

## Investigating the performance of check dams in granularity of sedimentation in a watershed affected by debris flow (Nanor, Baneh)

Hiwa Baiz Sharif<sup>1</sup>, Naser Khaleghpanah<sup>\*2</sup>, Masoud Davari<sup>3</sup>,  
Mohammad Rahimzadeh<sup>4</sup>

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: [hiwa.baizsharif@uok.ac.ir](mailto:hiwa.baizsharif@uok.ac.ir)
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: [n.khaleghpanah@uok.ac.ir](mailto:n.khaleghpanah@uok.ac.ir)
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: [m.davari@uok.ac.ir](mailto:m.davari@uok.ac.ir)
4. M.Sc. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: [mohammad.rahimzadeh@uok.ac.ir](mailto:mohammad.rahimzadeh@uok.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 02.14.2023  
Revised: 05.28.2023  
Accepted: 06.06.2023

**Keywords:**  
Coarse-grained sediments,  
Fine-grained sediments,  
Gabion check dam,  
Masonry check dam,  
Trapping

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Mass erosion is the movement of rock and soil down the slope, mainly due to gravity. One of the most significant mass movements is debris flow. These are actually fast moving landslides and are a very dangerous natural disaster in mountainous areas. To control erosion and prevent sediment movement downstream, there are various biological and engineering methods available. Debris flow is most commonly controlled by check dams. The main purpose of building these dams is to control and reduce the amount of sediment entering the rivers. The backs of most dams may be filled with coarse-grained sediments and in areas with debris flows, so it is imperative to monitor how well these structures maintain different sediments. In some parts of the Nanor Baneh watershed and in the adjacent basins, there has been debris flow that has caused damage to the forests downstream and also caused the filling of the waterways and reservoirs of check dams. Therefore, the purpose of this study was to investigate the sedimentation granularity of check dams built in various parts of the watershed.

**Materials and Methods:** Based on available sources, information, and maps of the basin, 58 points were identified, and their surface soil was sampled. To determine soil PSD, a hydrometry method using a 24-hour reading and sieve series was used. There are 88 gabions and masonry check dams evaluated in this research. Sediment samples were collected from each dam at two points and at two depths (a total of 57 sediment samples). After air-drying, the sediment samples were passed through a 2 mm sieve and the size distribution of particles smaller than 2 mm was determined using the hydrometric method (24-hour reading) and the same sieves as the soil samples. To determine the size distribution of particles larger than 2 mm, the sieve method (sieves with openings larger than 2 mm) was used. A comparison of the particle size distribution of soil samples upstream of the dams and the sediments behind the dams was conducted to investigate the effectiveness of these dams in trapping fine-grained and coarse-grained sediments. Finally, the gradation curves and  $D_{50}$  of the sediments behind the dams were examined.

---

**Results:** Based on the size distribution of particles smaller than 2 mm in the soil and sediment samples, the ratio of sand, silt, and clay in sediment samples (with mean values of 90.53, 5.45, and 4.02, respectively) varied significantly from those in the soil samples upstream of the dams. The results of  $D_{50}$  ratio (< 2 mm) of sediments to the soil sample upstream of check dams (average 25.92) revealed that most check dams were effective in trapping sand and larger particles, but they were less effective in keeping smaller particles in suspended sediments. Furthermore, the high  $D_{50}$  values for the total sediments (average 3.80) indicate that most sediments are coarse-grained. A number of check dams located in the path of the debris flow were also completely filled in one or two rainfall events, according to local evidence and field studies.

**Conclusion:** The results of sediment analysis behind check dams revealed that most of them were highly effective at keeping coarse-grained sediments and preventing their movement downstream. However, these dams have limited effect on trapping fine-grained sediments, and complementary methods for controlling and trapping them downstream of check dams may be needed. However, the role of these dams in reducing runoff intensity, reducing the peak flow of floods, protecting roads and residential areas downstream and many other effects cannot be ignored.

---

Cite this article: Baiz Sharif, Hiwa, Khaleghpanah, Naser, Davari, Masoud, Rahimzadeh, Mohammad. 2023. Investigating the performance of check dams in granularity of sedimentation in a watershed affected by debris flow (Nanor, Baneh). *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (1), 111-130.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21077.3621

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## بررسی عملکرد بندهای اصلاحی در دانه‌بندی رسوبات در حوضه متأثر از جریان واریزه (نور بانه)

هیوا بایز شریف<sup>۱</sup>، ناصر خالقی‌پناه<sup>۲\*</sup>، مسعود داوری<sup>۳</sup>، محمد رحیم‌زاده<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: [hiwa.baizsharif@uok.ac.ir](mailto:hiwa.baizsharif@uok.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: [n.khaleghpanah@uok.ac.ir](mailto:n.khaleghpanah@uok.ac.ir)
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: [m.davari@uok.ac.ir](mailto:m.davari@uok.ac.ir)
۴. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: [mohammad.rahimzadeh@uok.ac.ir](mailto:mohammad.rahimzadeh@uok.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> فرسایش توده‌ای حرکت سنگ و خاک به پایین شیب است که عمدتاً به دلیل نیروی ثقل است. یکی از مهم‌ترین حرکت‌های توده‌ای، جریان واریزه‌ای بوده، که در واقع لغزش‌های سریع در حال حرکت هستند و بلای طبیعی بسیار خطرناکی در مناطق کوهستانی است. روش‌های بیولوژیک و مهندسی مختلفی جهت کنترل فرسایش و جلوگیری از حرکت رسوبات به قسمت‌های پایین‌دست وجود دارد. بندهای اصلاحی متداول‌ترین روش مورداستفاده برای کنترل جریان واریزه می‌باشند. هدف اصلی از ساخت آن‌ها کنترل و کاهش میزان رسوبات ورودی به رودخانه‌ها است. در مناطقی که جریان واریزه‌ای وجود دارد، ممکن است پشت بندها از رسوبات درشت‌دانه و واریزه‌ای پر شود، از این رو ضرورت دارد عملکرد این سازه‌ها در نگهداشت رسوبات مختلف بررسی شود. در بخش‌هایی از حوضه نور بانه جریان واریزه‌ای وجود داشته که سبب خسارت به جنگل‌های پایین‌دست آن‌ها شده و هم‌چنین سبب پر شدن آبراهه‌ها و مخازن بندهای اصلاحی شده است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی عملکرد بندهای احداث شده در بخش‌هایی از حوضه از لحاظ دانه‌بندی رسوبات بود.
واژه‌های کلیدی: بند گابیونی، بند ملاتی، به‌دام انداختن، رسوبات درشت‌دانه، رسوبات ریزدانه	<b>مواد و روش‌ها:</b> با استفاده از منابع، اطلاعات و نقشه‌های موجود، ۵۸ نقطه از سطح حوضه مشخص و از خاک سطحی آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. برای تعیین توزیع اندازه ذرات خاک از روش هیدرومتری با قرائت ۲۴ ساعته و سری الک استفاده گردید. در این پژوهش، تعداد ۸۸ بند گابیونی و ملاتی مورد ارزیابی قرار گرفت. از هر بند در دو نقطه و از دو عمق،

نمونه رسوب تهیه گردید (در مجموع ۵۷ نمونه رسوب). نمونه‌های رسوب پس از هواخشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و توزیع اندازه ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر با استفاده از روش هیدرومتری (قرائت ۲۴ ساعته) و الک مشابه نمونه‌های خاک تعیین گردید. جهت تعیین توزیع اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر نیز از روش الک (الک‌هایی با قطرهای بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر) استفاده گردید. در نهایت منحنی‌های دانه‌بندی و هم‌چنین  $D_{50}$  رسوبات پشت مخازن بررسی و کارایی این بندها در به دام‌اندازی رسوبات ریزدانه و رسوبات واریزه‌ای و درشت‌دانه با مقایسه توزیع اندازه ذرات نمونه خاک‌های بالادست بندها و رسوبات پشت بندها بررسی گردید.

**یافته‌ها:** با توجه به توزیع اندازه ذرات زیر ۲ میلی‌متر نمونه‌های خاک و رسوب، نسبت شن، سیلت و رس در نمونه‌های رسوب بندهای اصلاحی (با مقادیر میانگین  $۹۰/۵۳$ ،  $۵/۴۵$  و  $۴/۰۲$ ، به ترتیب برای شن، سیلت و رس) با نسبت آن‌ها در نمونه خاک‌های بالادست بندها تفاوت نسبتاً فاحشی داشت. نتایج نسبت  $D_{50}$  (بخش زیر ۲ میلی‌متر) رسوبات به نمونه خاک بالادست بندهای اصلاحی (با میانگین  $۲۵/۹۲$ ) نیز نشان داد بیش‌تر بندهای اصلاحی در به دام‌انداختن ذرات شن و درشت‌تر از آن مؤثر بوده اما در نگهداری ذرات ریزتر کارایی کم‌تری داشته‌اند. بالا بودن مقادیر  $D_{50}$  کل رسوبات (با میانگین  $۳/۸۰$ ) نیز تأییدکننده این مطلب بوده و نشان می‌دهد قسمت اعظم رسوبات به دام‌افتاده، درشت‌دانه هستند. شواهد محلی و مطالعات عرصه‌ای نیز نشان داد تعدادی از بندهای اصلاحی قرارگرفته در مسیر جریان واریزه‌ای در یک یا دو رخداد بارشی به‌طور کامل پرشده بودند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج تجزیه و تحلیل رسوب نشان داد بیش‌تر بندهای اصلاحی در نگهداری رسوبات واریزه‌ای و درشت‌دانه بسیار مؤثر بوده و مانع حرکت آن‌ها به پایین‌دست شده‌اند. اما این بندها در به دام‌انداختن رسوبات دانه‌ریز تأثیر کمی داشته و به نظر می‌رسد به روش‌های مکملی برای کنترل و به دام‌انداختن رسوبات ریزدانه ناشی از جریان واریزه و جریان‌های بعدی، در پایین‌دست بندها نیاز باشد. هرچند نمی‌توان نقش این بندها در کاهش شدت جریان آب، کاهش دبی اوج سیلاب‌ها، حفاظت از جاده‌ها و مناطق مسکونی پایین‌دست و بسیاری اثرات دیگر را نادیده گرفت.

استناد: بایز شریف، هیوا، خالق‌پناه، ناصر، داوری، مسعود، رحیم‌زاده، محمد (۱۴۰۲). بررسی عملکرد بندهای اصلاحی در دانه‌بندی رسوبات در حوضه متأثر از جریان واریزه (نور بانه). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰ (۱)، ۱۱۱-۱۳۰.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21077.3621



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

فرسایش خاک یک مشکل زیست‌محیطی گسترده در سراسر جهان است (۱). فرسایش در اثر جدا شدن و انتقال خاک توسط بارندگی، رواناب، ذوب برف یا یخ و آبیاری ایجاد می‌شود. فرسایش آبی ممکن است در داخل رودخانه‌ها، نواحی بین رودخانه‌ها (مناطق بین رودخانه‌ها)، خندق‌ها، خندق‌های موقت، نهرها، مناطق جنگلی و محل‌های ساخت‌وساز رخ دهد. ویژگی‌های بارندگی، عوامل خاکی، توپوگرافی، اقلیم و کاربری اراضی از عناصر مهم مؤثر بر فرسایش خاک هستند (۲). تقسیم‌بندی عوامل ایجادکننده انواع مختلف فرسایش، کمی باهم متفاوت است. به‌عنوان مثال در برخی تقسیم‌بندی‌ها حرکت توده‌ای خاک جزء فرسایش آبی به حساب می‌آید، اما در تقسیم‌بندی دیگری عامل اصلی ایجادکننده آن نیروی ثقلی است (۳، ۴). فرسایش توده‌ای حرکت سنگ و خاک به پایین شیب است که عمدتاً به دلیل نیروی ثقل است. هدررفت توده‌ای خاک بخش مهمی از فرآیند فرسایش است، زیرا حجم زیادی از مواد را به یک‌باره از ارتفاعات بالاتر به مناطق پایین‌تر منتقل می‌کند. فرآیندهای هدررفت توده‌ای خاک به‌طور مداوم در بیش‌تر شیب‌ها رخ می‌دهد (۵). یکی از مهم‌ترین حرکت‌های توده‌ای، جریان واریزه‌ای بوده و در واقع لغزش‌های سریع در حال حرکت هستند که در محیط‌های مختلف در سراسر جهان رخ می‌دهند و بلای طبیعی بسیار خطرناکی در مناطق کوهستانی است. بارندگی در کنار نیروی ثقل یکی از عوامل محرک اصلی برای شروع رانش زمین، به‌ویژه جریان واریزه‌ای است (۶). جریان واریزه نوعی جریان ثقلی رسوبی است که مخلوط غلیظی از رسوب، مواد آلی و آب می‌تواند مانند یک مایع جریان داشته باشد. جریان واریزه‌ای مشاهده‌شده معمولاً به توده‌های جاری بتن مرطوب تشبیه شده است. به‌طورکلی، جریان واریزه

شامل جریان گل‌ولای (آوارهای حاوی بیش‌تر ماسه، سیلت و رس)، لاهار<sup>۱</sup> (جریان واریزه‌های آتش‌فشانی) و تیل فلو<sup>۲</sup> (جریان واریزه از یخ فعال یا راکد) است (۷). بارش‌های با شدت بالا و کوتاه‌مدت می‌توانند رواناب ناگهانی و فراوانی را ایجاد کنند که رسوبات را به همراه آورده و ممکن است جریان‌های واریزه‌ای را ایجاد کند (۸).

کنترل فرسایش برای کاهش تولید رسوب و رواناب و جلوگیری از رسیدن آب و رسوبات به زمین‌های کشاورزی انجام می‌شود. به دنبال بارندگی‌های شدید، مواد فرسایش یافته و آب در مسیر آبراهه به حرکت درمی‌آید و کم‌کم به حجم این مواد و سرعت آن افزوده می‌شود و در نتیجه قدرت فرساینده‌گی آن زیاد می‌شود. قدرت این مواد منتقله به‌همراه آب می‌تواند خسارات زیادی را به آبراهه‌ها وارد کند (۳). روش‌های بیولوژیک و مهندسی مختلفی جهت کنترل فرسایش و جلوگیری از حرکت رسوبات به قسمت‌های پایین‌دست وجود دارد. نوع سازه کنترل جریان واریزه، باید متناسب با ویژگی جریان واریزه کانالیزه شده، هدف از کنترل، مسائل مالی، منابع و تجهیزات موجود باشد. سازه‌های کنترلی جریان واریزه به‌صورت جداگانه و گاهی اوقات به‌صورت ترکیبی استفاده می‌شوند. به‌طورکلی سازه‌های کنترل جریان واریزه را می‌توان به دو نوع اصلی باز و بسته تقسیم کرد. سازه‌های کنترل باز در درجه اول برای محدود کردن جریان واریزه کانالیزه شده طراحی شده و سازه‌های کنترل بسته عمدتاً به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که جریان واریزه کانالیزه‌شده را در خود جای دهند. از سازه‌های باز کنترل جریان واریزه می‌توان به مناطق رسوب نامحدود، موانع جریان (بافل‌ها<sup>۳</sup>)، بندهای اصلاحی و

1- Lahar

2- Till flow

3- Impediments to flow (baffles)

پوشش گیاهی درختی در کنترل فرسایش خندقی آبراهه‌های پرشیب در جنوب چین را بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که ساخت مجموعه‌ای از بندهای اصلاحی در این آبراهه‌ها و ایجاد پوشش گیاهی در بالادست آن‌ها، سبب تثبیت بستر و مهار فرسایش در آبراهه گشته و رسوبات منتقل شده به پایین دست را کاهش می‌دهد (۱۱). شو و همکاران (۲۰۰۲) در یک بررسی بر روی یکی از زیرحوضه‌های رودخانه زرد چین، نتیجه گرفته‌اند که احداث بندهای اصلاحی در مجموعه‌ای از خندق‌ها، تا حدود ۷۰ درصد، رسوب خروجی از حوضه را کاهش داده است (۱۲). ویراکوون (۲۰۰۵) برای رسوب ورودی به حوضچه‌های رسوبگیر، مدلی بر اساس خصوصیات بارندگی و حوضه بالادست توسعه داد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که تمامی رسوبات درشت‌دانه تله‌اندازی می‌شوند، در حالی که بخش عمده رسوبات ریزدانه از روی سرریز تخلیه همراه با جریان عبوری خارج می‌شوند (۱۳). بویکس-فایوس و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر تغییر کاربری اراضی و بندهای اصلاحی در بار رسوب حوضه آبخیزی در جنوب شرقی اسپانیا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد تغییرات مناسب کاربری زمین، اقدامات کنترل رسوب پایدارتری در مقایسه با بندهای اصلاحی که عملیات کنترل رسوب مؤثر کوتاه‌مدتی هستند، می‌باشد. در مناطق با فرسایش‌پذیری بالا با مشکل استقرار پوشش گیاهی، احداث بند می‌تواند در کاهش رسوب‌دهی، مؤثر باشد و در مناطقی با شرایط مساعد برای استقرار پوشش گیاهی، تغییرات کاربری اراضی که منجر به افزایش پوشش گیاهی شود، اقدام پایداری برای کاهش تولید رسوب بوده و سدهای کنترلی را می‌توان به مناطق مهم منبع رسوب محدود کرد. به‌طور کلی یافته‌های آن‌ها نشان داد بندهای اصلاحی می‌توانند

دیوارهای جانبی اشاره نمود (۹). بندهای اصلاحی (Check dams) موانع کوچک و متوسطی هستند که از سنگ، کیسه‌های شن، رول‌های الیافی، یا سایر محصولات اختصاصی ساخته شده‌اند و در روی آبراهه، خندق یا کانال زهکشی قرار می‌گیرند. این بندها شیب مؤثر کانال را کاهش می‌دهند، در نتیجه با کاهش سرعت جریان و افزایش زمان ماند در کانال، آب‌شستگی و فرسایش کانال را کاهش داده و به رسوب اجازه ترسیب می‌دهند. هدف اصلی از ساخت بندهای اصلاحی، کنترل و کاهش میزان رسوبات ورودی به رودخانه‌هایی بوده که بعداً به مخازن سرازیر می‌شوند. آن‌ها هم‌چنین برای نجات جمعیت پایین دست، از سیل مفید هستند. بندها در سرتاسر جهان برای اهداف مختلفی از جمله کنترل سیلاب، افزایش تأمین آب، توسعه زمین‌های کشاورزی و احیای حوضه‌های آبخیز احداث شده‌اند. ارزیابی پس از اجرای عملیات مکانیکی و بیولوژیکی در هر حوضه امری ضروری است، چون می‌تواند درک دقیقی از اثرات اجرای آن‌ها در حوضه‌های مشابه از نظر عوامل زمینی و اقلیمی به مجریان طرح‌های آبخیزداری بدهد (۱۰). در مناطقی که جریان واریزه‌ای وجود دارد، با توجه به مشاهدات عرصه‌ای، پشت اغلب بندهای اصلاحی از رسوبات درشت‌دانه و واریزه‌ای پر می‌شود، رسوباتی که احتمال رسیدن آن‌ها به پشت سدهای مخزنی پایین دست کم می‌باشد، از این رو ضرورت دارد عملکرد این سازه‌ها در دانه‌بندی رسوبات بررسی شود. بررسی نوع و دانه‌بندی رسوبات و نحوه انتقال آن‌ها در آبراهه می‌تواند میزان اثربخشی آن‌ها را در کاهش رسوباتی که در نهایت به مخزن سدهای مخزنی پایین دست منتقل می‌شود، مشخص و رهنمودی برای انتخاب محل بندهای اصلاحی در طرح‌های مشابه باشد. سنگ و لیاو (۱۹۹۷) تأثیر احداث بندهای اصلاحی به همراه ایجاد

رسوب و توزیع اندازه ذرات<sup>۱</sup> (GSD) در بیست حوضه آبخیز کوچک در شمال غرب ایران که هر کدام رواناب و رسوبات خود را به یک بند اصلاحی سنگی هدایت می‌کنند اندازه‌گیری نمودند. همبستگی معنی‌داری بین باررسوب و شیب، پوشش گیاهی و عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) حوضه، مشاهده شد. فرسایش‌پذیری ذرات خاک با استفاده از مقایسه GSD بین رسوب و خاک اصلی تعیین شد و باتوجه به نتایج، رس فرسایش‌پذیرترین ذره بود که نسبت آن در رسوب ۲/۰۵ برابر بیش‌تر از خاک اولیه (خاک حوضه بالادست بندها) بود. هم‌چنین بندهای اصلاحی، اثربخشی بیش‌تری در به دام انداختن ذرات درشت (شن و ماسه) نشان دادند و تأثیر بندهای اصلاحی در به دام انداختن ذرات درشت با افزایش ظرفیت باقی‌مانده سدها افزایش یافت (۱۷). آلفونسو-تورنو و همکاران (۲۰۱۹)، دویست و شصت و نه بند را در منطقه‌ای به مساحت ۲۳۹ هکتار در جنوب غربی اسپانیا که رسوبات را طی یک دوره ۱۱ تا ۲۳ ساله انباشته کرده بودند مورد بررسی قرار دادند. هدف از این کار تخمین حجم رسوبات جمع‌شده در پشت بندهای اصلاحی و بررسی تغییرپذیری مکانی رسوبات انباشته شده و روابط آن با متغیرهای مختلف محیطی بود. نتایج نشان داد ۷۷ درصد از بندهای اصلاحی کم‌تر از ۱ مترمکعب از رسوب را به دام انداخته بودند. آن‌ها نشان دادند موقعیت توپوگرافی و اندازه دیوار بند نقش اساسی در توضیح تفاوت‌های تجمع رسوب کل و هم‌چنین نرخ رسوب دارد. هم‌چنین نرخ رسوب با سطح زهکشی، شاخص توان جریان، شاخص رطوبت توپوگرافی، طول کانال بالادست و تعداد بندهای بالادست همبستگی منفی داشت، در مقابل، نرخ رسوب با شیب کانال همبستگی مثبت داشت. بندهایی که در کف دره با دیواره‌های

اقدامات کنترل رسوب کارآمدی بوده، اما به دلیل پرشدن این بندها به‌وسیله رسوبات، اثرات کوتاه‌مدتی نسبت به تغییر مناسب کاربری اراضی دارند (۱۴). عباسی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر بندهای اصلاحی احداث شده در کنترل رسوبات ریزدانه پرداختند. تحلیل منحنی دانه‌بندی رسوبات نمونه‌برداری شده از مخزن بندهای مورد مطالعه نشان داد که بخش عمده رسوبات ته‌نشست‌شده در مخزن بندها، درشت‌دانه و در محدوده شن و قلوه‌سنگ می‌باشند. تحلیل هیدرولیکی جریان و آستانه حمل رسوبات در بازه پایین‌دست محل بندها نشان داد که در صورت عدم وجود این بندها، بخش عمده این رسوبات در بازه‌های پایین‌دست رودخانه که شیب رودخانه کم می‌شود، امکان ترسیب در بستر طبیعی رودخانه را دارد. در نتیجه هدف اصلی از احداث این بندها که نگهداشت رسوبات ریزدانه و جلوگیری از ورود آن‌ها به مخزن سد بوده، به دلیل این‌که مخزن بندها با رسوبات درشت دانه پر شده است، به‌طور کامل برآورده نشده است (۱۵).

ژائو و همکاران (۲۰۱۷) حوضه آبخیز هوانگ فوچوان در چین را که تغییر کاربری قابل توجهی در کاربری اراضی حوضه آبخیز مورد مطالعه از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ به صورت افزایش علفزار و کاهش اراضی بایر و زمین‌های زراعی صورت‌گرفته بود، مورد مطالعه قرار دادند. تا سال ۲۰۰۹، ۵۰۲ بند اصلاحی با ظرفیت ذخیره کل ۵۷۱ مگامترمکعب در منطقه مورد مطالعه احداث گردیده بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد ترکیب کاربری اراضی و ساخت بندهای اصلاحی (با همدیگر) در سال ۲۰۰۶ میزان رسوب را تقریباً ۸۰ درصد کاهش داده و بندهای اصلاحی اقدامات کنترل رسوب کارآمدی هستند (۱۶). واعظی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی بار

شد. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی در طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه و ۱۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه و ۰ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۷ ثانیه شمالی بوده که در فاصله ۲۱ کیلومتری شهرستان مرزی بانه قرار داشته و مساحت تقریبی حوضه برابر با ۹۴۶۵ هکتار است. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۷۷۵ متر و حداقل ارتفاع در خروجی حوضه برابر ۱۴۷۸ متر از سطح دریا است. حوضه مذکور با بارندگی بیش از ۵۵۰ میلی‌متر در سال پتانسیل اجرای بسیاری از کارهای بیولوژیکی و بیومکانیکی را دارد (۲۰). با توجه به شرایط اقلیمی منطقه (سرد و مرطوب براساس شاخص خشکی دومارتن) و عمق کم خاک‌ها، اجرای برنامه‌های مدیریتی و به‌خصوص قرق از اهمیت خاصی برخوردار است. در پروژه‌های بیولوژیکی منطقه، فعالیت‌هایی مثل بذرپاشی، بذرکاری و حفاظت و قرق توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان صورت گرفته است (۲۰). در مناطق جنگلی و کشاورزی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت ولی در مناطق مرتعی چون عمق خاک کم بود نمونه‌برداری تا عمق ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. تمام نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال یافته و به مدت یک هفته هوا خشک گردید. نمونه‌ها بعد از هوا خشک شدن به آرامی خرد شده و تمامی خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند.

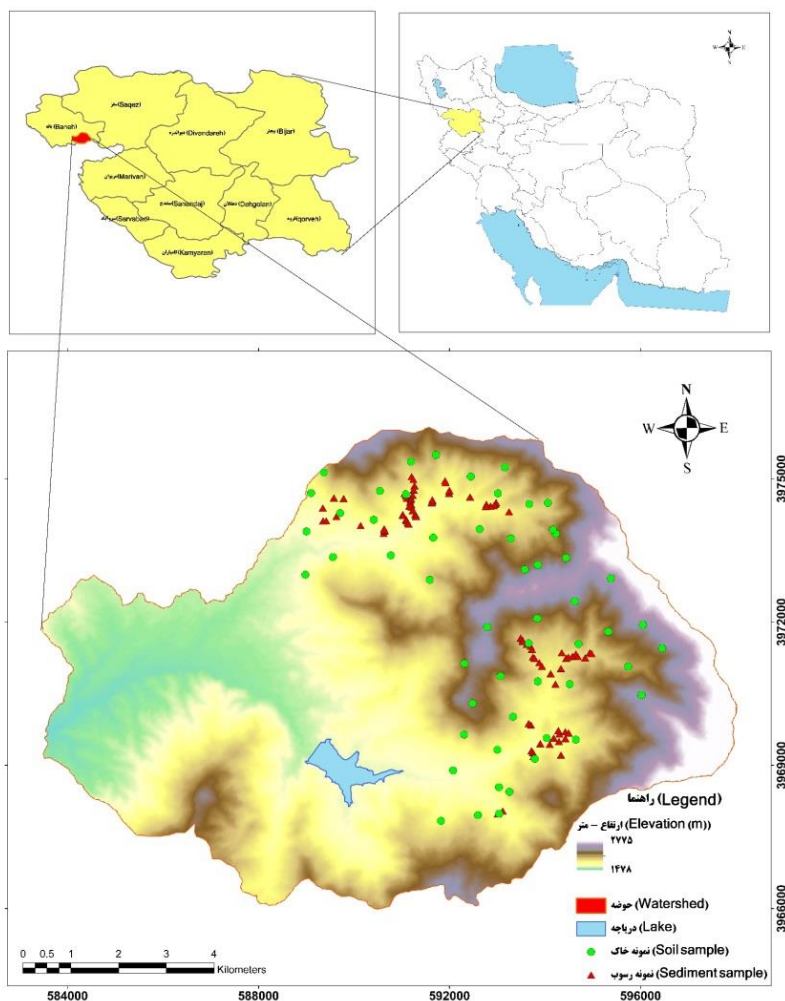
بلندتر قرار داشتند رسوب بیش‌تری را به‌دام‌انداخته، اما بندهای با دیواره‌های کوتاه‌تر واقع در دامنه‌ها، ناکارآمد بودند (۱۸). یوان و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر بندهای اصلاحی را بر روی سیل و فرآیندهای دینامیکی فرسایش در حوضه کوچکی در چین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که بندهای اصلاحی به وضوح، پیک سیلاب و حجم سیلاب را به ترتیب ۶۵/۳۴ درصد و ۵۸/۶۷ درصد کاهش داده است (۱۹).

در بخش‌هایی از حوضه نونور بانه (و هم‌چنین حوضه‌های مجاور) جریان واریزه‌ای وجود داشته که سبب خسارت به جنگل‌های پایین‌دست آن‌ها شده و هم‌چنین سبب پرشدن آبراهه‌ها و مخازن بندهای اصلاحی احداث‌شده گردیده، حتی در بعضی موارد بندهای اصلاحی یک‌سال پس از احداث، به‌صورت کامل توسط این جریان‌ات واریزه‌ای پر شده‌اند (۲۰). از طرفی، در بالادست بندهای مذکور علاوه بر فرسایش واریزه‌ای، فرسایش‌های آبراهه‌ای، ورقه‌ای، بین شیاری و شیاری نیز وجود دارد که سبب انتقال رسوب مازاد بر جریان واریزه به مناطق پایین‌دست می‌شود. بنابراین، هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد بندهای اصلاحی احداث‌شده در بخش‌هایی از حوضه از لحاظ دانه‌بندی رسوبات واریزه‌ای و رسوب حاصل از سایر جریان‌های سطحی بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در حوضه اصلی زاب کوچک و حوضه آبخیز نونور در جنوب شرقی و در فاصله ۱۳ کیلومتری شهرستان بانه در استان کردستان انجام





شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، نقاط نمونه‌برداری از خاک‌ها و بندهای اصلاحی.

Figure 1. Geographical location of the study area, soil sampling points and check dams.

هستند و بخشی نیز در داخل بخش‌های جنگلی با پوشش متوسط تا خیلی کم رخ می‌دهد) که در طول سالیان متمادی سبب پر شدن آبراهه‌ها، تغییر پروفیل طولی آبراهه‌ها، پر شدن تعداد زیادی از بندهای اصلاحی احداث‌شده در آبراهه‌های این حوضه و خسارت عمده به زمین‌های کشاورزی در پایین‌دست این مناطق گردیده است. البته سرعت حرکت جریان واریزه‌ای در طی رخداد‌های مختلف نسبتاً کند است (شکل ۲).

شکل ۱ موقعیت حوضه را در کشور و استان به تصویر کشیده است. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از گزارش‌های اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان در ارتباط با حوضه نور بانه، عکس‌های هوایی منطقه، مشاهدات عرصه‌ای و استفاده از اطلاعات ساکنین روستاهای حوضه، در بخش‌هایی از حوضه جریان واریزه‌ای در طول سال وجود داشته (بیش‌تر این جریان‌ات در قسمت‌های بالاتر از مناطق جنگلی رخ می‌دهد که عمدتاً مرتع



شکل ۲- تصاویری از واریزه، منشا و مسیرهای عبور جریان واریزه‌ای.

Figure 2. Pictures of debris, origin and passage routes of debris flow.

۸ و ۲۴ ساعت انجام شد. پس از قرائت ۲۴ ساعت هیدرومتر، محتوای هر سیلندر از یک الک ۵۳ میکرونی عبور داده شد، محتویات الک پس از شستشوی کامل به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شد، پس از خشک شدن، ذرات شن از الک‌های با قطرهای مختلف (۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۰۶، ۰/۰۷۵، ۰/۰۵۳ میلی‌متر) با استفاده از تکان‌دهنده الک خشک جدا گردیدند. سرانجام با استفاده از این قرائت‌ها و با کمک فرمول‌های مربوطه توزیع اندازه ذرات هم‌چنین درصد شن، شن خیلی ریز، سیلت و رس مشخص شد (به کمک نرم‌افزارهای Excell و Curve expert) و در نهایت بافت خاک با استفاده از مثلث بافت خاک تعیین شد (۲۱). اندازه‌گیری کربن آلی خاک (OC) به روش والکلی - بلاک یا اکسایش تر انجام گرفت و کربنات کلسیم معادل (CCE) خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسیدکلریدریک اندازه‌گیری شد (۲۲).

با استفاده از منابع، اطلاعات و نقشه‌های موجود یا تهیه‌شده از حوضه از جمله عکس‌های هوایی رنگی حوضه، نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده با تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات عرصه‌ای (جنگل، مرتع، دیم و آبی)، شیب، جهت شیب، واحدهای هیدرولوژیک خاک و زمین‌شناسی (آهک دولومیتی، اسلیت، فیلیت و شیل) (۲۰)، واحدهای همگن در حوضه مشخص‌شده و در واحدهایی که بندهای اصلاحی قرار گرفته بودند به‌صورت تصادفی نقاطی جهت نمونه‌برداری خاک مشخص گردید. نقاط مشخص‌شده به کمک دستگاه GPS در منطقه، مشخص‌شده (شکل ۱) و نمونه‌برداری صورت گرفت (۵۸ نمونه خاک سطحی).

تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: برای تعیین بافت خاک و توزیع اندازه ذرات از روش هیدرومتری استفاده گردید. بدین‌منظور قرائت غلظت و دما در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ ثانیه، ۳، ۱۰ و ۳۰ دقیقه و ۱، ۲، ۶،

جدول ۱- مشخصات بندهای اصلاحی مورد مطالعه (با رنگ سفید مشخص شده است) - (گ: گابیونی، م: ملاتی، خ: خشکه‌چین، پ: پرشده، پ ن: پر نشده).

**Table 1. The characteristics of the studied check dams (marked with white color)-(G: Gabion, M: Masonry, D.S.: Dry stone, F: Filled, NF: Not filled).**

وضعیت رسوب بند Check dam sedimentation	نوع سازه Structure type	مختصات Coordinate		نام سازه Structure name	وضعیت رسوب بند Check dam sedimentation	نوع سازه Structure type	مختصات Coordinate		نام سازه Structure name
		عرض جغرافیایی Y	طول جغرافیایی X				عرض جغرافیایی Y	طول جغرافیایی X	
		(NF) پ ن	(M) م				3974132	591101	
(F) پ	(M) م	3974088	591126	C46	(NF) پ ن	(G) گ	3971623	593530	C2
(NF) پ ن	(M) م	3974061	591142	C47	(NF) پ ن	(G) گ	3971603	593542	C3
(NF) پ ن	(D.S) خ	3974601	591107	C48	(F) پ	(M) م	3971362	594351	C4
(NF) پ ن	(D.S) خ	3974649	591084	C49	(NF) پ ن	(D.S) خ	3971333	594645	C5
(NF) پ ن	(D.S) خ	3974699	591061	C50	(NF) پ ن	(G) گ	3971255	594841	C6
(NF) پ ن	(G) گ	3974991	591243	C51	(NF) پ ن	(G) گ	3971281	594686	C7
(NF) پ ن	(G) گ	3975049	591207	C52	(NF) پ ن	(G) گ	3971287	594575	C8
(F) پ	(G) گ	3974860	591268	C53	(F) پ	(G) گ	3971270	594489	C9
(F) پ	(G) گ	3974771	591249	C54	(NF) پ ن	(M) م	3971250	594445	C10
(F) پ	(G) گ	3974662	591228	C55	(NF) پ ن	(G) گ	3971030	594333	C11
(F) پ	(G) گ	3974590	591197	C56	(NF) پ ن	(G) گ	3970704	594219	C12
(NF) پ ن	(M) م	3974564	591184	C57	(NF) پ ن	(M) م	3970924	594119	C13
(F) پ	(M) م	3974510	591179	C58	(F) پ	(M) م	3969845	593708	C14
(F) پ	(M) م	3974462	591202	C59	(NF) پ ن	(M) م	3969880	593658	C15
(F) پ	(M) م	3974411	591203	C60	(F) پ	(M) م	3969306	593715	C16
(F) پ	(M) م	3974436	591161	C61	(F) پ	(M) م	3969268	593749	C17
(F) پ	(M) م	3974331	591224	C62	(F) پ	(G) گ	3969188	593759	C18
(F) پ	(M) م	3974259	591284	C63	(NF) پ ن	(G) گ	3969457	593902	C19
(F) پ	(M) م	3974219	591299	C64	(NF) پ ن	(G) گ	3969442	594099	C20
(F) پ	(M) م	3974506	591629	C65	(F) پ	(G) گ	3969503	594292	C21
(F) پ	(M) م	3974529	591642	C66	(F) پ	(G) گ	3969566	594426	C22
(F) پ	(M) م	3974564	591640	C67	(NF) پ ن	(G) گ	3969219	594334	C23
(F) پ	(M) م	3974700	591991	C68	(NF) پ ن	(M) م	3969576	594182	C24
(F) پ	(M) م	3974761	591998	C69	(NF) پ ن	(G) گ	3969659	594303	C25
(F) پ	(G) گ	3974924	591918	C70	(NF) پ ن	(G) گ	3969734	594280	C26
(F) پ	(G) گ	3974961	591907	C71	(NF) پ ن	(G) گ	3969706	594424	C27
(NF) پ ن	(G) گ	3974313	593248	C72	(NF) پ ن	(G) گ	3969684	594494	C28
(F) پ	(G) گ	3974506	592976	C73	(F) پ	(M) م	3968045	593114	C29
(F) پ	(G) گ	3974472	592959	C74	(F) پ	(G) گ	3967985	593010	C30
(NF) پ ن	(G) گ	3974439	592931	C75	(NF) پ ن	(M) م	3974123	589352	C31
(F) پ	(G) گ	3974435	592861	C76	(NF) پ ن	(M) م	3974124	589418	C32

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

وضعیت رسوب بند Check dam sedimentation	نوع سازه Structure type	مختصات Coordinate		نام سازه Structure name	وضعیت رسوب بند Check dam sedimentation	نوع سازه Structure type	مختصات Coordinate		نام سازه Structure name
		عرض جغرافیایی Y	طول جغرافیایی X				عرض جغرافیایی Y	طول جغرافیایی X	
		پ (F)	گ (G)				3974468	592773	
پ (NF)	گ (G)	3974427	592764	C78	پ (NF)	گ (G)	3974215	589631	C34
پ (F)	م (M)	3974624	592431	C79	پ (NF)	گ (G)	3974604	589580	C35
پ (NF)	گ (G)	3971541	593619	B51	پ (NF)	گ (G)	3974590	589782	C36
پ (F)	گ (G)	3971498	593696	B55	پ (NF)	گ (G)	3974025	590139	C37
پ (NF)	م (M)	3971436	593725	B58	پ (F)	م (M)	3973857	590621	C38
پ (F)	م (M)	3971271	593746	B1	پ (F)	م (M)	3973913	590643	C39
پ (F)	گ (G)	3971246	593780	B2	پ (F)	گ (G)	3973932	590638	C40
پ (F)	م (M)	3971155	593879	B3	پ (F)	گ (G)	3973958	590631	C41
پ (F)	م (M)	3971078	593936	B4	پ (F)	م (M)	3974253	591022	C42
پ (NF)	گ (G)	3971364	594939	B5	پ (F)	م (M)	3974234	591024	C43
پ (NF)	گ (G)	3971339	594978	B6	پ (F)	م (M)	3974151	591093	C44



شکل ۳- تصویر یکی از بندهای اصلاحی پرشده با رسوبات.

Figure 3. Image of one of check dams filled with sediments.

نواحی بالادست حوضه شناسایی شده که در سال‌های مختلف، احداث و یا بسیاری از آنها ترمیم شده است. در این پژوهش تعداد ۸۸ بند اعم از گابیونی و سنگ و سیمانی مورد ارزیابی دقیق واقع شد (جدول ۱ و شکل ۳). از تمامی بندهای مورد مطالعه نمونه رسوب تهیه نگردید و در جایی که بندهای

بررسی عملکرد بندهای اصلاحی در دانه‌بندی رسوبات: بر اساس اطلاعات به دست آمده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان و گزارش مطالعات ارزیابی حوزه نور و مطالعات عرصه‌ای تعداد نسبتاً زیادی سازه‌های مختلف مکانیکی مانند گابیون، بند سنگ و سیمانی (ملاتی)، به خصوص در

بررسی و کارایی این بندها در به دام‌اندازی رسوبات ریزدانه و رسوبات واریزه‌ای و درشت‌دانه با مقایسه توزیع اندازه ذرات نمونه خاک‌های بالادست بندها و رسوبات پشت بندها بررسی گردید.

### نتایج و بحث

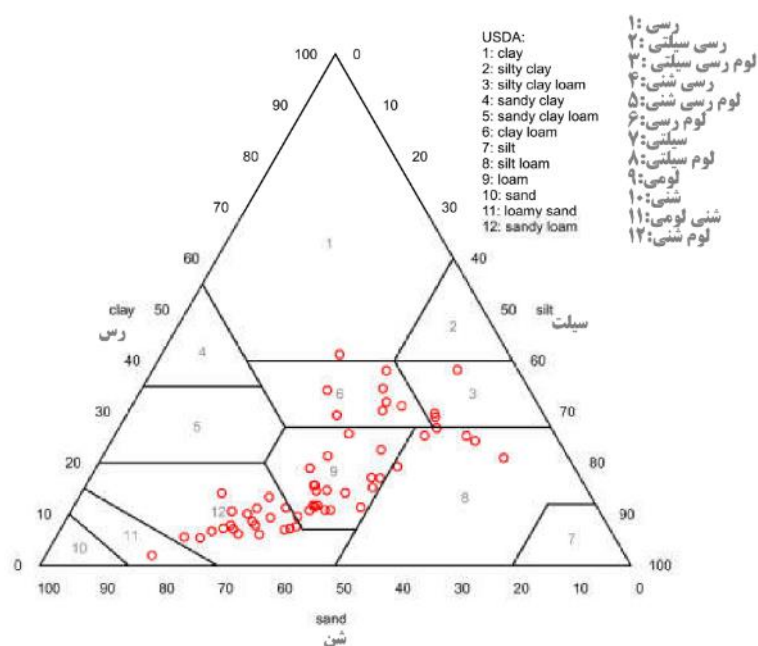
در جدول ۲ خصوصیات بافتی خاک‌های سطحی مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود درصد شن نمونه‌های خاک در محدوده ۱۰/۲ تا ۸۰/۱ درصد قرار داشت، میانگین درصد شن، ۴۳/۶ و انحراف معیار، ۱۷/۳ بود. درصد سیلت در محدوده ۱۸/۰ تا ۶۸/۱ با میانگین ۳۹/۵ و انحراف معیار ۱۰/۱ بود. درصد رس در محدوده ۱/۹ تا ۴۱/۲ با میانگین درصد رس ۱۶/۹ و انحراف معیار ۱۰/۰ نوسان داشت. به‌طور کلی بافت خاک‌های مورد مطالعه عمدتاً لوم رسی، لوم و شنی لومی بودند (شکل ۴). کربن آلی نمونه‌های خاک مورد مطالعه دارای تغییرات بسیار زیادی بود (۰/۲۴ تا ۴/۶ درصد) که یکی از دلایل آن می‌تواند پوشش جنگلی بخش‌هایی از حوضه باشد.

احداث شده در یک آبراهه از دو بند بیش‌تر و نزدیک هم بوده و حوضه بالادست آن‌ها نیز تقریباً یکسان بود، از این بندها به صورت یک در میان نمونه رسوب برداشت گردید. از هر بند در دو نقطه (با فاصله یک و نیم متر از دیواره بند و دیگری نزدیک به انتهای رسوب) و از دو عمق (۳۰-۰ سانتی‌متر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر) نمونه رسوب تهیه گردید (در مجموع ۵۷ نمونه رسوب). در نمونه‌برداری از رسوبات پشت بندها حتی‌الامکان سعی گردید از مناطق نزدیک به دیواره آبراهه نمونه‌برداری نشود تا از اختلاط خاک‌های مجاور دیواره با نمونه‌های رسوب جلوگیری شود (۲۳، ۲۴). نمونه‌های رسوب پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و توزیع اندازه ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر با استفاده از روش هیدرومتری (قراثت ۲۴ ساعته) و الک مشابه نمونه‌های خاک تعیین گردید (۲۱). جهت تعیین توزیع اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر نیز از روش الک (الک‌هایی با قطرهای ۱۹، ۹/۵، ۸، ۴/۷۵، ۳/۳۵ و ۲ میلی‌متر) استفاده گردید. در نهایت منحنی‌های دانه‌بندی و هم‌چنین  $D_{50}$  رسوبات پشت مخازن

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 2. Some physical and chemical characteristics of the studied soils.

متوسط Mean	حداکثر Max	حداقل Min	انحراف معیار SD	ویژگی‌ها Characateristics
43.6	80.1	10.2	17.3	شن (%) Sand (%)
39.5	68.1	18.0	10.1	سیلت (%) Silt (%)
16.9	41.2	1.9	10.0	رس (%) Clay (%)
7.6	11.9	2.5	2.0	شن خیلی ریز (%) Very fine sand (%)
1.5	4.6	0.24	0.8	کربن آلی (%) OC (%)
1.4	14.7	0.13	2.0	کربنات کلسیم معادل (%) CCE (%)



شکل ۴- پراکنش کلاس‌های بافتی خاک‌های مورد مطالعه.

Figure 4. Distribution of textural classes of the studied soils.

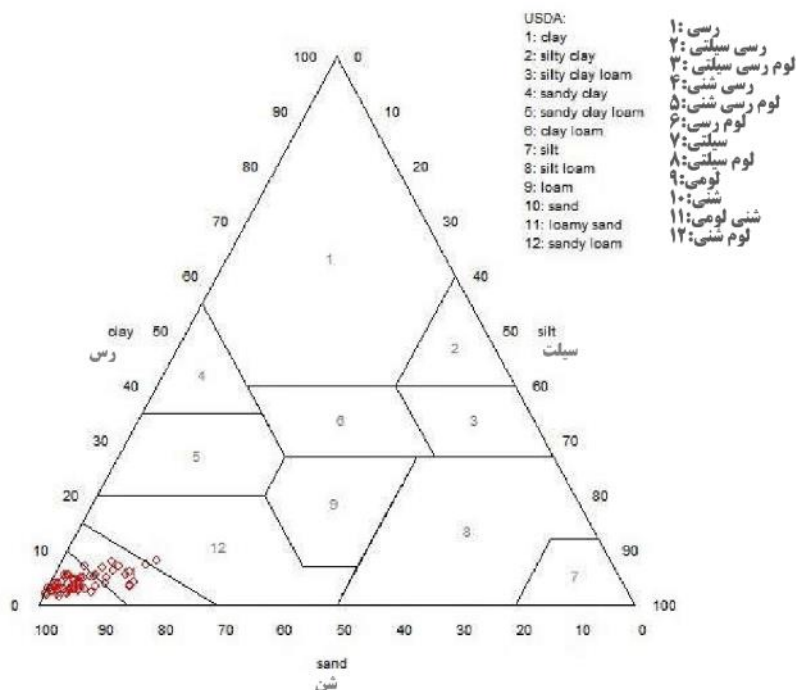
درصد با میانگین ۹۰/۵۳ و انحراف معیار ۵/۰۳ قرار داشت. درصد رس و سیلت رسوبات در بندهای مورد بررسی بسیار کم بود (درصد سیلت در دامنه ۰/۰۹ تا ۱۵/۹۲ و درصد رس در محدوده ۱/۵۷ تا ۸/۰۸ بود). با توجه به شکل ۵ بافت رسوبات مورد مطالعه شنی و شنی لومی بودند.

خصوصیات بافتی رسوبات جمع‌شده در پشت بندهای اصلاحی در شکل‌های ۵ و ۶ و جدول‌های ۳ و ۴، آورده شده است. جدول ۳ ویژگی‌های بافتی بخش عبوری از الک ۲ میلی‌متری رسوبات بندهای اصلاحی را نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج، درصد شن رسوبات بسیار بالا و در محدوده ۷۶/۰۰ تا ۹۷/۷۸

جدول ۳- ویژگی‌های بافتی رسوبات جمع‌شده در پشت بندهای اصلاحی (بخش کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر).

Table 3. Textural characteristics of the sediments collected behind check dams (< 2 mm).

متوسط Mean	حداکثر Max	حداقل Min	انحراف معیار SD	ویژگی‌ها Characateristics
90.53	97.78	76.00	5.03	شن (%) Sand (%)
5.45	15.92	0.09	4.00	سیلت (%) Silt (%)
4.02	8.08	1.57	1.63	رس (%) Clay (%)
4.03	7.21	0.37	1.76	شن خیلی ریز (%) Very fine sand (%)



شکل ۵- پراکنش کلاس‌های بافتی رسوبات جمع‌شده در پشت بندهای اصلاحی (بخش زیر ۲ میلی‌متر).

Figure 5. Distribution of the textural classes of the sediments behind check dams (< 2 mm).

است. هم‌چنین در شکل ۵ توزیع اندازه ذرات خاک و رسوبات پشت بندها در بخش زیر ۲ میلی‌متر آورده شده است. از ۸۸ بند مورد مطالعه، ۴۷ بند به‌وسیله رسوبات پر شده بودند و تعداد دیگری از بندها نیز نزدیک پر شدن بودند. با توجه به توزیع اندازه ذرات زیر ۲ میلی‌متر نمونه‌های خاک و رسوب (شکل‌های ۴ و ۵)، و جدول ۴، نسبت شن، سیلت و رس در نمونه‌های رسوب بندهای اصلاحی با نسبت آن‌ها در نمونه خاک‌های مورد مطالعه تفاوت نسبتاً فاحشی داشت، چون بافت خاک‌های مورد مطالعه رسی، لومی شنی، لومی سیلتی، لومی رسی، لومی، لوم رسی سیلتی بوده ولی با توجه به شکل ۵ بافت رسوبات مورد مطالعه شنی و شنی لومی بودند. برطبق جدول ۴ بخش زیر ۲ میلی‌متر رسوبات عمدتاً از شن تشکیل شده است. نتایج نسبت  $D_{50}$  (بخش زیر ۲ میلی‌متر) رسوبات به نمونه خاک بالادست بندهای اصلاحی نیز نشان می‌دهد (از مقادیر بسیار کم (۱/۸۹ برابر) تا

برای بررسی عملکرد بندهای اصلاحی در دانه‌بندی و نگهداشت رسوبات، بیش‌تر بندهای اصلاحی موجود در منطقه، مورد بررسی قرار گرفته، اما نتایج تعدادی از آن‌ها در اینجا ذکر گردیده است (شکل ۶). در این پژوهش جهت بررسی دانه‌بندی رسوبات، مواد رسوبی جمع‌شده در پشت بندهای اصلاحی در سه بخش مورد بررسی قرار گرفت که شامل کل رسوبات (مجموع بخش‌های زیر ۲ میلی‌متر و بالای ۲ میلی‌متر)، بخش بالای ۲ میلی‌متر و بخش زیر ۲ میلی‌متر بود. در جدول ۴،  $D_{50}$  (بخش زیر ۲ میلی‌متر) رسوبات و نمونه خاک بالادست بندهای اصلاحی، نسبت  $D_{50}$  رسوبات (بخش زیر ۲ میلی‌متر) به خاک ( $D_{50}(\text{Sed.}) / D_{50}(\text{Soil})$ ) و  $D_{50}$  کل رسوبات ( $D_{50} \text{ Total (Sed.)}$ ) و در جدول ۱ موقعیت جغرافیایی بندهای اصلاحی (برحسب UTM)، نوع بند (گابیونی، ملاتی و خشکه‌چین)، پر بودن یا نبودن بند به‌وسیله رسوبات، آورده شده

کنند. این سازه‌ها را می‌توان به صورت جداگانه یا در ترکیب با سازه‌های کنترل جریان واریزه طراحی و اجرا نمود و در نتیجه میزان رسوب ریزدانه وارد شده به مناطق و پیکره‌های آبی پایین‌دست را به حداقل رساند (۱۰). البته احداث بندهای اصلاحی با اهداف مختلفی صورت می‌گیرد از جمله: کاهش شدت جریان آب، حفظ و پایش رسوب، کاهش دبی اوج سیلاب‌ها، افزایش تمرکز و زمان تأخیر در منطقه حوضه و در نهایت اصلاح عرض و طول کانال‌ها (۱۷). در هر صورت پرشدن سریع بندها بوسیله جریان واریزه‌ای و رسوبات درشت‌دانه و به‌طورکلی پرشدن بندهای اصلاحی، باعث کاهش کارایی این بندها در ارتباط با نتایج مورد انتظار از احداث آن‌ها در بلندمدت می‌شود. ویراکوون (۲۰۰۵) نیز به نتیجه مشابهی دست پیدا کرده و در پژوهشی بر روی رسوب ورودی به حوضچه‌های رسوب‌گیر، نشان داد که تمامی رسوبات درشت‌دانه تله‌اندازی می‌شود، در حالی‌که بخش عمده رسوبات ریزدانه از روی سرریز تخلیه همراه جریان عبوری خارج می‌شوند (۱۳). هم‌چنین نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش عباسی و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. این پژوهش‌گران به بررسی تأثیر بندهای اصلاحی احداث شده در کنترل رسوبات ریزدانه پرداختند و تحلیل منحنی دانه‌بندی رسوبات نمونه‌برداری شده از مخزن بندهای مورد مطالعه نشان داد که بخش عمده رسوبات ته‌نشست شده در مخزن بندها، درشت‌دانه و در محدوده شن و قلوه سنگ می‌باشد (۱۵). واعظی و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی بار رسوب و توزیع اندازه ذرات (GSD) در بیست حوضه آبخیز کوچک که رواناب و رسوبات خود را به یک بند اصلاحی سنگی در شمال غرب ایران هدایت می‌کنند، اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد بندهای اصلاحی اثربخشی بیشتری در به دام انداختن ذرات درشت (شن و ماسه) دارند (۱۷).

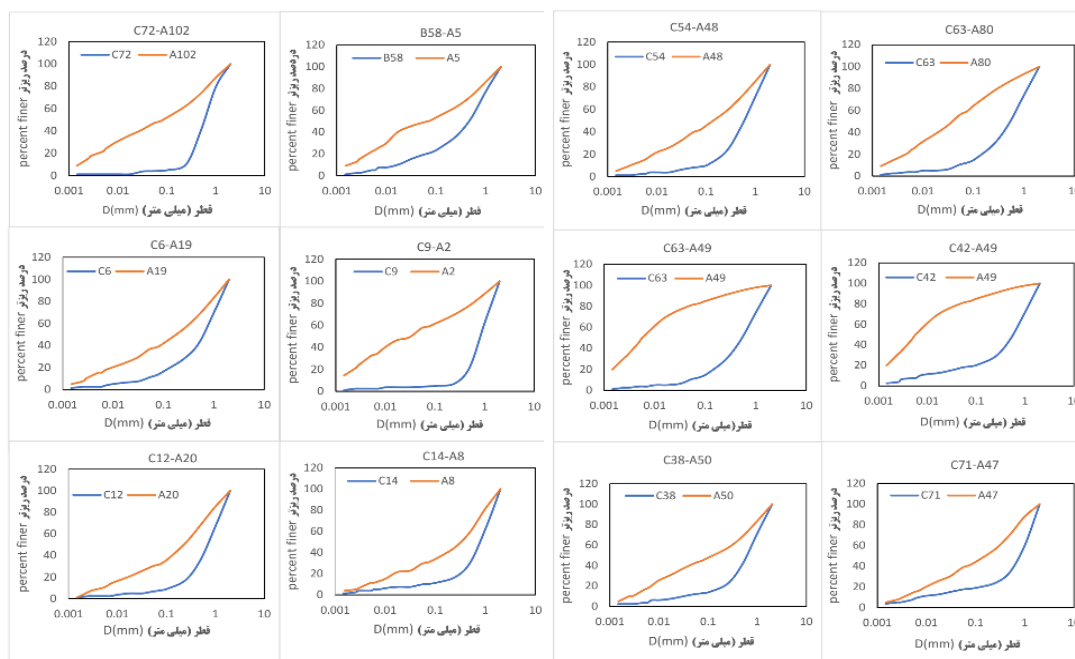
مقادیر بسیار زیاد ( $302/9$  برابر) با میانگین ( $25/92$ ) بیش‌تر بندهای اصلاحی در به دام انداختن ذرات شن و درشت‌تر از آن مؤثر بوده اما در نگهداری ذرات ریزتر در رسوبات معلق کارایی کم‌تری داشته‌اند. نگهداشتن رسوبات درشت و کاهش به دام انداختن رسوبات ریز در بندهایی که بیش‌تر در مسیر جریان واریزه‌ای بوده خیلی بیش‌تر رخ داده است. به‌عنوان مثال مقایسه توزیع اندازه ذرات در بندهای C6 و C9 نشان می‌دهد که در بند C6 که هنوز پر نشده، مقایسه توزیع اندازه ذرات (بخش زیر ۲ میلی‌متر) رسوبات با خاک بالادست بند، اختلاف خیلی کم‌تری نسبت به توزیع اندازه ذرات (بخش زیر ۲ میلی‌متر) رسوبات با خاک بالادست بند C9 که به سرعت با جریان‌ات واریزه‌ای پر شده، دارد. شواهد محلی و مطالعات عرصه‌ای نشان داد تعدادی از بندهای اصلاحی قرارگرفته در مسیر جریان واریزه‌ای در یک یا دو رخداد بارشی به‌طور کامل پر شده بودند. چنین پدیده‌ای نشان‌دهنده این واقعیت است که این بندها عمدتاً با جریان واریزه و ذرات درشت‌دانه پر شده‌اند تا رسوبات معلق داخل رواناب.  $D_{50}$  کل رسوبات نیز تأییدکننده این مطلب بوده و نشان می‌دهد قسمت اعظم رسوبات پشت‌بندها، درشت‌دانه هستند. به‌طورکلی نتایج تجزیه و تحلیل رسوبات نشان داد اغلب بندهای اصلاحی در نگهداری رسوبات واریزه‌ای و درشت‌دانه بسیار مؤثر بوده و مانع حرکت آن‌ها به پایین‌دست شده‌اند. اما این بندها در نگهداشت رسوبات دانه‌ریز و عدم انتقال آن‌ها به مناطق پایین‌دست کارایی کمی داشته‌اند. به‌طورکلی اگرچه سازه‌های کنترل جریان واریزه می‌توانند تا حدی حرکت رسوبات ریزدانه (ناشی از جریان واریزه و یا ناشی از انواع دیگر فرسایش موجود در منطقه از جمله ورقه‌ای، بین شیاری، شیاری و...) را محدود کنند، سازه‌های کنترل رسوب مکمل، معمولاً باید حرکت این بخش از رسوب را کاملاً محدود و مهار



جدول ۴-  $D_{50}$  رسوبات پشت بندهای اصلاحی و خاک‌های بالادست آن‌ها.

Table 4.  $D_{50}$  values of sediments behind check dams and their upstream soils.

متوسط Mean	حداکثر Max	حداقل Min	انحراف معیار SD	ویژگی‌ها Characateristics
3.80	18.51	0.85	2.23	$D_{50}$ کل رسوب $D_{50}$ Total (Sed.)
0.65	1.27	0.37	0.19	$D_{50}$ رسوب $> 2$ میلی‌متر $2\text{mm} > D_{50}$ (Sed.)
0.10	0.29	0.003	0.09	$D_{50}$ خاک $> 2$ میلی‌متر $2\text{mm} > D_{50}$ (Soil)
25.92	302.9	1.89	52.38	$D_{50}$ رسوب ( $> 2$ میلی‌متر) / $D_{50}$ خاک ( $< 2$ میلی‌متر) $D_{50}$ (Sed.) / $D_{50}$ (Soil) ( $< 2$ mm)



شکل ۶- مقایسه توزیع اندازه ذرات (بخش زیر ۲ میلی‌متر) رسوبات پشت بندهای اصلاحی و خاک بالادست آن‌ها.

Figure 6. Comparison of particle size distribution (PSD) (under 2 mm) of the sediments behind the check dams and their upstream soils.

پایین‌دست شده‌اند و بندهایی که در معرض جریان واریزه‌ای کم‌تری بوده‌اند و یا بندهای پائینی از سری بندهای متوالی داخل یک آبراهه، رسوبات ریزدانه بیش‌تری را به دام انداخته‌اند. بندهایی که در مسیر عبور جریان واریزه قرار داشته‌اند، به‌خصوص بندهایی

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش و تجزیه و تحلیل رسوبات نشان داد اغلب بندهای اصلاحی مورد مطالعه در حوضه نور در نگهداری رسوبات واریزه‌ای و درشت‌دانه بسیار مؤثر بوده و مانع حرکت آن‌ها به

### داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات این پژوهش با مطالعات عرصه‌ای گسترده و تجزیه‌های آزمایشگاهی به دست آمده و برخی داده‌های اولیه نیز از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان اخذ گردیده است.

### تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد.

### مشارکت نویسندگان

نویسنده اول (دانشجو): مطالعات عرصه‌ای، مطالعات آزمایشگاهی، آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده دوم (استاد راهنما): طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها، نظارت تحقیق، نویسنده سوم (استاد مشاور): کمک در تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، نویسنده چهارم (دانشجو): مشارکت در نمونه‌برداری، مطالعات عرصه‌ای و آزمایشگاهی.

### اصول اخلاقی

اصول اخلاقی در انجام و انتشار این پژوهش مراعات شده است.

### حمایت مالی

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول مقاله بوده و قسمتی از هزینه انجام این پژوهش توسط محل تحصیل دانشجو (دانشگاه کردستان) در قالب گرنت پایان‌نامه تامین گردیده است.

که در زمان کمی پس از احداث، به واسطه جریان واریزه پر شده‌اند به دلیل پر شدن سریع آن‌ها با جریان واریزه درشت‌دانه، در نگهداشت رسوبات دانه‌ریز (رسوبات ناشی از جریان واریزه و هم‌چنین ناشی از وقوع فرسایش‌های دیگر در بالادست بندها، به‌خصوص بخش معلق رسوبات داخل رواناب) و عدم انتقال آن‌ها به مناطق پایین‌دست کارایی خیلی کم‌تری داشته‌اند. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده به روش‌های مکمل کنترل رسوب برای نگهداشت رسوبات ریزدانه ناشی از جریان واریزه و جریان‌های بعدی در پایین‌دست منطقه نیاز است. از روش‌های کنترل رسوبات ریزدانه که می‌توان در پایین‌دست بندهای احداث شده اجرا نمود می‌توان به حوضه‌های اتلاف انرژی یا ته‌نشینی و هم‌چنین به موانع کنترل رسوب ساخته‌شده از مواد طبیعی یا مصنوعی اشاره نمود. هم‌چنین به دلیل پر شدن اغلب بندها و جلوگیری از انتقال جریان‌های شدید واریزه احتمالی در آینده، به مناطق پایین‌دست و کاهش خسارت آن‌ها، به نظر می‌رسد اقداماتی چون احداث موانع جریان (بافل‌ها) می‌بایست در بالادست بندهای اصلاحی متأثر از جریان واریزه، صورت گیرد.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از داوران محترم به جهت ارائه نظرات ارزشمند و پیشنهادهای سازنده، هم‌چنین از جناب آقای مهندس عارف بهمنی کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان به جهت مشورت و همفکری و فراهم نمودن برخی داده‌های اولیه مرتبط با تحقیق، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

### منابع

1. Xie, H., Nkonya, E., and Wielgosz, B. 2011. Assessing the risks of soil erosion and small reservoir siltation in a tropical river basin in Mali using the SWAT model under limited data condition. *Applied Engineering in Agriculture*, 27: 6. 895-904.
2. Hillel, D., Hatfield, J.H., Powlson, D.S., Rosenzweig, C., Scow, K.M., Singer, M.J., and Sparks, D.L. (Eds.). 2005: *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier/Academic Press. 613p.
3. Refahi, H.Gh. 1396. *Water erosion and conservation*. University of Tehran Press. 672p. (In Persian)
4. Das, G. 2008. *Hydrology and soil conservation engineering: Including watershed management*: PHI Learning Pvt. Ltd.
5. Balasubramanian, A. 2017. *Soil Erosion-Causes and Effects*. Report, University of Mysore, Mysore.
6. Paudel, B.P. 2019. *GIS-based assessment of debris flow susceptibility and hazard in mountainous regions of Nepal*. Ph.D. Thesis, University of Ottawa, 232p.
7. Franzmeier, D.P., McFee, W.W., Graveel, J.G., and Kohnke, H. 2016. *Soil science simplified*. 5th edition, Waveland Press, Inc. 198p.
8. Bernard, M., and Gregoretti, C. 2021. The use of rain gauge measurements and radar data for the model-based prediction of runoff-generated debris-flow occurrence in early warning systems. *Water Resources Research*, 57: 3. e2020WR027893.
9. VanDine, D. 1996. *Debris flow control structures for forest engineering*. Res. Br., BC Min. For., Victoria, BC, Work. 68p.
10. Madanchi, P., and Habibnejad Roshan, M. 2019. Determination of best sediment estimation model in semi-arid rangelands by using small reservoirs dams sedimentation (case study: daremorid watershed in Kerman province). *Journal of watershed management research*, 9: 18. 233-240. (In Persian)
11. Sheng, J.A., and Liao, A.Z. 1997. *Erosion control in south China*. *Catena*, 29: 2. 211-221.
12. Xu, X., Zhang, H., Feng, S., Dong, Z., and Gan, Z. 2002. Check-dam system in gullies—the most effective measure to conserve soil and water in Chinese Loess Plateau. Paper presented at the 12th ISCO conference, Beijing, Volume 3.
13. Weerakoon, S. 2005. Assessment of seasonal sedimentation in rain-fed irrigation reservoirs by a hillslope erosion modeling approach. *Journal of Mountain Science*, 2: 3. 225-232.
14. Boix-Fayos, C., de Vente, J., Martínez-Mena, M., Barberá, G.G., and Castillo, V. 2008. The impact of land use change and check-dams on catchment sediment yield. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22: 25. 4922-4935.
15. Abbasi, A.A., Seddigh, R., and Ahar, M. 2008. Investigating the effect of constructed check dams in the control of fine-grained sediments. Fourth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran Watershed Management, Karaj. (In Persian)
16. Zhao, G., Kondolf, G.M., Mu, X., Han, M., He, Z., Rubin, Z., Wang, F., Gao, P., and Sun, W. 2017. Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the Loess Plateau, China. *Catena*, 148: 126-137.
17. Vaezi, A.R., Abbasi, M., Keesstra, S., and Cerdà, A. 2017. Assessment of soil particle erodibility and sediment trapping using check dams in small semi-arid catchments. *Catena*, 157: 227-240.
18. Alfonso-Torreño, A., Gómez-Gutiérrez, Á., Schnabel, S., Contador, J.F.L., de Sanjosé Blasco, J.J., and Fernández, M.S. 2019. sUAS, SfM-MVS photogrammetry and a topographic algorithm method to quantify the volume of sediments retained in check-dams. *Science of the Total Environment*, 678: 369-382.
19. Yuan, S., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Xiao, L., Wang, F., and Wang, T. 2019. Influence of check dams on flood and erosion dynamic processes of a small watershed in the Loss Plateau. *Water*, 11: 4. 834.

20. Anonymous. 2021. An evaluation of watershed management projects in the Nanor watershed (Baneh). Forest, Range and Watershed Organization of Kurdistan Province, 302p.
21. Dane, H., Topp, G., and Warren, A. 2002. Methods of Soil Analysis Part-4 Physical Methods: SSSA Book, Madison, Wisconsin, USA, 1692p.
22. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., and Loepfert, R.H. 1996. Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods: SSSA Book, Madison, Wisconsin, USA, 1387p.
23. Romero-Díaz, A., Alonso-Sarriá, F., and Martínez-Lloris, M. 2007. Erosion rates obtained from check-dam sedimentation (SE Spain). A multi-method comparison. *Catena*, 71: 1. 172-178.
24. Romero-Díaz, A., Marín-Sanleandro, P., and Ortiz-Silla, R. 2012. Loss of soil fertility estimated from sediment trapped in check dams. South-eastern Spain. *Catena*, 99: 42-53.