Watershed Engineering and Management
DOI: 10.22092/ijwmse.2024.365173.2051

Volume 16, Issue 4, 2025, Pages 586-599

Evaluation of sediment trapping in check dams, case study: Nehzatabad Watershed

Mohsen Armin[1*], Hamide Zahedikhah[2] and Maleeha Mozayyan[3]

[1] Assistant professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, Iran
[2] Graduated M.Sc. of Watershed Mnagement, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
[3] Assistant professor, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Received: 08 March 2024 Accepted: 03 August 2024

Extended abstract

Introduction

Check dams are simple and relatively low-cost structures that are widely used to control sedimentation in watersheds due to the lack of special materials and technology. These types of dams have the largest amount of watershed improvement operations in Iran. Therefore, considering the frequency of construction and as a result the cost of construction, it is necessary to investigate their performance in watersheds to identify their strengths and weaknesses. Evaluation of sediment trapping of check dams and correct selection of parameters affecting their sedimentation performance is the main goal of this research.

Materials and methods

In this research, the evaluation of check dams from the perspective of sedimentation performance in the Nehzatabad watershed in Kohgiluyeh county has been investigated. For this purpose, after determining the parameters related to the volume of sediments deposited behind 11 selected check dams and calculating their volume, the amount of sediment yield was first measured and then estimated by calculating three different sediment trapping coefficients. Finally, by calculating the sediment delivery ratio, the measured and estimated sediment yield was converted into its equivalent soil loss on the surface in the upstream sub-watershed of the check dams.

Results and discussion

The results showed that the amount of specific sediment yield measured in check dams is from 0.001 to 1.08 and on average 0.13 tons per hectare per year. Considering the ratio of sediment delivery, which varied from 18 to 51 percent for selected dams, this amount of sediment yield is equivalent to 0.01 to 2.1 and an average of 0.3 tons per hectare per year of soil loss in the upstream sub-watersheds of check dams, which is a very small number compared to the figures presented for the average soil loss in most of Iran's watersheds. Taking into account different coefficients of sediment trapping, the estimated average values for specific sediment yield in check dams are 2.88, 7.46 and 0.87 tons per hectare per year, which are equivalent to 9.41, 30.5, 3.49 tons per hectare per year of soil loss respectively, which compared to the average amount of soil erosion in Iran's watersheds, seem more reasonable and logical numbers.

Conclusions

Considering the factors affecting the sediment trapping coefficient, it can be said that if check dams are built at a point in the waterway where the ratio of the storage capacity of the dam reservoir to the area of the sub-watershed upstream of the dams is higher, the sediment trapping coefficient in the dams will increase, which it is more favorable in terms of sedimentation efficiency. By examining the amount of sediment trapping coefficients in the investigated check dams in the Nehzatabad watershed, which are relatively low, it can be said that one of the reasons for the low coefficients is the reduction in the ratio of the storage capacity of the dam reservoir to the area of their upstream watershed. Therefore, if the scientific principles are not observed in the correct selection of the effective parameters for the placement of check dams, the implementation of such projects does not have the necessary and sufficient effectiveness, while the sediment measured in these dams and the soil erosion equivalent to it are a basis for the implementation

[*] Corresponding author: m.armin@yu.ac.ir

DOI: 10.22092/ijwmse.2024.365173.2051

of other watershed management measures are in watershed areas and if they are not accurate, It can lead to ineffectiveness of these measures and incorrect calculations.

Keywords: Sediment trap efficiency, Sediment yield, Soil loss, Watershed, Watershed measures

Cite this article: Armin, M., Zahedikhah, H., Mozayyan, M., 2025. Evaluation of sediment trapping in check dams, case study: Nehzatabad Watershed. Watershed Engineering and Management 16(4), 586-599.

© 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 ۱۶، شماره ۴، ۱۴۰۳، صفحات ۵۸۶-۵۹۹

Watershed Engineering and Management
Volume 16, Issue 4, 2025, Pages 586-599
DOI:10.22092/ijwmse.2024.365173.2051

ارزیابی تله‌اندازی رسوب در بندهای اصلاحی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز نهضت‌آباد

محسن آرمین[1*]، حمیده زاهدی خواه[2] و ملیحه مزین[3]

[1] استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

[2] دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

[3] استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

چکیده مبسوط

مقدمه

بندهای اصلاحی، سازه‌های ساده و نسبتاً کم هزینه هستند که به‌دلیل عدم نیاز به مصالح و تکنولوژی خاص، به‌طور گسترده‌ای جهت کنترل رسوب در حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع بندها بیش‌ترین حجم عملیات اصلاحی آبخیزداری را در ایران به خود اختصاص می‌دهند. لذا، با توجه به فراوانی احداث و در نتیجه هزینه ساخت، بررسی عملکرد آنها در حوزه‌های آبخیز جهت شناسایی نقاط قوت و ضعف آنها ضروری است. ارزیابی تله‌اندازی رسوب بندهای اصلاحی و انتخاب درست شاخص‌های اثرگذار بر عملکرد رسوب‌گیری آنها هدف اصلی این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ارزیابی بندهای اصلاحی از منظر عملکرد رسوب‌گیری در حوزه آبخیز نهضت آباد در شهرستان کهگیلویه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور بعد از تعیین شاخص‌های مرتبط با حجم رسوبات نهشته شده در پشت ۱۱ بند اصلاحی منتخب و محاسبه حجم آنها، میزان رسوب‌گیری ابتدا اندازه‌گیری و سپس با محاسبه سه ضریب تله‌اندازی رسوب متفاوت برآورده شده است. درنهایت، هم با محاسبه نسبت تحویل رسوب، تولید رسوب اندازه‌گیری شده و برآورده شده به تلفات خاک معادل آن در سطح زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی تبدیل شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که میزان تولید رسوب ویژه اندازه‌گیری شده در زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی از ۰/۰۰۱ تا ۱/۰۸ و به طور میانگین ۰/۱۳ تن در هکتار در سال است. با در نظر گرفتن نسبت تحویل رسوب که از ۱۸ تا ۵۱ درصد برای بندهای اصلاحی منتخب متغیر بوده، این میزان تولید رسوب معادل ۰/۰۱ تا ۲/۱ و به‌طور میانگین ۰/۳ تن در هکتار در سال تلفات خاک در سطح زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی است که در مقایسه با اعداد و ارقام ارائه شده برای متوسط تلفات خاک در اغلب حوزه‌های آبخیز ایران عدد بسیار کمی است. با در نظر گرفتن ضرایب مختلف

* مسئول مکاتبات: m.armin@yu.ac.ir

تله‌اندازی رسوب، مقادیر میانگین برآورد شده تولید رسوب ویژه برای زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی ۲/۸۸، ۷/۴۶ و ۰/۸۷ تن در هکتار در سال متغیر است که این میزان رسوبات به‌ترتیب معادل ۹/۴۱، ۳۰/۵، ۳/۴۹ تن در هکتار در سال تلفات خاک است که در مقایسه با میزان متوسط تلفات خاک حوزه‌های آبخیز ایران، اعداد معقول‌تر و منطقی تری به‌نظر می‌آیند.

نتیجه‌گیری

با توجه به عوامل مؤثر بر ضریب تله‌اندازی رسوب، می‌توان گفت که اگر بندهای اصلاحی در نقطه‌ای از آبراهه احداث شوند که نسبت ظرفیت ذخیره مخزن بند به مساحت زیرحوزه آبخیز بالادست بندها بیشتر باشد، ضریب تله‌اندازی رسوب در بندها افزایش یافته که به لحاظ کارایی رسوب‌گیری مطلوب‌تر است. با بررسی مقدار ضرایب تله‌اندازی رسوب در بندهای اصلاحی مورد بررسی در حوزه آبخیز نهضت آباد که نسبتاً کم هستند، می‌توان گفت که یکی از دلایل کم بودن ضرایب، کاهش نسبت ظرفیت ذخیره مخزن بند به مساحت حوزه آبخیز بالادست آنها است. لذا، چنانچه اصول علمی در انتخاب صحیح پارامترهای مؤثر بر رسوب‌گیری بندهای اصلاحی رعایت نشود، اجرای چنین پروژه‌هایی اثربخشی لازم و کافی را ندارد، ضمن اینکه رسوب اندازه‌گیری شده در این بندها و تلفات خاک معادل آن مبنایی برای اجرای سایر اقدامات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز است و چنانچه دقیق نباشد، می‌تواند منجر به عدم اثر بخشی این اقدامات و محاسبات نادرست شود.

واژه‌های کلیدی: اقدامات آبخیزداری، تلفات خاک، تولید رسوب، حوزه آبخیز، کارایی رسوب‌گیری

مقدمه

منابع طبیعی به‌عنوان بستر حیات و توسعه پایدار کشور، متعادل کننده زیست‌بوم و پشتوانه بخش کشاورزی است که به‌دلایل گوناگونی دچار تخریب و فرسایش و تولید زیاد رسوب در سطح حوزه‌های آبخیز شده است.

رسوبات حمل شده به‌وسیله رواناب‌ها سبب افزایش میزان گل‌آلودگی آبراهه‌های اصلی و رودخانه‌ها و تخریب زیستگاه آنها شده و در نهایت با ورود به مخازن آب موجود در پایین دست، موجب کاهش حجم آنها می شوند. همچنین این رسوبات با ورود به شبکه‌های آبیاری اراضی، مشکلات لایروبی در کانال‌های آبیاری را به‌وجود می‌آورند. در همین راستا، آبخیزداری یک اقدام مدیریتی برای حفاظت و استفاده صحیح و پایدار از منابع طبیعی قلمداد می‌شود که در حفظ و نگهداری و بهره‌وری صحیح از جنگل‌ها و مراتع، تأمین آب سدها، کاهش رسوبات، کاهش خسارات ناشی از سیل و غیره نقش اساسی دارد.

یکی از اهداف عملیات اجرایی آبخیزداری مهار فرسایش و به دنبال آن کاهش میزان رسوب تولیدی و تحویلی از حوزه‌های آبخیز است. این عملیات به‌طور کلی به سه دسته مکانیکی (سازه‌ای)، بیولوژیکی و بیومکانیکی (تلفیقی) تقسیم می‌شوند (Vice President's Strategic Planning and Supervision, 2008) که بندهای اصلاحی[1] به‌عنوان یکی از متداول ترین اقدامات سازه‌ای (مکانیکی) آبخیزداری در سراسر جهان هستند (Boardman, 1995، Bazoffi et al., 1996، Lioyd et al., 1998، Sichingabula, 1997، Verstraeten and Poesen, 1998) و اغلب در نواحی بالادست حوضه‌ها و عمدتاً با هدف کنترل فرسایش خاک، تثبیت نیمرخ طولی آبراهه‌ها و کنترل سیلاب‌ها ساخته می‌شوند (Martinez de Azagar et al., 2002، Romero Diaz et al., 2004).

تنظیم مورفولوژی کانال آبراهه، بهبود شرایط زیستگاه، ترسیب خاک، حفظ و تأمین آب از دیگر وظایف این بندها است (Heede, 1979، Balooni et al., 2008، Dewolfe et al., 2008، Ran et al., 2008، Bombino et al., 2011). بندهای اصلاحی در واقع سازه

[1] Check-dams

های چند منظوره هستند (Boix-Fayos et al., 2008) که به‌طور گسترده و عمدتاً برای کنترل و تله‌اندازی رسوبات در مناطق با فرسایش خاک زیاد استفاده می شوند (Cao, 2008, Castillo et al., 2008). در مطالعات دیگری، بندهای اصلاحی را بندهای کوچکی معرفی کرده‌اند که در عرض یک آبراهه یا خندق به‌منظور کاهش سرعت جریان‌های متمرکز (Nyssen et al., 2004)، افزایش کیفیت آب (Hudson et al., 2003، Heede and Mufich, 1973)، افزایش ظرفیت نفوذ در کانال، افزایش پوشش گیاهی (Bombino et al., 2008، Goel et al., 1996) و کاهش دبی اوج سیلاب (Honxiong, 1998، Moore, 1996، Roshani, 2003) احداث می‌شوند که درنهایت منجر به اصلاح نیمرخ طولی و عرضی آبراهه خواهند شد (Hassanli et al., 2009).

در فازهای مختلف احداث بندهای اصلاحی اعم از طراحی، اجرا و ارزیابی پس از اجرا جهت رسیدن به نتیجه مطلوب در این پروژه‌ها، مطالعه و انتخاب دقیق پارامترهای اثرگذار امری ضروری و جدی است. مرور و بررسی منابع نشان می‌دهد که به‌طور کلی بندهای اصلاحی باعث ترسیب رسوبات و کاهش تحویل آنها به خروجی حوزه‌های آبخیز می‌شوند که در مطالعات داخلی (Kheirandish et al., 2015، Parsamehr, 1999، Abasi Jondani et al., 2019، Esmaeili Namaghi and Hassanli, 2007) و خارجی زیادی (Goel et al., 1996، Hassanli et al., 2009، Heed, 1979، Tuan, 1988، Liu, 1992، Castillo et al., 2007، Honxiong, 1998) به آنها اشاره شده است، به‌عنوان مثال Abasi Jondani et al., (2019) ارزیابی عملکرد بندهای اصلاحی در کنترل دبی و بار رسوبی در دوره عمر مفید را در حوزه آبخیز کند در استان تهران بررسی کردند. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن عمر مفید در فرایند ارزیابی، نتایج واقع‌بینانه‌تری را ارائه خواهد داد.

در واقع، هرچند کارایی بندهای اصلاحی در طول عمر مفید آنها در حوزه آبخیز کند، بسیار قابل توجه بوده، اما کوتاهی عمر مفید ضعف قابل توجه این نوع عملیات آبخیزداری بوده است. Panhwar et al., (2021)، در یک مطالعه مروری، روش‌های ارزیابی عملکرد بندهای اصلاحی در بلوچستان پاکستان را بررسی کردند. داده‌های این پژوهش بر اساس بررسی مقالات تحقیقاتی منتشر شده و گزارش‌های سازمان های بین‌المللی شامل ویژگی‌های کلیدی تکنیک‌های ارزیابی عملکرد جمع‌آوری شدند. دانش به دست آمده از این مطالعه مروری برای برجسته کردن شیوه‌های پیشرفته و شناسایی نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه دارد.

Pham and Kim, (2023) برای ارائه اطلاعات عملی در مورد طراحی بندهای اصلاحی و انتخاب مکان مناسب برای احداث آنها به‌منظور کاهش سیلاب واریزه ای[1]، مطالعه‌ای در مقیاس کوچک در داخل یک فلوم آزمایشگاهی با استفاده از تجزیه و تحلیل عددی انجام دادند. در این پژوهش، ارزیابی عملکرد بندهای اصلاحی احداث شده در مکان‌های مختلف در طول مسیر جریان با در نظر گرفتن عوامل ارزیابی مختلف (ظرفیت ذخیره بند، سرعت، انرژی جنبشی و نیروی ضربه) بررسی شد.

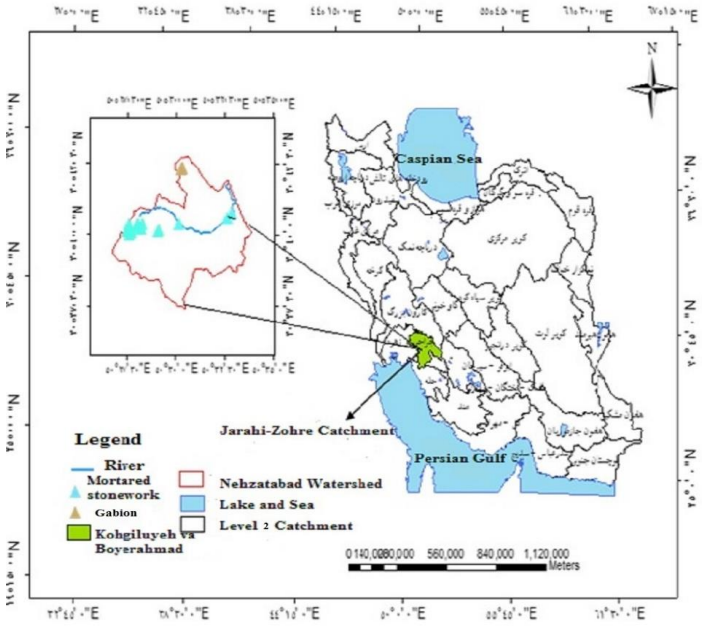
نتایج تحلیل‌های عددی و تجربی نشان داد که موقعیت بند اصلاحی بر ویژگی‌های دینامیکی جریان تأثیر معنی‌داری دارد. علاوه بر این، اثربخشی بندهای اصلاحی در کاهش شدت جریان واریزه و حجم رسوبات نهشته شده در مقایسه با جریان واریزه بدون بند اصلاحی کاملاً مشخص است. با این حال، اطلاعات کافی در مورد اینکه طراحی دقیق و درست این بندها به لحاظ شاخص‌های اثرگذار تا چه اندازه می‌تواند منجر به کارایی بهتر این بندها به لحاظ رسوب‌گیری شود، وجود ندارد و لذا، در این پژوهش ارزیابی شاخص‌های مؤثر در بندهای اصلاحی ازمنظر ترسیب رسوبات در حوزه آبخیز نهضت آباد در شهرستان کهگیلویه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز نهضت آباد با وسعت ۵۵۷۰ هکتار بخشی از حوزه آبخیز سرپری یکی از حوضه‌های فرعی آبخیز جراحی زهره در جنوب غربی ایران، استان کهگیلویه و بویراحمد، شهرستان کهگیلویه

[1] Debris Flow

است. منطقه مورد مطالعه از نظر جغرافیایی در ۵۰ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه حدود ۵۲۰ میلی‌متر است. شهر دهدشت مرکز شهرستان کهگیلویه نزدیک‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر به این حوضه است. شکل ۱، موقعیت حوضه نهضت آباد را در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه نهضت آباد در استان کهگیلویه و بویراحمد و ایران

Fig. 1. The location of Nehzatabad watershed in Kohgiluyeh va Boyerahmad Provinces and Iran

انتخاب بندهای اصلاحی: با توجه به شرایط بحرانی حوضه نهضت آباد از نظر فرسایش و به دنبال تهیه طرح اجرایی آن، ۱۹ بند اصلاحی با ارتفاع مفید یک تا دو متر طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ در آن احداث شده است. در راستای هدف پژوهش و با توجه به موقعیت بندهای ساخته شده، در مرحله اول، حوزه آبخیز به پنج واحد هیدرولوژیکی (زیرحوزه آبخیز) Sub-W1 تا Sub-W5 تقسیم شد که هر زیرحوزه آبخیز شامل یک یا چند آبراهه است.

پس از بررسی میدانی و بازدید از محل بندهای اصلاحی در حوزه آبخیز، ۱۱ بند برای مطالعه انتخاب شدند (جدول ۱). در انتخاب بندهای اصلاحی دقت کافی صورت گرفته است تا بندها از رسوب پر نشده باشند و در داخل زیرحوضه‌ها پراکنده شده باشند. به این ترتیب در زیرحوضه Sub-W1 دو بند اصلاحی، در زیرحوضه Sub-W2 دو بند، در زیرحوضه Sub-W3 دو بند، در زیرحوضه Sub-W4 چهار بند و در زیرحوضه Sub-W5 یک بند انتخاب شده است.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات بندهای اصلاحی در حوضه نهضت آباد

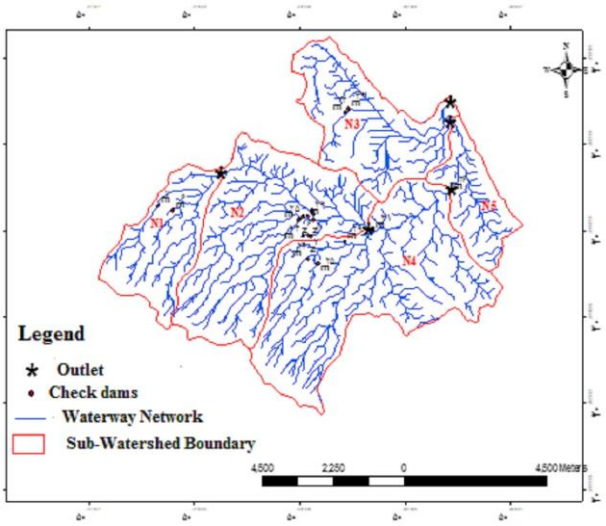
Table 1. Geographical location and characteristics of check dams in Nehzatabad watershed

Dam Names	UTM		Implementation year	Structure type	Reservior volume (m^3)	Structure Volume (m^3)	Total height (m)	Useful height (m)
	X	Y						
Ch8	452524	3392630	1398	Mortared stonework	145	95	2	1.5
Ch23	452228	3393095	1398	Mortared stonework	122	90	2	1.3
Ch31	454222	3392781	1396	Mortared stonework	2100	700	4.8	2.7

ادامه جدول ۱
Table 1. Continued

Ch6	448776	3393339	1396	Mortared stonework	580	210	3	2
Ch7	448361	3393460	1396	Mortared stonework	240	100	2	1
Ch34	453560	3395982	1396	Gabion	350	100	2	1
Ch36	456341	3393802	1396	Mortared stonework	1740	750	4	2.9
Ch21	452605	3393219	1397	Mortared stonework	2140	171.4	2.4	1.4
Ch22	452594	3393068	1397	Mortared stonework	240	187.4	2.5	1.4
Ch24	452430	3392038	1397	Mortared stonework	130	79.4	2	1.3
Ch25	452717	3391925	1397	Mortared stonework	120	101.2	2	1.35

شکل ۲، موقعیت زیرحوضه‌ها و بندهای اصلاحی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت زیرحوضه‌ها و بندهای اصلاحی در منطقه مورد مطالعه
Fig. 2. Location of sub-watersheds and check dams in the study area

محاسبه حجم رسوبات ته‌نشین شده و میزان تولید رسوب ویژه زیرحوضه‌ها (واحدهای هیدورلوژیکی): در این پژوهش با هدف بررسی نقش شاخص‌های مؤثر بر رسوب‌گیری بندهای اصلاحی و یا به‌عبارتی دیگر ارزیابی مکان آنها از لحاظ رسوب‌گیری، میزان رسوب‌گیری ۱۱ بند اصلاحی، ابتدا اندازه‌گیری شده[1] و سپس با محاسبه سه ضریب تله‌اندازی رسوب برآورد شده است[2].

برای محاسبه حجم رسوبات ته‌نشین شده و میزان رسوب‌گیری، ابعاد هر بند اصلاحی، ارتفاع رسوبات و مساحت گوه رسوب‌گذاری که در اکثر بندهای اصلاحی یک شکل سه بعدی به‌صورت هرمی عمودی با قاعده‌ای ذوزنقه‌ای شکل است، اندازه‌گیری شده است (Hernandez Laguna et al., 2004، Romero Diaz et al., 2007). محاسبه گوه رسوب‌گذاری به‌صورت رابطه (۱) است.

$$V = \frac{1}{3} B \times H \qquad (۱)$$

که، V حجم رسوبات (m^3)، B مساحت قاعده گوه رسوب (m^2) و H طول گوه رسوبی (m) است. برای آن دسته از بندهایی که شکل گوه رسوب‌گذاری آنها با شکل توصیف شده در بالا مطابقت نداشت، از اشکال هندسی دیگر یا حتی ترکیبی از چندین شکل هندسی استفاده شد. شکل ۳، نمایی از مراحل اندازه‌گیری ارتفاع رسوبات ته‌نشین شده در پشت یک بند اصلاحی را نشان می‌دهد.

[1] Measured sediment yield

[2] Estimated sediment yield

شکل ۳- اندازه‌گیری ارتفاع رسوبات ته‌نشین شده پشت بند اصلاحی
Fig. 3. Measurement of the height of the deposited sediments behind the check dam

وزن رسوبات با تعیین چگالی ظاهری آنها محاسبه می‌شود. چگالی ظاهری رسوبات (t/m^3) در حجم رسوبات (m^3) ضرب شد، وزن رسوبات بر حسب تن به دست آمد.

$$t=\rho*V \quad (۲)$$

با تقسیم وزن رسوبات (تن) بر مساحت زیرحوضه بالادست بند اصلاحی (هکتار)، میزان تولید رسوب (هکتار) به‌دست آمد که بر تعداد سال‌های عمر سازه (سال) تقسیم شد و میزان تولید رسوب ویژه (تن بر هکتار در سال) به‌دست آمد.

$$SY=\left(\frac{t}{A}\right)\Big/T \quad (۳)$$

که، t وزن رسوبات (تن)، A مساحت زیرحوضه بالادست سد اصلاحی (ha)، T طول عمر سازه (سال) و SY میزان تولید رسوب ویژه حوضه (تن بر هکتار در سال) است.

بندهای اصلاحی مانند سدهای کوتاه رفتار می‌کنند. رواناب در پشت آنها می‌ماند تا زمانی که تبخیر شود، به خاک نفوذ کند یا از بدنه بند عبور کند. از آنجایی که هیچ یک از بندهای مطالعه شده به‌طور کامل در برابر عبور آب نفوذناپذیر نبودند و همه رسوبات در پشت آنها ته‌نشین نمی‌شوند، ضریب تله‌اندازی رسوب[1] (TE) محاسبه شد. ضریب TE تابعی از نسبت رواناب ورودی به ظرفیت مخزن بند اصلاحی، نوع مخزن و روش اجرای آن (Brown, 1943) و همچنین مدت زمان نگهداری رواناب در مخزن بند است (Verstraeten and Poesen, 2000).

ممکن است رسوبات ریز از بین منافذ موجود در بند گابیونی عبور کنند در حالی که بند سنگ چین ملات دار تقریباً نفوذناپذیر است، حفراتی دارد که رسوبات می توانند از آنها عبور کنند به‌ویژه هنگامی که کاملاً تحکیم یافته نباشند. روش‌های زیادی برای برآورد ضریب TE وجود دارد (Verstraeten and Poesen, 2000, 2001) که در این پژوهش روش تشریح شده توسط Brown، یکی از اولین محققین در زمینه تعیین TE، در سال ۱۹۴۳ مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از این روش ساده است و توسط محققین زیادی در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفت (Hadley and Wallig, 1984، Vaibhau and Jothiprakash, 2010، Verstraeten and Poesen, 2000).

$$TE=100\left(1-\frac{1}{1+0.0021D\frac{C}{W}}\right) \quad (۴)$$

که، C ظرفیت ذخیره مخزن به مترمکعب و W مساحت زیرحوزه آبخیز بالادست بند به کیلومترمربع است. دامنه مقادیر D از ۰/۰۴۶ تا یک و با مقدار میانگین ۰/۱ بسته به ویژگی‌های مخزن است. Brown (1943) پیشنهاد می‌کند، برای مخازنی که در مناطق دارای رواناب متغیرتر و کوچکتر هستند و برای آنهایی که آب در پشت آنها نگه داشته می‌شود و جریان‌های سیل در آنها ذخیره می‌شود، مقدار D نزدیک به یک (ضریب TE بیشتر) باشد. بعد از محاسبه ضریب تله

[1] Trap Efficiency

اندازی رسوب (TE)، میزان تولید رسوب بر اساس سه ضریب متفاوت تله‌اندازی رسوب برآورد شد. بر اساس این رابطه، چنانچه حجم مخزن سد در مقایسه با مساحت حوزه آبخیز کم باشد، ضریب تله‌اندازی رسوب کمتر است.

پس از محاسبه تولید رسوب، با استفاده از رابطه ضریب رسوب‌دهی Roehl (1962) که یک رابطه ساده از نسبت تحویل رسوب[1] و مساحت حوزه آبخیز است (رابطه ۵)، نسبت تحویل رسوب زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی محاسبه شد و سپس میزان تلفات خاک معادل رسوبات تولید شده نیز برآورد شد (رابطه ۶).

$$SDR= 0.343\ A^{-0.175} \quad (۵)$$

$$SDR= E/S \quad (۶)$$

که SDR نسبت تحویل رسوب، A مساحت زیرحوضه بالادست بندهای اصلاحی (Km^2)، E میزان تلفات خاک برآورد شده و S میزان تولید رسوب ویژه به تن بر هکتار در سال است.

نتایج و بحث

تولید رسوب (SY) و ضرایب تله‌اندازی رسوب (TE): جدول ۲، حجم رسوب ته‌نشست شده پشت هر یک از بندهای اصلاحی و بر این اساس میزان تولید رسوب ویژه اندازه‌گیری شده در زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تولید رسوب ویژه اندازه‌گیری شده در زیرحوزه‌های آبخیز بالادست بندهای اصلاحی

Table 2. Specific measured sediment yield in sub-watershed upstream of check dams

Dam Names	Implementation year	Sediment volume (m^3)	Sediment density (t/m^3)	Sub-watershed area of check dams (ha)	Specific measured sediment yield (t/ha/y)
Ch8	1398	2.83		16.4	0.14
Ch23	1398	3.54		67.55	0.044
Ch31	1396	20.9		3027	0.002
Ch6	1396	26.13		1024	1.08
Ch7	1396	23.92		172.54	0.058
Ch34	1396	3	1.7	94.7	0.013
Ch36	1396	18		4006	0.001
Ch21	1397	68.75		888	0.043
Ch22	1397	37.33		296	0.071
Ch24	1397	11.2		437	0.014
Ch25	1397	7		198.63	0.019
Mean					0.135
Max					1.08
Min					0.001

میزان تولید رسوب ویژه اندازه‌گیری شده زیرحوضه های بندهای اصلاحی از ۰/۰۰۱ تا ۱/۰۸ و به‌طور میانگین ۰/۱۳ تن بر هکتار در سال است. جدول ۳، تولید رسوب ویژه برآورد شده زیرحوضه بندهای اصلاحی را با در نظر گرفتن ضرایب مختلف تله‌اندازی رسوب نشان می‌دهد.

بر اساس رابطه Brawn (1943)، حداقل، میانگین و حداکثر ضریب تله‌اندازی رسوب محاسبه شده برای بندهای اصلاحی مورد بررسی ۵/۰۴ (D=۰/۰۴۶)، ۸/۶۷ (D=۰/۱) و ۳۰/۷۶ (D=۱) درصد است. برای حالتی که D=۰/۰۴۶، میزان ضریب تله‌اندازی رسوب از ۰/۲۹ تا ۳۵/۹۱ درصد است و ۱۰ سد از ۱۱ سد مورد بررسی، ضریب تله‌اندازی رسوب زیر ۱۰ درصد دارند. برای حالتی که D=۰/۱، میزان ضریب تله‌اندازی رسوب از ۰/۶۲ تا ۵۴/۹۱ درصد است و نه بند از ۱۱ بند مورد بررسی، ضریب تله‌اندازی رسوب زیر ۱۰ درصد دارند.

برای حالتی که D=۱، میزان ضریب تله‌اندازی رسوب از ۵/۸۸ تا ۹۲/۴۱ درصد است و دو بند از ۱۱ بند مورد بررسی، ضریب تله‌اندازی رسوب کمتر از ۱۰ درصد دارند. در بند اصلاحی Ch6 با حجم مخزن سد ۵۸۰ متر مکعب و مساحت زیرحوضه بالادست ۰/۱ کیلومتر مربع، ضریب تله‌اندازی رسوب برای سه حالت

[1] Sediment Delivery Ratio

مختلف ۳۶، ۵۵ و ۹۲ درصد شده است که این موضوع به‌دلیل زیاد بودن حجم مخزن بند در مقایسه با مساحت زیرحوضه بالادست آن است. با در نظر گرفتن ضرایب تله‌اندازی رسوب، مقادیر میانگین برآورد شده برای تولید رسوب ویژه زیرحوضه‌های بندهای اصلاحی ۲/۸۸، ۷/۴۶ و ۰/۸۷ تن بر هکتار در سال برای ضرایب مختلف متغیر است. در جدول ۴، میزان تلفات خاک معادل تولید رسوب ویژه اندازه‌گیری شده و برآورد شده در زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی نشان داده شده است.

جدول ۳- ضرایب تله‌اندازی رسوب و تولید رسوب ویژه برآورد شده زیرحوضه‌های بندهای اصلاحی

Table 3. Coefficients of sediment trapping and specific estimated sediment yield of checke dams

Dam Names	Specific measured sediment yield (t/ha/y)	Reservior volume (m^3)	Sub-watershed area of check dams (ha)	Trap efficiency coefficient			Specific estimated sediment yield (t/ha/y)		
				D=0.046	D=0.1	D=1	D=0.046	D=0.1	D=1
Ch8	0.14	145	0.16	8.05	15.99	65.55	1.74	0.88	0.21
Ch23	0.044	122	0.67	1.73	3.68	27.66	2.54	3.8	0.51
Ch31	0.002	2100	30.27	0.67	1.44	12.72	0.3	9.72	1.1
Ch6	1.08	580	0.1	35.91	54.91	92.41	3.01	0.25	0.15
Ch7	0.058	240	1.72	1.33	2.85	22.66	4.36	4.91	0.62
Ch34	0.013	350	0.95	3.44	7.18	43.62	0.38	1.95	0.32
Ch36	0.001	1740	40.06	0.42	0.9	8.36	0.24	15.56	1.67
Ch21	0.043	2140	8.88	2.28	4.82	33.6	1.89	2.9	0.42
Ch22	0.071	240	2.96	0.78	1.67	14.55	9.1	8.38	0.96
Ch24	0.014	130	4.37	0.29	0.62	5.88	4.83	22.58	2.38
Ch25	0.019	120	1.98	0.58	1.26	11.29	3.28	11.11	1.24
Mean	0.135	718.81	8.37	5.04	8.67	30.76	2.88	7.46	0.87

جدول ۴- میزان تلفات خاک معادل تولید رسوب ویژه اندازه‌گیری شده و برآورد شده در زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی

Table 4. The amount of equivalent soil loss measured and estimated in the upstream sub-watersheds of the check dams

Dam Names	SDR	Eqivalent measured soil loss ((t/ha/y)	Eqivalent estimated soil loss (t/ha/y)		
			D=0.046	D=0.1	D=1
Ch8	0.47	0.3	3.68	1.86	0.44
Ch23	0.37	0.12	6.9	10.33	1.39
Ch31	0.19	0.01	1.59	51.47	5.82
Ch6	0.51	2.1	5.87	0.49	0.29
Ch7	0.31	0.19	13.98	15.74	1.99
Ch34	0.35	0.04	1.1	5.63	0.92
Ch36	0.18	0.01	1.33	86.53	9.29
Ch21	0.23	0.18	8.07	12.39	1.79
Ch22	0.28	0.25	32.08	29.54	3.38
Ch24	0.27	0.05	18.18	84.97	8.96
Ch25	0.3	0.06	10.78	36.50	4.07
Mean	0.32	0.3	9.41	30.5	3.49

نسبت تحویل رسوب زیرحوضه‌های بالادست بندهای مورد مطالعه از ۰/۱۸ تا ۰/۵۱ و به‌طور میانگین ۰/۳۲ است و این بدین معنی است که به‌طور متوسط حدود یک سوم خاک از دست رفته در سطح زیرحوضه های بالادست بندها به خروجی زیرحوضه‌ها می‌رسد و به‌صورت رسوب در مخزن بندهای اصلاحی ترسیب می کند.

با تبدیل تولید رسوب اندازه‌گیری شده به میزان تلفات خاک معادل آن از طریق رابطه نسبت تحویل رسوب، میزان تلفات خاک زیرحوضه‌های بالادست بندهای اصلاحی از ۰/۰۱ تا ۲/۱ و به‌طور میانگین ۰/۳ تن بر هکتار در سال است که در مقایسه با اعداد و ارقام ارائه شده برای متوسط تلفات خاک در اغلب حوزه‌های آبخیز ایران عدد بسیار کمی است.

مقادیر تولید رسوب اندازه‌گیری شده با لحاظ کردن سه ضریب متفاوت تله‌اندازی رسوب به‌صورت تولید رسوب برآورد شده در آمدند. مجدداً با در نظر گرفتن نسبت تحویل رسوب، تولید رسوب‌های برآورده شده به ترتیب معادل ۹/۴۱، ۳۰/۵، ۳/۴۹ تن بر هکتار در سال تلفات خاک محاسبه شدند که در مقایسه با میزان متوسط تلفات خاک حوزه‌های آبخیز ایران، اعداد معقول تر و منطقی‌تری به‌نظر می‌آیند.

در همین زمینه Mosaffaie and Talebi, (2014) در یک تحلیل آماری نشان دادند که میزان فرسایش

ویژه کشور ایران بر اساس نظر متخصصین از ۱۶ تا ۲۵ تن در هکتار در سال است (Mosaffaie and Talebi, 2014). Mosaffaie and Salehpour Jam, (2018) در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های حفاظت آب و خاک آبخیزداری، میزان فرسایش ویژه خاک را ۱۰/۲۳ تا ۱۳/۹۸ تن در هکتار در سال بیان کردند. Nikkami بیان می‌کند که میزان فرسایش خاک در ایران به ۱۶/۲ تن در هکتار در سال رسیده در حالی که متوسط فرسایش خاک در آسیا ۳/۴۷ تن در هکتار است (https://www.tasnimnews.com).

Vahid متوسط فرسایش خاک در ایران را ۱۵/۴ تن در هکتار در سال می‌داند (https://www.mehrnews.com). در مطالعه دیگری متوسط فرسایش خاک در ایران ۱۶/۵ تن در هکتار در سال بیان شده که معادل ۲/۷ میلیارد تن تلفات خاک است (Mohammadi et al., 2021, 2019). بنابراین می توان گفت که در این پژوهش، تلفات خاک معادل برآورد شده منتج از تولید رسوب برآورد شده به اعداد و ارقام گزارش شده در مورد تلفات خاک حوزه‌های آبخیز کشور نزدیک‌تر هستند.

نتیجه‌گیری

بندهای اصلاحی، سازه‌های ساده و نسبتاً کم هزینه هستند که به‌دلیل عدم نیاز به مصالح و تکنولوژی خاص، به‌طور گسترده‌ای جهت کنترل رسوب در حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه طراحی و اجرای بندهای اصلاحی در کشور ایران سابقه‌ای حدود ۴۰ سال دارد، اما بیشتر تحقیقات در مورد تأثیر بندها بر روی بندهای مخزنی بزرگ متمرکز شده و توجه کمتری به عملکرد، اثرات و بازدهی بندهای اصلاحی می شود. بندهای اصلاحی بیش‌ترین حجم و هزینه عملیات آبخیزداری انجام شده در ایران را شامل می‌شوند. بنابراین بررسی عملکرد و اثرات آنها در حوزه‌های آبخیز جهت شناسایی نقاط قوت و ضعف آنها ضروری است.

رسیدن به اهداف در نظر گرفته شده در ساخت بندهای اصلاحی مستلزم انتخاب درست محل اجرای آنها است و چنانچه اصول علمی در انتخاب صحیح پارامترهای مؤثر بر مکان احداث این بندها رعایت نشود، اجرای چنین پروژه‌هایی اثرگذاری لازم و کافی را ندارد. اغلب بندهای اصلاحی احداث‌شده مورد مطالعه در حوزه آبخیز نهضت آباد دارای ضریب تله‌اندازی رسوب نسبتاً کمی هستند که یکی از دلایل آن کم بودن نسبت حجم مخزن بند به مساحت زیرحوزه آبخیز بالادست بند است. کم بودن میزان تلفات خاک معادل تولید رسوب اندازه گیری شده در قیاس با متوسط تلفات خاک در حوزه های آبخیز کشور ناشی از این است که به‌دلیل مقدار کم ضریب تله‌اندازی رسوب در بندهای مورد مطالعه، بخش زیادی از رسوب از بندها عبور می‌کند و در مخزن بند نهشته نمی‌شود.

بالا بودن ضریب تله‌اندازی رسوب به این معنی است که بخش زیادتری از رسوبات در مخزن بند ترسیب می شود و به‌همین دلیل در این بندها رسوب اندازه‌گیری شده به مقدار واقعی نزدیک‌تر و اختلاف کمتری با تولید رسوب برآورد شده دارد. بنابراین نتیجه‌گیری اصلی و مهم در راستای هدف پژوهش این است که در حوزه آبخیز نهضت آباد، بندهای اصلاحی مورد مطالعه در مکان مناسبی در طول مسیر آبراهه‌ها احداث نشدند و این مکان نادرست منجر به کاهش نسبت ظرفیت ذخیره مخزن بندها به مساحت حوزه آبخیز بالادست آنها شده است.

درنهایت، این موضوع منجر به کاهش ضریب تله اندازی رسوب در بندها شده و در نتیجه تولید رسوب اندازه‌گیری‌شده میزان دقیقی از تولید رسوب حوزه آبخیز مورد مطالعه نیست. این موضوع از دو نظر حائز اهمیت است اولاً اینکه بندهای اصلاحی که عمدتاً با هدف ترسیب رسوبات و تثبیت پروفیل طولی بستر آبراهه‌ها احداث می‌شوند، بیشترین حجم و در نتیجه هزینه را در بین عملیات آبخیزداری در ایران به خود اختصاص می‌دهند و چنانچه در مکان مناسبی احداث نشوند تا اینکه حجم مخزن مناسبی در مقایسه با مساحت حوزه آبخیز بالادست بند داشته باشند، ضریب تله‌اندازی رسوب در آنها کم خواهد بود و در نتیجه عملکرد خوبی در ترسیب رسوبات و در نتیجه تثبیت پروفیل طولی بستر آبراهه ندارند و علیرغم هزینه زیادی که برای احداث آنها شده، ساخت آنها منفعتی ندارد.

دوماً در بسیار از مطالعات برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب، استفاده از رسوبات ته‌نشست شده در بندهای اصلاحی به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌های

اندازه‌گیری برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب است و چنانچه این بندها در مکان مناسبی احداث نشوند تا عملکرد مناسبی در تله‌اندازی رسوبات داشته باشند، در نتیجه تولید رسوب و تلفات خاک معادل آن که ممکن است مبنایی برای اجرای سایر اقدامات آبخیزداری باشد، نیز دقیق نخواهد بود و در این رابطه نیز ممکن است محاسبات نادرست و به تبع آن پیامدها و عواقب ناگواری نیز به دنبال داشته باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از تمامی افرادی که در تهیه این مقاله همراهی نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

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

منابع مورد استفاده

Abasi Jondani, SH., Nazari Samani, A.A., Heshmat Alvaezin, S.M., 2019. Evaluation of the performance of check dams in the control of discharge and sediment load in the period of useful life, case study: Kand Watershed. J. Water Soil Con. Res. 27(2), 89-108 (in Persian).

Balooni, K., Kalro, A.H., Kamalamma, A.G., 2008. Community initiatives in building and managing temporary check-dams across seasonal streams for water harvesting in South India. Agr. Water Manage. 95, 1314-1322.

Bazoffi, P., Baldassarre, G., Vacca, S., 1996. Validation of PISA2model for automatic assessment of reservoir sedimentation. In: Albertson M.L, Molinas A, Hotchkiss R. Proceedings of The International Conference on Reservoir Sedimentation. Fort Collins: Colorado State University, 519-528.

Boardman, J., 1995. Damage of property by runoff from agricultural land, South Downs, Southern England 1976-1993. Geogr. J. 161, 177-191.

Boix-Fayos, C., de Vente, J., Martinez-Mena, M., Barbera, G.G., Castillo, V., 2008. The impact10of land use change and check-dams on catchment sediment yield. Hydrol. Process 22, 4922-4935.

Bombino, G., Gurnell, A.M., Tamburino, V., Zemal, D.A., Zimbone, S.M., 2011. Adjustments in channel form, sediment calibre and vegetation around check-dams in the headwater reaches of mountain torrents Calabria, Italy. Earth Surf. Proc. Land. 34, 1011-1021.

Bombino, G., Gurnellb, A.M., Tamburinoa, V., Zemaa, D.A., Zimbonea, S.M., 2008. Sediment size variation in torrents with check dams: effects on riparian vegetation. Ecol. Eng. 32, 166-177.

Brown, C.B., 1943. Discussion of Sedimentation in reservoirs. In: Witzig, J. (Ed.), Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 69, 1493-1500.

Cao, S.X., 2008. Impact of spatial and temporal scales on afforestation effects: Response to comment on "why large-scale afforestation efforts in China have failed to solve the desertification problem". Envir. Sci. Tech. 42, 7724-7725.

Castillo, V.M., Mosch, W.M., Garcia, C.C., Barbera, G.G., Cano, J.N., Lopez-Bermudez, F., 2007. Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Carcavo (Murcia, Spain). Catena 7(3), 416-472.

Dewolfe, V.G., Santi, P.M., Ey, J., Gartner, J.E., 2008. Effective mitigation of debris flows at Lemon Dam, La Plata County, Colorado. Geomorphol. 96, 366-377.

Esmaeili Namaghi, A., Hassanli, A.M.V., 2007. Investigating the performance of sedimentation dry stone dams along waterways in the deposition of fine-grained materials (case study: Darudzen dam watershed). Water Soil Sci. (Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources) 11,1 (A), 13-23 (in Persian).

Goel, P.K., Samra, J.S., Bansal, R.C., 1996. Sediment retention by gabion structures in Bunga Watershed. Indian J. Soil Cons. 24(2), 107-110.

Hadley, R.F., Walling, D.E., 1984. Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modellings.

Hassanli, A.M., Esmaeli Nameghi, A., Beecham, S., 2009. Evaluation of the effect of porous check dam location on fine sediment retention (a case study). Environ. Monit. Assess., 152, 319-326.

Heede, B.H., 1979. Deteriorated watershed can be restored: a case study. J. Environ. Manage. 3, 271-281.

Heede, B.H., Mufich, J.G., 1973. Functional relationships and a computer program for structural gully control. J. Environ. Health, 45, 5-12.

Hernandez Laguna, E., Martinez Lioris, M., Romero Diaz, A., 2004. Determination del volumen de sedimentos retenidos en diques de correccion hidrologica. In Bento G. D, Herrero A. (Eds.), Riesgos Naturalesy Antropics en Geomorfologica: ESG y CSIC, Madrid, 201-210.

Honxiong, Z., 1998. The uses of silt trap dams in Zingzi river basin. ASAE, 1064-1069.

https://www.mehrnews.com/news/5820860/
https://www.tasnimnews.com/fa/news/1402/05/03/2930858.
Hudson, N., 1995. Soil conservation (No. 3. Edition). BT Batsford.
Hudson-Edwards, K.A., Macklin, M.G., Jamieson, H.E., Brewer, P.A., Coulthard, T.J., Howard, A.J., Turner, J.N, 2003. The impact of tailings dam spills and clean-up operations on sediment and water quality in river systems: the Ríos Agrio–Guadiamar, Aznalcóllar, Spain. Appl. Geochem. 18, 221-239.
Kheirandish, H., Pishdad, S., Esmaeilpoor, Y., 2015. Quantitative and qualitative evaluation of the effectiveness of the dry stone dam in settling the suspended flood load, case study: Dam Tang Darab watershed). J. Environ. Erosion Res. 5, 2(18), 1-14 (in Persian).
Lioyd, S.D., Bishop, P., Reinfelds, I., 1998. Shoreline erosion: a cautionary note in using small farm dams to determine catchment erosion rates. Earth Surf. Proc. Land. 23, 905-912.
Liu, C.M., 1992. The effectiveness of check dams in controlling upstream channel stability in northeastern Taiwan. Erosion, Debris Mows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992, Publications-IAHS, 209p.
Martinez de Azagra, A., Fernandez de Villara, R., Sesena Rengel, A., Mendez Carvajal, C., Diez Hernandez, J.M., Navarro Hevia, J., Varela Nieto, J.M., 2002. Metodologia para la inventariacion de diques forestales gavionados. Aplicacion en la provincia de Palencia. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencia Forestal 13, 171-181.
Mohammadi, S.H., Balouei, F., Haji, K.H., Khaledi Darvishan, A., Karydas, C.H., 2021. Country-scale spatio-temporal monitoring of soil erosion in Iran using the G2 model. Int. J. Digit. Earth 14, 8, 1019-1039.
Moore, C.M., 1996. Effect of small structure on peak flow, in effect of watershed change on stream flow. Water Resources Symposium NO2, Austin, Texas, October 1968, P101-117, University of Texas Press, Austin and London, 17 p.
Mosaffaie, J., Salehpour Jam, A., 2018. Economic assessment of the investment in soil and water conservation projects of watershed management. Arab. J. Geosci. 11, 368.
Mosaffaie, J., Talebi, A., 2014. A statistical view to the water erosion in Iran. Exten. Develop. Watershed Manage. 2(5), 9-17.
Nyssen, J., Veyret-Picot, M., Poesen, J., Moeyersons, J., Haile, M., Deckers, J., Govers, G., 2004. The effectiveness of loose rock check dams for gully control in Tigray, northern Ethiopia. Soil Use and Manage. 20(1), 55-64.
Panhwar, V., Zaidi, A,. Ullah, A., 2021. Performance Evaluation Methods for Check-Dams in Balochistan: A Review. Mehran University Research J. of Eng. and Technol. 40(3), 671-679.
Parsamehr, M.R., 1999. Investigating the efficiency of the check dam structure in collecting sediment, a case study of the Ghar Mahaleh watershed in Kordkoi County. Proceedings of the Second National Erosion and Sedimentation Conference. Khorramabad, Lorestan University, 257-264 (in Persian).
Pham, MV., Kim, YT., Performance evaluation of check dam location using small-scale flume channel and numerical simulation. Environ. Earth Sci. 82, 506.
Ran, D.C., Luo, Q.H., Zhou, Z.H., Wang, G.Q., Zhang, X.H., 2008. Sediment retention by check dams in the Hekouzhen-Longmen section of the Yellow River. Int. J. Sediment Res. 23 (2), 159-166.
Roehl, J.E., 1962. Sediment source areas, delivery ratios, and influencing morphological factors. International Association of Scientific Hydrology, Commission of Land Erosion, Publication 59, 202-213.
Romero Díaz, A., Alonso Sarría, F., Martínez Lloris, M., 2007a. Erosion rates obtained from check-dam sedimentation (SE Spain). A multi-method comparison. Catena 71, 172-178.
Roshani, R., 2003. Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control measures: case study in Iran. Enscheda, ITC, Netherland.
Sichingabula, H.M., 1997. Problems of sedimentation in small dams in Zambia. In: Walling, D.E., Probst, J.L. (Eds.), Human impact on erosion and sedimentation (proceedings of the Rabat symposium, IAHS Publication, 245. IAHS Press, Wallingford 251-259.
Tuan, C.H., 1988. Study on the gully control by used-tire structure in northern Taiwan. Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Slides, Rotterdam, The Netherlands 2, 1001-1006.
Vaibhau, G., Jothiprakash, V., 2010. Modelling the time variation of reservoir trap efficiency. J. Hydrol. Eng. 15(12), 1001-1015.
Verstraeten, G., Poesen, J., 1998. Flooding of properties and sedimentation in retention ponds in central Belgium, Modelling soil erosion, sediment transport and closely related hydrological processes 187-193. Wallingford: IAHS publication.

Vice President's Strategic Planning and Supervision. 2008. Basics of designing and implementing guidelines for erosion control structures - Volume 1: Basics of designing and implementing guidelines for Banqueting. Publication No. 450-1.