



## Research Paper

**Sediment Particle Size Distribution behind the Check Dams of the Lashkaran Watershed, Salmas, West Azerbaijan**Afsaneh Jafari<sup>1</sup>, Habib Nazarnejad<sup>2</sup>, Saeed Najafi<sup>3</sup> and Farrokh Asadzadeh<sup>4</sup>

1- M.Sc. Student, Department of Range &amp; Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate professor, Department of Watershed Management, Faculty of Range & Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,  
(Corresponding Author: h.nazarnejad@gau.ac.ir)

3- Assistant professor, Department of Range &amp; Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

4- professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 5 December, 2023

Accepted: 8 April, 2024

**Extended Abstract**

**Background:** One of the major goals of watershed management operations is to reduce soil erosion and waste, and in the next step, to prevent the exit of eroded particles from the watershed. For this purpose, sediment control structures are usually built throughout watersheds. Check dams also play a special and important role in reducing the sediment load of rivers. Sediment dams are constructed to prevent the entry of sediment particles caused by the erosion of upstream lands into the main river. Particle size distribution is one of the key physical characteristics of sediment materials that is used as an important factor in sediment management in watersheds. Many quantitative and qualitative characteristics of sediments, such as porosity, permeability, transferability, chemical reactivity, and erodibility, are influenced by the size of particles and their mode of distribution. To achieve better results in watersheds and especially sediment trapping behind check dams, knowing the type of sediment and its characteristics helps in the better management of watersheds and water and soil resources. Comparing check dams with other water and soil conservation measures to reduce sedimentation, it seems that check dams are the most effective way to quickly reduce the entry of coarse sediments into rivers. Considering the role of sediment traps in trapping sediment particles, it is very important to study the sediments behind these dams in terms of particle size distribution characteristics. This research aims to investigate the size distribution of sediment particles behind check dams and to investigate the efficiency of sediment trapping dams in trapping sediments in the Lashkaran Salmas watershed.

**Methods:** The Lashkaran watershed is located in the northwest of Salmas city in West Azerbaijan province. According to the country division, it is located in the Urmia Lake River basin, and its geographical coordinates are in the range of 44°38' to 44°40' east longitude and 38°17' to 38°18' north latitude, with an area of 363 hectares. First, the location and dimensions of the structures and the height of the accumulated sediment behind the structures were examined and measured through field monitoring. To determine the size distribution of sediment particles, the sediments behind each check dam were sampled at two depths of 0-25 and 25-50 cm. In total, 32 sediment samples were collected from eight dams. The samples were transferred to the laboratory, air dried, and then passed through a 2 mm sieve. The particle size distribution of sediment samples was determined by the hydrometric method. To quantitatively investigate sediment particle size distribution, an optimal model was selected from several particle size distribution models, and particle size distribution indices, such as  $D_{50}$ , were calculated with the optimal model.

**Results:** In the studied watershed, check dams have been built on the streams with three orders, including order one, three, and four. Seven dams have been built on the third-order streams, one dam on the fourth-order stream, and one dam on the first-order stream. The results show that the particle size distribution does not follow a specific and regular pattern in order three streams, and the average percentages of sand, silt, and clay are 65.7%, 28.2%, and 6.1%, respectively. In order four streams, the average percentages of sand, silt, and clay are 80.4%, 16.5%, and 3.2%, respectively. The respective percentages are 82.7%, 9.8%, and 7.6% in the first order. In general, the average percentage of sand particles, followed by silt, is the largest volume of particles making up sediments. The sediment size distribution of the third-order streams shows that the amount of changes in sediment particles does not have a regular trend, but in general, the percentages of clay and silt increase with increasing distance from the outlet of the watershed, with a decrease in the amount of sand particles. The fourth-order stream has high flow intensity and assumedly carries larger particles. Along with approaching the outlet, the amount of coarse particles decreases due



to the presence of check dams and the accumulation of sediments behind the dams. As the distance from the outlet increases, the amount of clay and silt tends to decrease while sand particles tend to increase. The first-order stream has the lowest flow intensity. The amount of clay is constant with increasing distance, with increased silt and decreased sand percentages. Three efficiency coefficients were used to assess the efficiency of the models. The results of the sediment granulation distribution showed that check dams were most efficient in trapping sediments such as sand with a share of 69.5%. The results of examining the efficiency coefficients of particle size distribution models show that the Fredlund model with the highest coefficient of determination (0.98), the lowest RMSE index (0.03), and Akaike's statistic (59.54) is the most efficient model in measuring the distribution of sediment particle size compared to the other seven models.

**Conclusion:** The average particles of sand, silt, and clay (69.5%, 24.7%, and 5.8%, respectively) indicate the performance of check dams in controlling coarse-grained sediments such as sand. The results show that the dams upstream the watershed have restrained larger particles, but this trend is not seen in other check dams. It seems that the type and sequence of the dam are more effective in sediment changes. Moreover, the runoff carries fine to coarse particles, and regular diameter differentiation cannot be obtained due to the short distance between the dams.

**Keywords:** Lashkaran Watershed, Sediment Particle Size, Watershed Measures

**How to Cite This Article:** Jafari, A., Nazarnejad, H., Najafi, S., & Asadzadeh, F. (2024). Sediment Particle Size Distribution behind the Check Dams of the Lashkaran Watershed, Salmas, West Azerbaijan. *J Watershed Manage Res*, 15(2), 65-76. DOI: [10.61186/jwmr.15.2.65](https://doi.org/10.61186/jwmr.15.2.65)



مقاله پژوهشی

توزیع اندازه ذرات رسوب پشت بندهای اصلاحی حوزه لشکران سلماس استان آذربایجان غربی

افسانه جعفری<sup>۱</sup>، حبیب نظرزاد<sup>۲</sup>، سعید نجفی<sup>۳</sup> و فرخ اسدزاده<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
 ۲- دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،  
 (نویسنده مسوول: h.nazarnejad@gu.ac.ir)

۳- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- استاد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴

صفحه: ۶۵ تا ۷۶

چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** از مهم‌ترین اهداف عملیات آبخیزداری، کاهش فرسایش و هدررفت خاک و در مرحله بعد جلوگیری از خروج ذرات فرسایش یافته از حوزه آبخیز است. به همین منظور معمولاً در سراسر آبخیزها سازه‌هایی جهت کنترل رسوب احداث می‌شود. بندهای اصلاحی نقش ویژه و مهمی در کاهش بار رسوبی رودخانه نیز ایفا می‌کنند. هدف از احداث بندهای رسوب‌گیر جلوگیری از ورود ذرات رسوب ناشی از فرسایش اراضی بالادست به رودخانه اصلی است. توزیع اندازه ذرات از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی مواد رسوبی بوده که از آن به‌عنوان یک عامل مهم در مدیریت رسوب در حوزه‌های آبخیز استفاده می‌شود. بسیاری از ویژگی‌های کمی و کیفی رسوبات مانند تخلخل، نفوذپذیری، قابلیت انتقال، واکنش‌پذیری شیمیایی و فرسایش‌پذیری تحت تأثیر اندازه ذرات و چگونگی توزیع آن‌ها است. برای دستیابی به نتیجه بهتر در حوزه‌های آبخیز و به‌ویژه تله‌اندازی رسوبات در پشت‌بندهای اصلاحی، شناخت نوع رسوب و خصوصیات آن کمک شایانی در زمینه مدیریت بهتر حوزه‌های آبخیز و منابع آب و خاک می‌کند. در مقایسه بندهای اصلاحی با سایر اقدامات حفاظت آب و خاک جهت کاهش رسوب، به‌نظر می‌رسد که مؤثرترین راه برای کاهش سریع ورود رسوبات درشت‌دانه به رودخانه، بندهای اصلاحی باشد. با توجه به نقش بندهای رسوب‌گیر در به دام انداختن ذرات رسوب، مطالعه رسوبات موجود در پشت این بندها از نظر ویژگی‌های توزیع اندازه ذرات دارای اهمیت به‌سزایی است. هدف از این پژوهش، بررسی توزیع اندازه ذرات رسوب در پشت‌بندهای اصلاحی و بررسی کارایی بندهای رسوب‌گیر در تله‌اندازی رسوبات در حوزه آبخیز لشکران سلماس است.

**مواد و روش‌ها:** حوزه آبخیز لشکران در شمال غربی شهرستان سلماس در استان آذربایجان غربی واقع شده است. بر اساس تقسیم‌بندی کشوری در حوزه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد و مختصات جغرافیایی آن در طول جغرافیایی  $44^{\circ}28'$  تا  $44^{\circ}40'$  شرقی و عرض  $38^{\circ}18'$  تا  $38^{\circ}18'$  شمالی است. مساحت این حوزه  $363$  هکتار است. ابتدا با پایش میدانی، محل و ابعاد سازه‌ها و ارتفاع رسوب انباشته‌شده در پشت سازه‌ها بررسی و اندازه گرفته شد. برای تعیین توزیع اندازه ذرات رسوبات، از رسوبات پشت هر بند اصلاحی، نمونه‌برداری از دو عمق  $0$  تا  $25$  و  $25$  تا  $50$  سانتی‌متری انجام شد. در مجموع،  $32$  نمونه رسوب از هشت بند برداشت شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از هوا خشک شدن از الک  $2$  میلی‌متری عبور داده شد. توزیع اندازه ذرات نمونه‌های رسوب به‌روش هیدرومتری انجام شد. برای بررسی کمی توزیع اندازه ذرات رسوب، مدل بهینه از بین تعدادی از مدل‌های توزیع اندازه ذرات انتخاب و شاخص‌های توزیع اندازه ذرات مانند  $D_{50}$  از طریق مدل بهینه محاسبه شد.

**یافته‌ها:** در حوضه مورد مطالعه، بندهای اصلاحی بر روی آبراهه با سه رتبه شامل رتبه یک، سه و چهار احداث شده‌اند. هفت بند بر روی آبراهه رتبه سه، یک بند در آبراهه رتبه چهار و یک بند در آبراهه رتبه یک احداث شده‌اند. نتایج نشان داد در آبراهه‌های رتبه  $3$  توزیع اندازه ذرات از الگوی خاص و منظمی تبعیت نمی‌کند و میانگین شن، سیلت، رس به‌ترتیب  $65/7$ ،  $28/2$  و  $6/1$  درصد است. در آبراهه رتبه  $4$ ، میانگین شن  $80/4$  درصد و سیلت و رس به‌ترتیب  $16/5$  و  $3/2$  درصد است. این میزان در آبراهه رتبه یک به‌ترتیب  $82/7$ ،  $9/8$  و  $7/6$  درصد است. به‌طورکلی میانگین درصد ذرات شن و پس‌از آن بیشترین میزان حجم ذرات تشکیل دهنده رسوبات است. توزیع اندازه رسوب آبراهه رتبه سه نشان داد میزان تغییرات ذرات رسوب روند منظمی ندارد ولی به‌طورکلی میزان ذرات رس و سیلت با افزایش فاصله از خروجی حوزه آبخیز حالت صعودی و ذره شن حالت نزولی دارد. آبراهه رتبه چهار دارای شدت جریان بالایی است و تصور این است که ذرات درشت‌تری را با خود حمل می‌کند. در طول مسیر با نزدیک شدن به خروجی، میزان ذرات درشت به‌دلیل وجود بندهای اصلاحی و به‌تبع آن انباشته شدن رسوبات در پشت بندها کاهش پیدا می‌کند. میزان رس و سیلت با افزایش فاصله از خروجی روند نزولی و شن نیز روند صعودی دارد. آبراهه رتبه یک کمترین شدت جریان را دارد. مقدار رس با افزایش فاصله ثابت بوده و سیلت افزایش و شن کاهش پیدا کرده است. به‌منظور بررسی کارایی مدل‌ها از سه ضریب کارایی استفاده شد. نتایج توزیع دانه‌بندی رسوبات نشان داد بندها در تله‌اندازی رسوبات درشت‌دانه مانند شن با سهم  $69/5$  درصد بیشترین کارایی را داشته‌اند. همچنین نتایج بررسی ضرایب کارایی مدل‌های توزیع اندازه ذرات نشان داد مدل فردلاند با بیشترین ضریب تعیین با مقدار  $0/98$ ، کمترین شاخص  $RMSE$  با مقدار  $0/03$  و آماره آکائیک با مقدار  $59/54$  کارآمدترین مدل در اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات رسوب نسبت به هفت مدل دیگر است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به اینکه میانگین ذرات شن، سیلت و رس به‌ترتیب  $69/5$ ،  $24/7$  و  $5/8$  درصد است نشان‌دهنده عملکرد بندهای اصلاحی در مهار رسوبات درشت‌دانه مانند شن است. نتایج نشان می‌دهد بندهای بالادست حوضه ذرات درشت‌تر را مهار کرده‌اند اما این روند در بندهای اصلاحی دیگر مشاهده نمی‌شود. به‌نظر می‌رسد در تغییرات اندازه رسوب انباشته شده، نوع بند رسوب‌گیر و توالی آن تأثیرگذار است. همچنین به‌دلیل فاصله کم‌بندها از یکدیگر، رواناب، ذرات ریز تا درشت را با خود حمل کرده و نمی‌توان تمایز قطری منظمی به‌دست آورد.

**واژه‌های کلیدی:** اقدامات آبخیزداری، اندازه ذرات رسوب، حوزه آبخیز لشکران

مقدمه

اقدامات آبخیزداری به مجموعه اقدامات بیولوژیکی و مدیریتی گفته می‌شود که در یک حوزه آبخیز به‌منظور ارتقای وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنین حوضه و با توجه به بهره‌برداری پایدار و بهینه از منابع آب، خاک و پوشش گیاهی انجام می‌شود (Rasouliazar, 2018). ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر مؤلفه‌های مختلف آبخیز در بهبود عملکرد اقدامات مذکور دارای اهمیت است (Tajiki et al., 2022).

ارزیابی اثرات آبخیزداری دورنمایی از تأثیر این عملیات بر کاهش رسوب به‌دست می‌دهد (Madanchi et al., 2022). از مهم‌ترین اهداف عملیات آبخیزداری، کاهش فرسایش و هدررفت خاک و در مرحله بعد جلوگیری از خروج ذرات فرسایش یافته از حوزه آبخیز است. معمولاً در سراسر آبخیزها سازه‌هایی جهت کنترل رسوب احداث می‌شود (Abbasi, 2019). یکی از مهم‌ترین اقدامات آبخیزداری برای کنترل فرسایش و هدررفت آب در حوزه‌های آبخیز، بندهای اصلاحی

این پژوهش است امری که با توجه به سابقه پژوهش ارائه شده، تاکنون مورد توجه جدی قرار نگرفته است.

وی (Wei, 2016) در بررسی ویژگی‌های فرکتال توزیع اندازه ذرات رسوب پشت بندهای اصلاحی در چین با استفاده از تجزیه و تحلیل ویژگی‌های توزیع اندازه ذرات خاک (PSD) به این نتیجه رسیدند که اندازه ذرات رسوب پشت بندهای اصلاحی، به صورت سیلت (۵۰ میکرون) و همچنین ماسه ریز (۲۵ - ۵۰ میکرون) است.

واعظی (Vaezi, 2020) در حوزه آبخیز منطقه نیمه خشک غرب کشور عملکرد بندهای توری سنگی و نقش عوامل در انباشت رسوبات و توزیع اندازه ذرات را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از این است که عملکرد بندهای توری سنگی در تله اندازی رسوب در بخش‌های مختلف آبراه متفاوت است، به طوری که بندهای توری سنگی واقع در بالادست آبراه نقش مهمی در ترسیب مواد درشت‌دانه دارند. همچنین بررسی دانه بندی ذرات شن نشان داد بیشترین ذرات ته نشین شده در پشت بندها مربوط به ذرات به اندازه ۱ تا ۲ میلی متر بود. ذرات با قطر ۲ تا ۴/۷۵ میلی متر، بیشترین سهم ذرات درشت رسوب (سنگریزه) را شامل می‌شوند.

رستمی (Rostami, 2021) به بررسی تأثیر بندهای اصلاحی بر دانه بندی رسوبات در حوزه آبخیز کرمانشاه پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که بندهای توری سنگی در تله اندازی ذرات شن بهتر از بندهای سنگی ملاتی عمل می‌کنند. این در حالی است که بندهای سنگی ملاتی در ترسیب ذرات سیلت و رس عملکرد بهتری دارند. همچنین این پژوهش نشان داد در انتخاب نوع بند بررسی دانه بندی خاک حوزه آبخیز ضرورت دارد.

بررسی سوابق پژوهش‌های صورت گرفته و مطالعات انجام شده در تعیین توزیع اندازه رسوبات تولیدی نشان می‌دهد که در این زمینه پژوهش بسیار کم و بیشتر به سمت صرفاً دانه بندی رسوبات رفته است. در حالی که تعیین توزیع اندازه ذرات رسوب انباشته شده در پشت بندهای رسوب گیر از اقدامات مهم در ارزیابی کارایی آن‌ها در تله اندازی رسوبات است. همچنین این بررسی‌ها می‌تواند ارزیابی غیرمستقیمی از شرایط بهینه جهت احداث بندها از نظر ابعاد و موقعیت را ارائه دهد. با توجه به فرسایش بالا و هزینه‌های بسیار زیاد سازه‌ها این ضرورت را بیان می‌کند که به بررسی دانه بندی رسوبات پشت بندهای اصلاحی بپردازیم.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز لشکران در شمال غربی شهرستان سلماس در استان آذربایجان غربی واقع شده است. بر اساس تقسیم بندی کشوری در حوزه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد و مختصات جغرافیایی آن در طول جغرافیایی ۳۸°۴۴' تا ۴۰°۴۴' شرقی و عرض ۳۸°۱۷' تا ۳۸°۱۸' شمالی است. مساحت این حوضه ۳۶۳ هکتار است. در این حوزه ۱۱ سازه سنگی ملاتی در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۷ اجرا شده است که ۸ سازه در سال ۱۳۹۱ و ۳ سازه در سال ۱۳۹۷ در داخل آبراه‌های اصلی احداث شدند.

هستند که نقش ویژه و مهمی در کاهش بار رسوبی رودخانه ایفا می‌کنند (Hassanzadeh, 2020). هدف از احداث بندهای رسوب گیر جلوگیری از ورود ذرات رسوب ناشی از فرسایش اراضی بالادست به رودخانه اصلی است (Abedini, 2012; Asadzadeh, 2018). یکی از روش‌های سازه‌ای که به طور گسترده در دنیا به کار برده می‌شود، احداث بندهای اصلاحی است (Vaezi, 2020). این بندها با به دام انداختن رسوب موجود در جریان‌های سیلابی، شیب طولی آبراه‌ها را کاهش داده و فرصت مناسبی برای انجام عملیات بیولوژیکی مهار فرسایش خاک فراهم می‌آورند (Bombino, 2006; Romero-Díaz, 2012).

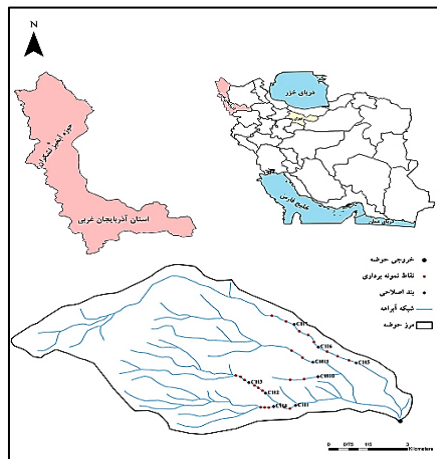
برای دستیابی به نتیجه بهتر در حوزه‌های آبخیز و به ویژه تله اندازی رسوبات در پشت بندهای اصلاحی، شناخت نوع رسوب و خصوصیات آن کمک شایانی در زمینه مدیریت بهتر حوزه‌های آبخیز و منابع آب و خاک به ما می‌کند.

با توجه به نقش بندهای رسوب گیر در به دام انداختن ذرات رسوب، مطالعه رسوبات موجود در پشت این بندها از نظر ویژگی‌های توزیع اندازه ذرات دارای اهمیت به سزایی است زیرا که ذخیره رطوبتی در پشت این بندها تابعی از توزیع اندازه ذرات رسوبات بوده، همچنین، اندازه‌های مختلف ذرات رسوب دارای ویژگی‌های شیمیایی متفاوتی بوده و از نظر آلاینده‌گی و تلفات عناصر غذایی بسیار متفاوت عمل می‌نمایند (Romero-Díaz et al., 2012; Hassanli et al., 2009).

تعیین فراوانی هر طبقه قطری از رسوبات را دانه بندی ذرات رسوبی می‌نامند (Sadeghi, 2014). توزیع اندازه ذرات<sup>۱</sup> از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی مواد رسوبی بوده که از آن به عنوان یک عامل مهم در مدیریت رسوب حوزه‌های آبخیز استفاده می‌شود (Asadzadeh, 2018; Yang, 2012). بسیاری از ویژگی‌های کمی و کیفی رسوبات مانند تخلخل، نفوذپذیری، قابلیت انتقال، واکنش پذیری شیمیایی و فرسایش پذیری تحت تأثیر اندازه ذرات و چگونگی توزیع آن‌ها است (Boadu, 2000; Flemming, 2007; Indraratna, 2011; Sierra, 2012). در حقیقت با استفاده از توزیع اندازه ذرات می‌توان به رفتارهای خاک و رسوب پی برد (Fredlund, 2000).

اصولاً بسیاری از ویژگی‌های رسوب از قبیل نفوذپذیری، رطوبت قابل استفاده و حاصل خیزی ارتباط مستقیمی با توزیع اندازه ذرات و بافت خاک دارند (Arabkhedri, 2018). با توجه به این که آگاهی از توزیع اندازه ذرات جابه جاشده از سطح حوزه‌های آبخیز و همچنین اطلاع از کارکرد بندهای اصلاحی در تله اندازی رسوبات و طبقه‌های قطری مربوطه، از گام‌های مورد نیاز در رفتارشناسی حوزه‌های آبخیز در مدیریت فرسایش و رسوب و اولویت بندی اقدامات حفاظت آب و خاک است بنابراین، مطالعه توزیع اندازه رسوبات انتقالی در حوزه‌های آبخیز از ضروریات است.

بر همین اساس در راستای تحقق بخشی از اهداف مربوط به ضرورت‌های ذکر شده، بررسی توزیع اندازه ذرات رسوب در پشت بندهای اصلاحی در حوزه آبخیز لشکران سلماس از اهداف



شکل ۱- موقعیت قرارگیری حوزه آبخیز لشکران شهرستان سلماس استان آذربایجان غربی  
Figure 1. The Location of Lashkaran Watershed (Salmas, West Azerbaijan Province)

شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. توزیع اندازه ذرات نمونه‌های رسوب به روش هیدرومتری (Gee, 1986) تعیین شد. با توجه به محدودیت هیدرومتر در تعیین توزیع اندازه ذرات با قطر بیش از ۰/۰۵ میلی‌متر، پس از آخرین قرائت هیدرومتر، نمونه‌های داخل استوانه مدرج به یک الک ۰/۰۵ میلی‌متری ریخته و شستشو داده شد تا ذرات با قطر بیش از ۰/۰۵ میلی‌متر جدا شوند. سپس داخل آن خشک شد. توزیع اندازه ذرات بخش باقی‌مانده (۲- ۰/۰۵ میلی‌متر) با استفاده از سری الک‌های با قطر ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۵ میلی‌متری به صورت دستی تعیین شد. شاخص‌های توزیع اندازه ذرات محاسبه شد. تغییرات این شاخص‌ها در توالی بندهای مختلف و همچنین آبراهه‌های با ویژگی‌های مختلف بررسی و تأثیر موقعیت بندها، توالی بندها و وضعیت آبراهه (شیب) بر روی این شاخص‌ها بررسی شد.

### روش پژوهش

ابتدا با پایش میدانی، محل و ابعاد سازه‌ها و ارتفاع رسوب انباشته‌شده در پشت سازه‌ها بررسی و اندازه گرفته شد. برای تعیین توزیع اندازه ذرات رسوبات، از رسوبات پشت هر بند اصلاحی در محلی نزدیک به دیواره عمودی بند اصلاحی، نمونه‌برداری از دو عمق ۰ تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری (جدول ۱) با فواصل ۲۰ متری و در امتداد محل نمونه‌برداری اول انجام و دو نمونه دیگر از عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متری برداشت شد (Bai, 2020; Najafi, 2013). در نمونه‌برداری از رسوبات پشت بندها به منظور جلوگیری از اختلاط خاک‌های مجاور دیواره آبراهه با نمونه‌های رسوب سعی شد از مناطق نزدیک به دیواره آبراهه نمونه‌برداری انجام نشود (Asadzadeh, 2018; Romero-Díaz, 2012). تعداد کل بندها ۱۱ عدد است ولی از هشت بند نمونه‌برداری انجام و مجموعاً ۳۲ نمونه رسوب با وزن تقریبی هر نمونه ۱/۵ تا ۲ کیلوگرم برداشت شد. از سه بند باقی‌مانده به دلیل پر شدن پشت سازه از نمونه‌برداری صرف نظر

جدول ۱- مشخصات نقاط نمونه‌برداری و بندهای اصلاحی حوزه آبخیز لشکران

Table 1. Specifications of sampling points and dams in Lashkaran Watershed

رتبه آبراهه Stream Order	فاصله از بند اصلاحی (متر) Distance from Checkdam (Km)	فاصله از خروجی حوضه (کیلومتر) Distance from outlet (Km)	عمق نمونه‌برداری Sampling depth	سال احداث سازه year of structure built	شماره سازه Structure No.	شماره نمونه Sample No.
			0-25			1
4	20	1.153	25-50			2
	40	1.173	0-25	1391	CH1	3
	60	1.193	25-50			4
	20	1.323	0-25			5
3			25-50	1397	CH2	6
	40	1.343	0-25			7
	60	1.363	25-50			8
	20	1.503	0-25			9
3	۴۰	1.523	25-50	1397	CH3	10
	40	1.543	0-25			11
	20	1.323	0-25			12
3			25-50	1397	CH4	13
	40	1.343	0-25			14
	60	1.363	25-50			15
	20	0.863	0-25			16
3			25-50	1391	CH5	17
	40	0.883	0-25			18
	60	0.903	25-50			19
	20	0.999	0-25			20
3			25-50	1391	CH6	21
	40	1.019	0-25			22
	60	1.039	25-50			23
	20	1.137	0-25			24
3			25-50	1391	CH7	25
	40	1.157	0-25			26
	20	0.957	0-25			27
1			25-50	1391	CH10	28
	40	0.977	0-25			29
	20	1.006	0-25			30
3			25-50	1391	CH11	31
	40	1.026	0-25			32

**نتایج و بحث**

بررسی نتایج به دست آمده از مثلث بافت خاک نشان داد بافت شنی لومی و پس از آن بافت لومی شنی بافت غالب می باشند. در بین نمونه ها بافت شنی، سیلتی و لومی سیلتی نیز وجود دارد ولی فراوانی آن ها در میان نمونه ها کمتر است.

**توزیع اندازه ذرات رسوب**  
نتایج دانه بندی نمونه های رسوب در سه طبقه شامل رس، سیلت و شن، بررسی و در (جدول ۲) ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی نمونه های رسوب برداشت شده از حوضه لشکران

Table 2. Physical characteristics of sediment samples collected from the Lashkaran Watershed

ردیف Row	شماره No.	رتبه آبراهه Stream order	درصد Percent			عمق نمونه برداری Sampling depth	سازه Structure	نمونه Sample
			رس Clay	سیلت Silt	شن Sand			
1	5		5.1	17.7	77.2	0-25		1
2	6		2.5	10.1	87.4	25-50		2
3	7	3	2.5	13	84.5	0-25	CH2	3
4	8		5.1	13.2	81.7	25-50		4
5	9		2.5	58.5	39	0-25		5
6	10	3	7.6	16.5	75.9	25-50	CH3	6
7	11		5.1	17.5	77.4	0-25		7
8	12		15.2	78.2	6.6	0-25		8
9	13		5.1	82.3	12.6	25-50		9
10	14	3	2.5	47.4	50.1	0-25	CH4	10
11	15		10.1	30.2	59.7	25-50		11
12	17	3	5.1	53.2	41.7	25-50	CH5	12
13	20		2.5	44.6	52.8	0-25		13
14	21		7.6	49.4	43	25-50		14
15	22	3	7.6	5.4	87	0-25	CH6	15
16	23		5.1	9.9	85	25-50		16
17	24		5.1	7.9	87	0-25		17
18	25	3	5.1	5.1	89.8	25-50	CH7	18
19	26		7.6	9.4	83	0-25		19
20	30		10.1	17.8	72.1	0-25		20
21	31	3	7.6	15.3	77.2	25-50	CH11	21
22	32		7.6	18.5	73.9	0-25		22
میانگین ذرات رسوب آبراهه رتبه ۳								
	6.1		28.2	65.7				
23	1		5.1	22.3	72.6	0-25		23
24	2		2.5	20.3	77.2	25-50		24
25	3	4	2.5	12	85.5	0-25	CH1	25
26	4		2.5	11.2	86.3	25-50		26
میانگین ذرات رسوب آبراهه رتبه ۴								
	3.2		16.5	80.4				
27	27		7.6	9.7	82.7	0-25		27
28	28	1	7.6	8.9	83.5	25-50	CH10	28
29	29		7.6	10.7	81.7	0-25		29
میانگین ذرات رسوب آبراهه رتبه ۱								
	7.6		9.8	82.7				

با توجه به اینکه میانگین ذرات شن، سیلت و رس به ترتیب ۶۹/۵، ۲۴/۷ و ۵/۸ درصد است نشان دهنده عملکرد بندهای اصلاحی در مهار رسوبات درشت دانه مانند شن است و این سازه ها در نگهداری ذرات ریزتر کارایی کمتری داشتند. کاظم زاده و همکاران (Kazemzadeh et al., 2022)، رستمی و همکاران (Rostami et al., 2021) و بایز شریف و همکاران (Baiz Sharif et al., 2023) نیز در پژوهش خود به نتایج مشابه رسیدند. همچنین ذرات ریز به صورت بار معلق از بندها

نتایج حاصل از بررسی (جدول ۲) نشان می دهد که در آبراهه های رتبه ۳ توزیع اندازه ذرات از الگوی خاص و منظمی پیروی نمی کند و میانگین شن، سیلت، رس به ترتیب ۶۵/۷، ۲۸/۲ و ۶/۱ درصد است. در آبراهه رتبه ۴ که بند CH1 در آن قرار دارد میانگین شن ۸۰/۴ درصد و بقیه ذرات به ترتیب ۱۶/۵ و ۳/۲ درصد است. این میزان در آبراهه رتبه یک به ترتیب ۸۲/۷، ۹/۸ و رس ۷/۶ درصد است. ولی به طور کلی میانگین درصد ذرات شن و پس از آن سیلت بیشترین میزان حجم ذرات تشکیل دهنده رسوبات است.

سه، یک بند در آبراهه رتبه چهار و یک بند در آبراهه رتبه یک احداث شده‌اند.

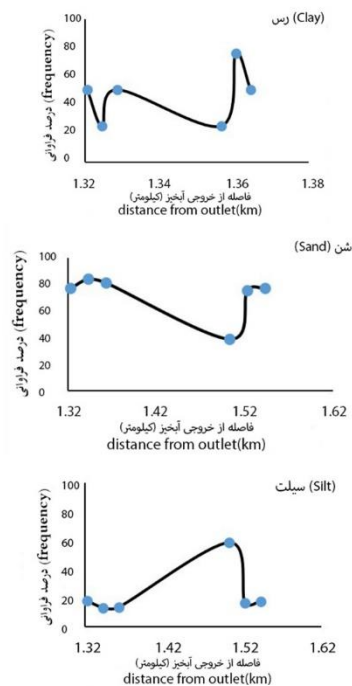
#### تحلیل توزیع اندازه رسوب آبراهه رتبه سه

همان‌طور که در (شکل ۲) نشان داده شده است میزان تغییرات ذرات رسوب روند منظمی ندارد ولی به‌طور کلی میزان رس و سیلت با افزایش فاصله از خروجی حوزه آبخیز حالت صعودی و ذره شن حالت نزولی دارد.

خارج می‌شوند که با نتایج پژوهش اسدزاده و صمدی (Asadzadeh & Samadi, 2016) هم‌سو است.

#### تحلیل توزیع اندازه رسوب بر اساس رتبه آبراهه

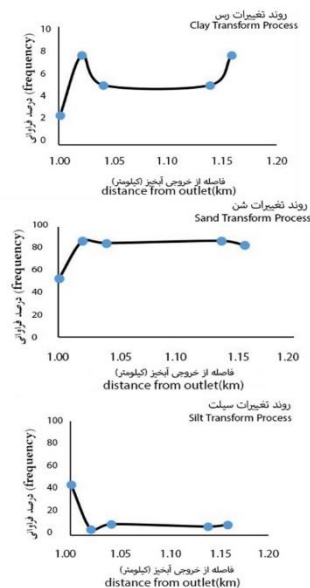
با توجه به اهمیت توزیع اندازه رسوب و عوامل مختلف تأثیرگذار بر آن به بررسی رابطه فاصله نقاط نمونه‌برداری رسوب با خروجی حوزه آبخیز بر اساس رتبه آبراهه پرداخته شد. در حوضه مورد مطالعه بندهای اصلاحی بر روی آبراهه با سه رتبه شامل یک، سه و چهار می‌باشند. هفت بند بر روی آبراهه رتبه



شکل ۲- نمودار توزیع اندازه رسوب در بندهای اصلاحی CH2, CH3  
Figure 2. Sediment size distribution diagram in CH2, CH3 dams

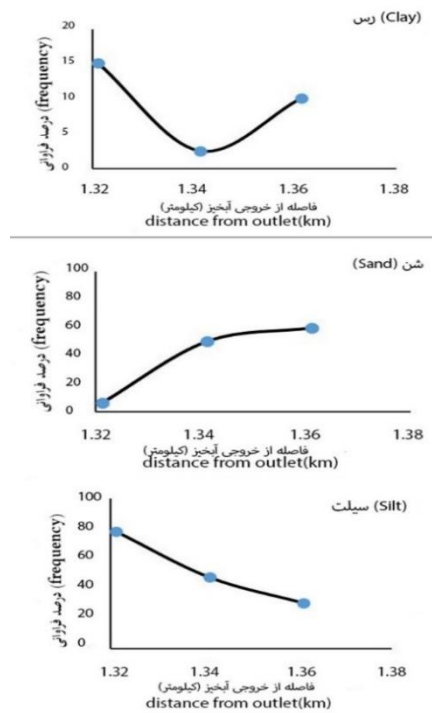
به شکل با افزایش فاصله از خروجی رس و شن حالت صعودی و سیلت روند نزولی دارد.

روند تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب پشت بندهای متوالی CH5, CH6, CH7 در (شکل ۳) نشان داده شده است. با توجه



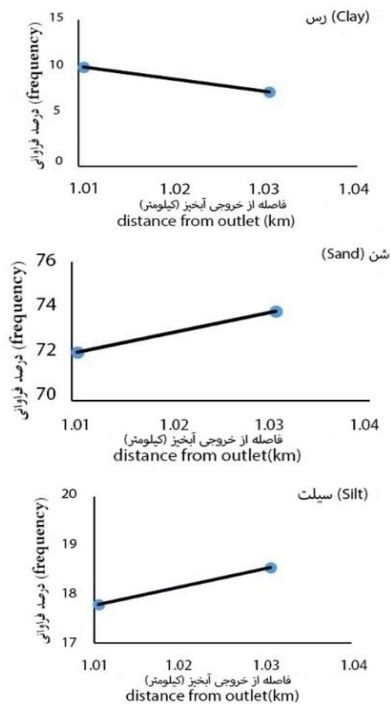
شکل ۳- نمودار توزیع اندازه رسوب در بندهای اصلاحی CH5, CH6, CH7  
Figure 3. Sediment size distribution diagram in CH5, CH6, CH7 dams

در مورد بند CH4 همان طور که در (شکل ۴) نشان داده شده است تغییرات میزان ذرات رسوب از روند منظمی پیروی نکرده به طور کلی رس و سیلت روندی نزولی و شن حالت صعودی دارد.



شکل ۴- نمودار توزیع اندازه رسوب در بند اصلاحی CH4  
 Figure 4. Sediment size distribution diagram in CH4

با توجه به تعداد کم نمونه برداشت شده از بند CH11 نمی توان تحلیل دقیقی از روند تغییرات ارائه کرد و با اکتفا به داده های موجود در (شکل ۵) تغییر میزان رسوبات ارائه شده است که ذرات رس با افزایش فاصله از خروجی روند نزولی، سیلت و شن نیز حالت صعودی دارد.



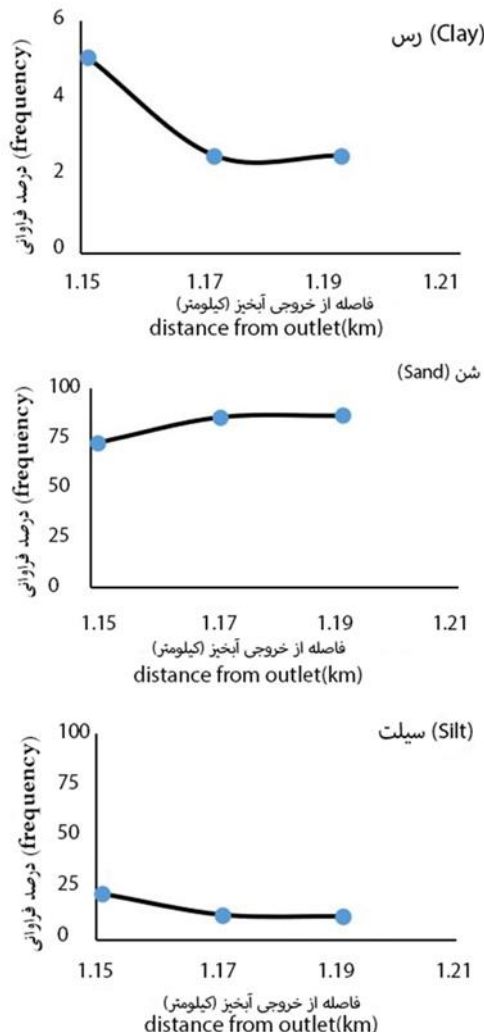
شکل ۵- نمودار توزیع اندازه رسوب در بند اصلاحی CH11  
 Figure 5. Sediment size distribution diagram in CH11



پشت‌بندها کاهش پیدا می‌کند. بند CH1 بر روی آبراهه رتبه چهار قرار گرفته است و انتظار می‌رود با افزایش فاصله از خروجی میزان شن افزایش و رس نیز کاهش پیدا کند. همان‌گونه که در (شکل ۶) نشان داده شده است میزان رس و سیلت با افزایش فاصله از خروجی روند نزولی و شن نیز روند صعودی دارد.

#### تحلیل توزیع اندازه رسوب آبراهه رتبه چهار

آبراهه رتبه چهار دارای شدت جریان بالایی است و تصور این است که ذرات درشت‌تری را با خود حمل می‌کند. در طول مسیر با نزدیک شدن به خروجی، میزان ذرات درشت به دلیل وجود بندهای اصلاحی و به طبع آن انباشته شدن رسوبات در

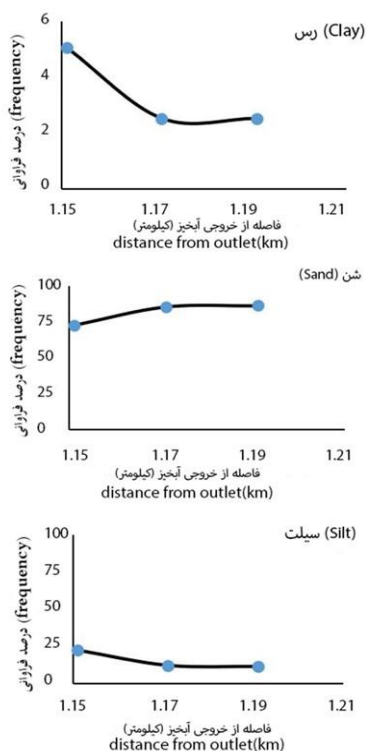


شکل ۶- نمودار توزیع اندازه رسوب در بند اصلاحی CH1  
Figure 6. Sediment size distribution diagram in CH1

تغییرات ذرات رسوب بند CH10 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار رس با افزایش فاصله ثابت بوده و سیلت افزایش و شن کاهش پیدا کرده است.

#### تحلیل توزیع اندازه رسوب آبراهه رتبه یک

آبراهه رتبه یک کمترین شدت جریان را دارد و جزء اولین انشعابات آبراهه حوزه آبخیز هستند. در حوضه مورد مطالعه فقط یک بند بر روی آبراهه رتبه یک قرار دارد. در (شکل ۷) روند



شکل ۷- نمودار توزیع اندازه رسوب در بند اصلاحی CH10  
Figure 7. Sediment size distribution diagram in CH10

روند افزایشی داشته و مقدار آن قابل توجه نیست. میزان شن، سیلت و رس در بند CH1 که در آبراهه رتبه چهار قرار دارد، به ترتیب ۸۰، ۱۶ و ۴ درصد است. این نتیجه نشان می‌دهد بندهای بالادست حوضه ذرات درشت‌تر را مهار کرده‌اند. اما این روند در بندهای اصلاحی دیگر مشاهده نمی‌شود. به نظر می‌رسد در تغییرات اندازه رسوب انباشته شده، نوع بند رسوب‌گیر و توالی آن تأثیرگذار است. در بندهای احداث شده که از رسوبات پر شده‌اند، کارایی کافی برای کاهش سرعت جریان‌های سیلابی را ندارند، به طوری که ذرات ریز از بندها خارج شده و رسوبات حتی در بندهای پایین دست نیز بافت شنی دارد. بنابراین، به دلیل اینکه مخزن این بندها با رسوبات درشت‌دانه پر شده است، هدف اصلی احداث این بندها که نگهداشت رسوبات ریزدانه است به طور کامل تحقق نیافته است.

با توجه به نتایجی که از این پژوهش به دست آمده مواردی جهت انجام پژوهش‌های دیگر پیشنهاد می‌شود. از جمله اینکه افزایش فواصل و تعداد نمونه‌برداری جهت نتیجه‌گیری دقیق‌تر و نتیجه بهتر توصیه می‌شود. همچنین بندهایی که توالی مشخصی از یکدیگر دارند و در یک آبراهه و مسیر قرار دارند بررسی شوند تا مقایسه بهتری صورت پذیرد. با توجه به اینکه خصوصیات خاک و رسوب در فواصل بیشتری تغییر پیدا می‌کند و در مقیاس کوچک‌تر نمی‌توان نتیجه دقیق‌تری گرفت در نتیجه پیشنهاد می‌شود فاصله بهینه‌ای از بندها از همدیگر و خروجی حوزه آبخیز انتخاب شود.

به دلیل فاصله کم بندها از یکدیگر و شایستگی جریان، رواناب، ذرات ریز تا درشت را با خود حمل کرده و نمی‌توان تمایز قطری منظمی به دست آورد. این نتایج با پژوهش رستمی و همکاران (Rostami et al., 2021) تطابق داشت. آلفونسو-تورونیو و همکاران (Alfonso-Torreño et al., 2019) نیز در بررسی بندهای اصلاحی جنوب غرب اسپانیا نشان دادند که موقعیت توپوگرافی بندها و قرارگیری آن‌ها در رتبه‌های متفاوت آبراهه در تجمع رسوب نقش دارد.

### نتیجه‌گیری کلی

توزیع اندازه ذرات رسوب از مهم‌ترین ویژگی‌های رسوبات به حساب می‌آید و بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات تحت تأثیر چگونگی توزیع اندازه ذرات رسوب است. عوامل مختلفی از جمله اندازه ذرات رسوب بر عملکرد بندهای اصلاحی تأثیرگذار است. با توجه به اینکه سازه‌های اصلاحی به طور گسترده در برخی از کشورها از جمله ایران برای کاهش تولید رسوب به کار می‌رود، پژوهش حاضر با هدف توزیع اندازه رسوب انباشته در پشت بندهای اصلاحی انجام شده است تا قبل از احداث سازه‌ها، خاک و رسوب منطقه به طور دقیق بررسی و سپس تصمیمات مدیریتی جهت کنترل رسوب اتخاذ شود.

در توالی بندهای اصلاحی CH5، CH6 و CH7 میزان شن ۷۹، سیلت ۱۵/۵ و رس ۵/۵ درصد و با افزایش فاصله از خروجی آبخیز میزان شن روند افزایشی و سیلت کاهش یافته بوده گرچه رس

## References

- Abbasi, N. A., Xu, X., Lucas-Borja, M. E., Dang, W., & Liu, B. (2019). The use of check dams in watershed management projects: Examples from around the world. *Science of the total environment*, 676, 683-691.
- Abedini, M., Said, M. A. M., & Ahmad, F. (2012) Effectiveness of check dam to control soil erosion in a tropical catchment (The Ulu Kinta Basin). *Catena*, 97, 63-7.
- Alfonso-Torreño, A., Gómez-Gutiérrez, Á., Schnabel, S., Contador, J.F.L., de Sanjosé Blasco, J.J., & Fernández, M.S. 2019. sUAS, SfM-MVS photogrammetry and a topographic algorithm method to quantify the volume of sediments retained in checkdams. *Science of the Total Environment*, 678, 369-382.
- Arabkhedri, M., Feiznia, S., & Kamali, K. (2018). Attitude on River Suspended Sediment Grain-size in Arid and Semi-arid Regions of Iran and Its Impact on Floodwater Harvesting Systems. *Iranian Journal of watershed management science*, 12(41), 73-84.
- Asadzadeh, F. (2018). Evaluation of Prediction Error in Some Particle Size Distribution Models for River Sediments. *Iranian Journal of Soil Research*, 31(4), 587-599.
- Asadzadeh, F., & Samadi, A. (2016). Analysis of Physicochemical Properties of Sediments Trapped in Successive Check Dams. *Iranian journal of soil and water research*, 47(2), 293-306.
- Bai, L., Wang, N., Jiao, J., Chen, Y., Tang, B., Wang, H., ... & Wang, Z. (2020). Soil erosion and sediment interception by check dams in a watershed for an extreme rainstorm on the Loess Plateau, China. *International Journal of Sediment Research*, 35(4), 408-416.
- Baiz Sharif, H., Khaleghpanah, N., Davari, M., & Rahimzadeh, M. (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.
- Boadu, F. K. (2000). Hydraulic conductivity of soils from grain-size distribution: new models. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(8), 739-746.
- Bombino, G., Tamburino, V., & Zimbone, S. M. (2006). Assessment of the effects of checkdams on riparian vegetation in the Mediterranean environment: A methodological approach and example application. *Ecological engineering*, 27(2), 134-144.
- Flemming, B. W. (2007). The influence of grain-size analysis methods and sediment mixing on curve shapes and textural parameters: implications for sediment trend analysis. *Sedimentary Geology*, 202(3), 425-435.
- Fredlund, M. D., Fredlund, D. G., & Wilson, G. W. (2000). An equation to represent grain size distribution. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(4), 817-827.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis In :A. Klute. (ed.) Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. *ASA Monograph*, 9, 337-382.
- Hassanzadeh, A., Seyedian, M., Rouhani, H., & Farasati, M. (2020). Evaluation of Fractal Properties of Different Layers Sedimentation Behind the Check Dam. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 14(49), 59-69.
- Indraratna, B., Nguyen, V. T., & Rujikiatkamjorn, C. (2012). Hydraulic conductivity of saturated granular soils determined using a constriction-based technique. *Canadian Geotechnical Journal*, 49(5), 607-613.
- Kazemzadeh, M., Jahantigh, M., Noori, Z., Bayat, A., & Elyasi, A.S. (2022). Evaluation of watershed management measures effects on particle size distribution and phosphorus and organic carbon amounts in sediments (Case study: Taleghan paired watersheds). *Journal of Water and Soil Conservation*, 28(3), 93-113.
- Madanchi, P., Shahedi, K., & Saidian, H. (2022). Investigation of the Effect of Watershed Management Operations on Erosion Change and Sedimentation Class, using MPSIAC Experimental Model in Semi-Arid Regions. *Journal of Watershed Management Research*. 13(25), 40-49 (In Persian).
- Najafi, S., & Sadeghi, S. H. R. (2013). Estimation of sediment sources through comparing results from soil erosion mapping, fingerprinting and field measurement techniques. *Watershed Engineering and Management*, 5(3), 165-178 .
- Rasouliazar, S., & Nahavand, S. F. (2018). Socio-economic and Environmental Impacts of the Watershed Management Projects in Mahabad's Dam Catchment. *Management Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 18(3), 353-358.
- Romero-Díaz, A., Marín-Sanleandro, P., & Ortiz-Silla, R. (2012). Loss of soil fertility estimated from sediment trapped in check dams. South-eastern Spain. *Catena*, 99, 42-53.
- Rostami, K., Vaezi, A., & Sadeghi, S. H. (2021). The Effect of Gabion and Masonry Check Dams on Aggregation of Deposited Sediments in Razin Watershed, Kermanshah, Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 15(55), 22-35.
- Sadeghi, S. H. R., Gharemahmudli, S., & Khaledi Darvishan, A. (2014). Variability of Amount and Particle Size Distribution and Morphometric Characteristics of Bed Loads Due to Sand and Gravel Mining. *Water and Soil*, 28(1), 203-218 .

- Sierra, C., Menéndez-Aguado, J. M., Afif, E., Carrero, M., & Gallego, J. R. (2011). Feasibility study on the use of soil washing to remediate the As-Hg contamination at an ancient mining and metallurgy area. *Journal of hazardous materials*, 196, 93-100.
- Tajiki, M., Najafinejad, A., Gholipour, M., Siroosi, H., Sadodin, A., Sheikh, V.B., Zare Garizi, A., & Holisaz, A. (2022). Efficiency of Watershed Management Measures on Erosion and Sedimentation of Qarnaveh watershed, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*. 13(26), 163-177 (In Persian).
- Vaezi, A., Rostami, K., & Sadeghi, S. H. R. (2020). Investigation on the effectiveness of gabion check dams in amount and grain size of sedimentation in the Rezin watershed, west of Iran. *ournal of Water and Soil Conservation*, 27(5), 201-216.
- Wei, X., Li, X., & Wei, N. (2016). Fractal features of soil particle size distribution in layered sediments behind two check dams: Implications for the Loess Plateau, China. *China. Geomorphology*, 266, 133-145.
- Yang, X., Lee, J., Barker, D. E., Wang, X., & Zhang, Y. (2012). Comparison of six particle size distribution models on the goodness-of-fit to particulate matter sampled from animal buildings. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(6), 725-735.