

Evaluation The Effect of Depth and Flow Velocity on The Particle Size and Shape of Surface Sediments of Sandy Rivers Using Image Processing Methods

Maryam Sohrabi¹, Seyed Ali Ayyoubzadeh^{2*}, Ghorban Mahtabi³

1- M.Sc of Water Structures, Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Professor of Water Structures, Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3- Associate Professor of Water Structures, Department of Water Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

* ayyoub@modares.ac.ir

Received: 23 May 2023

Accepted: 29 August 2023

Discussion: 22 September 2024



J. Hydraul.

Iranian Hydraulic Association

Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: One of the important challenges in studying the hydraulic, morphological and ecological behavior of rivers is to accurately determine the geometrical dimensions of river bed particles. The information extracted from the grain size curve of river bed particles has many applications in the field of river engineering, such as modeling of sediment transport, changes in sediment deposition or river bed erosion, and changes in river morphology (Hasannejad Sharifi et al., 2015). Nowadays, despite the fact that determining the granularity of the bed particles and the boundaries of rivers is important, the removal of sediments from the natural environment leads to disturbing the sedimentary bed and causes changes in the river system (Sadeghi and Qara Mahmoudoli, 2013). Therefore, it is very important to use a method that can calculate the results of granulation with less cost and quickly. Image processing methods are known as new methods have been taken into consideration in order to increase rapidity and accuracy, along with the method of field measurement of granularity.

Methodology: In this research, by examining the morphological and sedimentary conditions of the rivers of the Zanjan province, as well as the ease of access, Zanjanrud River was selected as the study area. Then three cross-sections for sampling with frame dimensions of 20×20 cm were determined from the bed of Zanjanrud River and after photographing the surface of the samples, painting by spray paint in order to identify the surface grains, sampling was done from the determined sections. The samples were taken to the laboratory and the sieve test was performed. Then, in the laboratory environment, each of the samples was arranged in a metal frame with dimensions of 20×20 cm and was installed in a channel with a length of 8 meters and a width of 20 cm. By applying the conditions of stagnant water at three depths of 4, 8 and 12 cm and water flow with different depths and velocities, the samples were re-photographed and the grain size curve were obtained by Image J and Hydraulic Toolbox software.

Results and discussion: Based on the results of Sieve, in sample A, almost 85% of the

particles have a diameter equal to and less than 31.7 mm. In sample B, almost 85% of the particles passed through the sieve of 1.38 mm. In sample C, more than 97% of the particles passed through the 38.1 mm sieve. According to the classification system of the United States, the sediments of all three sections of Zanzanrud River are gravel. Also, according to the results, it can be seen that the standard deviation of the samples is less than 2, the uniformity coefficient is less than 4, and the sorting coefficient is less than 2, which shows that the examined samples are almost uniform. In sample A, at depth of 8 cm, the average relative absolute error values were obtained similar to those at depth of 4 cm. In sample B, the average error value of the fine grains is the same as the coarse grains. The reason for this can be due to the low value of the standard deviation of this sample compared to the other two samples. The average error value at depth of 8 cm was found to be 14% for fine grains and 12% for coarse grains. In sample C, similar to sample A, the average error value in the fine grains is less compared to the coarse grains. The average relative error at depth of 8 cm was found to be 9% for fine grains and 14% for coarse grains. Results showed that Image J software has better performance than Hydraulic Toolbox software in determining the particles granulation curve of the Zanzanrud River.

The effect of flow velocity and depth on the K values of the index diameter of 50% showed that at depth of 4 cm, the average values of K in samples A, B, and C are 1.01, 1.19, and 1.08, respectively. Also, at depth of 8 cm, the values of K for samples A, B, C are equal to 1.05, 1.12, and 1.11, respectively, and at depth of 12 cm, there are equal to 1.08, 1.18, and 1.13, respectively. According to these results, it can be seen that the K values of sample A are lower than the other two samples in all three depths of 4, 8, and 12 cm. At depth of 8 cm, the K values of sample B at different velocities coincide approximately with those of sample C. Also, the K values of sample C at two depths of 4 and 12 cm are lower than the K values of sample B. The average K values of the 50% index diameter at three depths of 4, 8, and 12 of sample A are 1.01, 1.05, and 1.08, respectively (with an average value of 1.046); the mean K values of sample B are 1.19, 1.12 and 1.18 respectively (with an average value of 1.16) and also the mean K values of sample C are 1.08, 1.11 and 1.13 respectively (with an average value of 1.1) (with a total average of 1.1 for all three samples).

Conclusion: In most of the hydraulic flow conditions, the granulation curve obtained by Image J software is close to the sieve granulation curve. In contrast, the Hydraulic Toolbox granulation curve is significantly different from the sieve curve and the curve of Image J software. The flow velocity and flow depth does not have a noticeable effect on the K values of the index diameter of 50%.

Keywords: Image processing, Surface layer, Granulation curve, Shape factor, Image J, Hydraulic Toolbox.



© 2024 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.

This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

ارزیابی تاثیر عمق و سرعت جریان بر نتایج دانه‌بندی و شکل ذرات رسوبات سطحی بستر رودخانه‌های شنی با استفاده از روش‌های پردازش تصویر


مریم سهرابی^۱، سیدعلی ایوب زاده^{۲*}، قربان مهتابی^۳

۱- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استاد گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان، زنجان.

* ayyoub@modares.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۷، نقد و بررسی: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱  وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: در بررسی رفتار هیدرولیکی، ریخت‌شناسی و اکولوژیکی رودخانه‌ها یکی از چالش‌های مهم، تعیین دقیق ابعاد هندسی زبری بستر رودخانه‌هاست. در این تحقیق تاثیر عمق و سرعت جریان بر نتایج دانه‌بندی و شکل ذرات رسوبات سطحی بستر رودخانه‌های شنی با استفاده از روش پردازش تصویر ارزیابی گردید. سه مقطع جهت نمونه‌برداری با ابعاد قاب 20×20 سانتی‌متر از بستر رودخانه زنجانرود تعیین و پس از عکس‌برداری از سطح رسوبات، رسوبات نمونه‌ها جمع‌آوری و با روش الک دانه‌بندی شد. در محیط آزمایشگاه، هر یک از نمونه‌ها داخل قاب فلزی با ابعاد 20×20 سانتی‌متر چیده و در کانالی به طول ۸ متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر نصب شد. با اعمال شرایط آب ساکن در سه عمق ۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر و جریان آب با عمق و سرعت‌های مختلف، عکس‌برداری مجدد از نمونه‌ها صورت گرفت و نتایج توسط نرم‌افزارهای Image J و Hydraulic Toolbox پردازش گردید. مقایسه نتایج منحنی‌های دانه‌بندی حاصل از نرم‌افزارها نشان‌دهنده عملکرد بهتر نرم‌افزار Image J نسبت به نرم‌افزار Hydraulic Toolbox می‌باشد. مطابق نتایج، عمق و سرعت جریان تاثیر محسوسی روی نسبت مقادیر قطرهای شاخص منحنی الک به قطرهای شاخص حاصل از نرم‌افزار Image J (ضریب K) ندارد، بطوریکه میانگین K در قطر شاخص ۵۰٪ در سه نمونه A، B و C به ترتیب برابر با ۱/۰۴۶، ۱/۱۶ و ۱/۱ بدست آمد. نتایج فاکتور شکل نشان داد از دید قائم، در نمونه A ۸۸٪ ذرات مستطیلی و ۱۲٪ ذرات بیضی شکل هستند. در نمونه B ۷۸٪ ذرات مستطیلی و ۲۲٪ ذرات بیضی و در نمونه C ۸۰٪ ذرات مستطیلی و ۲۰٪ ذرات بیضی شکل هستند.

کلیدواژگان: پردازش تصویر، منحنی دانه‌بندی، لایه سطحی، فاکتور شکل، زنجانرود، نرم‌افزار IMAGE J, HYDRAULIC TOOLBOX

۱- مقدمه

بندی بر روی آنها انجام گیرد. اطلاعاتی که از منحنی دانه‌بندی ذرات بستر رودخانه استخراج می‌شود، کاربردهای فراوانی در زمینه مهندسی رودخانه مانند مدل‌سازی انتقال رسوبات، تعیین وضعیت رسوب‌گذاری یا فرسایش بستر رودخانه و تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی رودخانه دارد (Hassannejad Sharifi et al., 2016). از طرفی محاسبه‌های دبی-اشل رودخانه و سرعت جریان به اندازه زبری و شکل بستر بستگی کامل دارد، این ویژگی‌ها یعنی

رودخانه‌ها همواره نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در زندگی انسان‌ها به‌عنوان یک منبع مهم آب‌سطحی، داشته‌اند. تعیین دقیق ابعاد و مشخصه‌های رودخانه‌ها و رسوبات بستر از مهم‌ترین مسئله‌های رودخانه‌ها به‌شمار می‌آید. روش متداول برای تعیین دانه‌بندی خاک روش الک است. برای تعیین اندازه توزیع ذرات بستر رودخانه یا آبراهه‌ها، نمونه‌های مصالح گردآوری شده و به آزمایشگاه منتقل می‌شوند تا آزمون دانه-

سطح مورد بررسی به آسانی تصویربرداری کرد. با این وجود، کیفیت تصویربرداری از رسوب‌های بستر رودخانه و دقت پردازش تصویر آنها تحت تاثیر عامل‌های هیدرولیکی و محیطی مختلف مانند: شدت تابش خورشید و پدیده شکست نور در عمق آب (ناشی از تغییرپذیری‌های عمق جریان)، تلاطم سطح آب (ناشی از تغییرپذیری‌های سرعت جریان)، نیروی وارده از جریان آب به سه پایه عکاسی می‌باشد.

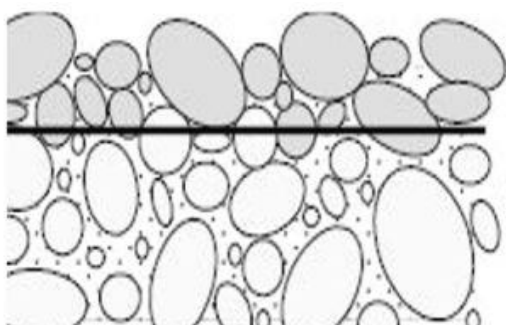


Fig. 1 Deep sampling method
شکل ۱ چگونگی نمونه‌برداری عمقی

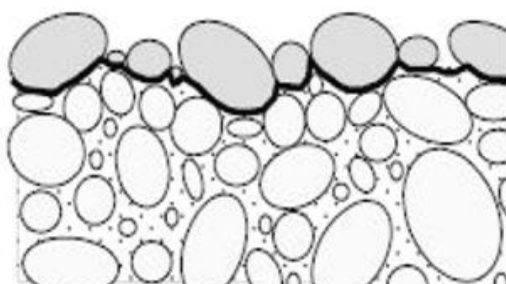


Fig. 2 Surface sampling method
شکل ۲ چگونگی نمونه‌برداری سطحی

با پیشرفت فناوری‌ها و ترویج دوربین‌های عکاسی دیجیتال، الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی برای تجزیه و تحلیل خودکار اطلاعات بستر با استفاده از تصویرهای دیجیتالی دریافت شده از بستر آبراهه‌ها ارائه شده‌اند. البته رعایت استانداردهای حاکم بر روش پردازش تصویر از عامل‌های مهم در صحت‌سنجی این روش با روش متداول ال‌ک می‌باشد. از این استانداردها می‌توان به عامل‌هایی مانند قدرت جداسازی دوربین، اندازه قاب تصویر و الگوریتم مورد استفاده، فاصله دوربین تا بستر و اندازه ذرات بستر اشاره کرد. همچنین شرایط نور یکسان (زمان عکاسی در فاصله ظهر، وجود نور متعادل، نبود سایه و در صورت امکان ابری بودن آسمان) از

تغییرپذیری‌های اندازه زبری و شکل بستر در اثر جریان آب تاثیر مهمی در رابطه دبی-اشل به‌ویژه به هنگام عبور سیل دارد. رابطه دبی-اشل یک معادله مقاومت در مقابل جریان است که برای تعیین عمق آب در صورتی که دبی، شکل آبراه، شیب، ویژگی‌های مواد بستر مشخص باشد، به کار می‌رود (White et al., 2005). بنابراین تعیین دانه‌بندی مصالح بستر و حریم رودخانه‌ها با اهمیت بوده، اما برداشت رسوب‌ها از محیط طبیعی منجر به برهم زدن بستر رسوبی شده و تغییرهایی را در سامانه رودخانه به‌وجود می‌آورد (Sadeghi and Gharamahmudli, 2013). از سویی دیگر به علت هزینه‌های گزاف نمونه‌برداری دستی از رودخانه، انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و هزینه‌های مربوط به آزمایش‌های مکانیک خاک، بیشتر شرکت‌های مهندسان مشاور از آن چشم‌پوشی می‌کنند و کارفرمایان حاضر به قبول هزینه‌های آزمایشگاه نیستند. لذا اهمیت استفاده از روشی که با هزینه کمتر و سرعت بالا بتواند نتایج ناشی از دانه‌بندی را محاسبه کند، بسیار با اهمیت است (Zarei et al., 2019).

روش‌های پردازش تصویر روش جدیدی است که در کنار روش اندازه‌گیری میدانی دانه‌بندی به منظور افزایش سرعت و دقت به آن توجه شده است. در روش نمونه‌برداری از مصالح سطحی بستر، به‌طور معمول نمونه‌ها از عمق بستر رودخانه برداشت می‌شوند و اندازه این مصالح به‌طور عمده با ذرات سطحی بستر که با جریان در تماس‌اند، متفاوت هستند، بنابراین نمی‌توان نتیجه درستی از دانه‌بندی لایه سطحی مصالح بستر که با جریان رودخانه در تماس مستقیم هستند، گرفت (Bunte and Abt, 2001). شکل ۱ چگونگی نمونه‌برداری عمقی و شکل ۲ چگونگی نمونه‌برداری سطحی را نشان می‌دهد (Management and Planning Organization of Iran, 2007).

از برتری‌های دانه‌بندی خاک بر مبنای روش فنی پردازش تصویر، صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ای انجام آزمایش دانه‌بندی نسبت به روش معمول و رایج اطلاعات دقیق از منطقه‌های کوچک و تعمیم نمونه‌ها به منطقه‌های بزرگ‌تر، شناسایی، اندازه‌گیری، تحلیل و تعیین آسان‌تر توزیع مکانی و زمانی ذرات اشاره کرد (Penders, 2010). از طرفی می‌توان از ذرات رسوبی در منطقه‌های دسترس‌ناپذیر بدون آسیب به

حالت خشک و تر با پردازش تصویر (رودخانه سیرج کرمان) تعیین شد. مقایسه عملکرد نرم‌افزارهای Image J و Hydraulic Tool Box و GIAS نشان داد که نرم‌افزار Image J عملکرد بهتری در استخراج منحنی دانه بندی دارد (Azizian and Samadi, 2019).

به منظور برآورد منحنی دانه‌بندی رسوب‌های درشت‌دانه سطحی از یک سامانه تصویربرداری یکپارچه استفاده شد. پردازش رسوب‌های رودخانه در حالت خشک و تر با نرم‌افزار ImageJ انجام گرفت. مقایسه نتایج نرم‌افزار ImageJ با روش الک نشان دهنده دقت خوب نرم‌افزار بود (Tabee et al., 2023).

در تعیین دانه‌بندی رسوب‌های بستر، پس از بررسی ۳۹ نمونه اندازه‌گیری و تصویربرداری شده (با استفاده از پردازش تصویر)، در بستر سه رودخانه در انگلیس این نتیجه‌گیری شد که پردازش تصویر در سطح اعتماد ۹۵ درصد دارای دقت مناسبی است (Graham et al., 2005).

پژوهشی در ساحل‌های دلتای رودخانه الوا با استفاده از یک روش خود همبستگی برای تعیین ابعاد رسوب‌های درشت‌دانه از طریق پردازش عکس‌های تهیه شده از رسوب‌های بستر انجام شد. نتایج نشان داد خطای روش مورد استفاده در برآورد اندازه میانگین ذرات در محدوده ۱ تا ۲۰۰ میلی‌متر برابر ۱۴ درصد می‌باشد (Warrick et al., 2009).

به منظور تعیین اندازه میانگین ذرات رسوبی با استفاده از یک روش خودکار پردازش تصویر در رودخانه‌های دارای شیب زیاد انجام شد، گزارش شد که در ۸۵ درصد موارد، نتایج روش پردازش تصویر بیشینه ۵۰ درصد با نتایج روش الک اختلاف داشتند (Penders, 2010).

به‌کارگیری یک روش مبتنی بر پردازش تصویرهای دیجیتالی در مقابل روش شمارش ذرات به منظور تعیین منحنی دانه‌بندی ذرات سنگی نشان داد که روش مبتنی بر تصویرهای دیجیتالی به‌طور قابل قبولی در پنج ناحیه از شش ناحیه مورد بررسی نتایج خوبی نشان داد (Strom et al., 2010).

در رودخانه راسیل با بستر شنی واقع در مالزی، روش فنی تعیین خودکار اندازه ذرات با کمک نرم‌افزار Image J بررسی شد (Sulaiman et al., 2014). نتایج بیانگر توانایی خوب نرم‌افزار به‌ویژه در دامنه ذرات ریز بود.

محدودیت‌های این روش است (Hassannejad Sharifi et al., 2016; Sadeghi and Gharamahmudli, 2013; Azizian and Samadi, 2019).

۱-۱- اشاره به منابع

در معرفی روش عکس‌برداری شبکه‌ای از بستر رودخانه برای تعیین دانه‌بندی لایه محافظ بستر درشت‌دانه (بررسی موردی: رودخانه کرج)، عکس‌برداری از فراز نقطه‌های یک شبکه انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش پردازش تصویر روشی سریع و بدون نیاز به نمونه‌برداری می‌باشد (Abd Sharif Esfahani et al., 2006).

در ارتباط با استفاده از روش پردازش تصویر، الگوریتمی در محیط نرم‌افزار متلب ایجاد شد که توانایی استخراج مشخصه‌های هندسی مصالح سطحی بستر رودخانه را از روی تصویرهای تهیه شده دارد. نتایج نشان داد که الگوریتم توسعه داده شده را می‌توان با دقت مناسب در بررسی‌های هیدرولیکی، ریخت‌شناسی رودخانه و فرسایش رسوب استفاده کرد (Azizian et al., 2013).

در زمینه برآورد توزیع دانه بندی ذرات رودخانه‌های با بستر شنی از روش‌های الگوریتم حوضه آبخیز و الگوریتم بازسازی تصویر در نرم‌افزار متلب استفاده شد. نتایج نشان داد که بازده برآورد قطر ذرات در مدل بازسازی تصویر ۹۶/۳ درصد و در مدل الگوریتم حوضه آبخیز ۶۶ درصد بود. این امر گویای برتری نسبی پالایشگر بازسازی تصویر در مقابل الگوریتم حوضه آبخیز بود و این روش می‌تواند کارآمدترین و سریع‌ترین روش برای جایگزینی روش‌های سنتی، مانند الک کردن شود (Payesteh et al., 2018).

در تحقیقی به بررسی کارایی الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر شامل Image J و Hydraulic Tool Box و GIAS در تعیین زبری هیدرولیکی به کمک منحنی دانه‌بندی در رودخانه‌های بستر شنی پرداخته شد. با مقایسه عملکرد Image J و Hydraulic Tool Box و Basegrain نتیجه‌گیری شد که نرم‌افزار Hydraulic Tool Box J عملکرد بهتری در استخراج منحنی دانه بندی بسترهای شنی دارد (Zarei et al., 2019).

در بررسی دیگری دانه بندی مصالح سطحی آبراهه‌ها در دو

محاسبه‌ها خواهد بود. بازه‌ی تقریباً نیم کیلومتری در طول رودخانه زنگان رود از حدفاصل موقعیت جغرافیایی $32^{\circ} 08' 48'' E$ و $24^{\circ} 55' 36'' N$ تا $32^{\circ} 08' 48'' E$ و $33^{\circ} 55' 36'' N$ به عنوان محدوده نمونه‌برداری در نظر گرفته شد.

۲-۲- روش نمونه برداری میدانی

نمونه‌برداری در ۳ مقطع با فاصله طولی تقریبی ۲۰۰ متر از یکدیگر صورت گرفت. (نخستین مقطع به صورت تصادفی با ویژگی‌های مطرح شده انتخاب شد). برای هر مقطع قابی مربعی شکل به ابعاد 20×20 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از تعیین محل‌های نمونه‌برداری، نخستین مرحله تصویربرداری از نمونه‌ها می‌باشد. برای تهیه تصویرها از دوربین نیکون مدل D7200 با قدرت جداسازی مکانی ۲۴ مگاپیکسل استفاده شد. لازم به یادآوری است برای تهیه بهترین تصویر برای پردازش، بایستی دوربین نسبت به سطح تصویربرداری قائم باشد. بدین منظور از دوربین مجهز به تراز، سه پایه با قابلیت تنظیم ارتفاع از سطح زمین برای حذف خطای ناشی از لرزش دست و سایه انداخت روی زمین و قاب استفاده شد.

با توجه به مسئله‌های موجود در پیمایش میدانی مسیر رودخانه و حمل تجهیزات تصویربرداری مورد نیاز، و در برای آسانگری و دقت بالای تصویربرداری با بستر رودخانه، دوربین روی یک میله‌ی افقی فلزی و سه پایه ثابت و قابل حمل مستقر شد. تصویربرداری از مقطع‌های موردنظر در قاب 20×20 سانتی‌متری از فاصله ۱ متری تا سطح بستر و با حالت عمود بودن دوربین بر سطح تصویربرداری صورت پذیرفت. تصویربرداری در شرایط آفتابی در نیمه‌ی روز (مابین ساعت ۱۱-۱۳ ظهر که آفتاب به صورت مستقیم تابیده و سایه‌ای ایجاد نشده باشد) صورت گرفت. پس از تصویربرداری، نمونه‌ها با پاشش رنگ شدند تا برداشت نمونه‌ها به صورت سطحی صورت گرفته و با دقت بیشتری برای آزمایش الک گردآوری شوند. ذرات رسوبی با دقت درون کیسه‌ها گردآوری شد و به منظور انجام آزمایش الک به آزمایشگاه گروه مهندسی آب دانشگاه زنگان منتقل شد. شکل ۳ شرایط موجود برای نمونه‌برداری را نمایش می‌دهد.

کاربرد روش پردازش تصویر برای تعیین دانه‌بندی رسوب‌ها در بازه ۳ کیلومتری رودخانه تسکو واقع در ایتالیا ارزیابی (Di Francesco et al., 2016) و گزارش شد نرم‌افزار Image J عملکرد خوبی در تعیین توزیع اندازه ذرات دارد.

با توجه به جدید بودن موضوع پردازش تصویر، بررسی‌های گسترده در زمینه تعیین مشخصه‌های هندسی رسوب‌های سطحی بستر رودخانه صورت نگرفته و ابهام‌ها و پرسش‌های زیادی در زمینه چگونگی اجرا و به‌ویژه قابلیت استفاده این روش در بستر انواع رودخانه‌ها وجود دارد. مرور نتایج بررسی‌های پیشین نشان می‌دهد تاکنون تحقیقی در زمینه تاثیر عمق و سرعت جریان در رودخانه یا آبراهه آزمایشگاهی بر روی نتایج پردازش تصویر ارائه نشده است. از طرفی در بررسی و ارزیابی‌های مهندسی رودخانه، همواره تلاش مهندسان بر این است که تحقیقات آزمایشگاهی تا حد ممکن به شرایط میدانی نزدیک باشند تا درک بهتری از موضوع کسب شود. با توجه به اینکه امکان اندازه‌گیری‌های میدانی عمق و سرعت جریان در رودخانه زنگان رود فراهم نبود (نبود جریان یا گل‌آلودگی جریان آب، نبود تجهیزات اندازه‌گیری و...)، در این پژوهش سعی شد شرایط جریان زلال در آزمایشگاه ایجاد شود و با تهیه نمونه‌هایی از رسوب‌های سطحی بستر زنگان رود، ارزیابی نرم‌افزار Image J و Hydraulic Tool Box در استخراج منحنی دانه‌بندی رسوب‌های سطحی در شرایط مختلف عمق و سرعت جریان آب زلال در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی رودخانه مورد بررسی

با بررسی شرایط ریخت‌شناسی و رسوبی رودخانه‌های استان زنگان، رودخانه زنگان رود واقع در حوضه زنگان رود به عنوان رودخانه مورد بررسی انتخاب شد. با انجام بازدیدهای میدانی از مسیر رودخانه، بازه طولی و مقطع‌های مناسب برای تعیین دانه‌بندی مصالح مشخص شد. مقطع‌هایی برای نمونه‌برداری انتخاب شدند که در مسیر اصلی رودخانه با شیب یکنواخت طولی و عرضی قرار داشته و دارای بستر شنی، قابل برداشت و بدون هرگونه لجن و گل‌ولای باشند. از طرفی یکنواختی دانه‌بندی در مقطع عرضی تا حد امکان موجب دقیق بودن

دیگری مربوط به پس زمینه. در تصویر لکه‌های سیاه رنگ مربوط به ذرات و زمینه‌ی نمونه‌ها به رنگ سفید نمایش داده می‌شود (Image->Adjust->Threshold).

ث- استفاده از عملگر پخش: برنامه به صورت خودکار ذراتی را که در تماس با یکدیگرند یا همپوشانی دارند، از یکدیگر جدا می‌کند. بدین ترتیب که پس از تشکیل نقشه اقلیدسی، دورترین نقطه‌هایی را که دچار خوردگی شده‌اند، می‌یابد؛ سپس هر یک از این نقطه‌ها را تا جای ممکن اتساع می‌دهد (Process->Binary->Watershed)

ج- برازش بیضی‌ها یا چند ضلعی‌ها بر ذرات: برنامه به ترتیب بهترین چند ضلعی‌ها و بیضی‌ها را بر ذرات موجود در یک تصویر باینری ۸ بیتی، محیط می‌کند. در این مرحله، چون ذرات تشکیل دهنده از نوع شن هستند، کوچکترین اندازه ذره برابر با ۲۴۰ پیکسل در نظر گرفته شد (Damadipour et al., 2019). بدین منظور همه‌ی ذرات کوچک‌تر از ۲۴۰ پیکسل از محاسبه‌های پردازش تصویر حذف می‌شوند (Analyze->Set Measurements).

ح- در نهایت امکان دریافت نتایج تجزیه ابعاد سنگدانه‌ها بر مبنای شکل هندسی برازش داده شده در محیط اکسل به دست آمده و می‌توان منحنی دانه‌بندی را رسم کرد (Analyze->Analyze Particles).

۲-۳-۲ مدل Hydraulic Toolbox

Hydraulic Toolbox برنامه‌ای است که شامل مجموعه‌ای مستقل از ابزار محاسبه‌شدنی در زمینه محاسبه‌ها و تجزیه و تحلیل هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و طراحی می‌باشد. این نرم‌افزار در سال ۲۰۱۴ توسط شرکت Aquaveo به سفارش اداره بزرگراه‌های فدرال وزارت راه و ترابری ایالات متحده آمریکا توسعه یافته است. ابزار تخصصی آن عبارت‌اند از تجزیه روش منطقی هیدرولوژیکی، آبراهه‌ها، سرریزها، آبستگي پل‌ها، دانه‌بندی رسوب‌ها و... این برنامه به کاربر این امکان را می‌دهد تا محاسبه‌های هیدرولیکی را در یک فایل پروژه انجام داده و ذخیره کند، چندین پیش‌فرض را تجزیه و تحلیل و نمودارها و گزارش‌هایی از این تجزیه و تحلیل‌ها را استخراج کند. در این نرم‌افزار الگوریتمی برای تعیین دانه‌بندی رسوب‌ها وجود دارد که با دریافت تصویر دیجیتالی از بستر آبراهه‌ها



Fig. 3 Sampling cross section of Zanjanrud river
شکل ۳ مقطع نمونه‌برداری شده رودخانه‌ی زنجانرود

۲-۳-۲ معرفی روش‌های مورد استفاده

۲-۳-۱-۱ مدل Image J

نرم‌افزار ImageJ (Image Processing and Analysis in Java) یک برنامه توانمند برای تجزیه تصویرها است و کاربردهای مختلفی دارد. این نرم‌افزار توسط موسسه ملی بهداشت ایالات متحده آمریکا طراحی شده است که بر روی پلتفرم جاوا نوشته شده و استفاده بسیاری در تصویربرداری پزشکی دارد. این نرم‌افزار کاربردهای فراوانی دارد از جمله: محاسبه درصد فازها، شمار ذرات و اندازه ذرات، در زمین شناسی به منظور تعیین مساحت، محیط، قطر، کرویت و دیگر مشخصه‌های هندسی. برای برازش و استخراج دقیق مساحت، محیط، قطر کوچک و قطر بزرگ و کرویت دانه‌های موجود در تصویرها از دستوره‌های چندی استفاده می‌شود. مرحله‌های پردازش تصویر توسط نرم‌افزار Image J به صورت زیر است:

الف- مقیاس دهی تصویر: با استفاده از ابزار خط به منظور مقیاس دهی، کاربر طولی مشخص را کشیده و اندازه آن را وارد می‌کند. به منظور تعیین دقیق خط مقیاس، قطر قاب در نظر گرفته می‌شود (Analyze->Set Scale).

ب- تبدیل تصویر به تصویر خاکستری ۸ بیتی (Image->Type->8-Bit)

پ- اعمال پالایشگر Median: این پالایشگر به برطرف کردن خش و لکه‌ها از روی ذرات موجود در تصویر کمک می‌کند (Process->Filters->Median).

ت- ایجاد ناحیه‌های حدی یا آستانه‌ای: در این مرحله تصویر به حالت باینری تبدیل می‌شود. در واقع در تصویر تنها دو رنگ به چشم می‌خورد؛ یکی مربوط به ذرات و

توسط الک، نمونه‌ها برابر تصویری که از بستر رودخانه برداشت شده بود، درون یک جعبه گالوانیزه به ابعاد 20×20 سانتی‌متر با عمق ۲ سانتی‌متر چیده شد. به منظور تدقیق چیدمان نمونه‌ها، چاپ رنگی تصویرهای بستر رودخانه تهیه شد. به منظور قرارگیری دقیق سنگ‌ها به همان شکل موجود در رودخانه، از ماسه به عنوان خاک پرکننده بستر استفاده شد. شکل ۴ نمونه‌ی قاب به همراه روش نمونه‌برداری برای پردازش تصویر را نمایش می‌دهد. در آزمایشگاه، نمونه درون آبراهه‌ای به طول ۸ متر، عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که دارای سامانه چرخش آب و شیب پذیر بود، قرار گرفت. سپس پیش‌فرض‌های مورد نظر اجرا و در هر کدام از مرحله‌های تصویربرداری صورت گرفت. تصویر آبراهه آزمایشگاهی مورد استفاده و همچنین نمای کلی آبراهه به همراه جریات و ابعاد در شکل ۵ نشان داده شده است. روند کار در آزمایشگاه برای هر ۳ نمونه برداشت شده از رودخانه به یک صورت بوده و مرحله‌های انجام کار در ادامه تشریح شده است. در آغاز پس از چیدن رسوب‌ها درون هر نمونه جعبه گالوانیزه (شکل ۶)، نمونه درون آبراهه قرار داده شد. برای حالت اول (آب ساکن با عمق‌های مختلف) با استفاده از شیر فلکه، جریان آب را به آرامی در آبراهه برقرار کرده و با بستن دریچه انتهایی آبراهه، آب ساکن با عمق‌های ۴، ۸، ۱۲ سانتی‌متر برقرار شد و از هر یک از حالت‌ها تصویربرداری انجام شد. برای حالت‌های بعدی (عمق و سرعت‌های مختلف) با باز کردن شیر فلکه و تنظیم دریچه انتهایی، عمق و سرعت مورد نظر تنظیم شد. در عمق ۴ سانتی‌متر با افزایش دبی و تنظیم دریچه‌ی انتهایی مقدار سرعت‌های مختلف برای همان عمق برقرار شد و پس از از بین رفتن آشفتگی موجود در سطح آب، تصویر برداری برای هر حالت صورت گرفت. لازم به یادآوری است به منظور برقراری شرایط تصویربرداری یکسان در آزمایشگاه و رودخانه (نور ثابت و نبود سایه در تصویرها و فاصله‌ی ۱ متری دوربین تا سطح ذرات و لرزش نداشتن دست)، از یک چهارپایه تاشو به منظور تامین ارتفاع مورد نیاز و افزایش دقت استفاده شد. از هر یک از نمونه‌ها ۳ تصویر برداشت شد، تا خطای ناشی از تلاطم سطح آب یا لغزش

می‌تواند منحنی دانه‌بندی و نیز قطرهای $d_5, d_{15}, d_{50}, \dots, d_{100}$ ذرات تشیکل‌دهنده بستر را به سرعت تهیه کند. مرحله‌های پردازش تصویر به ترتیب عبارت‌اند از:

(الف) تعیین طول خط مقیاس در تصویر (این طول باید حین عکس‌برداری از محل تعیین شود).

(ب) تبدیل تصویر رنگی به تصویر خاکستری هشت بیتی (پ) عبور دادن تصویر از پالایشگر Median (این پالایشگر به برطرف کردن خش و لکه‌ها از روی ذرات موجود در تصویر کمک می‌کند).

(ت) اعمال عملگر پس‌زمینه

(ث) ایجاد ناحیه‌های حدی یا آستانه‌ای که تصویر را به حالت باینری تبدیل می‌کند. در این حالت در تصویر تنها دو رنگ به چشم خواهد خورد که یکی مربوط به ذرات و دیگری مربوط به پس‌زمینه آن‌ها می‌شود.

(ج) استفاده از عملگر استخراج مشخصه‌های هندسی تصویر (Watershedding) که به کمک آن ذراتی که در تماس با یکدیگر بوده و یا هم‌پوشانی دارند، به صورت خودکار از یکدیگر جدا می‌شوند.

(چ) برازش بیضی‌ها بر ذرات برای تکمیل فرآیند پردازش، با محاسبه قطر بزرگ (a) و میانگین (b) هر یک از بیضی‌ها، مساحت همه‌ی ذرات منفرد موجود در تصویر محاسبه شد. این نتایج تنها شامل تصویر دوبعدی ذرات می‌باشد و از آنجا که به‌طور معمول ذرات با قطرهای میانگین و بزرگ خود روی بستر قرار می‌گیرند و قطر کوچک (c) در راستای قائم واقع می‌شود، لذا قطر معادل به دست آمده از منحنی پردازش تصویر، تنها ناشی از میانگین قطرهای میانگین و بزرگ ذرات بوده و منحنی توزیع اندازه ذرات در این روش با منحنی دانه‌بندی با الک اختلاف خواهد داشت.

در این نرم‌افزار به منظور اصلاح منحنی‌های اولیه ناشی از پردازش تصویر و نیز ایجاد امکان مقایسه بین منحنی‌های مربوط به دو روش دانه‌بندی با الک و پردازش تصویر، به‌طور معمول از یک ضریب تصحیح استفاده می‌شود که پیش‌فرض نرم‌افزار عدد $2/5$ می‌باشد.

۲-۴- شرح کار آزمایشگاه

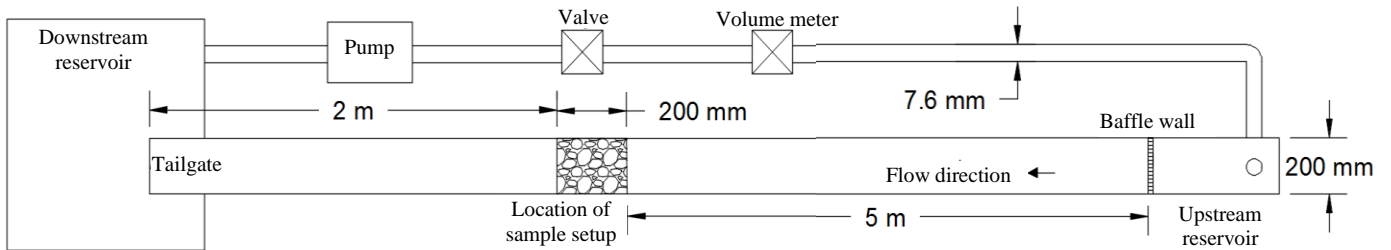
نمونه‌های برداشت شده از بستر رودخانه زنجان رود، در کیسه‌های جدا از هم گردآوری شده و به آزمایشگاه گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان منتقل شد. پس از دانه‌بندی



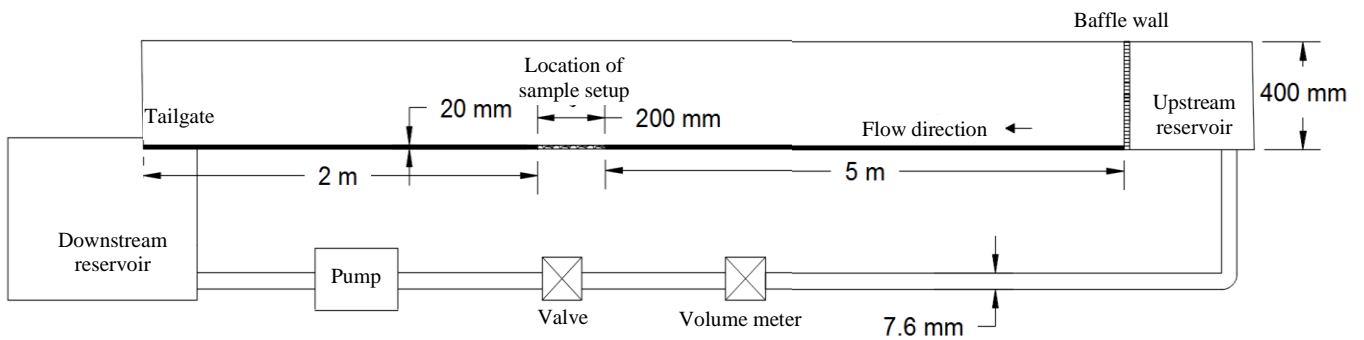
Fig. 4 Frame sample with sampling method
 شکل ۴ نمونه‌ی قاب به همراه روش نمونه‌برداری



a) The image of the laboratory model used in the research
 (a) تصویری از مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در پژوهش



b) Longitudinal profile
 (b) نمای کلی دید از جانب (پروفیل طولی)



c) Plan
 (c) نمای کلی دید از بالا (پلان)

Fig. 5 Actual image (a), the image of the laboratory model used in the research (b), longitudinal profile plan (c)
 شکل ۵ تصویر واقعی (a)، نمای کلی دید از جانب (b) و دید از بالای آبراهه (c) مورد استفاده در پژوهش



Fig. 6 The steps of arranging sediments inside the galvanized box

شکل ۶ مرحله‌های چیدمان رسوبها درون جعبه گالوانیزه

سرعت، در هر نمونه ترسیم شد. رابطه ۱ ضریب K برای قطر شاخص d_i به صورت زیر می‌باشد.

$$K = \frac{d_{i-s}}{d_{i-cal}} \quad (1)$$

که در این رابطه، d_{i-s} قطرهای شاخص (d_{15} , d_{35} , d_{50} , d_{85}) بدست آمده از منحنی الک، d_{i-cal} قطرهای شاخص بدست آمده از منحنی ناشی از نرم‌افزار پردازش تصویر می‌باشد. هر چه مقدار این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد، دقت پردازش تصویر بالاتر خواهد بود. شایان یادآوری است برای محاسبه مقادارهای خطای مطلق نسبی (RAE) نرم‌افزار Image J و Hydraulic Toolbox در برآورد قطرهای شاخص منحنی الک، از رابطه زیر استفاده شد.

$$Relative\ Absolute\ Error = 100 \times \frac{|d_{i-s} - d_{i-cal}|}{d_{i-s}} \quad (2)$$

که در این رابطه d_{i-s} مقادارهای مشاهداتی قطرهای شاخص (d_{15} , d_{35} , d_{50} , d_{85}) ناشی از الک، d_{i-cal} مقادارهای محاسبه‌شده قطرهای شاخص (d_{15} , d_{35} , d_{50} , d_{85}) ناشی از نرم‌افزار می‌باشند.

برای محاسبه عامل شکل ذرات، تصویربرداری دو بعدی از نمونه صورت گرفته، پس از آن بر مبنای تضاد رنگ موجود بین پس‌زمینه و لبه‌ی سنگ، ابعاد سنگ محاسبه می‌شود. پس از تعیین مقادارهای مساحت و محیط و کرویت ذرات توسط نرم‌افزار Image J، با توجه به الگوریتم استفاده شده توسط Damadipour et al. (2019)، درصد شکل ذرات تعیین و تفسیر شد. آنان با در نظر گرفتن دو فراسنجه ERS (Equivalent Rectangle Sides) و EEA

دست کاهش پیدا کند. در نهایت تصویری که وضوح بیشتری داشت به عنوان تصویر اصلی پردازش شد. همین کار برای عمق ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نیز انجام شد. در هر عمق به شمار ۴ الی ۵ دبی (۴ الی ۵ سرعت مختلف) ایجاد شد. پس از تهیه تصویرهای ناشی از آزمایش‌های یک نمونه، اقدام به تغییر نمونه و انجام دوباره آزمایش‌ها شد.

در همه‌ی آزمایش‌ها، دبی در محدوده ۱۲-۱ لیتر بر ثانیه، عدد فرود در محدوده‌ی ۰/۰۸ تا ۰/۶۵ و سرعت میانگین جریان در محدوده‌ی ۰/۰۸ تا ۰/۵ متر بر ثانیه بود. به منظور آسانگری در ارائه نتایج و اختصار نویسی، شکل‌ها نام‌گذاری شد. در هر نمونه، حرف انگلیسی اول، بیانگر سری نمونه، فراسنجه دوم عمق جریان بر حسب سانتی‌متر و فراسنجه سوم نیز شماره دبی جریان می‌باشد. به عنوان مثال در نمونه‌ی A به ازای حالت آب ساکن در عمق ۴ سانتی‌متر و حالت جریان آب با مقادارهای دبی ۱/۱، ۲/۰۶، ۳/۱۲ و ۴/۱۶ لیتر بر ثانیه در همان عمق به ترتیب نام‌گذاری به صورت A-04-00، A-04-01، A-04-02، A-04-03 و A-04-04 صورت گرفت. سپس با توجه به روش کار هر یک از نرم‌افزارهای مورد بررسی، پردازش تصویر همه‌ی تصویرها در این نرم‌افزارها انجام شد. پس از بدست آمدن نتایج، منحنی دانه‌بندی رسم شد. سپس منحنی دانه‌بندی ناشی از هر یک از نرم‌افزارها با منحنی ناشی از الک مقایسه شد و برای هر یک از تصویرها، ضریب K قطرهای شاخص (d_{15} , d_{35} , d_{50} , d_{85}) محاسبه شد و منحنی تغییرپذیری‌های ضریب K به ازای عمق جریان و

۳-۱- مقایسه‌ی نتایج نرم‌افزار Image J و

Hydraulic Toolbox بر مبنای نتایج الک

شکل ۸ نتایج منحنی دانه‌بندی ناشی از نرم‌افزارهای Hydraulic Toolbox و نرم‌افزار Image J در مقایسه با منحنی ناشی از آزمون الک نمونه‌های A و B و C برای شرایط هیدرولیکی عمق آب ۸ سانتی‌متر و شرایط جریان با سرعت‌های مختلف ارائه شده است. در این شکل ستون اول، دوم و سوم به ترتیب نتایج نمونه A، B و C و منحنی‌های قرمز، آبی و سبز به ترتیب مربوط به نتایج آزمون الک، Image J و Hydraulic Toolbox می‌باشد. مشاهده می‌شود در عمده شرایط هیدرولیکی جریان، منحنی دانه‌بندی ناشی از نرم‌افزار Image J به منحنی دانه‌بندی الک نزدیک بوده و در مقابل منحنی دانه‌بندی نرم‌افزار Hydraulic Toolbox، اختلاف زیادی با منحنی الک و منحنی نرم‌افزار Image J دارد.

در نمونه‌ی A در عمق ۸ سانتی‌متری نتایج ناشی از نرم‌افزار Image J خطای بسیار کمی با نتایج ناشی از الک دارد. به طوری که در ریزدانه‌ها میانگین خطای مطلق نسبی ۹٪ ولی در درشت‌دانه‌ها ۲٪ مشاهده می‌شود. در نمونه‌ی B مقدار میانگین خطا در بخش ریزدانه و درشت‌دانه یکسان است. دلیل این امر می‌تواند ناشی از پایین بودن مقدار انحراف معیار این نمونه نسبت به دو نمونه دیگر باشد. مقدار میانگین خطا در عمق ۸ سانتی‌متری برای ریزدانه‌ها برابر ۱۴٪ و برای درشت‌دانه ۱۲٪ به دست آمد. در نمونه‌ی C میانگین خطای نسبی در عمق ۸ سانتی‌متری برای ریزدانه برابر ۹٪ و درشت‌دانه برابر ۱۴٪ به دست آمد. در حالت کلی می‌توان بیان کرد هرچه مقدار ضریب یکنواختی نمونه کمتر باشد، مقدار خطا در بخش ریزدانه و درشت‌دانه کمتر شده است. از سوی دیگر هرچه انحراف معیار کمتر باشد، مقدار خطا بیشتر خواهد بود. در جدول ۱ مقدارهای انحراف از معیار نتایج آزمون الک و انحراف معیار نتایج نرم‌افزار Image J نشان داده شده است. در یک جمع‌بندی کلی با توجه به دقت مناسب نرم‌افزار Image J در استخراج منحنی دانه‌بندی، نتایج این نرم‌افزار به عنوان مبنای کار در نظر گرفته شد و در ادامه مقدارهای K قطرهای شاخص این نرم‌افزار ارائه شده است.

(Equivalent Ellipse Axes)، عامل شکل P^2/A را برای پردازش تصویرهای دو بعدی پیشنهاد و گزارش کردند استفاده از این فراسنجه منجر به برآورد بهتر توزیع اندازه ذرات می‌شود. بدین ترتیب نسبت مربع محیط ذره به مساحت (P^2/A) محاسبه شد و با توجه به الگوریتم پیشنهادی، شکل ذره اعم از مربع، مستطیل یا کره تعیین شد.

۳- نتایج و بحث

شکل ۷ منحنی دانه‌بندی الک مربوط به نمونه A، B و C را نمایش می‌دهد. ذرات نمونه A از قطر ۳۸/۱ میلی‌متر کوچک‌تر بوده و نزدیک به ۸۵٪ ذرات قطری برابر و کمتر از ۳۱/۷ میلی‌متر دارند. درصد عبوری ذرات از الک ۴/۷۵ میلی‌متر کمتر از ۵٪ است، در نمونه B، همه‌ی ذرات از الک ۴۴/۴ میلی‌متر کوچک‌تر بوده و نزدیک به ۸۵٪ ذرات از الک ۳۸/۱ میلی‌متر عبور کرده‌اند. درصد وزنی رد شده از الک ۴/۷۶ میلی‌متر کمتر از ۵٪ است. در نمونه C، کل ذرات از الک ۴۴/۴ میلی‌متر کوچک‌تر بوده و بالای ۹۷٪ ذرات از الک ۳۸/۱ میلی‌متر عبور کرده‌اند. درصد عبوری ذرات از الک ۴/۷۵ میلی‌متر کمتر از ۵٪ است. بر مبنای سامانه طبقه‌بندی ایالات متحد، رسوب‌های هر سه مقطع بستر زنجان رود از نوع شن هستند. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که انحراف معیار نمونه‌ها کمتر از ۲، ضریب یکنواختی کمتر از ۴ و ضریب جورشدگی کمتر از ۲ می‌باشد که نشان می‌دهد نمونه‌های مورد بررسی تا حدودی یکنواخت هستند.

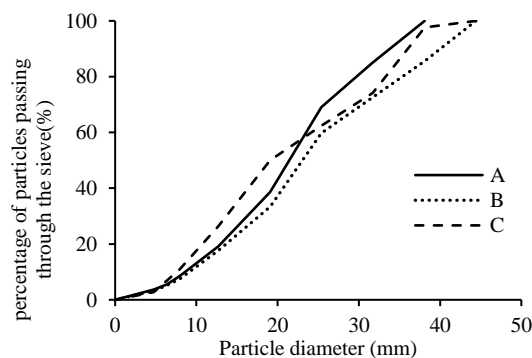


Fig. 7 Sieve granulation curve of samples A, B, C
شکل ۷ منحنی دانه‌بندی الک نمونه A, B, C

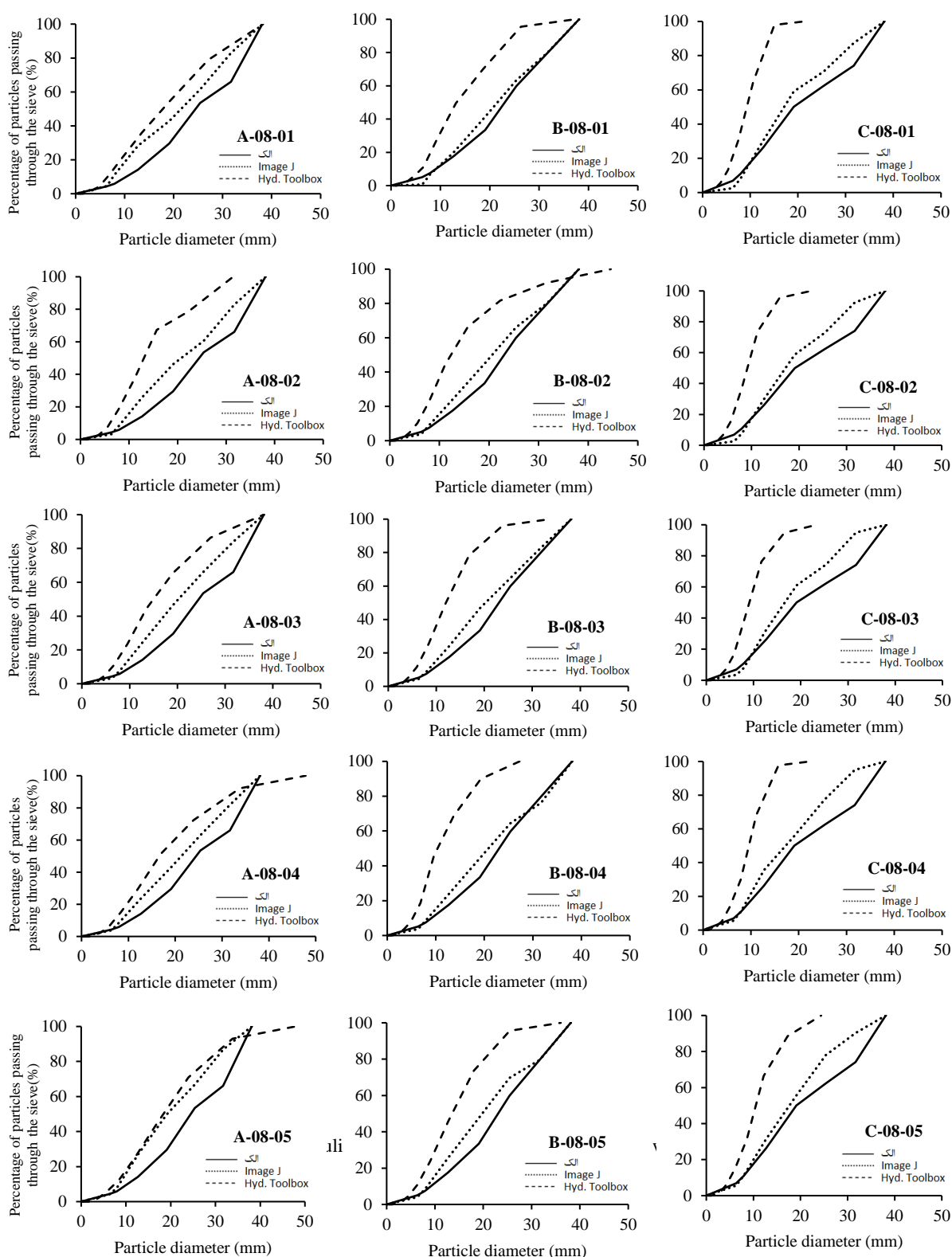


Fig. 8 The results of Sieve, Hydraulic Toolbox and Image J at depth of 8 cm with different flow velocities

شکل ۸ نتایج ناشی از الک، Image J و Hydraulic Toolbox در عمق ۸ سانتی متر با سرعت جریان های مختلف

جدول ۱ مقادیرهای انحراف معیار ناشی از آزمون الک و نرم افزار Image J

Table 1 The standard deviation values obtained from the sieve test and Image J software

Sample	Standard deviation of sieve	Standard deviation of Image J	Sample	Standard deviation of sieve	Standard deviation of Image J	Sample	Standard deviation of sieve	Standard deviation of Image J
A-04-00		1.8353	B-04-00		1.7451	C-04-00		1.8708
A-04-01		1.8378	B-04-01		1.8027	C-04-01		1.7175
A-04-02		1.8126	B-04-02		1.7182	C-04-02		1.6475
A-04-03		1.7842	B-04-03		1.7994	C-04-03		1.7320
A-08-00		1.8210	B-08-00		1.8496	C-08-00		1.7149
A-08-01	1.68	1.8650	B-08-01	1.61	1.7580	C-08-01	1.91	1.8209
A-08-02		1.8210	B-08-02		1.8384	C-08-02		1.7349
A-08-03		1.8027	B-08-03		1.8165	C-08-03		1.7471
A-12-00		1.7861	B-12-00		1.7320	C-12-00		1.8629
A-12-01		1.8122	B-12-01		1.8210	C-12-01		1.7320
A-12-02		1.8637	B-12-02		1.7986	C-12-02		1.7471
A-12-03		1.8496	B-12-03		1.8918	C-12-03		1.7600

به مقادیرهای K نمونه B کمتر است.

۳-۳- تاثیر عمق جریان

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ تاثیر تغییر عمق جریان به ازای سرعت‌های مختلف بر روی مقادیرهای K قطر شاخص ۵۰٪ برای سه نمونه A, B, C نشان داده شده است. بنابر نتایج، در هر نمونه عمق جریان تاثیر محسوسی بر روی مقدار K قطر شاخص نداشته و مقادیرهای میانگین K قطر شاخص ۵۰٪ برای نمونه A در سه عمق ۴، ۸ و ۱۲ به ترتیب ۱/۰۱، ۱/۰۵ و ۱/۰۸ (با مقدار میانگین ۱/۰۴۶)؛ برای نمونه B به ترتیب ۱/۱۹، ۱/۱۲ و ۱/۱۸ (با مقدار میانگین ۱/۱۶) و برای نمونه C به ترتیب ۱/۰۸، ۱/۱۱ و ۱/۱۳ (با مقدار میانگین ۱/۱) می‌باشد (با میانگین کل ۱/۱ هر سه نمونه). این نتیجه نشان دهنده بی اثر بودن پدیده شکست نور در نتایج تصویرهای تهیه شده در عمق‌های مختلف می‌باشد. با توجه به اینکه تصویرها با زاویه دید ۹۰ درجه از یک صفحه افقی با ابعاد کوچک (۲۰×۲۰ سانتی‌متر) تهیه شده است، با افزایش عمق اثر زاویه شکست نور در تصویر تهیه شده ناچیز است. شایان یادآوری است در نمونه A، مقادیرهای K قطر شاخص ۵۰٪ با افزایش عمق جریان افزایش جزئی نشان می‌دهد؛ و این افزایش در مقادیرهای سرعت کم، محسوس‌تر است. این

۳-۲- تاثیر سرعت و عمق جریان بر روی

مقادیرهای K قطر شاخص ۵۰٪

تاثیر سرعت جریان

در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ تاثیر سرعت جریان بر روی مقادیرهای K قطر شاخص ۵۰٪ در سه عمق مورد بررسی برای سه نمونه A, B, C ارائه شده است. در این شکل‌ها محور افقی مقادیرهای سرعت به صورت بی‌بعد (V/V_c) و محور عمودی مقادیرهای K قطر شاخص ۵۰٪ می‌باشد. مشاهده می‌شود که سرعت جریان بر روی مقادیرهای K قطر شاخص ۵۰٪ تاثیر محسوسی ندارد. به طوری که در عمق ۴ سانتی‌متر میانگین مقادیرهای K در نمونه‌های A, B, C به ترتیب ۱/۰۱ و ۱/۱۹ و ۱/۰۸ می‌باشد.

همچنین در عمق ۸ سانتی‌متر، مقادیرهای K برای نمونه‌های A, B, C به ترتیب برابر است با ۱/۰۵ و ۱/۱۲ و ۱/۱۱ و در عمق ۱۲ سانتی‌متر، به ترتیب برابر با ۱/۰۸ و ۱/۱۸ و ۱/۱۳ می‌باشد. بنابر این نتایج مشاهده می‌شود مقادیرهای K نمونه A در هر سه عمق ۴ و ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نسبت به دو نمونه دیگر پایین‌تر است. در عمق ۸ سانتی‌متری مقادیرهای K نمونه B و C در سرعت‌های مختلف تاحدودی روی هم منطبق است. همچنین مقادیرهای K نمونه C در دو عمق ۴ و ۱۲ سانتی‌متر نسبت

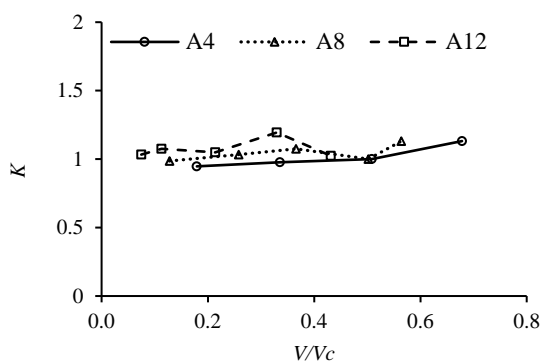


Fig. 12 The effect of flow depth on the K value of the index diameter of 50% in sample A

شکل ۱۲ تاثیر عمق جریان بر مقدار K قطر شاخص ۵۰٪ در نمونه A

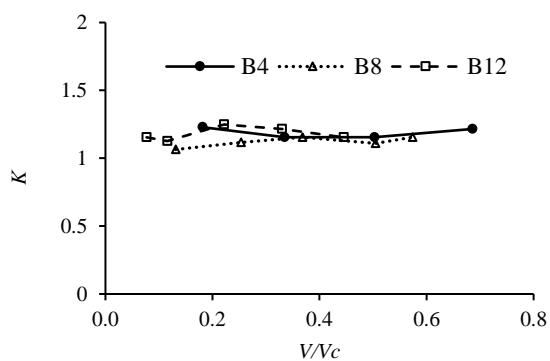


Fig. 13 The effect of flow depth on the K value of the index diameter of 50% in sample B

شکل ۱۳ تاثیر عمق جریان بر مقدار K قطر شاخص ۵۰٪ در نمونه B

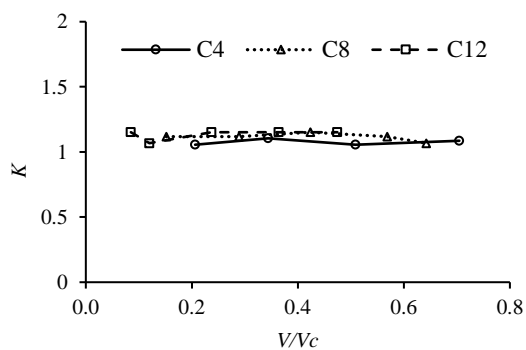


Fig. 14 The effect of flow depth on the K value of the index diameter of 50% in sample C

شکل ۱۴ تاثیر عمق جریان بر مقدار K قطر شاخص ۵۰٪ در نمونه C

نمونه اندازه‌های قطرهای شاخص ۵۰٪ و کوچکتر نسبت به دو نمونه دیگر ریزتر است.

۴-۳- خطای مطلق نسبی و ضریب همبستگی

مقدارهای خطا در حالت تر با عمق‌ها و سرعت‌های مختلف

شرایط در نمونه B نیز تا حدودی مشاهده شده است، اما در نمونه C منحنی‌های K هر سه عمق تا حدودی برهم منطبق است. در نمونه C فراسنجه‌های ضریب یکنواختی، انحراف معیار و جورشدگی نسبت به دو نمونه دیگر به طور محسوسی بیشتر است؛ به عبارت دیگر این نمونه نسبت به دو نمونه دیگر یکنواختی کمتری دارد. از طرفی در این

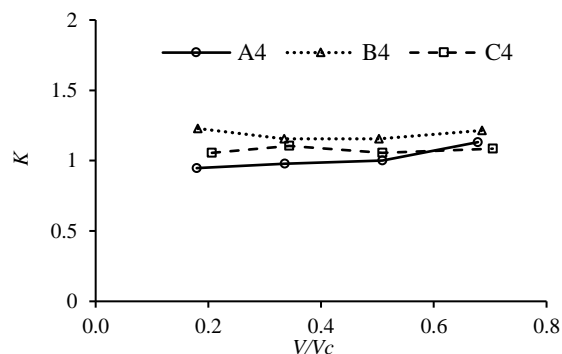


Fig. 9 The effect of flow velocity on the value of K at a depth of 4 cm at index diameter of 50%

شکل ۹ تاثیر سرعت جریان بر مقدار K در عمق ۴ سانتی‌متر در قطر شاخص ۵۰٪

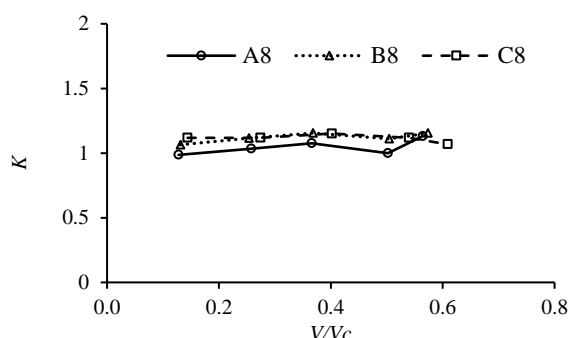


Fig. 10 The effect of flow velocity on the value of K at a depth of 8 cm at index diameter of 50%

شکل ۱۰ تاثیر سرعت جریان بر مقدار K در عمق ۸ سانتی‌متر در قطر شاخص ۵۰٪

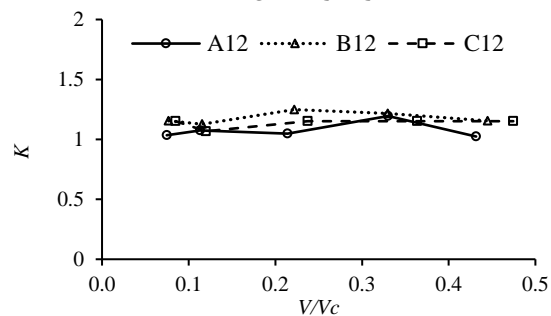


Fig. 11 The effect of flow velocity on the value of K at a depth of 12 cm at index diameter of 50%

شکل ۱۱ تاثیر سرعت جریان بر مقدار K در عمق ۱۲ سانتی‌متر در قطر شاخص ۵۰٪

جریان، مقدار درصد شکل مستطیلی از ۸۰٪ به حدود ۹۰٪ افزایش نشان می‌دهد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق به صورت آزمایشگاهی تاثیر عمق و سرعت جریان بر دانه‌بندی و شکل ذرات رسوب‌های سطحی بستر رودخانه‌های شنی با استفاده از روش پردازش تصویر (دو نرم‌افزار Image J و Hydraulic Toolbox) ارزیابی شد. خلاصه نتایج این تحقیق به صورت زیر ارائه می‌شود:

- نمونه‌های برداشت شده از بستر رودخانه زنجان‌رود برمبنای سامانه طبقه‌بندی ایالات متحد، از نوع شن هستند. نمونه C دانه‌بندی ریزتری نسبت به نمونه‌ی A و B داشت و مقدار انحراف معیار در این نمونه بیشتر از نمونه‌ی A و B بود.
- در عمده شرایط هیدرولیکی جریان، منحنی دانه‌بندی ناشی از نرم‌افزار Image J به منحنی دانه‌بندی الک نزدیک بود و در مقابل منحنی دانه‌بندی نرم‌افزار Hydraulic Toolbox، اختلاف زیادی با منحنی الک و منحنی نرم‌افزار Image J داشت. در یک جمع‌بندی کلی با توجه به دقت مناسب نرم‌افزار Image J در استخراج منحنی دانه‌بندی، نتایج این نرم‌افزار به عنوان مبنای کار در نظر گرفته شد و مقادیرهای K قطرهای شاخص این نرم‌افزار استخراج شد.
- سرعت جریان بر روی مقادیرهای K قطر شاخص ۵۰٪ تاثیر محسوسی نداشت. بنابر نتایج مشاهده شد که مقادیرهای K نمونه A در هر سه عمق ۴ و ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نسبت به دو نمونه دیگر پایین‌تر است. در عمق ۸ سانتی‌متری مقادیرهای K نمونه B و C در سرعت‌های مختلف روی هم منطبق بود. همچنین مقادیرهای K نمونه C در دو عمق ۴ و ۱۲ سانتی‌متر نسبت به مقادیرهای K نمونه B کمتر بود.
- در نمونه A، مقادیرهای K قطر شاخص ۵۰٪ با افزایش عمق جریان افزایش جزئی نشان داد و این افزایش در مقادیرهای سرعت کم، محسوس‌تر بود. این شرایط در نمونه B نیز تا حدودی مشاهده شد، اما در نمونه C منحنی‌های K هر سه عمق تاحدودی برهم منطبق بود.

در جدول ۲ بیان شده است. میانگین خطای مطلق نمونه A در عمق ۴ و ۸ سانتی‌متری، در بخش ریزدانه ۹٪ و در بخش درشت‌دانه ۲٪، در عمق ۱۲ سانتی‌متری نیز در ریزدانه ۱۱٪ و در درشت‌دانه ۳٪ به‌دست آمد. این مقادیرها برای نمونه B به ترتیب ۱۳٪ برای عمق ۴ سانتی‌متر، ۱۴٪ مربوط به ریزدانه و ۱۲٪ مربوط به درشت‌دانه در عمق ۸ و مقادیرهای ۱۷٪ برای ریزدانه و ۱۴٪ برای درشت‌دانه در عمق ۱۲ سانتی‌متر مشاهده شد. در نمونه C نیز میانگین خطای مربوط به عمق ۴ در ریزدانه‌ها برابر با ۸٪ و در درشت‌دانه‌ها برابر با ۱۳٪، در عمق ۸ سانتی‌متری خطای ریزدانه برابر با ۹٪ و درشت‌دانه برابر با ۱۴٪ و در عمق ۱۲ سانتی‌متری مقادیرهای خطای ریزدانه برابر با ۹٪ و درشت‌دانه برابر با ۱۴٪ به‌دست آمد. مقادیرهای ضریب همبستگی برای همه‌ی نمونه‌ها نزدیک ۱ به‌دست آمد.

۳-۵- نتایج عامل شکل

در شکل ۱۵ تاثیر عمق و سرعت جریان بر عامل شکل نتایج ناشی از پردازش تصویر در نرم‌افزار Image J برای سه نمونه‌ی A, B, C ارائه شده است. قسمت افقی نمودار مربوط به عمق جریان (از ۴ سانتی‌متر تا ۱۲ سانتی‌متر) و ستون‌ها به ترتیب از چپ به راست مربوط به جریان ساکن، جریان با اولین دبی تا آخرین دبی می‌باشد. در بستر رودخانه و در حالت خشک، با بررسی نمونه‌ها مشاهده شد عمده ذرات موجود در رودخانه به‌صورت مستطیلی هستند. در نمونه A در همه‌ی عمق‌ها و سرعت‌ها، درصد شکل مستطیلی دانه‌ها به‌طور تقریبی باهم برابر بوده (به‌طور میانگین ۸۵٪) و اختلاف ناچیزی باهم دارند. در نمونه B و C مقادیرهای درصد شکل مستطیلی دانه‌ها در حالت جریان ساکن، نسبت به حالت جریان متحرک بیشتر تشخیص داده شده است. از طرفی در نمونه B در هر سه عمق، با افزایش سرعت جریان مقادیرهای درصد شکل مستطیلی دانه‌ها کاهش جزئی را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که از ۸۰٪ به حدود ۷۰٪ رسیده است. در عمق ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نمونه B در بالاترین سرعت جریان، رابطه بالا برقرار نیست. در نمونه C عکس این حالت مشاهده شده است، به‌طوری‌که با افزایش عمق

سرعت‌ها، درصد شکل مستطیلی دانه‌ها بطور تقریبی باهم برابر بودند (به‌طور میانگین ۸۵٪). از طرفی در نمونه B در هر سه عمق، با افزایش سرعت جریان مقدارهای درصد شکل مستطیلی دانه‌ها کاهش جزئی را نشان داد، به‌طوری‌که از ۸۰٪ به حدود ۷۰٪ کاهش یافت. در نمونه C عکس این حالت مشاهده شده است، به‌طوری‌که با افزایش عمق جریان، درصد شکل مستطیلی از ۸۰٪ به حدود ۹۰٪ افزایش نشان داد.

- در نمونه C فراسنجه‌های ضریب یکنواختی، انحراف معیار و جورشدگی نسبت به دو نمونه دیگر به‌طور محسوس بیشتر بود؛ به عبارت دیگر این نمونه نسبت به دو نمونه دیگر یکنواختی کمتری داشت. از طرفی در این نمونه مقدارهای قطرهای شاخص ۵۰٪ و کوچکتر نسبت به دو نمونه دیگر ریزتر بود.
- در هر سه نمونه درصد شکل غالب مستطیلی بود (بیش از ۷۰ درصد). در نمونه A در همه‌ی عمق‌ها و

جدول ۲ نتایج خطای مطلق نسبی و ضریب همبستگی

Table 2 Results of relative absolute error and correlation coefficient

	A			B			C		
	A-04	A-08	A-12	B-04	B-08	B-12	C-04	C-08	C-12
Correlation coefficient	0.995	0.997	0.996	0.998	0.998	0.996	0.998	0.996	1
RAE of fine grains (%)	9	9	11	13	14	17	8	9	9
RAE of coarse grains (%)	2	2	3	13	12	14	13	14	14

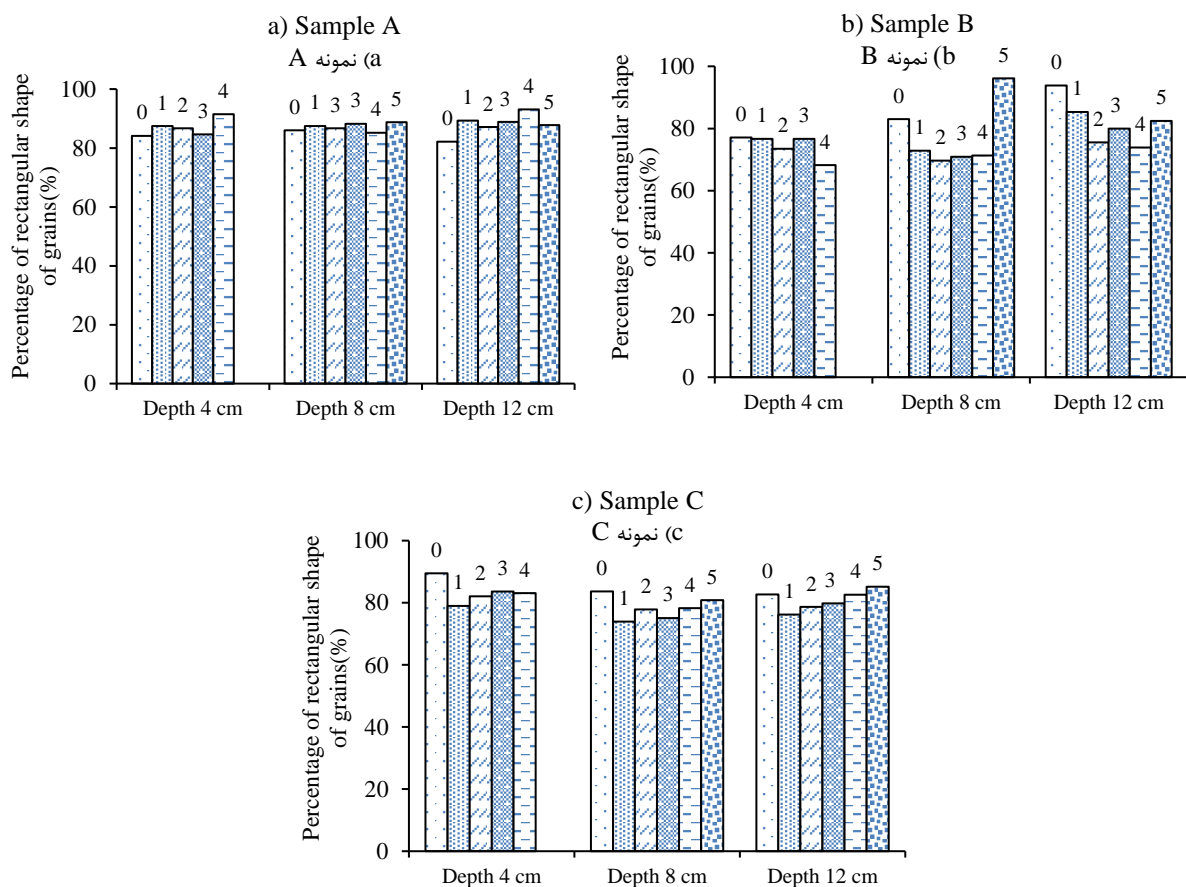


Fig. 15 Percentage of rectangular shape of grains in three samples A, B and C

شکل ۱۵ درصد شکل مستطیلی ذرات در سه نمونه A، B و C

roughness coefficient in the surface layer of river beds. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 47(4), 711-722. (In Persian)

Graham, D.J., Rice, S.P. & Reid, I. (2005). A transferable method for the automated grain sizing of river gravels. *Water Resources Research*, 41, 225-234.

Management and Planning Organization of Iran (2007). Guide to Field Operations for Sampling Sediment Materials of Rivers and Dam Reservoirs, Publication No. 349, Country Management and Planning Organization, Iran. (In Persian)

Payesteh, M., Lashkarara, B. & Fathi Moghadam, M. (2018). Estimation of particle size distribution in rivers with sandy bed using image processing method. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(4), 125-139. (In Persian)

Penders, C. (2010). Determining mean grain-size in high gradient streams with auto correlative digital image processing. Master of Science Thesis, Appalachian State University, Boone, North Carolina, United States.

Strom, K., Kuhns, R. & Lucas, H. (2010). Comparison of automated image-based grain sizing to standard pebble-count methods. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136, 461-473.

Sadeghi, H. & Qaramahmudli, S. (2013). Analyzing the accuracy of bed sediment grading using image processing from cameras with different resolution. *Watershed Engineering and Management Scientific-Research Journal*, 5(2), 115-124. (In Persian)

Tabee, A.H., Karami Khaniki, A., Bidokhti, A.A. & Lari, K. (2023). Estimation of grain size curve of surface coarse sediments using imaging system designed. *Iranian Journal of Geology*, 16(64), 85-102. (In Persian)

White, W., Paris, E. & Bettess, R. (2005). A New General Method for Prediction of the Frictional Characteristics of Alluvial Streams. Wallingford, Report No.187, England.

Warrick, J.A., Rubin, D.M., Ruggiero, P., Harney, J.N., Draut, A.E. & Buscombe, D. (2009). Cobble Cam: Grain-size measurements of sand to boulder from digital photographs and autocorrelation analyses. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 34, 1811-1821.

Zarei, M., Samadi, A. & Seyed Hossein Mohajeri, S.H. (2019). Introducing and evaluating the effectiveness of various image processing algorithms in determining hydraulic roughness using gradation curve in gravel bed rivers. *Journal*

۵- فهرست نشانه‌ها

a	قطر بزرگ ذره (mm)
b	قطر میانگین ذره (mm)
c	قطر کوچک ذره (mm)
$d_5, d_{15}, d_{35}, d_{50}, d_{85}, d_{100}$	قطرهای شاخص (mm)
d_{i-s}	قطر شاخص الک (mm)
d_{i-cat}	قطر شاخص محاسبه شدنی (mm)
K	ضریب (بی بعد)
V	سرعت میانگین جریان (m/s)
Vc	سرعت بحرانی جریان (m/s)

۶- منبع‌ها

Abd Sharif Esfahani, M., Rajabi Hashjin, M. & Kiasalari, A. (2006). Introduction of the network photography method of the riverbed in determining the granularity of the protective layer of a coarse-grained bed (case study: Karaj River). Proc. of 5th Congress of Iran Hydraulic, Kerman, Iran. (In Persian)

Azizian, A., Morshidi, F. & Arin, A. (2013). Using the image processing technique to extract the graining curve of the surface materials of the river bed. Proc. of 9th International Congress of River Engineering, Ahvaz, Iran. (In Persian)

Azizian, A. & Samadi, A. (2019). Determination of surface material gradation of streams in dry and wet conditions using image processing technology (case study: Sirch River, Kerman). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 20(75), 33-52. (In Persian)

Bunte, K. & Abt, S.R. (2001). Sampling frame for improving pebble count accuracy in coarse gravel-bed streams. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37, 1001-1014.

Damadipour, M., Nazarpour, M. & Alami, M. T. (2019). Evaluation of Particle Size Distribution Using an Efficient Approach Based on Image Processing Techniques. *Iranian Journal of Science and Technology*, 43, 429-441.

Di Francesco, S., Biscarini, C. & Manciola, P. (2016). Characterization of a Flood event through a sediment analysis: the Tescio river case study. *Water*, 8(7), 308, <https://doi.org/10.3390/w8070308>.

Hassannejad Sharifi, F. Samadi, A. & Azizian, A. (2016). Evaluation of the performance of the image processing method in estimating Manning's

of Hydraulics, 13(4), 93-110. (In Persian)

Sulaiman, M.S., Sinnakaudan, S.K., Ng, S.F. & Strom, K. (2014). Application of automated grain sizing technique (AGS) for bed load samples at Rasil River: A case study for supply limited channel. *Catena*, 121, 330-343.