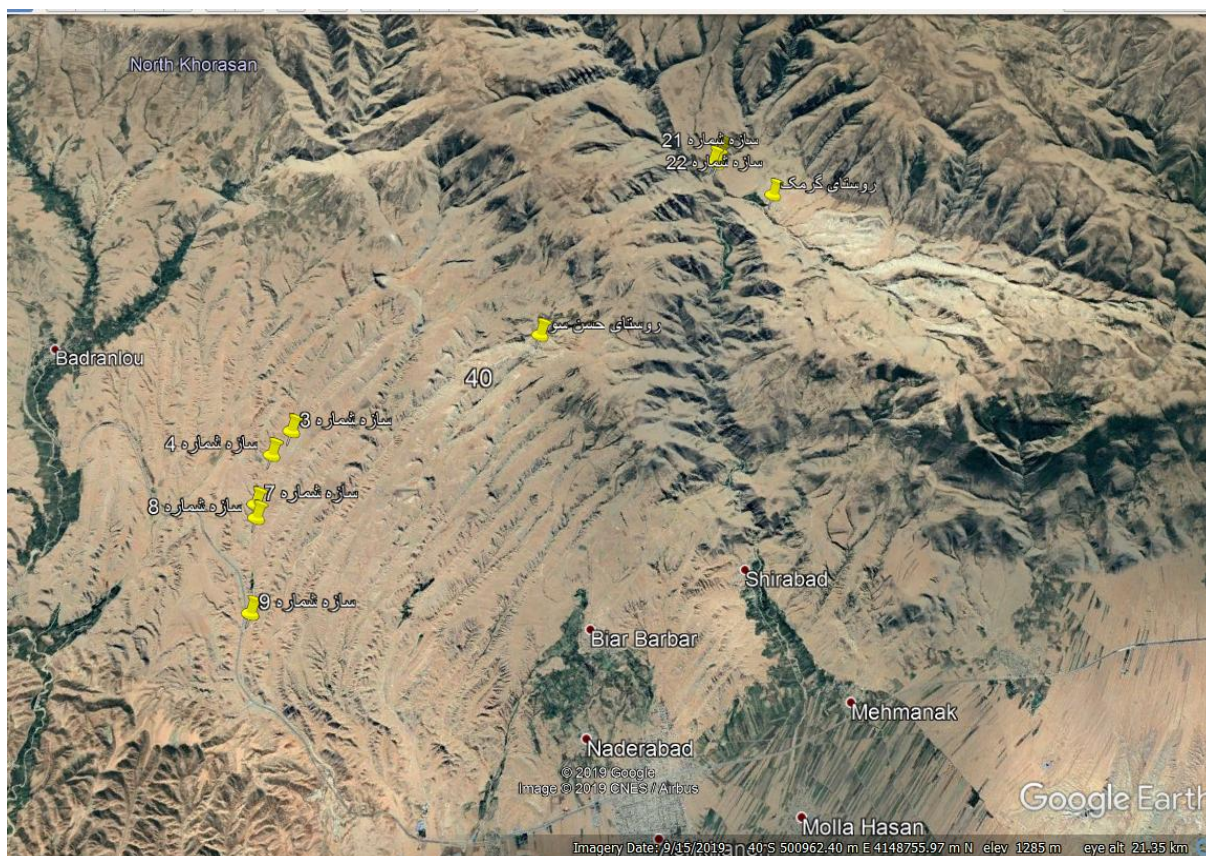
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز رئین شیرآباد شهرستان مانه و سملقان در استان خراسان شمالی است. از لحاظ مشخصات جغرافیایی، این زیر حوضه در ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۸۰ دقیقه شرقی قرار دارد. حداکثر و حداقل ارتفاع زیرحوضه به‌ترتیب ۲۴۱۵ و ۱۲۳۲ متر از سطح دریا می‌باشد و دارای مساحتی برابر با ۱۱۲۳۰ هکتار است. میانگین بارش منطقه حدود ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه با توجه

به داده‌های ایستگاه‌های مجاور و با استفاده از روش‌های دومارتن، کوپن و آمبرژه از نوع اقلیم نیمه مرطوب سرد شناخته شده است.

یکی از عمده مشکلات حوزه آبخیز رئین شیرآباد وجود سیلاب‌های مخرب و ناگهانی می‌باشد که هر ساله تخریب و خسارات فراوانی را در داخل و خارج حوزه به همراه دارد. این سیلاب‌ها در اثر جاری شدن رواناب در اراضی توده سنگی واقع در اطراف روستای رئین اتفاق افتاده و با عبور از بخش‌های مختلف رودخانه و تجمع آن در پایین دست، قدرت تخریبی بسیاری پیدا کرده و خسارات فراوانی به به کشاورزان و دامداران وارد می‌سازد. برای کاهش خطرات فرسایش تعدادی سازه اصلاحی احداث شده تا با کاهش شیب آبراهه سرعت جریان و خسارات ناشی از آن را کاهش دهد. محل سازه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت سازه‌ها در حوزه آبخیز رئین شیرآباد

روش کار

داده‌های بستر رودخانه قبل از احداث سدهای اصلاحی موجود است. این داده‌ها به صورت کدهای قابل خواندن برای نرم افزار SUFRER تبدیل می‌شود. سطح رسوبات در حال حاضر توسط دوربین نقشه برداری برداشت می‌گردد. حجم رسوبات انباشته شده که بین دو سطح اولیه (قبل از احداث سد اصلاحی) و سطح رسوبات فعلی می‌باشد تعیین می‌گردد. پارامترهای ارتفاع بند، طول رسوبگذاری، عرض و ارتفاع سرریز، شکل آبراهه و ... برداشت می‌شود. با استفاده از چهار روش تعیین حجم رسوبات، حجم تعیین و با مقادیر واقعی مقایسه می‌شود. روش‌های تعیین حجم رسوبات عبارتند از:

روش منشور^۱

در این روش حجم رسوب گذاری با استفاده از سطح، عرض متوسط و طول رسوب گذاری محاسبه می‌شود. حجم رسوبات ذخیره شده در پشت سدها همانند کانال با مقطع مستطیلی برآورد شده است (Luffman et al, 2008 ; Bombino et al, 2022).

$$V = 1/2 (W \times l_s \times h) \quad (۱)$$

در اینجا h طول رسوبات اندازه‌گیری شده از قسمت قاعده سد، l_s ارتفاع طولی سطح حوزه رسوب گذاری و W پهنای متوسط کانال پر شده با رسوبات است. که در این رابطه

$$W = (w_b + w_s)/2 \quad (۲)$$

در اینجا w_b پهنای کانال از قسمت قاعده سد و w_s پهنای متوسط سطح حوزه رسوب گذاری است.

روش هرمی^۲

روش هرمی از یک رابطه ساده برای تعیین حجم رسوبات استفاده می‌کند. با تعیین سطح مقطع رسوب در وسط آبراهه و با استفاده از ارتفاع رسوب گذاری در محل بند، حجم رسوبات تعیین می‌گردد.

$$V = 1/3 (A_b \times l_s) \quad (۳)$$

A_b : مساحت پشت بند

l_s : طول رسوبات انباشته شده

روش دوزنقه‌ای^۳

در این روش سطح مقطع منطقه به مقاطع عرضی کوچک تقسیم شده و مساحت هر دوزنقه محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از این مساحت‌ها و فاصله بین مقاطع، حجم کل رسوبات به دست می‌آید. محاسبه مساحت دوزنقه (سطح مقطع) با استفاده از رابطه (۴) انجام می‌شود.

$$A = (w_b + w_s) \times h \quad (۴)$$

که در آن:

A : مساحت دوزنقه

w_s : طول قاعده بالایی دوزنقه

w_b : طول قاعده پایینی دوزنقه

h : ارتفاع (فاصله عمودی بین دو قاعده)

پس از محاسبه مساحت هر دوزنقه، می‌توانیم حجم کل را با ضرب مساحت‌ها در فاصله بین مقاطع عرضی محاسبه کنیم:

$$V = \sum_{i=1}^n (A_i + A_{i+1})d \quad (۵)$$

که در آن:

V : حجم کل رسوبات

A_i : مساحت هر دوزنقه

d : فاصله بین مقاطع عرضی (فاصله افقی بین دوزنقه‌ها)

روش هندسی^۴

^۱.prism

^۱.pyramid

^۲.Trapezoid

^۴. Geometric

Wongsa et al, (2016) و Fang et al, (2019) از این روش برای محاسبه حجم تعداد زیادی سد اصلاحی استفاده کردند و نشان دادند نتایج این روش قابل قبول می باشد.

$$V = \frac{1}{6} h \times l_s (w_b + 2w_s) \quad (۶)$$

که در این رابطه w_b : عرض بالای بند و: w_s عرض قسمت انتهایی رسوبگذاری می باشد.

اصلاح اریبی^۱

اصلاح اریبی به صورت رابطه ۷ قابل استفاده می باشد.

$$Y_{i,t} = a_i + b_i X_{i,t} \quad i=1, \dots, k \quad (۷)$$

ضرایب a_i و b_i برای هر مدل توسط تخمین گر حداقل مربعات معمولی (OLS^2) تعیین می شود. در صورتی که a_i نزدیک به صفر و b_i نزدیک به یک باشد نشان می دهد اصلاح اریبی تأثیر کمی بر روی روابط تجربی تعیین حجم رسوبات داشته است. اصلاح اریبی تمامی مقادیر روابط را در یک عدد ثابت ضرب و سپس با یک عدد ثابت جمع می کند. نتایج روابط تجربی قبل و بعد از اصلاح اریبی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفتند.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی روابط تجربی تعیین حجم رسوب از نمایه های ضریب همبستگی^۳ (R^2)، ریشه ی میانگین مربعات نرمال شده خطا^۴ (NRMSE) و میانگین خطای اریب^۵ (MBE) استفاده شده است. نحوه ی محاسبه ی شاخص های آماری به صورت روابط (۸) تا (۱۰) می باشد. در این روابط P شامل مقادیر محاسباتی توسط روش های تجربی (محاسباتی)، O شامل مقادیر اندازه گیری شده (واقعی)، $\bar{O}$ میانگین مقادیر واقعی و n تعداد داده ها می باشد. اگر تمامی داده های محاسباتی و مشاهداتی یکسان باشند نتایج شاخص های آماری به صورت $NRMSE=0$, $MBE=0$ و $R^2=1$ خواهد بود.

ریشه ی میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)

آماره های NRMSE نشان دهنده ی میزان خطای پیش بینی مدل می باشد. هر چه مقادیر NRMSE اندک و به صفر نزدیک تر باشد دقت مدل بالاتر بوده و تخمین های آن به واقعیت نزدیک تر می باشد.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}} \quad (۸)$$

ضریب همبستگی (R^2)

هر چه ضریب همبستگی به ۱ نزدیک تر باشد عملکرد مدل بهتر می باشد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (۹)$$

میانگین خطای اریب (MBE)

آماره ی میانگین خطای اریب نشان دهنده ی میزان خطای پیش بینی مدل ها می باشد و میزان اریبی را نشان می دهد. در شرایط ایده آل باید برابر صفر باشد و مقادیر مثبت یا منفی به ترتیب نشان دهنده ی بیش برآوردی^۶ و یا کم برآوردی^۷ نسبت به مقدار واقعی است.

^۱. Bias Correction

^۲. Ordinary Least Squares

^۳. Correlation Coefficient

^۴. Normal Root Mean Square Error

^۵. Mean bias error

^۶. Over estimate

^۷. Under estimate

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (10)$$

نتایج و بحث

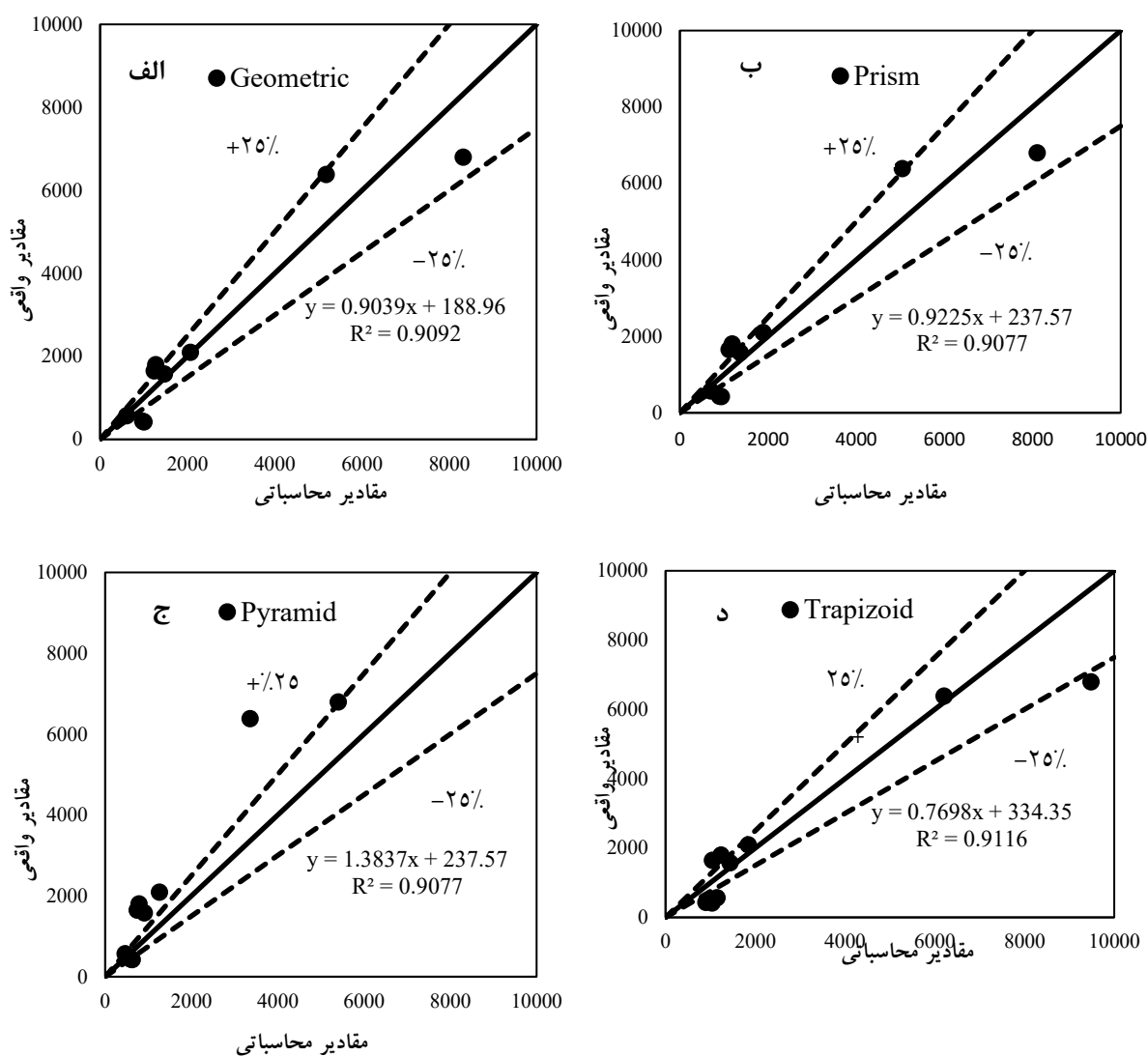
در این مطالعه، نتایج روش‌های مختلف تعیین حجم رسوب انباشته شده پشت سدهای اصلاحی بررسی شده است. هدف اصلی این بخش، ارائه تحلیلی جامع از روش‌های مختلف می‌باشد. در بخش نتایج، داده‌ها به دقت تجزیه و تحلیل شده و نتایج به دست آمده ارائه شده‌اند. همچنین در بخش بحث، یافته‌ها مورد بررسی قرار گرفته و با تحقیقات دیگر مقایسه شده است. در جدول ۱ معیارهای ارزیابی روش‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر ضریب همبستگی و خطای روش‌های تعیین حجم رسوب پشت سد اصلاحی قبل از اصلاح اریبی

MBE (m ³)	NRMSE	R ²	
۴۷/۶	۰/۳۱	۰/۹۱	هندسی
-۵۴/۷	۰/۳۰	۰/۹۱	منشور
-۸۴۰/۸	۰/۵۰	۰/۹۱	هرمی
۲۸۷/۴	۰/۴۱	۰/۹۱	دوزنقه‌ای

با توجه به مقادیر NRMSE روش‌های تعیین حجم رسوب پشت سدهای اصلاحی قبل از اصلاح اریبی (جدول ۱) نشان می‌دهد روش‌های منشور و هندسی به ترتیب با (NRMSE=۰/۳۰)، (NRMSE=۰/۳۱) دارای کم‌ترین خطا در مقایسه با روش دوزنقه‌ای با NRMSE=۰/۴۱ و روش هرمی با NRMSE=۰/۵۰ می‌باشند. قبل از اصلاح اریبی دو روش منشور و هندسی دقت بیشتری نسبت به روش دوزنقه‌ای و هرمی دارند ولی ضرایب همبستگی تقریباً در هر چهار روش به یکدیگر نزدیک بوده و حدوداً ۰/۹۱ می‌باشد. مقادیر MBE نیز که مقدار خطای روش‌ها را پیش‌بینی می‌کند؛ نشان می‌دهد (جدول ۱) مقدار MBE روش منشور با کم‌ترین خطا، -۵۴/۶۸ می‌باشد که کم‌برآوردی دارد و مقادیر MBE روش هندسی ۴۷/۶۳ می‌باشد که بیش‌برآوردی را نشان می‌دهد که فقط در این دو روش میانگین حجم رسوبات پشت سد اصلاحی با مقادیر واقعی اختلاف چندانی ندارند. این اختلاف در مدل هرمی که دارای بیشترین خطا است (NRMSE=۰/۵۰) به صورت چشمگیر می‌باشد و کم‌برآوردی آن قابل توجه است (MBE=-۸۴۰/۸۲). در مدل دوزنقه‌ای نیز مقادیر میانگین حجم رسوبات پشت سد با مقادیر واقعی اختلاف زیادی دارد و مقادیر این روش بیشتر از مقادیر واقعی برآورد شده است (MBE=۲۸۷/۴۴).

در شکل ۲ مقادیر محاسباتی روش‌های تعیین حجم رسوب پشت سد با مقادیر واقعی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در هر چهار روش همبستگی نقاط مشابه یکدیگر می‌باشد. در شکل ۲-الف و ب اکثر نقاط در اطراف خط ۱:۱ (محدوده ±۰/۲۵) قرار گرفته است که نشان می‌دهد خطا کم می‌باشد. در شکل ۲-ج اکثر نقاط در خارج از محدوده ±۰/۲۵ قرار دارند که بیشترین خطا را در مقایسه با روش‌های دیگر نشان می‌دهد و اکثر نقاط مقادیر محاسباتی با دقت کمی تعیین شده است و کم‌برآوردی روش را نشان می‌دهد. شکل ۲-د برخی نقاط در خارج از خط ۱:۱ قرار دارند در حد ۳۰ درصد از نقاط در اطراف خط ۱:۱ قرار گرفتند که نشان می‌دهد خطای آن در مقایسه با شکل ۲-ج کمتر بوده ولی در مقایسه با شکل الف و ب خطای بالایی دارد. مقایر محاسباتی آن از مقادیر واقعی بیشتر بوده و بیش‌برآوردی شکل د را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر محاسباتی در قبل از اصلاح اریبی: (الف) روش هندسی، (ب) روش منشور، (ج) روش هرمی، (د)

روش دوزنقه‌ای

جدول ۲- مقادیر ضریب همبستگی و خطای روش‌های مختلف بعد از اصلاح اریبی

MBE (m ³)	NRMSE	R ²	
۰/۱۱	۰/۲۹	۰/۹۱	هندسی
۰/۱۱	۰/۲۹	۰/۹۱	منشور
۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۹۱	هرمی
۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۹۱۲	دوزنقه‌ای

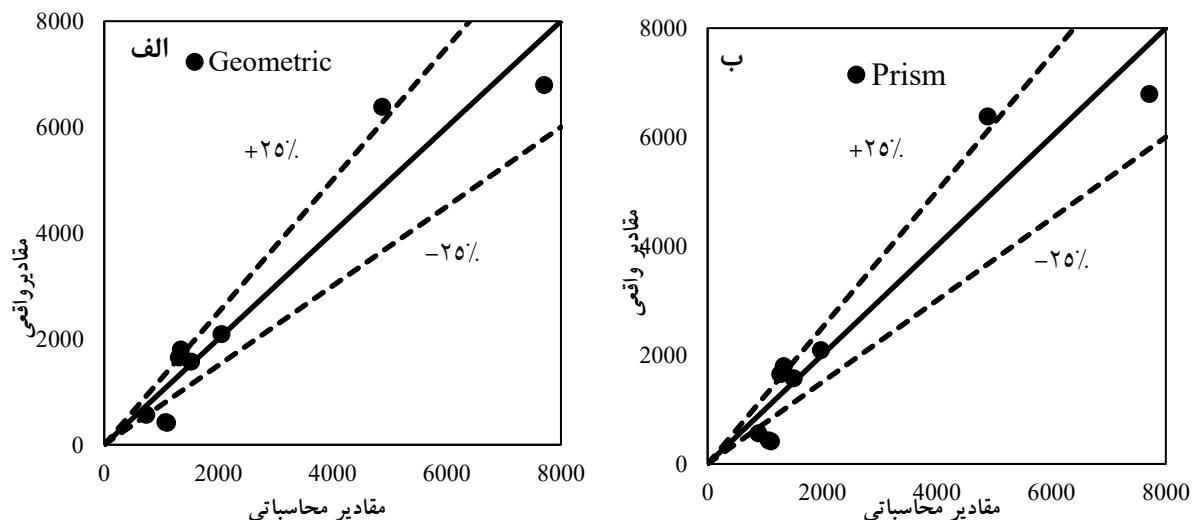
بعد از اصلاح اریبی (جدول ۲) مشاهده می‌شود که مقادیر خطای روش هندسی و منشور نسبت به قبل از اصلاح اریبی تقریباً ۲۵٪ کاهش داشته‌اند ولی دو روش هرمی و دوزنقه‌ای با بیشترین خطا در قبل از اصلاح اریبی، به‌طور چشمگیری در بعد از اصلاح اریبی کاهش خطا داشتند به‌طوری که محدوده‌ی NRMSE این دو روش (NRMSE = ۰/۲۸-۰/۲۹) کمتر از NRMSE روش‌های

با خطای کم ($0/31 - 0/30$)، در قبل از اصلاح اریبی شده است. مقادیر MBE نیز در تمامی مدل‌ها نزدیک به صفر بوده و مقادیر واقعی نزدیک به مقادیر محاسباتی می‌باشند. با توجه به مقادیر ضریب اصلاحی (جدول ۳) بعد از اصلاح اریبی، بیشترین تأثیر را اصلاح اریبی بر روش هرمی داشته به طوری که خطای آن نسبت به قبل از اصلاح اریبی به شدت کاهش یافته و نزدیک به خطای دیگر روش‌ها شده است ($NRMSE = 0/29$) و MBE آن نیز برابر $0/03$ شده که در شرایط ایده‌آل قرار گرفته است اما ضریب همبستگی در قبل و بعد از اصلاح اریبی هیچگونه تغییری نداشته است چون اصلاح اریبی تمامی مقادیر را در یک عدد ثابت ضرب و سپس با یک عدد ثابت جمع می‌کند. بنابراین ضریب همبستگی در تمامی روش‌ها نسبت به قبل از اصلاح اریبی ثابت مانده است اما مقدار خطا کاهش یافته است. میانگین حجم رسوب پشت سد اصلاحی در تمامی روش‌ها در بعد از اصلاح اریبی به میانگین حجم رسوب واقعی ($2413/09$) نزدیک شده و اختلاف ناچیزی دارند که نزدیک شدن مقادیر MBE روش‌ها به صفر این مساله را نشان می‌دهد یعنی مقادیر محاسباتی روش‌ها نزدیک به مقادیر واقعی می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر ضرایب اصلاحی مدل‌ها

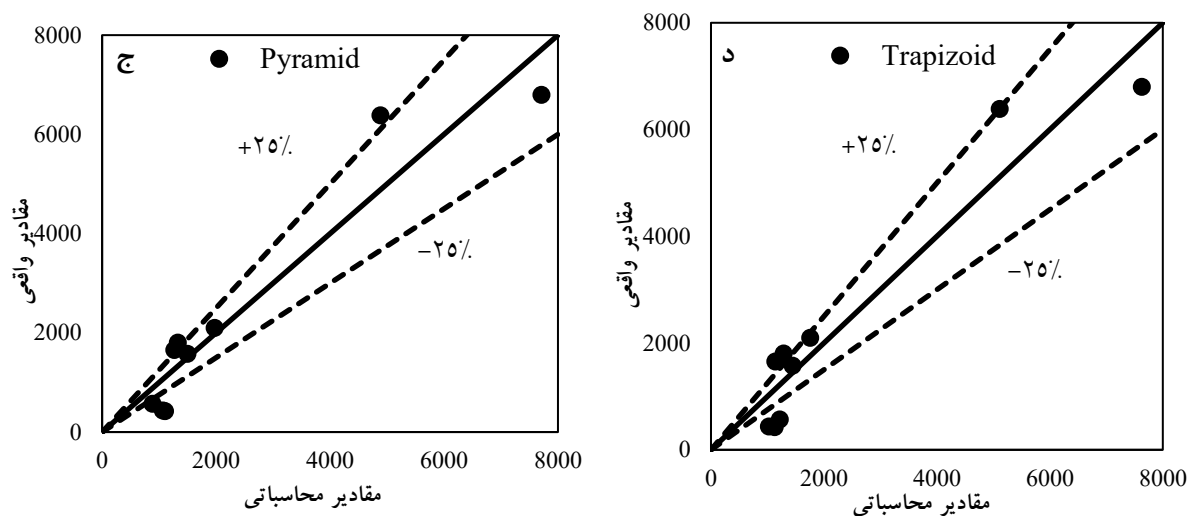
هندسی	منشور	هرمی	دوزنقه‌ای
a	0/90	0/92	1/38
b	188/96	237/57	237/57
			334/35

با توجه به شکل ۳ در تمامی روش‌ها همبستگی نقاط بعد از اصلاح اریبی نسبت به قبل از اصلاح اریبی تغییری نداشته است. اما خطا در شکل ۳-الف حدود 30% کاهش داشته و نقاط به خط $1:1$ نزدیک شدند. نقاط در شکل ۳-ب نسبت به قبل از اصلاح تغییرات زیادی نداشته اما شکل ۳-ج نسبت به قبل از اصلاح اریبی تغییرات چشمگیری داشته و اکثر نقاط در محدوده خط $1:1$ قرار گرفته‌اند و خطا کاهش یافته و مقادیر محاسباتی نزدیک به مقادیر واقعی می‌باشند به طوری که کاملاً شبیه به شکل ۳-د شده است. شکل ۳-د نیز نسبت به قبل از اصلاح اریبی نقاط در محدوده خط $1:1$ قرار گرفته‌اند و خطا کاهش داشته به طوری که در بیشتر نقاط مقادیر محاسباتی به مقادیر واقعی نزدیک هستند.



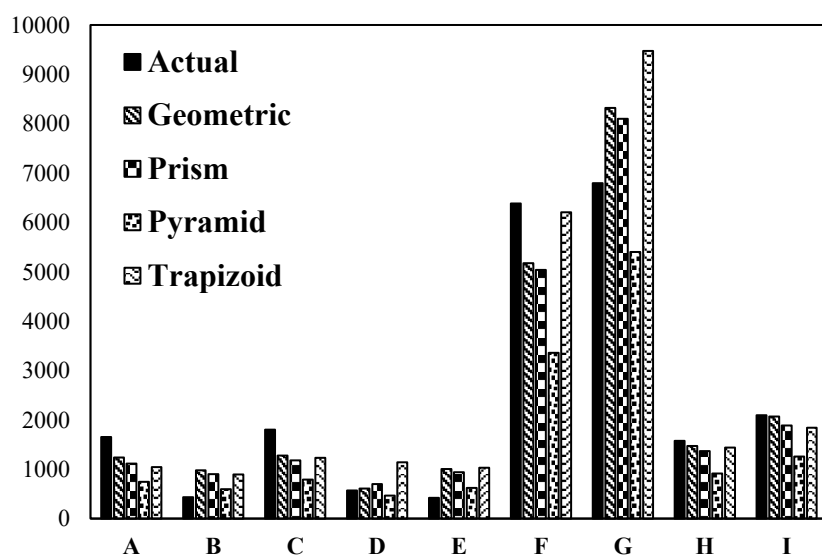
شکل ۳- مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر محاسباتی بعد از اصلاح اریبی: الف) روش هندسی، ب) روش منشور، ج) روش هرمی، د) روش

دوزنقه‌ای



ادامه شکل ۳

شکل ۴ مقایسه حجم رسوبات در سدهای مختلف را نشان می‌دهد. تقریباً در تمامی سازه‌ها روش هندسی نتایج بهتری ارائه کرده است. همچنین در بیشتر سازه‌ها روش هرمی حجم رسوب را بسیار کمتر از مقادیر واقعی پیش‌بینی کرده است.



شکل ۴- حجم تعیین شده توسط روش‌های تجربی در هر سازه

مقادیر MBE نیز که مقدار خطای روش‌ها را پیش‌بینی می‌کند؛ نشان می‌دهد (جدول ۴) که مقدار MBE روش منشور با کم‌ترین خطا، $54/68\%$ می‌باشد که کم برآوردی را نشان می‌دهد که با نتایج Diez et al, (2017) همخوانی دارد. در (شکل ۳-ج) اکثر نقاط در خارج از محدوده $\pm 25\%$ قرار دارند که بیشترین خطا را در مقایسه با روش‌های دیگر نشان می‌دهد که با Zeng et al, (2022) مطابقت ندارد.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق، مقایسه روش‌های مختلف تعیین حجم رسوبات پشت سدهای اصلاحی بوده است. نتایج نشان داد که روش‌های هندسی و منشور دقت بیشتری در تخمین حجم رسوبات داشته و با اصلاح اریبی، میزان خطای این روش‌ها به طور قابل توجهی کاهش یافته است. یافته‌های به دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از این روش‌ها می‌تواند به بهبود دقت و کارایی در پروژه‌های آبخیزداری کمک کند و در مدیریت منابع آب و خاک مؤثر باشد.

همچنین، این مطالعه نشان داد که با اصلاح روش‌های تجربی می‌توان به نتایج دقیق‌تری دست یافت و از منابع طبیعی بهینه‌تر استفاده کرد. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان مرجعی برای پژوهش‌های آینده و بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت منابع آب و خاک مورد استفاده قرار گیرد. در پایان، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود تا بتوان به تکنیک‌های بهتری دست یافت و دقت روش‌های موجود را بهبود بخشید.

منابع

- آرمین، م.، زاهدی خواه، ح.، مزین، م. (۱۴۰۳). ارزیابی تله‌اندازی رسوب در سدهای اصلاحی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز نهضت‌آباد. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۶(۴)، ۵۸۶-۵۹۹.
- اسماعیلی‌نامقی، ع.، حسن‌لی، ع.م. (۱۳۸۶). بررسی عملکرد سدهای اصلاحی رسوب گیر خشکه چین در طول آبراهه‌ها در ترسیب مواد ریزدانه (مطالعه موردی: حوضه سد درودزن). نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۱(۱)، ۱۳-۲۴.
- بایز شریف، ه.، خالق پناه، ن.، داوری، م.، رحیم زاده، م. (۱۴۰۲). بررسی عملکرد بندهای اصلاحی در دانه بندی رسوبات در حوضه متأثر از جریان واریزه (ننور بانه). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰(۱)، ۱۳۰-۱۱۱.
- جعفری، ا.، سرائی تبریزی، م.، بابازاده، ح. (۱۳۹۹). ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر کاهش فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز علی‌کندی بوکان). تحقیقات کاربردی خاک، ۸(۴)، ۵۷-۶۸.
- روغنی، م. (۱۳۹۰). بررسی نقش سازه‌های حفاظت آب و خاک در کنترل و ذخیره رواناب (مطالعه موردی حوزه آبخیز حیدری). پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷، ۴۹-۹۶.
- سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۴۰۱). فصلنامه فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز. ۵۸ صفحه.
- عباسی، ع. ا. (۱۳۹۱). بررسی صحرایی و ارائه رابطه جدید برای تعیین شیب حد در بالادست بندهای اصلاحی. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۶(۲)، ۱۹-۶.
- قضاوی، ر.، ولی، ع.، محمداسماعیلی، م. (۱۳۹۰). بررسی احداث Check Dam بر مورفولوژی آبراهه‌ها و ترسیب رسوبات (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آب جوان- فارس). مجله پژوهش آب ایران، ۵(۹)، ۲۲۹-۲۳۲.
- Abbasi, A.A., 2012. Field study and presentation of a new relationship for determining the limit slope upstream of correction dams. Iranian Watershed Science and Engineering, 6(2), 6-19 (In Persian).
- Armin, M., Zahedikhah, H., Mazin, M., 1403. Evaluation of sediment trapping in reclamation dams, case study: Nehzatabad watershed. Watershed Engineering and Management, 16(4), 586-599 (In Persian).
- Bayez Sharif, H., Khaleq Panah, N., Davari, M., Rahimzadeh, M., 2023. Investigating the performance of correction dams in sediment gradation in a basin affected by debris flow (Nanur Baneh). Journal of Soil and Water Conservation Research, 30(1), 111-130 (In Persian).
- Bombino, G., Barbaro, G., D'Agostino, D., 2022. A method for estimating stored sediment volumes by check dam systems at the watershed level: example of an application in a Mediterranean environment. J Soils Sediments, 22, 1329-1343.

- Bombino, G., Barbaro, G., D'Agostino, D., Denisi, P., Labate, A., Zimbone, S.M., 2022. A method for estimating stored sediment volumes by check dam systems at the watershed level: example of an application in a Mediterranean environment. *Journal of Soils and Sediments*, 22(4), 1329-1343.
- Cao, Z., Wang, S., Luo, P., Xie, D., Zhu, W., 2022. Watershed Ecohydrological Processes in a Changing Environment. *Opportunities and Challenges*, *Water*, 14(9), 1502.
- Castillo, V.M., Mosch, W.M., García, C.C., Barberá, G.G., Cano, J.N. and López-Bermúdez, F., 2007. Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). *Catena*, 70(3), pp.416-427.
- Díaz, V., Mongil, J. and Navarro, J., 2014. Topographical surveying for improved assessment of sediment retention in check dams applied to a Mediterranean badlands restoration site (Central Spain). *Journal of Soils and Sediments*, 14, 2045-2056.
- Diez, I., Navarro-Hevia, J., San Martín Fernández, R., Mongil-Manso, J., 2017. Final analysis of the accuracy and precision of methods to calculate the sediment retained by check dams. *Land Degradation & Development*, 28(8), 2446-2456.
- Esmaili Nameghi, A., Hassanli, A., 2007. Performance Evaluation of Checkdams Location across Some Streams in the Fine Sediment Retention (Case Study: Droudzan Watershed). *Journal of Crop Production and Processing*, 11(1), 13-24 (In Persian).
- Fang, N.F., Zeng, Y., Ni, L.S. and Shi, Z.H., 2019. Estimation of sediment trapping behind check dams using high-density electrical resistivity tomography. *Journal of Hydrology*, 568, 1007-1016.
- Fowler, H., Blenkinsop, S., Tebaldi, C., 2007. Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology. A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(12), 1547- 1578.
- Ghazawi, R., Vali, A., Mohammad Esmaili, M., 2011. Investigation of Check Dam Construction on Watercourse Morphology and Sediment Deposition (Case Study: Ab Javan Watershed- Fars). *Iranian Journal of Water Research*, 5(9), 229-232 (In Persian).
- Jafari, A., Saraei Tabrizi, M., Babazadeh, H., 2019. Evaluation of the impact of watershed management operations on reducing erosion and sedimentation (Case study: Ali-Kandi-Bokan watershed). *Applied Soil Research*, 8(4), 57-68 (In Persian).
- Luffman, I., Nandi, A., Luffman, B., 2018. Comparison of geometric and volumetric methods to a 3D solid model for measurement of gully erosion and sediment yield. *Geosciences*, 8(3), 86.
- Natural Resources and Watershed Management Organization., 1401. *Quarterly Journal of Erosion and Sedimentation in Watersheds*. 58 pages (In Persian).
- Pham, M.V., Kim, Y.T., 2023. Performance evaluation of check dam location using small-scale flume channel and numerical simulation. *Environmental Earth Sciences*, 82(21), 506.
- Roghani, M., 2011. Investigating the role of water and soil conservation structures in controlling and storing runoff (a case study of the Heydari watershed). *Watershed Management Research*, 96, 44-37 (In Persian).
- Sougnez, N., van Wesemael, B., Vanacker, V., 2011. Low erosion rates measured for steep, sparsely vegetated catchments in southeast Spain. *Catena*, 84(1-2), pp.1-11.
- Wongsa, S., S Ramos-Diez, I., Navarro-Hevia, J., Fernández, R.S.M., Díaz-Gutiérrez, V., Mongil-Manso, J., 2016. Geometric models for measuring sediment wedge volume in retention check dams. *Water and Environment Journal*, 30, 119-127.
- Zeng, Y., Meng, X., Zhang, Y., Dai, W., Fang, N., Shi, Z., 2022. Estimation of the volume of sediment deposited behind check dams based on UAV remote sensing. *Journal of Hydrology*, 612, p.128143.