Semnan University

Climate and Ecosystem
of Arid and Semi-arid Regions

https://ceasr.semnan.ac.ir

Research Article

Evaluation of the Impact of Mechanical Watershed Management Operations on Runoff Storage in Watersheds (Case Study: Karizak Watershed, Khalilabad County)

Fereshteh Rahimi Aghcheshme[a], Amir Mohammmad Saleh Ashuri Nejad[a,*], Mohammad Moradian[b], Azadeh Soltani[c]

[a.] *PhD Student, Faculty of Natural Resources, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*
[b.] *MSc Graduate, Islamic Azad University, Torbat-e Jam Branch, Torbat-e Jam, Iran.*
[c.] *PhD Graduate, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.*

ARTICLE INFO

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 28 July 2025
Revised: 28 December 2025
Accepted: 30 December 2025

Keywords:
Watershed Management,
GIS Software,
Runoff Storage,
Flood Reduction,
Karizak.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: The escalating global population and the shift toward consumerist lifestyles have intensified the demand for water and food resources, leading to overexploitation of natural landscapes. This has resulted in reduced soil permeability, degradation of vegetation cover, increased flooding, intensified erosion, downstream sedimentation, recurring droughts, and associated socioeconomic challenges. To address these issues, watershed management operations have been implemented across various regions of Iran to enhance runoff infiltration, reduce peak flood discharge, and mitigate sedimentation behind dams. However, due to the relatively recent implementation of such measures, comprehensive quantitative and qualitative evaluations remain limited. This study aims to assess the impact of mechanical watershed management operations on runoff storage and flood reduction in the Karizak watershed, located in Khalilabad County, Razavi Khorasan Province, Iran. The primary objective is to analyze the effects of constructed earthen and gabion structures on water infiltration and peak flood attenuation, while providing insights for optimizing future watershed management strategies.

Materials and Methods: The study area, the Karizak watershed, spans 5,695.1 hectares in the central district of Khalilabad County, characterized by a cold arid climate and an aridic-thermic moisture and temperature regime. Topographic data, slope, and elevation classes were derived using a digital elevation model (DEM). Field surveys documented the characteristics of nine earthen check dams and four gabion structures. Infiltration rates were measured using double-ring infiltrometers in sediment-laden and control (sediment-free) areas within the reservoirs of selected earthen check dams (numbers 4, 5, and an older dam from the 1970s) across three zones (southeast, south, and southwest). Evaporation and infiltration volumes were estimated for 10-day intervals from the time of dam construction until the end of the 2018-2019 water year, based on reservoir water surface mapping. Rainfall and land-use data were analyzed to evaluate the watershed's response to precipitation before and after the implementation of watershed management measures.

Results: The results revealed that infiltration rates in sediment-laden areas were

[*] **Corresponding author:** *Amir.a2051@yahoo.com*

significantly lower than in control areas due to the filling of soil pores with fine sediments. In the earthen check dams, approximately 10 million cubic meters of water (92% of the flood volume) infiltrated, while 0.9 million cubic meters (8% of the flood volume) were lost to evaporation. This high infiltration rate, relative to evaporation, is likely attributed to the timing of rainfall (April to mid-June) when temperatures are lower. The mechanical structures effectively reduced peak flood discharge, mitigating flood-related damage and enhancing groundwater recharge through qanats. However, issues with the siting and height of the structures relative to upstream runoff volumes were identified. Economically, the cost-to-benefit ratio was 10.6 for mechanical measures, 4.4 for biological measures, and 4.9 for the entire watershed, indicating the economic viability of the implemented watershed management operations.

Conclusion: Watershed management operations in the Karizak watershed have significantly enhanced water infiltration and reduced peak flood discharge, thereby improving water and soil resource management. The structures facilitated the storage of approximately 11 million cubic meters of water, primarily contributing to qanat recharge and mitigating drought impacts. Nonetheless, optimizing the design and placement of structures is critical to further improving efficiency. This study underscores the importance of continuous evaluation of watershed management operations and the development of robust methodologies for performance analysis. Future studies should employ advanced simulation models to determine the optimal number and placement of structures to maximize the effectiveness of watershed management initiatives.

Cite this article as: Rahimi Agh-Cheshmeh, F., Ashourinejad, A. M., Moradian, M. and Soltani, A. (2025). Evaluation of the Impact of Mechanical Watershed Management Operations on Runoff Storage in Watersheds (Case Study: Karizak Watershed, Khalilabad County). *Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions*, 2(2), 145-170.

DOI: https://doi.org/ 10.22075/ceasr.2025.38469.1056

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری بر روی ذخیره رواناب حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کاریزک شهرستان خلیل‌آباد)

فرشته رحیمی آغ چشمه[1]، امیرمحمد صالح آشوری‌نژاد[1*]، محمد مرادیان[2]، آزاده سلطانی[3]

۱- دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه آبخیزداری، کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی تربت‌جام، تربت‌جام، ایران.

۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه مناطق خشک و نیمه‌خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

***: نویسنده مسئول**، Amir.a2051@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹

واژه‌های کلیدی:

آبخیزداری،

نرم‌افزار Gis،

ذخیره رواناب،

کاهش سیلاب،

کاریزک.

چکیده

سابقه و هدف: افزایش جمعیت و مصرف‌گرایی جوامع انسانی، فشار بر منابع آب و خاک را افزایش داده و منجر به کاهش نفوذپذیری خاک، زوال پوشش گیاهی، تشدید فرسایش، رسوب‌گذاری، و بروز مشکلات اقتصادی و اجتماعی شده است. عملیات آبخیزداری به‌عنوان راهکاری برای کاهش رواناب، کنترل سیلاب، و جلوگیری از رسوب‌گذاری در پشت سدها در بسیاری از مناطق ایران اجرا شده است. با این حال، به دلیل سابقه کوتاه این اقدامات، ارزیابی کمی و کیفی آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری بر ذخیره رواناب و کاهش سیلاب در حوزه آبخیز کاریزک شهرستان خلیل‌آباد، واقع در استان خراسان رضوی، انجام شد. هدف اصلی، تحلیل میزان نفوذ آب و کاهش دبی اوج سیلاب در اثر احداث سازه‌های خاکی و گابیونی و ارائه راهکارهایی برای بهبود مدیریت این اقدامات بود.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز کاریزک با مساحت ۵۶۹۵/۱ هکتار، در بخش مرکزی شهرستان خلیل‌آباد قرار دارد. این حوزه دارای اقلیم خشک سرد و رژیم رطوبتی و حرارتی آریکوترمیک است. برای انجام پژوهش، داده‌های توپوگرافی، شیب، و طبقات ارتفاعی با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی استخراج شد. مشخصات ۹ سازه خاکی و ۴ گابیون احداث‌شده از طریق نقشه‌برداری میدانی ثبت گردید. سرعت نفوذ آب در خاک با استفاده از استوانه‌های مضاعف در مناطق رسوب‌گرفته و شاهد (بدون رسوب) در مخازن بندهای خاکی اندازه‌گیری شد. این آزمایش در سه ناحیه (جنوب شرقی، جنوب، و جنوب غربی) و در مخازن بندهای خاکی شماره ۴، ۵، و بند قدیمی دهه هفتاد انجام شد. همچنین، حجم تبخیر و نفوذ در مخازن بندها با محاسبه سطح آب در بازه‌های ۱۰ روزه از زمان احداث تا پایان سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ برآورد شد. داده‌های بارش و کاربری اراضی نیز برای تحلیل واکنش حوزه به بارش قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که سرعت نفوذ آب در مناطق رسوب‌گرفته به دلیل پر شدن خلل و فرج خاک توسط رسوبات دانه‌ریز، به‌طور قابل‌توجهی کمتر از مناطق شاهد است. در بندهای خاکی، حجم نفوذ آب حدود ۱۰ میلیون متر مکعب (۹۲ درصد حجم سیلاب) و حجم تبخیر حدود ۰/۹ میلیون متر مکعب (۸ درصد حجم سیلاب) برآورد شد. این امر نشان‌دهنده نقش برجسته نفوذ نسبت به تبخیر در کاهش حجم آب در مخازن

بندها است، که احتمالاً به زمان بارش‌ها (فروردین تا اواسط خرداد) و دمای پایین‌تر در این دوره مرتبط است. همچنین، سازه‌های مکانیکی با کاهش دبی اوج سیلاب، خسارات ناشی از سیل را کنترل کرده و تغذیه قنوات را بهبود بخشیدند. با این حال، اشکالاتی در جانمایی و ارتفاع سازه‌ها نسبت به حجم رواناب بالادست مشاهده شد. از نظر اقتصادی، نسبت هزینه به درآمد در طرح‌های مکانیکی ۱۰/۶، در طرح‌های بیولوژیکی ۴/۴، و در کل حوزه ۴/۹ بود، که نشان‌دهنده توجیه اقتصادی اقدامات آبخیزداری است.

نتیجه‌گیری: اقدامات آبخیزداری در حوزه کاریزک با افزایش نفوذ آب و کاهش دبی اوج سیلاب، تأثیر مثبتی بر مدیریت منابع آب و خاک داشته است. این اقدامات با ذخیره حدود ۱۱ میلیون متر مکعب آب، نقش مهمی در تغذیه قنوات و کاهش اثرات خشکسالی ایفا کرده‌اند. با این حال، بهبود جانمایی و طراحی سازه‌ها برای افزایش کارایی ضروری است. نتایج این مطالعه بر اهمیت ارزیابی مستمر اقدامات آبخیزداری و تدوین روش‌های دقیق برای تحلیل عملکرد آن‌ها تأکید دارد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، تعداد و محل بهینه سازه‌ها با استفاده از مدل‌های پیشرفته‌تر شبیه‌سازی شود تا کارایی این اقدامات بیش از پیش افزایش یابد.

استناد: رحیمی آغ‌چشمه، ف.، آشوری‌نژاد، الف. م.، مرادیان، م. و سلطانی، الف. (۱۴۰۴). ارزیابی تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری بر روی ذخیره رواناب حوزه‌های آبخیز(مطالعه موردی: حوزه آبخیز کاریزک شهرستان خلیل‌آباد). *اقلیم و بوم‌سازگان مناطق خشک و نیمه خشک*، ۲(۲)، ۱۴۵-۱۷۰.

DOI: https://doi.org/ 10.22075/ceasr.2025.38469.1056

ناشر: دانشگاه سمنان

۱- مقدمه

ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع‌شده در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، با چالش‌های جدی در زمینه کمبود منابع آب مواجه است. تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت، گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، و الگوی مصرف ناپایدار منابع آبی، منجر به افزایش بهره‌برداری از منابع محدود موجود و کاهش شدید ذخایر آب زیرزمینی شده‌اند (Rajora, 1998). علاوه‌بر این، بارش‌های شدید و متمرکز در زمان‌های کوتاه، که یکی از ویژگی‌های اقلیم خشک است، زمینه‌ساز بروز رواناب‌های سطحی، فرسایش خاک، و سیلاب‌های خسارت‌زا شده‌اند (Mozzi, et al., 2021).

در چنین شرایطی، فرایند نفوذ آب در خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت منابع آب و خاک ایفا می‌کند (Sharma, 1983). نفوذ، فرآیندی هیدرولوژیکی است که در آن آب از سطح زمین وارد پروفیل خاک می‌شود و به‌طور مستقیم بر رطوبت خاک، تغذیه آب زیرزمینی، و میزان رواناب سطحی تأثیر می‌گذارد (Brian, 2003). نرخ و ظرفیت نفوذ به عوامل متعددی مانند بافت و ساختار خاک، مقدار رطوبت اولیه، مواد آلی، و وجود منافذ درشت‌مقیاس وابسته است (Nimmo, & Shillito., 2023). در مناطق خشک، معمولاً خاک‌ها ساختاری ضعیف و تخلخل محدود دارند که باعث کاهش نرخ نفوذ و افزایش پتانسیل تولید رواناب می‌شود (Razzaghi, et al., 2016; Satterland, 1962).

برای مقابله با این شرایط، در دهه‌های اخیر، استفاده از اقدامات مکانیکی آبخیزداری از جمله احداث بندهای خاکی و گابیونی در بسیاری از حوزه‌های آبخیز رواج یافته است (Noble, 1963). این سازه‌ها علاوه‌بر کاهش سرعت جریان، موجب رسوب‌گذاری مواد معلق، افزایش فرصت نفوذ آب، تغذیه سفره‌های زیرزمینی و در نهایت کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها می‌شوند (Alizade, A., 2006; Weaver, 1975; Doty, 1971). با این حال، اگرچه اجرای این اقدامات در کشورهای توسعه

یافته، ارزیابی علمی، کمی و بلندمدت عملکرد این سازه‌ها هنوز به‌صورت نظام‌مند انجام نشده و عمدتاً به مطالعات موردی یا تجربیات پراکنده محدود مانده است (Wu, et al., 2022).

مطالعات انجام‌شده در سطح جهانی نیز تأکید دارند که سازه‌های کوتاه‌مدت مانند بندهای خاکی، در صورت طراحی و اجرای صحیح، قادر به کاهش فرسایش تا بیش از ۶۰ درصد و افزایش تغذیه آب زیرزمینی تا ۳۰ درصد هستند (Alhalimi et al., ۲۰۲۴). نتایج پژوهش‌های میدانی در حوزه‌های آبخیز مختلف در ایران نیز بیانگر آن است که چگالی و جانمایی مناسب سازه‌ها، ویژگی‌های زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی منطقه، و نگهداری صحیح، از عوامل کلیدی در اثربخشی آن‌ها محسوب می‌شود (Mozzi, et al., 2021). در همین راستا، پژوهشی در یکی از مناطق شرقی ایران نشان داد که نرخ نفوذ پایه در مناطق فاقد رسوب تا پنج برابر مناطق رسوب‌گرفته است و استفاده از مدل‌هایی مانند هورتون و Kostiakov برای توصیف تغییرات نفوذ در این مناطق، نتایج مناسبی ارائه می‌دهد (Moazeni-Noghandar, et al., 2021).

مطالعه‌ای دیگر با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی هیدرولوژیک و تصاویر ماهواره‌ای در حوضه‌های ایران غربی، نشان داد که تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی موجب کاهش عملکرد هیدرولوژیکی سامانه‌های خاکی شده و پیش‌بینی می‌شود در صورت تداوم این روند، میزان رواناب و نوسانات دبی رودخانه‌ها تا سال ۲۰۴۰ به‌طور محسوسی افزایش یابد، در حالی که تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (Balist, et al., 2021).

از سوی دیگر، یکی از مسائل مغفول‌مانده در طراحی و ارزیابی سازه‌های مکانیکی آبخیزداری، خطرات ناشی از جانمایی نادرست یا عدم بررسی حجم رواناب بالادست است. به‌عنوان مثال، شکست زنجیره‌ای مجموعه‌ای از سدهای کوتاه در جریان سیل تیرماه ۱۴۰۱ در امامزاده داوود تهران، ناشی از طراحی غیراستاندارد و نبود پایش کافی بود که منجر به وقوع خسارات انسانی و مالی سنگینی شد (Motagh & Akhani, 2022). این موضوع، لزوم ارزیابی دقیق عملکرد، ظرفیت و پایداری سازه‌های مکانیکی را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

در کنار عملکرد مستقیم سازه‌ها، بررسی رفتار نفوذ و تبخیر در مخازن پشت بند نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در بیشتر بندهای خاکی، حجم نفوذ نسبت به تبخیر قابل‌توجه‌تر بوده است، به‌طوری‌که تا ۹۰ درصد آب ذخیره‌شده در پشت بندها طی چند هفته اولیه پس از آبگیری، در خاک نفوذ می‌کند، در حالی‌که تنها بخش اندکی از آن تبخیر می‌شود (Nikbakht et al., 2022; Roshani, 2003). این نسبت زمانی بیشتر می‌شود که زمان بارش‌ها با فصل‌های خنک‌تر مانند فروردین و اردیبهشت هم‌زمان باشد، چراکه در این دوره‌ها، نرخ تبخیر از سطح مخزن کمتر است (Moazeni-Noghandar, et al., 2021).

با وجود اهمیت موضوع، تاکنون بررسی‌های نظام‌مند برای اندازه‌گیری هم‌زمان نفوذ و تبخیر و تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر آن مانند بافت خاک، عمق رسوب، رطوبت اولیه خاک، و پتانسیل تبخیر صورت نگرفته است. همچنین در بسیاری از مطالعات، از روش‌های ساده یا غیراستاندارد برای برآورد نرخ نفوذ استفاده شده و صحت‌سنجی مدل‌های نفوذ با داده‌های میدانی به‌ندرت انجام شده است.

بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، بررسی جامع عملکرد سازه‌های مکانیکی آبخیزداری در یکی از حوزه‌های نیمه‌خشک کشور از نظر اثرگذاری بر نرخ نفوذ، مقایسه آن در شرایط مختلف رسوب‌گذاری، و تحلیل نسبت تبخیر به نفوذ در بازه‌های زمانی مشخص پس از بارندگی است. در این مسیر، با انجام آزمایش‌های نفوذ میدانی با استوانه‌های مضاعف، نمونه‌برداری از

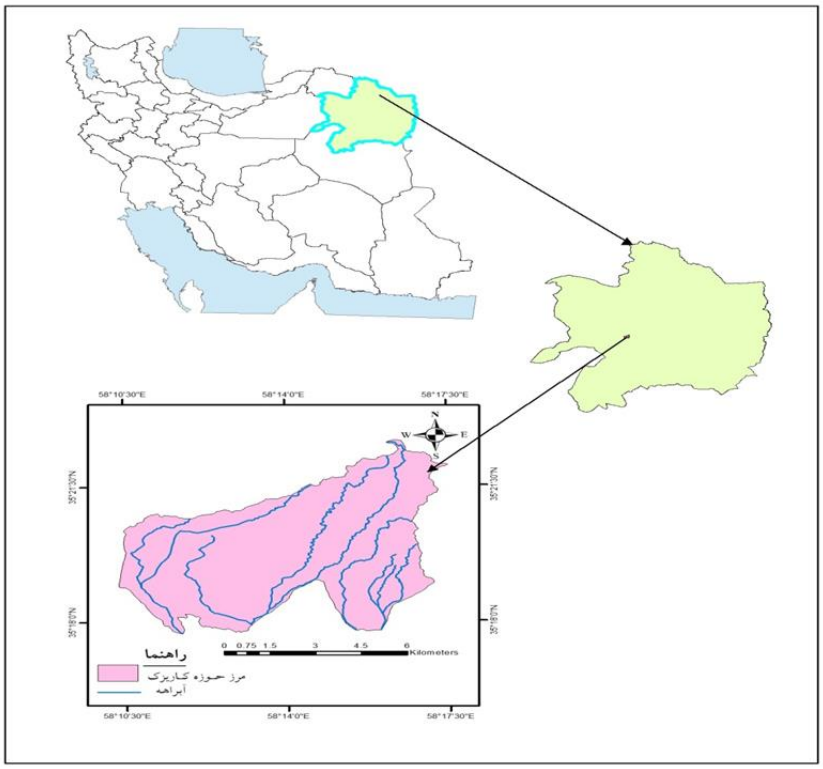
خاک، و تلفیق داده‌های برداشت‌شده با روش‌های مدل‌سازی عددی، تلاش شده است تا تصویری دقیق، کمّی و قابل استناد از کارایی این سازه‌ها در مدیریت رواناب ارائه شود.

یافته‌های این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای بهبود طراحی سازه‌های کنترل سیلاب، انتخاب محل‌های بهینه احداث بندهای خاکی، افزایش کارایی تغذیه مصنوعی، و کاهش تبخیر در مخازن کوچک تلقی شود. افزون بر آن، این تحلیل می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران منابع طبیعی برای ارتقاء طرح‌های اجرایی، انتخاب سازوکارهای پایش عملکرد و بهره‌برداری پایدار از منابع کمک کند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه پژوهش

حوزه آبخیز کاریزک به مساحت ۵۶۹۵/۱ هکتار در محدوده بخش مرکزی شهرستان خلیل‌آباد استان خراسان رضوی بین طول های جغرافیایی "۲۱ ´۱۰ ˚۵۸ تا "۳۲ ´۱۷ ˚۵۸ وعرض های جغرافیایی "۴۳ ´۱۷ ˚۳۵ تا "۴۰ ´۲۲ ˚۳۵ واقع شده است. طول آبراهه اصلی حوضه ۱۱/۹۲کیلومتر، شیب متوسط ۳۴ درصد و ارتفاع متوسط آن ۱۳۲۰ متر است. بر اساس تقسیم بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم خشک سرد است و رژیم رطوبتی و حرارتی آن به ترتیب اریدیک و ترمیک است. از نظر زمین شناسی حوضه جزء زون ساختاری ایران مرکزی در مجاورت شمالی گسل بزرگ درونه واقع شده است. زیرحوضه‌هایی که در ان عملیات آبخیزداری انجام شده حدود .... کیلومتر مربع (درصد از کل مساحت حوضه) است. شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه را در کشور و استان خراسان رضوی نشان میدهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Location map of the study area

۲-۱-۱- روش پژوهش

به منظور فراهم نمودن داده های لازم برای انجام تحقیق، با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی بدست آمده از خطوط توپوگرافی، نقشه های شیب و طبقات ارتفاعی تهیه شده و کلیه پارامترهای مورد نیاز از قبیل طول آبراهه اصلی، مساحت و محیط حوزه استخراج گردید. همچنین با حضور در منطقه و انجام نقشه برداری و حفر پروفیل خاک مشخصات کلیه بندهای احداث شده ثبت گردید که سازه های اجرا شده شامل ۹ سازه خاکی و ۴ گابیون می باشد که در جدول زیر مشخصات اصلی سازه های اجرایی حوزه ارائه میشود.

جدول ۱. مشخصات اصلی بندهای خاکی و گابیونی اجرا شده

Table 1. Main specifications of the implemented earthen and gabion dams

شماره سازه tructure ID	هدف Primary Construction Purpose	شیب متوسط مخزن Average Reservoir Slope (%)	حجم تقریبی عملیات خاکی Earthwork Volume (m^3)	حجم مخزن در تراز نرمال Reservoir Capacity at Normal Level (m^3)	عرض رودخانه در کف Riverbed Width (m)	ارتفاع Height (m)	طول تاج Crest Length (m)	نوع سازه Structure Type
1	Water Harvesting for Livestock – Flood Control	3.5	2,000	4,283	38	3	60	Earth Dam
2	Flood Control – Groundwater Recharge	4.0	10,000	27,399	80	5	100	Earth Dam
3		3.5	8,000	22,696	75	4	100	Earth Dam
4		5.0	13,500	7,518	160	3.5	200	Earth Dam
5		1.0	15,000	70,793	120	5	145	Earth Dam
6	Flood and Sediment Control	2.4	3,000	4,992	55	3	80	Earth Dam
7		3.0	9,000	12,670	100	4	130	Earth Dam
8		2.2	7,000	12,049	90	3.5	110	Earth Dam
9	Flood/Sediment Control – Groundwater Recharge	2.0	70,000	319,532	100	8	550	Earth Dam (Existing)
G1	Flood and Sediment Control	4.0	150	583	10	2	15	Gabion Weir
G2		4.0	150	330	10	2	15	Gabion Weir
G3		3.0	250	705	15	3	30	Gabion Weir
G4		3.0	300	1,800	15	3	25	Gabion Weir

۲-۱-۲- اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب در خاک با استفاده از استوانه های مضاعف

به منظور اندازه گیری میزان نفوذ آب به داخل خاک از استوانه های ساده یا مضاعف (Double rings) استفاده میشود که به استوانه های نفوذ معروف هستند. برای آنکه اثر جانبی نفوذ آب و شرایط مرزی به حداقل رسانده شود، به جای یک استوانه ساده از استوانه های مضاعف یا متداخل که بصورت دو استوانه که در داخل یکدیگر قرار گرفته اند استفاده می شود. با این کار فشار آب در حد فاصل دو استوانه باعث می شود که نفوذ آب از حلقه داخلی در جهت عمودی صورت گیرد. در این حالت نفوذ در حلقه داخلی اندازه گیری می گردد.

برای انجام آزمایش دو حلقه آهنی را که دارای ارتفاع ۳۰ سانتیمتر بوده و قطر حلقه بزرگتر ۳۰-۴۵ سانتیمتر و قطر حلقه کوچکتر ۲۰-۲۵ سانتیمتر می باشد، بر روی خاک قرار داده می شوند. حلقه ها توسط یک پتک تا ۱/۳ ارتفاع مربوطه در خاک فرو می روند. بین دو حلقه مقداری آب به ارتفاع h می ریزیم که حدودا معادل آبیاری کرتی در آبیاری در مزرعه می باشد. در زمانی که فقط در بین دو حلقه آب وجود دارد، بدلیل خشک بودن خاک هر دوی نفوذهای عمودی و افقی وجود دارند. در مرحله بعد داخل استوانه میانی یک پلاستیک قرار داده می شود تا از دست خوردگی و بر هم خوردن ساختمان خاک جلوگیری شود. سپس به همان ارتفاع h در استوانه داخلی (یعنی بر روی پلاستیک قرار گرفته در حلقه داخلی) آب ریخته می شود. زمان را صفر کرده و در یک لحظه پلاستیک را بر داشته و کرنومتر را به کار می اندازیم. یک اشل در داخل حلقه میانی قرار داده می شود تا توسط آن مقدار نفوذ لحظه ای را با اندازه گیری ارتفاع آب در حلقه داخلی بدست آوریم. در این حالت چون خاک اطراف استوانه کوچک تقریبا اشباع شده است، نفوذ آب از حلقه داخلی عمودی خواهد بود. پس از برداشتن پلاستیک ، مقادیر h و زمان t در لحظات مختلف یادداشت می شوند.

این آزمایش در مخازن بندهای خاکی در دو منطقه رسوب گرفته و شاهد صورت گرفته است. بدین ترتیب که در هر منطقه در ۳ نقطه متفاوت آزمایش استوانه های مضاعف انجام شده و میانگین سرعت نفوذ برآورد شده است. طبیعتا سرعت نفوذ آب در منطقه رسوب گرفته از منطقه بدون رسوب (شاهد) کمتر خواهد بود زیرا رسوبات دانه ریز پشت بند خلل و فرج خاک را پر کرده و نفوذ را کاهش می دهند.

بدلیل همگن بودن سازندهای زمین شناسی و جنس خاک در سه ناحیه (جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی) در منطقه مطالعاتی این آزمایش در مخزن بندهای خاکی شماره ۴ (معرف وضعیت نفوذ در بندهای شماره ۱، ۲،۳ و ۴)، شماره ۵ (معرف وضعیت نفوذ در بندهای شماره ۵، ۶، ۷ و ۸) و در مخزن بند خاکی احداث شده در دهه هفتاد انجام شده است.

شکل ۲- آزمایش استوانه های مضاعف در مخازن بندهای خاکی

Fig.2. Testing of double cylinders in earth dam reservoirs

۳- نتایج

نتایج آزمایش استوانه های مضاعف: نتایج برآورد سرعت نفوذ آب در خاک در مخزن بند خاکی شماره ۴ (معرف وضعیت نفوذ در بندهای شماره ۱، ۲،۳ و۴) به شرح زیر می باشد.

جدول ۲. نتایج آزمایش در منطقه رسوب گرفته بند خاکی شماره ۴

Table 2. Test results in the sedimented area of earthen dam No. 4

استوانه شماره ۱ Cylinder No. 1			استوانه شماره ۲ Cylinder No. 2			استوانه شماره ۳ Cylinder No. 3			میانگین Average		
زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)
0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
2	0.3	6.58	2	0.3	5.56	2	0.4	8.21	2	0.33	6.78
5	0.9	4.27	5	0.5	3.88	5	0.9	5.44	5	0.77	4.53
10	1.1	3.08	10	0.8	2.95	10	1.4	3.98	10	1.10	3.34
20	1.4	2.22	20	1.3	2.24	20	1.9	2.91	20	1.53	2.46
30	1.8	1.83	30	1.7	1.91	30	2.3	2.43	30	1.93	2.06
40	2.1	1.60	40	2.0	1.71	40	2.6	2.13	40	2.23	1.81
50	2.3	1.44	50	2.2	1.56	50	2.9	1.93	50	2.47	1.64
60	2.5	1.32	60	2.5	1.46	60	3.2	1.78	60	2.73	1.52
90	3.0	1.09	90	3.1	1.24	90	4.0	1.48	90	3.37	1.27
120	3.5	0.95	120	3.6	1.11	120	4.6	1.30	120	3.90	1.12
180	4.2	0.78	180	4.5	0.94	180	5.6	1.08	180	4.77	0.93
240	5.0	0.68	240	5.2	0.84	240	6.6	0.95	240	5.60	0.82

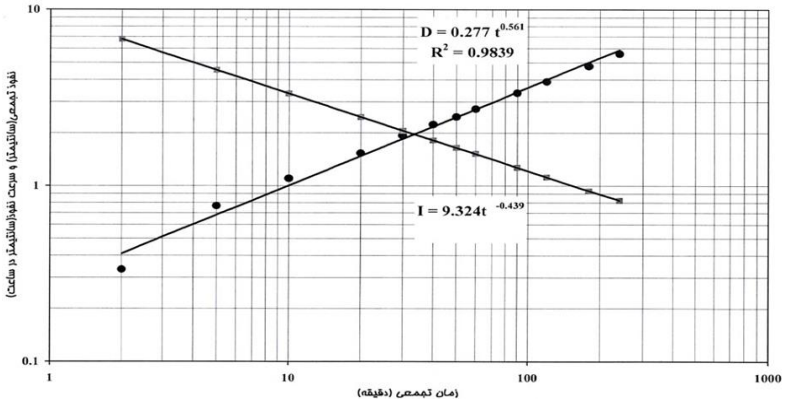
جدول ۳. خصوصیات منطقه رسوب گرفته بند خاکی شماره ۴

Table 3. Characteristics of the sedimented area of earth dam No. 4

بافت خاک Soil Texture	رطوبت Moisture Content (%)	عمق رسوب کف مخزن Sediment Depth at Reservoir Bottom (cm)	معادله نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration Equation (cm)	معادله نفوذ لحظه ای Instantaneous Infiltration Equation (cm/hr)	نفوذ نهایی (پایه) Final (Basic) Infiltration Rate (cm/hr)	زمان رسیدن به نفوذ نهایی Time to Reach Final Infiltration (min)
Silty Loam	12.6	35	D = 0.277 t ^ (0.561)	I = 9.324 t ^ (-0.439)	0.808	263

* t بر حسب دقیقه است.

* سرعت نفوذ پایه در کلاس متوسط طبقه بندی می شود.



شکل ۳. نتایج برآورد سرعت نفوذ در منطقه رسوب گرفته بند خاکی شماره ۴

Fig.3. Results of infiltration rate estimation in the sedimented area of earthen dam No. 4

جدول ۴. نتایج آزمایش در منطقه شاهد (فاقد رسوب) بند خاکی شماره ۴

Table 4. Test results in the control area (without sediment) of earth dam No. 4

استوانه شماره ۱ Cylinder No. 1			استوانه شماره ۲ Cylinder No. 2			استوانه شماره ۳ Cylinder No. 3			میانگین Average		
زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.6	16.46	2	1.5	24.54	2	0.9	20.67	2	1.0	20.56
5	1.8	13.48	5	2.4	17.61	5	2.3	15.80	5	2.17	15.74
10	2.7	11.59	10	3.7	13.71	10	3.4	12.90	10	3.27	12.73
20	4.2	9.96	20	5.1	10.66	20	4.7	10.53	20	4.67	10.38
30	5.9	9.12	30	6.7	9.21	30	6.2	9.35	30	6.27	9.23
40	6.4	8.57	40	7.1	8.30	40	6.9	8.59	40	6.80	8.49
50	7.9	8.16	50	8.6	7.65	50	8.3	8.05	50	8.27	7.95
60	9.7	7.84	60	10.3	7.16	60	10.1	7.63	60	10.03	7.54
90	13.9	7.18	90	14.1	6.19	90	14.2	6.78	90	14.07	6.72
120	17.9	6.74	120	18.6	5.57	120	18.3	6.53	120	18.27	6.28
180	24.5	6.17	180	26.1	4.81	180	25.7	5.53	180	25.43	5.50
240	30.6	5.80	240	32.7	4.34	240	31.9	5.08	240	31.73	5.07

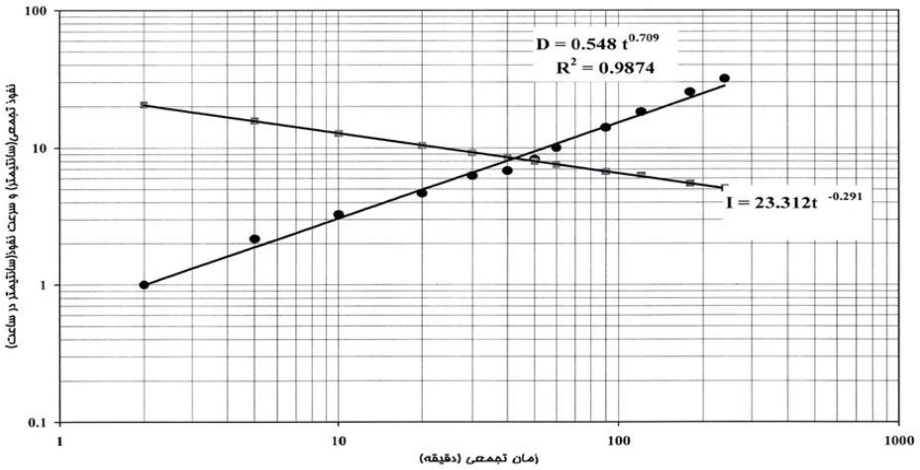
جدول ۵.خصوصیات منطقه شاهد (فاقد رسوب) بند خاکی شماره ۴

Table 5. Characteristics of the control area (without sediment) of earth dam No. 4

بافت خاک Soil Texture	رطوبت Moisture Content (%)	عمق رسوب کف مخزن Sediment Depth at Reservoir Bottom (cm)	معادله نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration Equation (cm)	معادله نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration Equation (cm/hr)	نفوذ نهایی (پایه) Final (Basic) Infiltration Rate (cm/hr)	زمان رسیدن به نفوذ نهایی Time to Reach Final Infiltration (min)
Sandy Loam	3.4	No Sediment	D = 0.548 t ^ (0.709)	I = 23.312 t ^ (-0.291)	5.186	173

* t بر حسب دقیقه است.

* سرعت نفوذ پایه در کلاس متوسط طبقه بندی می شود.



شکل شماره ۴. نتایج برآورد سرعت نفوذ در منطقه شاهد (فاقد رسوب) بند خاکی شماره ۴

Fig 4. Results of infiltration rate estimation in the control area (without sediment) of earthen dam No. 4

نتایج برآورد سرعت نفوذ آب در خاک در مخزن بند خاکی شماره ۵ (معرف وضعیت نفوذ در بندهای شماره ۵، ۶،۷ و ۸) بـه شرح زیر می باشد.

جدول ۶. نتایج آزمایش در منطقه رسوب گرفته بند خاکی شماره ۵

Table 6. Test results in the sedimented area of earthen dam No. 5

استوانه شماره ۱ Cylinder No. 1			استوانه شماره ۲ Cylinder No. 2			استوانه شماره ۳ Cylinder No. 3			میانگین Average		
زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)
0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
2	0.3	3.70	2	0.3	6.62	2	1.0	8.19	2	0.53	6.17
5	0.4	2.46	5	1.0	4.09	5	1.2	4.41	5	0.87	3.65
10	0.5	1.80	10	1.3	2.84	10	1.3	2.76	10	1.03	2.47
20	0.6	1.32	20	1.5	1.97	20	1.6	1.72	20	1.23	1.67

استوانه شماره ۱ Cylinder No. 1			استوانه شماره ۲ Cylinder No. 2			استوانه شماره ۳ Cylinder No. 3			میانگین Average		
زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)
30	0.8	1.10	30	1.7	1.59	30	1.9	1.31	30	1.47	1.33
40	1.0	0.97	40	1.9	1.37	40	2.1	1.08	40	1.67	1.14
50	1.2	0.88	50	2.1	1.22	50	2.2	0.92	50	1.83	1.01
60	1.4	0.81	60	2.2	1.11	60	2.3	0.82	60	1.97	0.91
90	1.9	0.67	90	2.7	0.89	90	2.9	0.62	90	2.50	0.73
120	2.4	0.59	120	3.1	0.77	120	3.3	0.51	120	2.95	0.62
180	3.1	0.49	180	3.8	0.62	180	4.0	0.39	180	3.63	0.50
240	3.8	0.44	240	4.4	0.53	240	4.6	0.32	240	4.27	0.43

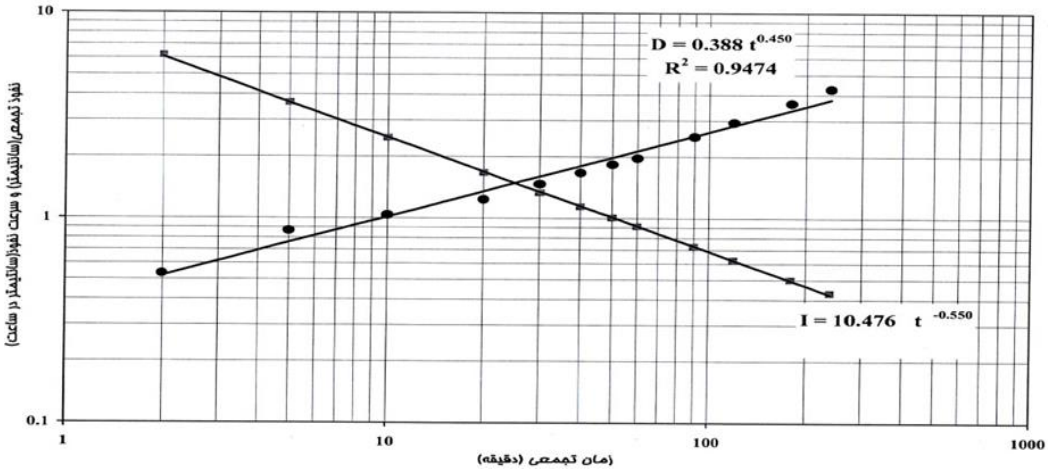
جدول ۷. خصوصیات منطقه رسوب گرفته بند خاکی شماره ۵

Table 7. Characteristics of the sedimented area of earth dam No. 5

بافت خاک Soil Texture	رطوبت Moisture Content (%)	عمق رسوب کف مخزن Sediment Depth at Reservoir Bottom (cm)	معادله نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration Equation (cm)	معادله نفوذ لحظه ای Instantaneous Infiltration Equation (cm/hr)	نفوذ نهایی (پایه) Final (Basic) Infiltration Rate (cm/hr)	زمان رسیدن به نفوذ نهایی Time to Reach Final Infiltration (min)
Silty Loam	6.76	90	D = 0.388 t ^ (0.450)	I = 10.476 t ^ (-0.550)	0.432	330

* t بر حسب دقیقه است.

* سرعت نفوذ پایه در کلاس متوسط طبقه بندی می شود.



شکل ۵. نتایج برآورد سرعت نفوذ در منطقه رسوب گرفته بند خاکی شماره ۵

Fig 5. Results of infiltration rate estimation in the sedimented area of earthen dam No. 5

جدول ۸. نتایج آزمایش در منطقه شاهد (فاقد رسوب) بند خاکی شماره ۵

Table 8. Test results in the control area (no sediment) of earth dam No. 5

استوانه شماره ۱ Cylinder No. 1			استوانه شماره ۲ Cylinder No. 2			استوانه شماره ۳ Cylinder No. 3			میانگین Average		
زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)
0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
2	0.6	12.09	2	0.8	14.52	2	0.6	11.92	2	0.67	12.84
5	1.0	9.39	5	1.4	10.63	5	1.0	9.19	5	1.13	9.74
10	1.8	7.75	10	2.0	8.39	10	1.8	7.56	10	1.87	7.90
20	3.0	6.40	20	3.2	6.64	20	2.7	6.21	20	2.97	6.42
30	3.7	5.73	30	4.1	5.78	30	3.9	5.54	30	3.90	5.68
40	4.7	5.29	40	5.0	5.24	40	4.7	5.10	40	4.80	5.21
50	5.6	4.97	50	5.8	4.86	50	5.4	4.79	50	5.60	4.87
60	6.6	4.73	60	6.8	4.57	60	6.4	4.55	60	6.60	4.62
90	9.0	4.23	90	9.3	3.98	90	8.6	4.06	90	8.97	4.09
120	11.2	3.91	120	11.4	3.61	120	10.7	3.74	120	11.10	3.75
180	14.6	3.49	180	15.2	3.14	180	14.4	3.33	180	14.73	3.32
240	17.7	3.23	240	18.1	2.85	240	17.3	3.07	240	17.70	3.05

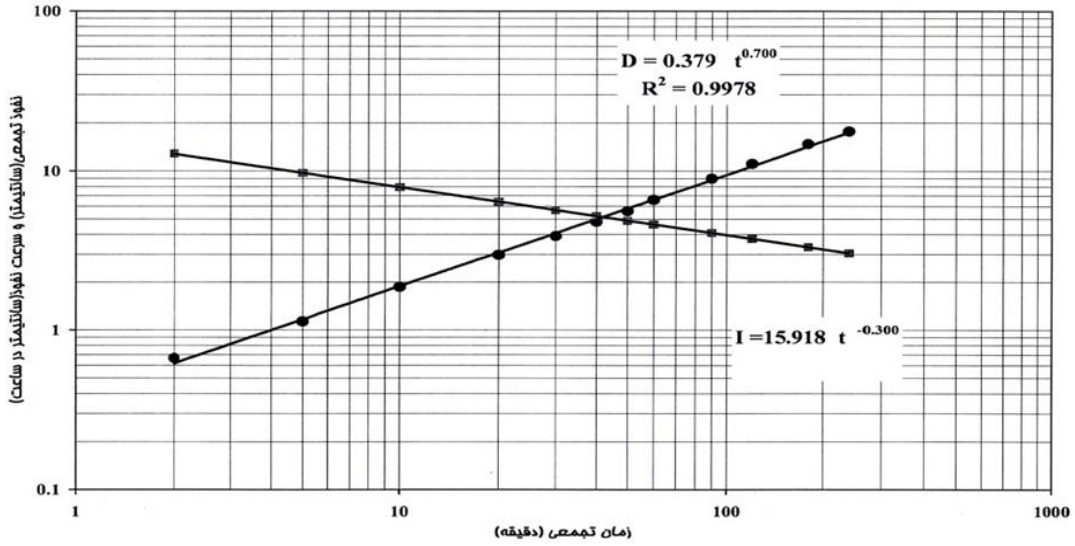
جدول ۹. خصوصیات منطقه شاهد (فاقد رسوب) بند خاکی شماره ۵

Table 9. Characteristics of the control area (without sediment) of earth dam No. 5

بافت خاک Soil Texture	رطوبت Moisture Content (%)	عمق رسوب کف مخزن Sediment Depth at Reservoir Bottom (cm)	معادله نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration Equation (cm)	معادله نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration Equation (cm/hr)	نفوذ نهایی (پایه) Final (Basic) Infiltration Rate (cm/hr)	زمان رسیدن به نفوذ نهایی Time to Reach Final Infiltration (min)
Loam	3.62	No Sediment	D = 0.379 t ^ (0.700)	I = 15.918 t ^ (-0.300)	3.352	180

* t بر حسب دقیقه است.

* سرعت نفوذ پایه در کلاس متوسط طبقه بندی می شود.



شکل ۶. نتایج برآورد سرعت نفوذ در منطقه شاهد (فاقد رسوب) بند خاکی شماره ۵

Fig 6. Results of infiltration rate estimation in the control area (without sediment) of earthen dam No. 5

نتایج برآورد سرعت نفوذ آب در خاک در مخزن بند خاکی احداث شده در دهه هفتاد به شرح زیر می باشد.

جدول ۱۰. نتایج آزمایش در منطقه رسوب گرفته بند خاکی احداث شده در دهه هفتاد

Table 10. Test results in the sedimented area of the earthen dam constructed in the 1970s

استوانه شماره ۱ Cylinder No. 1			استوانه شماره ۲ Cylinder No. 2			استوانه شماره ۳ Cylinder No. 3			میانگین Average		
زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)
0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
2	0.3	6.95	2	0.4	6.18	2	0.5	6.78	2	0.4	6.64
5	0.8	4.75	5	0.7	4.00	5	0.8	4.18	5	0.77	4.31
10	1.2	3.56	10	0.9	2.88	10	1.0	2.90	10	1.03	3.11
20	1.6	2.67	20	1.2	2.07	20	1.3	2.00	20	1.37	2.25
30	1.9	2.26	30	1.5	1.71	30	1.6	1.62	30	1.67	1.86
40	2.3	2.00	40	1.8	1.49	40	1.9	1.39	40	2.00	1.63
50	2.6	1.83	50	2.1	1.34	50	2.1	1.24	50	2.27	1.47
60	3.0	1.69	60	2.4	1.23	60	2.4	1.12	60	2.60	1.35
90	3.7	1.43	90	3.0	1.02	90	2.9	0.91	90	3.20	1.12
120	4.3	1.27	120	3.5	0.89	120	3.4	0.78	120	3.73	0.98
180	5.2	1.07	180	4.3	0.73	180	4.1	0.63	180	4.53	0.81
240	6.0	0.95	240	5.0	0.64	240	4.9	0.54	240	5.30	0.71

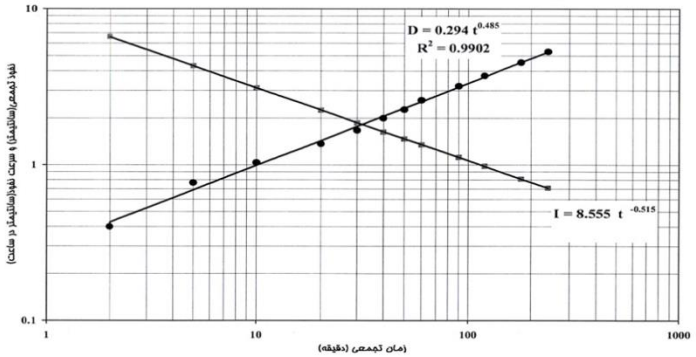
جدول ۱۱. خصوصیات منطقه رسوب گرفته بند خاکی احداث شده در دهه هفتاد

Table 11. Characteristics of the sedimented area of the earthen dam constructed in the 1970s

بافت خاک Soil Texture	رطوبت Moisture Content (%)	عمق رسوب کف مخزن Sediment Depth at Reservoir Bottom (cm)	معادله نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration Equation (cm)	معادله نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration Equation (cm/hr)	نفوذ نهایی (پایه) Final (Basic) Infiltration Rate (cm/hr)	زمان رسیدن به نفوذ نهایی Time to Reach Final Infiltration (min)
Sandy Loam	5.06	10 to 15	D = 0.294 t ^ (0.485)	I = 8.555 t ^ (-0.515)	0.447	309

* t بر حسب دقیقه است.

* سرعت نفوذ پایه در کلاس متوسط طبقه بندی می شود.



شکل ۷. نتایج برآورد سرعت نفوذ در منطقه رسوب گرفته بند خاکی احداث شده در دهه هفتاد

Fig 7. Results of infiltration velocity estimation in the sedimented area of the earthen dam constructed in the 1970s

جدول ۱۲. نتایج آزمایش در منطقه شاهد (فاقد رسوب) بند خاکی احداث شده در دهه هفتاد

Table 12. Test results in the control area (without sediment) of the earthen dam constructed in the 1970s

استوانه شماره ۱ Cylinder No. 1			استوانه شماره ۲ Cylinder No. 2			استوانه شماره ۳ Cylinder No. 3			میانگین Average		
زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)	نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration (cm)	نفوذ لحظه‌ای Instantaneous Infiltration (cm)	زمان تجمعی Cumulative Time (min)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.8	13.87	2	1.0	18.49	2	1.2	17.70	2	1.0	16.69
5	1.1	10.42	5	2.1	12.85	5	1.6	12.32	5	1.6	11.86
10	1.9	8.39	10	2.5	9.76	10	2.2	9.37	10	2.2	9.17
20	3.2	6.76	20	3.6	7.41	20	3.6	7.13	20	3.47	7.10
30	4.2	5.96	30	5.2	6.31	30	4.8	6.07	30	4.73	6.11
40	5.1	5.45	40	6.2	5.63	40	5.9	5.42	40	5.73	5.50
50	6.1	5.08	50	7.1	5.15	50	6.7	4.96	50	6.63	5.06
60	7.2	4.80	60	8.1	4.79	60	7.9	4.62	60	7.73	4.74
90	9.5	4.23	90	10.1	4.08	90	9.9	3.93	90	9.83	4.08
120	11.4	3.87	120	12.0	3.64	120	11.9	3.51	120	11.77	3.67
180	15.0	3.41	180	15.5	3.10	180	15.3	2.99	180	15.27	3.17
240	18.6	3.11	240	19.1	2.76	240	18.8	2.67	240	18.83	2.85

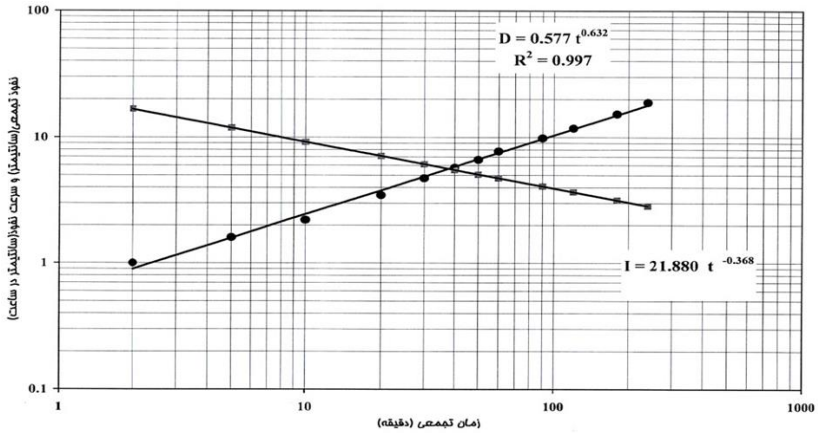
جدول ۱۳. خصوصیات منطقه رسوب گرفته بند خاکی احداث شده در دهه هفتاد

Table 13. Characteristics of the sedimented area of the earthen dam constructed in the 1970s

بافت خاک Soil Texture	رطوبت Moisture Content (%)	عمق رسوب کف مخزن Sediment Depth at Reservoir Bottom (cm)	معادله نفوذ تجمعی Cumulative Infiltration Equation (cm)	معادله نفوذ لحظه ای Instantaneous Infiltration Equation (cm/hr)	نفوذ نهایی (پایه) Final (Basic) Infiltration Rate (cm/hr)	زمان رسیدن به نفوذ نهایی Time to Reach Final Infiltration (min)
Loam	3.62	No Sediment	D = 0.577 t^ (0.632)	I = 21.880 t ^ (-0.368)	3.001	221

* t بر حسب دقیقه است.

* سرعت نفوذ پایه در کلاس متوسط طبقه بندی می شود.



شکل ۸. نتایج برآورد سرعت نفوذ در منطقه شاهد (فاقد رسوب) بند خاکی احداث شده در دهه هفتاد

Fig 8. Results of infiltration velocity estimation in the control area (without sediment) of the earthen dam constructed in the 1970s

جدول ۱۴. تغییرات بافت خاک در مناطق رسوب گرفته و شاهد در مخازن بندهای خاکی

Table 14. Soil texture changes in sedimented and control areas in earthen dam reservoirs

شماره بند خاکی Earthen Dam ID	منطقه اندازه گیری سرعت نفوذ آب Infiltration Test Area Condition	بافت خاک Soil Texture (USDA)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Dam No. 4	با رسوب With Sediment	Silty Loam (SiL)	11	68	21
-	فاقد رسوب Without Sediment	Sandy Loam (SL)	64	23	13
Dam No. 5	بارسوب With Sediment	Sandy Loam (SL)	72	13	15
-	فاقد رسوب Without Sediment	Loam (L)	49	39	12
Constructed in the 1370s	با رسوب With Sediment	Silty Loam (SiL)	10	67	23
	فاقد رسوب Without Sediment	L	41	43	16

جدول ۱۵. نتایج اندازه گیری سرعت نفوذ آب در خاک در مخازن بندهای خاکی

Table 15. Results of measuring the rate of water infiltration into soil in earthen dam reservoirs

شماره بند خاکی Earthen Dam ID	منطقه اندازه گیری سرعت نفوذ آب Infiltration Test Area Condition	عمق رسوبات Sediment Depth (cm)	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (cm/hr)	زمان رسیدن به نفوذ نهایی Time to Reach Final Infiltration (min)
Dam No. 4	With Sediment	35	0.808	263
-	Without Sediment	-	5.186	173
Dam No. 5	With Sediment	>90	0.432	330
-	Without Sediment	-	3.352	180
Constructed in the 1370s	With Sediment	10 to 15	0.447	309

همانگونه که در جدول فوق مشخص است سرعت نفوذ آب در خاک در مناطق رسوب گرفته از مناطق شاهد که فاقد رسوب هستند بسیار کمتر می باشد.

برآورد میزان نفوذ و تبخیر در مخازن بندهای خاکی:

با استفاده از نقشه برداری مخازن بندها می توان سطح آب در هر تراز از مخزن را محاسبه نمود.

برای محاسبه تبخیر و نفوذ در دوره زمانی از احداث بند تاکنون، ابتدا می بایست سطح تبخیر و نفوذ مشخص گـردد. لازم بـه ذکر است که آبگیری بندها تا تراز نرمال (تراز سرریز) در نظر گرفته شده و برای محاسبه دقیقتر میزان احجام نفـوذ و تبخیـر، بجای بازه ماهانه از بازه های ۱۰ روزه استفاده شده است.

سطح تبخیر: سطح آزاد آب پشت بند (سطح بالا) بعنوان سطح تبخیر در نظر گرفته شده است و هر ۱۰ روز حجم تبخیر (بـه متر مکعب) از ضرب میزان تبخیر (از سطح آزاد آب به متر) در سطح آب (به مترمربع) محاسبه می گردد. یک سوم تبخیـر در ماه مورد نظر بعنوان تبخیر در بازه ۱۰ روزه، لحاظ شده است.

سطح نفوذ: سطح نفوذ سطحی است که آب با خاک آبرفت در تماس است و نفوذ در این قسمت صورت می گیرد. نفـوذ در دامنه های شیبدار مخزن نیز انجام می شود که بدلیل وجود شیب و کم بودن سطح آن ناچیز بوده و در نظر گرفته نمـی شـود. ارتفاع نفوذ آب در خاک از ضرب سرعت نفوذ (به متر در ساعت) در زمان مورد نظر (۱۰ روز) برآورد شده و حجم نفوذ آب (به متر مکعب) از ضرب ارتفاع نفوذ آب در خاک (به متر) در سطح نفوذ (به مترمربع) محاسبه می گردد.

از اردیبهشت ماه به بعد هر ۱۰ روز، حجم تبخیر و نفوذ را محاسبه کرده و با پایین رفتن آب در مخزن (بدلیل تبخیر از سـطح بالای آب و نفوذ از کف مخزن)، سطح تبخیر و نفوذ تغییر می کند. بدین ترتیب که پس از هـر ۱۰ روز مشـخص مـی گـردد، ارتفاع آب در اثر مجموع نفوذ و تبخیر چقدر کاهش داشته است. لذا سطح تبخیر و نفوذ در ۱۰ روز بعدی پس از کـم کـردن این کاهش ارتفاع محاسبه می گردد. مثلا اگر پس از ۱۰ روز در اثر نفوذ و تبخیر، تراز آب ۲ متر پایین بیاید، سـطح تبخیـر در ۱۰ روز بعدی، سطحی است که ۲ متر از سطح قبلی پایین تر باشد و سطح نفوذ نیز سطحی خواهد بود که آبرفت در این تراز در بر می گیرد. این عملیات را تا زمانی ادامه می دهیم که تراز آب در مخزن به صفر برسد. نتایج برآورد احجام تبخیر و نفـوذ در بندهای خاکی منطقه مطالعاتی در جدول زیر ارائه می گردد.

جدول ۱۶. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند شماره ۱

Table 16. Estimated evaporation and infiltration volumes at Section 1

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m²)	سطح تبخیر Evaporation Area (m²)	حجم نفوذ Seepage Volume (m³)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m³)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m³)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days	0.808	1.94	0.093	2,468	5,227	4,786	484	5,270	90.8	9.2
Second 10 Days	0.808	1.94	0.093	2,012	2,964	3,902	275	4,177	93.4	6.6
Third 10 Days	0.808	1.94	0.093	310	310	601	29	630	95.4	4.6
Total						-	-	-	4,790	8,501

در بند شماره ۱، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، ۲ متر کاهش می یابد و یک ماه طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.

جدول ۱۷. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند شماره ۲

Table 17. Estimated evaporation and infiltration volumes in Section No. 2

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m²)	سطح تبخیر Evaporation Area (m²)	حجم نفوذ Seepage Volume (m³)	حجم Evaporation Volume (m³)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m³)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days of Ordibehesht	0.808	1.94	0.808	10,758	14,978	20,862	1,313	22,175	94.1	5.9
Second 10 Days of Ordibehesht	0.808	1.94	0.808	5,699	7,525	11,052	660	11,711	94.4	5.6
Third 10 Days of Ordibehesht	0.808	1.94	0.808	3,942	4,099	7,644	359	8,004	95.5	4.5
First 10 Days of Khordad	0.808	1.94	0.157	2,075	2,075	4,024	326	4,350	92.5	7.5
Total						-	-	-	22,474	28,677

در بند شماره ۲، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، ۲ متر کاهش می یابد و ۴۰ روز طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.

جدول ۱۸. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند شماره ۳

Table 18. Estimated evaporation and infiltration volumes in Section No. 3

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m^2)	سطح تبخیر Evaporation Area (m^2)	حجم نفوذ Seepage Volume (m^3)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m^3)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m^3)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days	0.808	1.94	0.092	7,929	10,078	15,376	931	16,303	94.3	5.7
Second 10 Days	0.808	1.94	0.092	6,234	6,602	12,089	610	12,699	95.2	4.8
Third 10 Days	0.808	1.94	0.092	717	717	1,390	66	1,457	95.5	4.5
Total						-	-	-	14,880	17,397

در بند شماره ۳، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، ۲ متر کاهش می یابد و یک ماه طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.

جدول ۱۹. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند شماره ۴

Table 19. Estimated evaporation and infiltration volumes in Section No. 4

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m^2)	سطح تبخیر Evaporation Area (m^2)	حجم نفوذ Seepage Volume (m^3)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m^3)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m^3)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days of Ordibehesht	0.808	1.94	0.082	7,768	8,473	15,064	698	15,762	95.6	4.4
Second 10 Days of Ordibehesht	0.808	1.94	0.082	478	478	927	39	966	96.0	4.0
Total	15,991	737	16,728	95.6	4.4					

در بند شماره ۴، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، ۲ متر کاهش می یابد و ۲۰ روز طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.

جدول ۲۰. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند شماره ۵

Table 20. Estimated evaporation and infiltration volumes in Section No. 5

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m²)	سطح تبخیر Evaporation Area (m²)	حجم نفوذ Seepage Volume (m³)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m³)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m³)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days of Ordibehesht	0.432	1.04	0.085	19,543	32,258	20,262	2,731	22,993	88.1	11.9
Second 10 Days of Ordibehesht	0.432	1.04	0.085	16,821	25,338	17,440	2,145	19,585	89.0	11.0
Third 10 Days of Ordibehesht	0.432	1.04	0.085	14,534	19,098	15,069	1,617	16,686	90.3	9.7
First 10 Days of Khordad	0.432	1.04	0.153	10,587	11,798	10,977	1,801	12,778	85.9	14.1
Second 10 Days of Khordad	0.432	1.04	0.153	3,096	3,096	3,210	473	3,683	87.2	12.8
Total	-	-	-	64,581	91,588	66,958	8,767	75,725	88.4	11.6

در بند شماره ۵، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، یک متر کاهش می یابد و ۵۰ روز طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.

جدول ۲۱. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند شماره ۶

Table 21. Estimated evaporation and infiltration volumes in Section No. 6

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m²)	سطح تبخیر Evaporation Area (m²)	حجم نفوذ Seepage Volume (m³)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m³)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m³)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days of Ordibehesht	0.432	1.04	0.091	4,037	4,037	4,186	367	4,553	91.9	8.1
Second 10 Days of Ordibeh	0.432	1.04	0.091	690	690	715	63	778	91.9	8.1
Total	-	-	-	4,727	4,727	4,901	430	5,331	91.9	8.1

در بند شماره ۶، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، یک متر کاهش می یابد و ۲۰ روز طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.

جدول ۲۲. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند شماره ۷

Table 22. Estimated evaporation and infiltration volumes at Section 7

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m²)	سطح تبخیر Evaporation Area (m²)	حجم نفوذ Seepage Volume (m³)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m³)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m³)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days of Ordibeh esht	0.432	1.04	0.077	6,212	8,314	6,441	637	7,078	91.0	9.0
Second 10 Days of Ordibeh esht	0.432	1.04	0.077	2,480	3,838	2,571	294	2,865	89.7	10.3
Third 10 Days of Ordibeh esht	0.432	1.04	0.077	573	573	594	44	638	93.1	6.9
Total	-	-	-	9,265	12,725	9,606	976	10,582	90.8	9.2

در بند شماره ۷، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، یک متر کاهش می یابد و یک ماه طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.

جدول ۲۳. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند شماره ۸

Table 23. Estimated evaporation and infiltration volumes at Section 8

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m²)	سطح تبخیر Evaporation Area (m²)	حجم نفوذ Seepage Volume (m³)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m³)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m³)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days of Ordibehesht	0.432	1.04	0.092	11,803	13,290	12,237	1,218	13,455	90.9	9.1
Second 10 Days of Ordibehesht	0.432	1.04	0.092	5,849	5,673	6,064	520	6,584	92.1	7.9

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m²)	سطح تبخیر Evaporation Area (m²)	حجم نفوذ Seepage Volume (m³)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m³)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m³)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
Third 10 Days of Ordibehesht	0.432	1.04	0.092	1,104	1,104	1,145	101	1,246	91.9	8.1
Total	-	-	-	18,756	20,067	19,446	1,839	21,285	91.4	8.6

در بند شماره ۸، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، یک متر کاهش می یابد و یک ماه طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.

جدول ۲۴. برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بند احداث شده در دهه هفتاد

Table 24. Estimated evaporation and infiltration volumes at the dam built in the 1970s

بازه زمانی Time Period	سرعت نفوذ Final Infiltration Rate (m/day)	ارتفاع نفوذ Infiltrated Water Depth (m)	ارتفاع تبخیر Evaporated Water Depth (m)	سطح نفوذ Seepage Area (m²)	سطح تبخیر Evaporation Area (m²)	حجم نفوذ Seepage Volume (m³)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m³)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Loss Volume (m³)	درصد نفوذ Seepage Percentage (%)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)
First 10 Days of Ordibehesht	0.447	1.07	0.079	60,616	109,573	65,029	8,693	73,722	88.2	11.8
Second 10 Days of Ordibehesht	0.447	1.07	0.79	44,999	69,055	48,275	5,478	53,753	89.8	10.2
Third 10 Days of Ordibehesht	0.447	1.07	0.79	32,074	47,704	34,409	3,785	38,194	90.1	9.9
First 10 Days of Khordad	0.447	1.07	0.144	24,982	34,294	26,801	4,938	31,739	84.4	15.6
Second 10 Days of Khordad	0.447	1.07	0.144	19,991	26,614	21,446	3,832	25,278	84.8	15.2
Third 10 Days of Khordad	0.447	1.07	0.144	15,446	19,006	16,570	2,737	19,307	85.8	14.2
First 10 Days of Tir	0.447	1.07	0.197	11,322	13,109	12,146	2,582	14,728	82.5	17.5
Second 10 Days of Tir	0.447	1.07	0.197	4,362	4,362	4,680	859	5,539	84.5	15.5
Total	-	-	-	213,792	318,717	229,356	32,905	262,261	87.5	12.5

در بند احداث شده در دهه هفتاد ، پس از هر ۱۰ روز ارتفاع آب در مخزن، یک متر کاهش می یابد و حدود ۸۰ طول می کشد تا آب بند تخلیه شود.نتایج برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بندهای خاکی منطقه مطالعاتی بطور سالانه در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲۵. نتایج برآورد احجام تبخیر و نفوذ در بندهای خاکی منطقه مطالعاتی در هر سال

Table 25. Results of estimating evaporation and infiltration volumes in earthen dams in the study area in each year

شماره سازه Structure ID	کاهش ارتفاع آب در هر ۱۰ روز Water Level Drop per 10 Days (m)	مدت زمان لازم برای تخلیه آب بند Required Drawdown Time	حجم نفوذ Seepage Volume (m^3)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m^3)	مجموع احجام تبخیر و نفوذ Total Losses (m^3)	درصد نفوذ Seepage %	درصد تبخیر Evaporation %
1	2	1 Month	9,289	788	10,077	92.2%	7.8%
2	2	40 Days	43,582	2,659	46,241	94.2%	5.8%
3	2	1 Month	28,855	1,606	30,461	94.7%	5.3%
4	2	20 Days	15,991	737	16,728	95.6%	4.4%
5	1	50 Days	66,958	8,767	75,725	88.4%	11.6%
6	1	20 Days	4,901	430	5,331	91.9%	8.1%
7	1	1 Month	9,606	976	10,582	90.8%	9.2%
8	1	1 Month	19,447	1,839	21,286	91.4%	8.6%
Constructed in the 1370s	1	80 Days	229,356	32,905	262,261	87.5%	12.5%
TOTAL / AVERAGE			-	-	427,984	50,707	478,691

با توجه به میزان حجم سیلاب کنترل شده توسط هر بند که در بخش مربوطه ذکر گردید، درصد تبخیر و نفوذ (در دوره زمانی از اجرای بند تاکنون) محاسبه شده که در جدول زیر ارائه می گردد. لازم به ذکر است بدلیل احداث بندهای شماره ۶، ۷ و ۸ در نیمه دوم سال ۱۳۹۸ و اینکه آمار روزانه بارش ایستگاه تا انتهای سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ در دسترس است، از برآورد حجم سیلاب کنترل شده توسط این بندها صرف نظر شده است.

جدول ۲۶. میزان نفوذ و تبخیر (در دوره زمانی از اجرای بند تا انتهای سال آبی ۹۸-۱۳۹۷)

Table 26. Infiltration and evaporation rates (during the period from the implementation of the clause to the end of the water year 1397–1398).

شماره سازه Structure ID	تعداد سال گذشته از زمان اجرا Years Since Construction	تعداد دفعات آبگیری Number of Fill Events	حجم سیلاب کنترل شده Controlled Flood Volume (m^3)	درصد تبخیر Evaporation Percentage (%)	درصد نفوذ Infiltration Percentage (%)	حجم تبخیر Evaporation Volume (m^3)	حجم نفوذ Infiltration Volume (m^3)
1	8	three times a year	26335	8/7	2/92	2054	24280
2	10	three times a year	253015	7/5	3/94	14422	238593
3	10	three times a year	239224	3/5	7/94	12679	226545
4	9	three times a year	152538	4/4	6/95	6712	145827
5	9	three times a year	847268	6/11	4/88	98283	798485
احداث شده در دهه هفتاد	28	three times a year	9447385	5/12	5/87	765238	8682147
Total						899388	10066377

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به‌روشنی نشان می‌دهد که اجرای سازه‌های مکانیکی نظیر بندهای خاکی و گابیونی در حوزه آبخیز کاریزک تأثیر چشم‌گیری بر بهبود فرآیند نفوذ، کاهش رواناب سطحی و بهینه‌سازی توزیع منابع آب در مقیاس محلی داشته است. مطالعه حاضر که با مقایسه شش نقطه شامل مناطق دارای سد خاکی، سد گابیونی و منطقه شاهد انجام شده، شواهدی تجربی برای تأیید نقش این سازه‌ها در چرخه هیدرولوژیکی منطقه ارائه می‌دهد.

نخستین یافته کلیدی پژوهش، اختلاف معنی‌دار بین نرخ نفوذ اولیه و پایدار در مناطق با و بدون سازه است. در مناطقی که بندهای خاکی احداث شده‌اند، نرخ نفوذ اولیه تا ۱/۷۵ سانتی‌متر در دقیقه اندازه‌گیری شد، در حالی‌که در منطقه شاهد این مقدار تنها ۰/۴۴ سانتی‌متر بود. این تفاوت، اهمیت اقدامات مکانیکی در افزایش فرصت نفوذ و کاهش تلفات رواناب را برجسته می‌سازد (Mozzi et al., 2021; Noble, 1963).

بررسی نمونه‌های مختلف نشان داد که در پشت سازه‌ها، به‌ویژه در مناطقی که با رسوبات پر شده بودند، نرخ نفوذ به‌طور معناداری کاهش یافته است. این پدیده در هماهنگی با یافته‌های Moazeni-Noghandar و همکاران (2021) و Nikbakht و همکاران (2022) قرار دارد که تأکید کرده‌اند تجمع رسوبات در پشت بندها موجب انسداد خلل‌وفرج خاک شده و مانع نفوذ مؤثر آب به لایه‌های عمقی‌تر می‌شود.

در مقایسه بین نوع سازه‌ها، مشاهده شد که سدهای خاکی نسبت به سدهای گابیونی کارایی بیشتری در افزایش نفوذ دارند. این موضوع احتمالاً به ترکیب خاک، ضخامت لایه نفوذپذیر و ظرفیت نگهداشت رطوبت مربوط است. در سدهای خاکی، بافت خاک غالباً سبک‌تر (شنی‌لومی) است که امکان ورود سریع‌تر و عمیق‌تر آب را فراهم می‌کند (Nimmo & Shillito, 2023). در مقابل، در سازه‌های گابیونی، لایه زیرین معمولاً متراکم‌تر و رسوب‌گرفته‌تر است، که باعث کاهش چشمگیر نرخ نفوذ شده است.

از نظر مدل‌سازی نفوذ، مدل فیلیپ به‌عنوان بهترین مدل در تطابق با داده‌های مشاهده‌شده معرفی شد. این مدل، که جنبه‌های نفوذ عمقی و سطحی را همزمان لحاظ می‌کند، با داده‌های مناطق دارای سازه، به‌ویژه در نقاطی که خاک ساختار نسبتاً بهتری داشت، همخوانی بیشتری داشت. در منطقه شاهد، مدل کاستیاکوف به‌دلیل سادگی ساختار خاک و یکنواختی شرایط رطوبتی، بهتر عمل کرد (Moazeni-Noghandar et al., 2021; Sharma, 1983).

همچنین نسبت بین تبخیر و نفوذ در این مطالعه به‌خوبی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مناطقی که بدون سازه بودند، سهم تبخیر از ذخیره آب بیشتر از نفوذ بود. اما در نقاطی که بند خاکی وجود داشت، بیش از ۸۵ درصد آب در هفته اول پس از بارندگی در خاک نفوذ کرد و بخش کمی تبخیر شد. این یافته با مطالعات Nikbakht و همکاران (2022) و Roshani (2003) هم‌راستا است و نشان‌دهنده عملکرد مثبت سازه‌های خاکی در افزایش بهره‌وری آبی در بازه‌های زمانی کوتاه پس از بارندگی است.

بررسی بافت خاک نشان داد که نوع خاک در منطقه عمدتاً شنی‌لومی است و این بافت به‌طور بالقوه ظرفیت نفوذ متوسط تا خوبی دارد. با این حال، در برخی مناطق که لایه‌های ضخیمی از سیلت و مواد رسوبی تجمع یافته بودند، نفوذ به‌شدت کاهش یافت. این مسئله در نمونه‌هایی که رسوبات قدیمی‌تری داشتند، مشهودتر بود و نشان می‌دهد که نگهداری و لای‌روبی منظم پشت بندها از اهمیت بالایی برخوردار است (Alizade, 2006; Weaver, 1975).

نکته بسیار مهم دیگری که در این مطالعه مشخص شد، پتانسیل عملکرد منفی سازه‌ها در صورت عدم جانمایی صحیح یا پایش ناکافی است. همان‌طور که Motagh & Akhani (2022) نیز در گزارش خود از شکست پی‌درپی سدهای کوچک امام‌زاده داوود تهران اشاره کرده‌اند، عدم محاسبه دقیق حجم رواناب بالادست و ضعف در طراحی می‌تواند نه‌تنها عملکرد مثبت سازه را خنثی کند، بلکه منجر به خسارات انسانی و اقتصادی شود.

در همین راستا، تأکید این پژوهش بر لزوم پایش و ارزیابی‌های دوره‌ای عملکرد سازه‌های آبخیزداری کاملاً توجیه‌پذیر است. اگرچه ساخت این سازه‌ها در کشور قدمتی چنددهه‌ای دارد، اما ارزیابی کمی و مبتنی بر داده‌های میدانی در بسیاری از مناطق هنوز مغفول مانده است (Wu et al., 2022). تحلیل دقیق نرخ نفوذ، نسبت تبخیر، و مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌تواند اطلاعاتی بسیار ارزشمند در اختیار مدیران منابع طبیعی قرار دهد تا در انتخاب محل، نوع، حجم و ابعاد سازه‌ها دقت بیشتری به خرج دهند.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- طراحی سازه‌های آبخیزداری باید با درنظر گرفتن مشخصات هیدرولوژیکی حوزه و خصوصیات بافت خاک صورت گیرد.
- پاک‌سازی و لای‌روبی دوره‌ای مخازن پشت بندها، به‌ویژه در مناطق با رسوب‌گذاری بالا، برای حفظ ظرفیت نفوذ ضروری است.
- استفاده از مدل‌های دقیق‌تر نظیر فیلیپ و هورتون برای شبیه‌سازی نفوذ در ارزیابی‌های عملکرد توصیه می‌شود.
- مطالعات مشابه باید در مقیاس‌های زمانی بلندمدت و در فصول مختلف تکرار شوند تا اثر عوامل اقلیمی بر عملکرد سازه‌ها بهتر درک شود.
- تلفیق داده‌های میدانی با ابزارهای سنجش از دور و GIS می‌تواند در تعیین مکان‌های بهینه برای احداث سازه‌های جدید کمک کند.

در جمع‌بندی، این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های میدانی دقیق، تحلیل آماری و مدل‌سازی، توانست اثربخشی واقعی بندهای خاکی و گابیونی را در بهبود عملکرد نفوذ در حوزه کاریزک ارزیابی کند. نتایج به‌دست‌آمده می‌توانند در بهینه‌سازی طرح‌های آبخیزداری کشور و کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها نقش مؤثری ایفا کنند.

۵- داده ها و اطلاعات

مطالعات میدانی کارشناسان که در طی بازدیدهای صحرایی و نمونه برداری و مشاهدات مستقیم در حوزه آبخیز صورت گرفته، همچنین از گزارشات پایه نیز استفاده شده است.

۶- تعارض منافع

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

۷- مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله به شرح زیر است:

مشارکت نویسنده اول و دوم و سوم در جمع آوری اطلاعات میدانی و تهیه گزارش نهایی مطالعات آبخیزداری بوده است.

مشارکت نویسنده اول در نگارش مقاله نیز بوده است.

مشارکت نویسنده چهارم در قالب بندی و آماده سازی برای ارسال مقاله است.

۸- اصول اخلاقی

نویسندگان، اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

۹- مراجع

1. Alhalimi, F. L., Elsayed, S., Gelete, G., Bhagat, S. K., Al-Areeq, N., Rana, B., & Tachi, S. E. (2024). Global Insights into Check Dam Utilization: Elevating Water Management, Erosion Mitigation, and Ecological Health. *AUIQ Technical Engineering Science*, *1*(1), 3.
2. Balist, J., Malekmohammadi, B., Jafari, H.R. *et al*. Detecting land use and climate impacts on water yield ecosystem service in arid and semi-arid areas. A study in Sirvan River Basin-Iran. *Appl Water Sci* 12, 4 (2022). https://doi.org/10.1007/s13201-021-01545-8
3. Brian, O. 2003. Soils, Infiltration, and On-site Testing. GeoEnvironmental Sciences and Environmental Engineering Department. Texas Council of Governments.
4. Doty, R.D.1971. Contour trenching effects on stream flow from a Utah watershed. USDA. Forest Service Res. Paper INT.98. Int. Forest and Range Exp .Sta
5. Moazeni-Noghondar, S., Golkarian, A., Azari, M., & Asgari Lajayer, B. (2021). Study on soil water retention and infiltration rate: a case study in eastern Iran. *Environmental Earth Sciences*, *80*(14), 474.
6. Mozzi G, Pavelic P, Alam MF, Stefan C and Villholth KG (2021) Hydrologic Assessment of Check Dam Performances in Semi-Arid Areas: A Case Study From Gujarat, India. *Front. Water* 3:628955. doi: 10.3389/frwa.2021.628955.
7. nikbakht, Z. , Emadi, A. and Mirnaseri, M. (2022). Laboratory and Numerical Investigation of the Effect of Gabion Check Dams on the Transient Storage Model (TSM) Parameters in Pollution Transport in Rivers. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *23*(87), 119-144. doi: 10.22092/idser.2022.359198.1515
8. Nimmo, J. R., & Shillito, R. (2023). Infiltration of Water Into Soil. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.768.
9. Noble, E.L. 1963. Sediment Reduction through watershed rehabilition. Interagency Sedimentation Conf. 29. P.U.S. Forest and Game.
10. Rajora, R. 1998. Integrated Watershed Management, AField Manual for Equitable, Productive and Sustainable Development. Rawat publication. New Delhi, India. 616 p.
11. Razzaghi, S., Khodaverdiloo, H., & Ghorbani Dashtaki, S. (2016). Effects of long-term wastewater irrigation on soil physical properties and performance of selected infiltration models in a semi-arid region. *Hydrological sciences journal*, *61*(10), 1778-1790.
12. Roshani, R. 2003 " Evaluation the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control measures (Case study in Iran), M.Sc Thesis in Watershed and Environmental Management. International Institute for Geo Information Science and Earth Observation Enschede, the Nederland. 43p.
13. Satterland, J.B. 1962. Soil Conservation Service– Engineering field manual for conservation practices.
14. Sharma, K.D., H.P. Singh and O. P. 1983. Rainwater infiltration rate response into a bare loamy sand. Hydrological Science Journal, 28: 417-427
15. Weaver, R.J. and R.A. Kuthy. 1975 " Filed evaluation of a recharge basin", New Yorkstate department of transportation, engineering research and development. Research report 26.
16. Wu, H., Cheng, S., Li, Z., Ke, G., & Liu, H. (2022). Study on Soil Water Infiltration Process and Model Applicability of Check Dams. *Water*, *14*(11), 1814. https://doi.org/10.3390/w14111814