Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics

Research Article
https://doi.org

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 Sohrabi[1], Seyed Ali Ayyoubzadeh[2], Ghorban Mahtabi[3]

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, Zanjan University, Zanjan

Abstract

Introduction: One of the important challenges in investigating 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 softwares.

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 Zanjanrud 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 Zanjanrud 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.

پذیرفته شده

مقاله پژوهشی
https://doi.org/

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک

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[1]، سیدعلی ایوب زاده[2]*، قربان مهتابی[3]

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

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 ۲۰×۲۰ 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 ۲۰×۲۰ 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 بیضوی 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

رودخانه‌ها همواره نقش اساسی در زندگی انسان‌ها به‌عنوان یک منبع مهم آب‌سطحی، داشته‌اند. تعیین دقیق ابعاد و مشخصات رودخانه‌ها و رسوبات بستر از مهم‌ترین مسائل رودخانه‌ها می‌باشد. روش متداول برای تعیین دانه‌بندی خاک روش الک است. برای تعیین اندازه توزیع ذرات بستر رودخانه یا آبراهه‌ها، نمونه‌های مصالح جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل می‌شوند تا آزمون دانه‌بندی 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 تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه دارد (Hassannejad Sharifi et al., 2016). از طرفی محاسبات دبی-اشل رودخانه و سرعت جریان کاملا به اندازه زبری و شکل بستر بستگی دارد، این خصوصیات یعنی تغییرات اندازه زبری و شکل بستر در اثر جریان آب تأثیر مهمی در رابطه دبی-اشل بخصوص به هنگام عبور سیل دارد. رابطه دبی-اشل یک معادله مقاومت در مقابل جریان است که برای تعیین عمق آب در صورتی‌که دبی، شکل کانال، شیب، خصوصیات مواد بستر مشخص باشد، به کار می‌رود (White et al., 2005). بنابراین تعیین دانه‌بندی مصالح بستر و حریم رودخانه‌ها با اهمیت است، اما برداشت رسوبات از محیط طبیعی منجر به برهم زدن بستر رسوبی شده و تغییراتی را در سیستم رودخانه به‌وجود می‌آورد (Sadeghi and

(Gharamahmudli, 2013). از طرفی به علت هزینه‌های گزاف نمونه‌برداری دستی از رودخانه، انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و هزینه‌های مربوط به آزمایش‌های مکانیک خاک، اکثر 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 حاصل از دانه‌بندی را محاسبه کند، بسیار حایز 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 مورد توجه قرار گرفته است. در روش نمونه‌برداری از مصالح سطحی بستر، معمولاً نمونه‌ها از عمق بستر رودخانه برداشت می‌شوند و اندازه این مصالح عمدتا با ذرات سطحی بستر که با جریان در تماس‌اند، متفاوت هستند، بنابراین نمی‌توان نتیجه درستی از دانه-بندی لایه سطحی مصالح بستر که با جریان رودخانه در تماس مستقیم هستند، گرفت (Bunte and Abt, 2001). شکل ۱ نحوه نمونه‌برداری عمقی و شکل ۲ نحوه نمونه برداری سطحی را نشان می‌دهد (Anonymous, 2007).

از مزایای دانه‌بندی خاک بر اساس تکنیک پردازش تصویر، صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ی انجام آزمایش دانه‌بندی نسبت به روش معمول و ارایه اطلاعات دقیق از مناطق کوچک و تعمیم نمونه‌ها به مناطق بزرگتر، شناسایی، اندازه‌گیری، تحلیل و تعیین آسان‌تر توزیع مکانی و زمانی ذرات اشاره نمود (Penders, 2010). از طرفی می‌توان از ذرات رسوبی در مناطق غیرقابل دسترس بدون آسیب به سطح مورد مطالعه به آسانی تصویربرداری کرد. با این وجود، کیفیت تصویربرداری از رسوبات بستر رودخانه و دقت پردازش تصویر آنها تحت تاثیر عوامل هیدرولیکی و محیطی مختلف مانند: شدت تابش خورشید و پدیده شکست نور در عمق آب (ناشی از تغییرات عمق جریان)، تلاطم سطح آب (ناشی از تغییرات سرعت جریان)، نیروی وارده از جریان آب به سه پایه عکاسی می‌باشد.

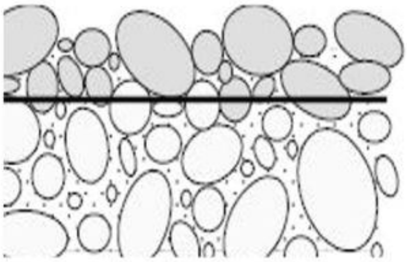


Fig. 1 Deep sampling method

شکل ۱ نحوه نمونه‌برداری عمقی

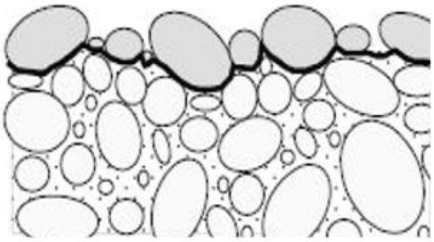


Fig. 2 Surface sampling method

شکل ۲ نحوه نمونه برداری سطحی

با پیشرفت تکنولوژی و ترویج دوربین‌های عکاسی دیجیتال، الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی برای تجزیه و تحلیل خودکار اطلاعات بستر با استفاده از تصاویر دیجیتالی اخذ شده از بستر آبراهه ها ارائه شده‌اند. البته رعایت استانداردهای حاکم بر روش پردازش تصویر از عوامل مهم در صحت‌سنجی این روش با روش متداول الک می‌باشد. از این استانداردها می‌توان به عواملی نظیر قدرت تفکیک 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 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 درشت-دانه (مطالعه موردی: رودخانه کرج)، عکس‌برداری از فراز نقاط یک شبکه انجام شد. نتایج حاصل 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 نرم افزار متلب ایجاد شد که توانایی استخراج

مشخصات هندسی مصالح سطحی بستر رودخانه را از روی تصاویر تهیه شده دارد. نتایج نشان داد که الگوریتم توسعه داده شده را می‌توان با دقت مناسب در مطالعات هیدرولیکی، ریخت‌شناسی رودخانه و فرسایش رسوب مورد استفاده قرار داد (Azizian et al., 2013).

در زمینه تخمین 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 راندمان تخمین قطر ذرات در مدل بازسازی تصویر ۹۶/۳ درصد و در مدل الگوریتم حوضه آبخیز ۶۶ درصد بود. این امر حاکی از برتری نسبی فیلتر 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 وHydraulic Tool Box و GIAS در تعیین زبری هیدرویکی به کمک منحنی دانه-بندی در رودخانه‌های بستر شنی پرداخته شد. با مقایسه عملکرد Image J و Hydraulic Tool Box و Basegrain نتیجه‌گیری شد که نرم افزار Hydraulic Tool Box J عملکرد بهتری در استخراج منحنی دانه بندی بسترهای شنی دارد (Zarei et al., 2019).

در مطالعه ای دانه بندی مصالح سطحی آبراهه‌ها در دو حالت خشک و تر با پردازش تصویر (رودخانه سیرج کرمان) تعیین گردید. مقایسه عملکرد نرم‌افزارهای Image J وHydraulic Tool Box و GIAS نشان داد که نرم افزار Image J عملکرد بهتری در استخراج منحنی دانه بندی دارد (Azizian and Samadi, 2019).

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

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

پژوهشی در سواحل دلتای رودخانه الوا با استفاده از یک روش خود همبستگی جهت تعیین ابعاد رسوبات درشت-دانه از طریق پردازش عکس‌های تهیه شده از رسوبات بستر انجام شد. نتایج نشان داد خطای روش مورد استفاده در برآورد اندازه متوسط ذرات در محدوده ۱ تا ۲۰۰ میلی‌متر برابر ۱۴ درصد می‌باشد (Warrick et al., 2009).

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

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

در رودخانه راسیل با بستر شنی واقع در مالزی، تکنیک تعیین خودکار اندازه ذرات با کمک نرم‌افزار Image J بررسی گردید (Sulaiman et al., 2014). نتایج بیانگر توانایی خوب نرم افزار خصوصا در دامنه ذرات ریز بود.

کاربرد روش پردازش تصویر جهت تعیین دانه‌بندی رسوبات در بازه ۳ کیلومتری رودخانه تسکو واقع در ایتالیا ارزیابی گردید (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، مطالعات گسترده در خصوص تعیین مشخصات هندسی رسوبات سطحی بستر رودخانه صورت نگرفته و ابهامات و سوالات زیادی در زمینه نحوه اجرا و خصوصا قابلیت استفاده این روش در بستر انواع رودخانه‌ها وجود دارد. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد تاکنون تحقیقی در زمینه تاثیر عمق و سرعت جریان در رودخانه یا کانال آزمایشگاهی برروی نتایج پردازش تصویر ارائه نشده است. از طرفی در

پیش نویس پذیرفته شده

مطالعات مهندسی رودخانه، همواره تلاش مهندسین براین 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 زنجانرود فراهم نبود (عدم وجود جریان یا گل‌آلودگی جریان آب، نبود تجهیزات اندازه‌گیری و...)، در این مطالعه سعی گردید شرایط جریان زلال در آزمایشگاه ایجاد گردد و با تهیه نمونه‌هایی از رسوبات سطحی بستر زنجانرود، ارزیابی نرم افزار Image J و Hydraulic Tool Box در استخراج منحنی دانه بندی رسوبات سطحی در شرایط مختلف عمق و سرعت جریان آب زلال در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی رودخانه مورد مطالعه

با بررسی شرایط مورفولوژیکی و رسوبی رودخانه‌های استان زنجان، رودخانه زنجانرود واقع در حوضه زنجانرود به عنوان رودخانه مورد مطالعه انتخاب شد. با انجام بازدیدهای میدانی از مسیر رودخانه، بازه طولی و مقاطع مناسب برای تعیین دانه‌بندی مصالح مشخص گردید. مقاطعی برای نمونه‌برداری انتخاب شدند که در مسیر اصلی رودخانه با شیب یکنواخت طولی و عرضی قرار داشته و دارای بستر شنی، قابل برداشت و عاری از هرگونه لجن و گل‌ولای باشند. از طرفی یکنواختی دانه‌بندی در مقطع عرضی تا حد امکان موجب دقیق بودن محاسبات خواهد بود. بازه‌ی تقریبا نیم کیلومتری در طول رودخانه زنجانرود از حدفاصل موقعیت جغرافیایی E ″۳۲ ′۰۸ ۴۸º و N ″۲۴ ′۵۵ ۳۶º تا E ″۲۲ ′۰۸ ۴۸º و N ″۳۳ ′۵۵ ۳۶º به عنوان محدوده نمونه‌برداری در نظر گرفته شد.

۲-۲- نحوه نمونه برداری میدانی

نمونه‌برداری در ۳ مقطع با فاصله طولی تقریبی ۲۰۰ متر از یکدیگر صورت گرفت. (اولین مقطع بصورت تصادفی با ویژگی‌های مطرح شده انتخاب شد). برای هر مقطع قابی مربعی شکل به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از تعیین محل‌های نمونه‌برداری، اولین مرحله تصویربرداری از نمونه‌ها می‌باشد. برای تهیه تصاویر از دوربین نیکون مدل D7200 با قدرت تفکیک مکانی ۲۴ مگاپیکسل استفاده شد. لازم به ذکر است جهت تهیه بهترین تصویر برای پردازش، بایستی دوربین نسبت به سطح تصویربرداری قائم باشد. بدین منظور از دوربین مجهز به تراز، سه‌پایه با قابلیت تنظیم ارتفاع از سطح زمین جهت حذف خطای ناشی از لرزش دست و سایه انداخت روی زمین و قاب استفاده شد.

با توجه به مشکلات موجود در پیمایش میدانی مسیر رودخانه و حمل تجهیزات تصویربرداری مورد نیاز، و در جهت سهولت و دقت بالای تصویربرداری با بستر رودخانه، دوربین روی یک میله‌ی افقی فلزی و سه‌پایه ثابت و قابل حمل مستقر گردید. تصویربرداری از مقاطع موردنظر در قاب ۲۰×۲۰ سانتی‌متری از فاصله ۱متری تا سطح بستر و با حالت عمود بودن دوربین بر سطح تصویربرداری صورت پذیرفت. تصویربرداری در شرایط آفتابی در نیمه‌ی روز (مابین ساعت ۱۳-۱۱ ظهر که آفتاب بصورت مستقیم تابیده و سایه‌ای ایجاد نشده باشد) صورت گرفت. پس از تصویربرداری، نمونه‌ها با اسپری رنگ شدند تا برداشت نمونه‌ها بصورت سطحی صورت گرفته و با دقت بیشتری برای آزمایش الک جمع‌آوری گردند. ذرات رسوبی با دقت داخل کیسه‌ها جمع‌آوری شد و به منظور انجام آزمایش الک به آزمایشگاه گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان منتقل گردید. شکل ۳ شرایط موجود برای نمونه‌برداری را نمایش می‌دهد.

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

۲-۳- معرفی روش‌های مورد استفاده

۲-۳-۱- مدل Image J

نرم‌افزار ImageJ (Image Processing and Analysis in Java) یک برنامه قدرتمند برای آنالیز تصاویر است و کاربردهای مختلفی دارد. این نرم‌افزار توسط موسسه ملی

بهداشت ایالات متحده آمریکا طراحی شده است که بر روی پلتفورم جاوا نوشته شده و استفاده بسیاری در تصویربرداری پزشکی دارد. این نرم‌افزار کاربردهای فراوانی دارد از جمله: محاسبه درصد فازها، تعداد ذرات و اندازه ذرات، در زمین شناسی به منظور تعیین مساحت، محیط، قطر، کرویت و سایر مشخصات هندسی. جهت برازش و استخراج دقیق مساحت، محیط، قطر کوچک و قطر بزرگ و کرویت دانه‌های موجود در تصاویر از دستورات متعددی استفاده می‌شود. مراحل پردازش تصویر توسط نرم‌افزار Image J به صورت زیر است:

- مقیاس دهی تصویر: با استفاده از ابزار خط به منظور مقیاس‌دهی، 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).

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

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

- ایجاد نواحی 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 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).

- 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 نقاطی را که دچار خوردگی شده‌اند، می‌یابد؛ سپس هر یک از این نقاط را تا جای ممکن اتساع می‌دهد (Process->Binary->Watershed)

- 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 سایز ذره برابر با ۲۴۰ پیکسل در نظر گرفته شد (Damadipour et al., 2019). بدین منظور تمامی ذرات کوچکتر از ۲۴۰ پیکسل از محاسبات پردازش تصویر حذف می‌شوند (Analyze->Set Measurements).

- در نهایت امکان اخذ نتایج آنالیز ابعاد سنگدانه‌ها بر اساس شکل هندسی برازش داده شده در محیط اکسل بدست آمده و می‌توان منحنی دانه‌بندی را رسم کرد (Analyze-> Analyze Particles).

۲-۳-۲- مدل Hydraulic Toolbox

Hydraulic Toolbox برنامه‌ای است که شامل مجموعه ای مستقل از ابزارهای محاسباتی در زمینه محاسبات و تجزیه و تحلیل هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و طراحی می‌باشد. این نرم‌افزار در سال ۲۰۱۴ توسط شرکت Aquaveo به سفارش اداره بزرگراه های فدرال وزارت راه و ترابری ایالات متحده امریکا توسعه یافته است. ابزارهای تخصصی آن عبارت‌اند از آنالیز روش منطقی هیدرولوژیکی، کانال‌ها، سرریزها، آبشستگی پل‌ها، دانه‌بندی رسوبات و... این برنامه به کاربر این امکان را می‌دهد تا محاسبات هیدرولیکی را در یک فایل پروژه انجام داده و ذخیره کند، چندین سناریو را تجزیه و تحلیل و نمودارها و گزارش‌هایی از این تجزیه و تحلیل ها را استخراج نماید. در این نرم‌افزار الگوریتمی برای تعیین دانه‌بندی رسوبات وجود دارد که با دریافت تصویر دیجیتالی از بستر آبراهه‌ها می‌تواند منحنی دانه‌بندی و نیز قطرهای $d_5, d_{15}, d_{50}, \ldots, d_{100}$ ذرات تشکل دهنده بستر را سریعا تهیه نماید.

مراحل پردازش تصویر به ترتیب عبارت‌اند از:

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

ب) تبدیل تصویر رنگی به تصویر خاکستری هشت بیتی

ج) عبور دادن تصویر از فیلتر Median (این فیلتر به برطرف کردن خش و لکه‌ها از روی ذرات موجود در تصویر کمک می‌نماید).

د) اعمال عملگر پس زمینه

ه) ایجاد نواحی 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.

و) استفاده از عمل‌گر استخراج مشخصات 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.

ز) برازش بیضی‌ها بر ذرات برای تکمیل فرآیند پردازش، با محاسبه قطر بزرگ (a) و متوسط (b) هر یک از بیضی‌ها،

مساحت تمامی ذرات منفرد موجود در تصویر محاسبه گردید. این نتایج تنها شامل تصویر دوبعدی ذرات می‌باشد و از آن جا که معمولاً ذرات با قطرهای متوسط 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 حاصل از میانگین قطرهای متوسط و بزرگ ذرات بوده و منحنی توزیع اندازه ذرات در این روش با منحنی دانه بندی با الک اختلاف خواهد داشت.

در این نرم‌افزار به منظور اصلاح منحنی‌های اولیه حاصل از پردازش تصویر و نیز ایجاد امکان مقایسه بین منحنی‌های مربوط به دو روش دانه‌بندی با الک و پردازش تصویر، معمولاً از یک ضریب تصحیح استفاده می‌گردد که پیش فرض نرم افزار عدد ۲/۵ می‌باشد.

۲-۴- شرح کار آزمایشگاه

نمونه‌های برداشت شده از بستر رودخانه زنجانرود، در کیسه‌های جدا از هم جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان منتقل شد. پس از دانه‌بندی توسط الک، نمونه‌ها طبق تصویری که از بستر رودخانه برداشت شده بود، درون یک جعبه گالوانیزه به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر با عمق ۲ سانتی‌متر چیده شد. به منظور تدقیق چیدمان نمونه‌ها، چاپ رنگی تصاویر بستر رودخانه تهیه گردید. به منظور قرارگیری دقیق سنگ‌ها به همان شکل موجود در رودخانه، از ماسه به عنوان خاک پر کننده بستر استفاده شد. شکل ۴ نمونه‌ی قاب به همراه روش نمونه‌برداری برای پردازش تصویر را نمایش می‌دهد. در آزمایشگاه، نمونه درون کانالی به طول ۸ متر، عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که دارای سیستم چرخش آب و شیب پذیر بود، قرار گرفت. سپس سناریوهای مورد نظر اجرا و در هر کدام از مراحل تصویربرداری صورت گرفت. تصویر کانال آزمایشگاهی مورد استفاده و همچنین نمای شماتیکی کانال به همراه جرئیات 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 مراحل انجام کار در ادامه تشریح شده است. در ابتدا پس از چیدن رسوبات داخل هر نمونه جعبه گالوانیزه شکل ۶، نمونه داخل کانال قرار داده شد.

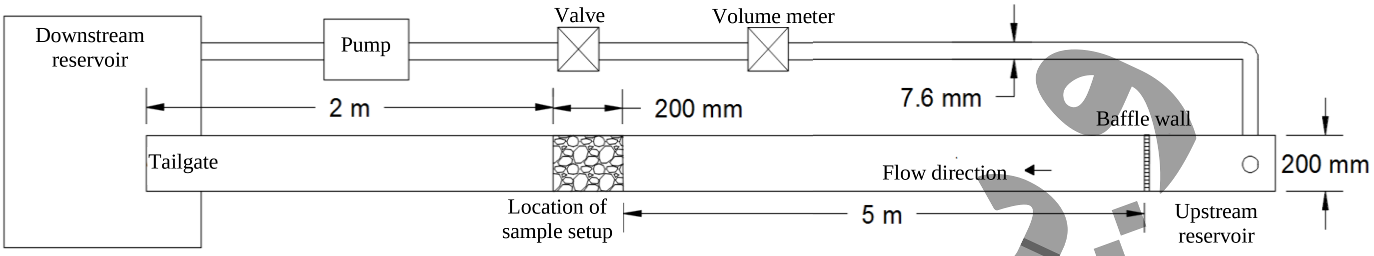
برای حالت اول (آب ساکن با عمق‌های مختلف) با استفاده از شیر فلکه، جریان آب را به آرامی در کانال برقرار کرده و با بستن دریچه انتهایی کانال، آب ساکن با عمق‌های ۴، ۸،

Fig. 4 Frame sample with sampling method

شکل ۴ نمونه‌ی قاب به همراه روش نمونه‌برداری

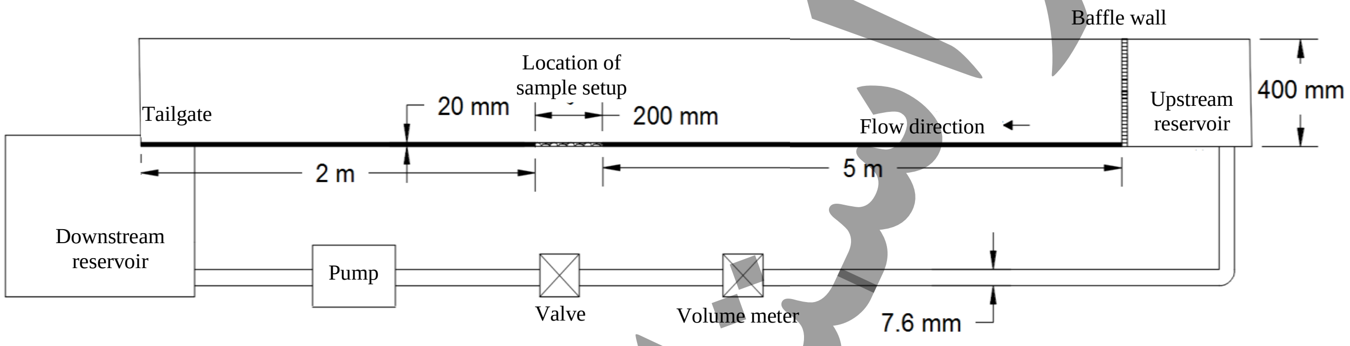
a) The image of the laboratory model used in the research

a) تصویری از مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در پژوهش



b) Longitudinal profile

b) نمای شماتیکی دید از جانب (پروفیل طولی)



c) Plan

c) نمای شماتیکی 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 شماتیکی دید از جانب (b) و دید از بالای کانال (c) مورد استفاده در پژوهش

a) Natural river bed — a) تصویر بستر طبیعی رودخانه

b) Printed color image — b) تصویر رنگی چاپ شده

c) Box with sand bed — c) جعبه با بستر ماسه‌ای

d) Arrangement inside box — d) چیدمان داخل جعبه

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

شکل ۶ مراحل چیدمان رسوبات داخل جعبه گالوانیزه

۱۲ سانتی‌متر برقرار گردید و از هر یک از حالت‌ها تصویربرداری انجام شد. برای انجام حالت‌های بعدی (عمق و سرعت‌های مختلف) با باز کردن شیر فلکه و تنظیم دریچه انتهایی، عمق و سرعت مورد نظر تنظیم گردید. در عمق ۴ سانتی‌متر با افزایش دبی و تنظیم دریچه‌ی انتهایی مقادیر سرعت‌های مختلف برای همان عمق برقرار گردید و پس از از بین رفتن تلاطم موجود در سطح آب، تصویر برداری برای هر حالت صورت گرفت. لازم به ذکر است به منظور برقراری شرایط تصویربرداری یکسان در آزمایشگاه و رودخانه (نور ثابت و عدم وجود سایه در تصاویر و فاصله‌ی ۱ متری دوربین تا سطح ذرات و عدم لرزش 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 دست کاهش پیدا کند. در نهایت تصویری که وضوح بیشتری داشت به عنوان تصویر اصلی پردازش گردید. همین کار برای عمق ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نیز انجام گردید. در هر عمق به تعداد ۴ الی ۵ دبی (۴ الی ۵ سرعت مختلف) ایجاد شد. پس از تهیه تصاویر حاصل از آزمایش‌های یک نمونه، اقدام به تغییر نمونه و انجام مجدد آزمایش‌ها شد.

در تمام آزمایش‌ها، دبی در محدوده ۱۲-۱ لیتر بر ثانیه، عدد فرود در محدوده‌ی ۰/۰۸ تا ۰/۶۵ و سرعت متوسط جریان در محدوده‌ی ۰/۰۸ تا ۰/۵ متر بر ثانیه بود. به منظور سهولت در ارائه نتایج و اختصار نویسی، اشکال نام- گذاری گردید. در هر نمونه، حرف انگلیسی اول، بیانگر سری نمونه، پارامتر دوم عمق جریان برحسب سانتی‌متر و پارامتر سوم نیز شماره دبی جریان می‌باشد. به عنوان مثال در نمونه‌ی A به ازای حالت آب ساکن در عمق ۴ سانتی- متر و حالت جریان آب با مقادیر دبی ۱/۱، ۲/۰۶، ۳/۱۲ و ۴/۱۶ لیتر بر ثانیه در همان عمق به ترتیب نام‌گذاری بصورت 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 مطالعه، پردازش تصویر تمام تصاویر در این نرم‌افزارها انجام شد. پس از بدست آمدن نتایج، منحنی دانه‌بندی رسم شد. سپس منحنی دانه‌بندی حاصل از هر یک از نرم‌افزارها با منحنی حاصل از الک مقایسه شد و برای هر یک از تصاویر، ضریب K قطرهای شاخص (d_{15}, d_{35}, d_{50}, d_{85}) محاسبه شد و منحنی تغییرات ضریب K به ازای عمق جریان و سرعت، در هر نمونه ترسیم گردید. رابطه ۱ ضریب K برای قطر شاخص d_i بصورت 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 حاصل از نرم افزار پردازش تصویر می‌باشد. هر چه مقدار این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد، دقت پردازش تصویر بالاتر خواهد بود. شایان ذکر است برای محاسبه مقادیر خطای مطلق نسبی (RAE) نرم‌افزار Image J و Hydraulic Toolbox در برآورد قطرهای شاخص منحنی الک، از رابطه زیر استفاده گردید.

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

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

برای محاسبه فاکتور شکل ذرات، تصویربرداری دو بعدی از نمونه صورت گرفته، سپس براساس تضاد رنگ موجود بین پس‌زمینه و لبه‌ی سنگ، ابعاد سنگ محاسبه می‌شود. پس از تعیین مقادیر 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 گردید. ایشان با درنظر گرفتن دو پارامتر ERS (Equivalent Rectangle Sides) و EEA (Equivalent Ellipse Axises)، فاکتور شکل P^2/A را برای پردازش تصاویر دو بعدی پیشنهاد و گزارش کردند استفاده از این پارامتر منجر به تخمین بهتر توزیع اندازه ذرات می‌شود. بدین ترتیب نسبت مربع محیط ذره به مساحت (P^2/A) محاسبه شد و با توجه به الگورتیم پیشنهادی، شکل ذره اعم از مربع، مستطیل یا کره تعیین گردید.

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 تقریبا 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، تمام ذرات از الک ۴۴/۴ میلی‌متر کوچک‌تر بوده و تقریبا 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 اساس سیستم طبقه بندی متحد، رسوبات هر سه مقطع بستر زنجانرود 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 می- دهد نمونه‌های مورد بررسی تقریبا یکنواخت هستند.

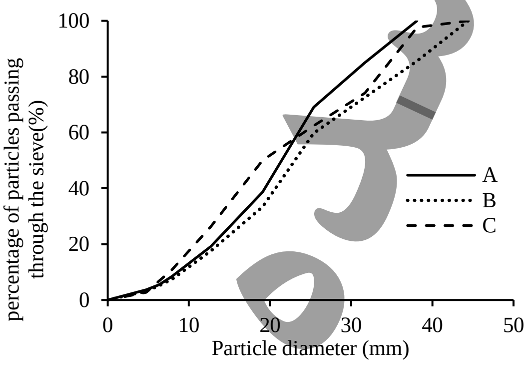


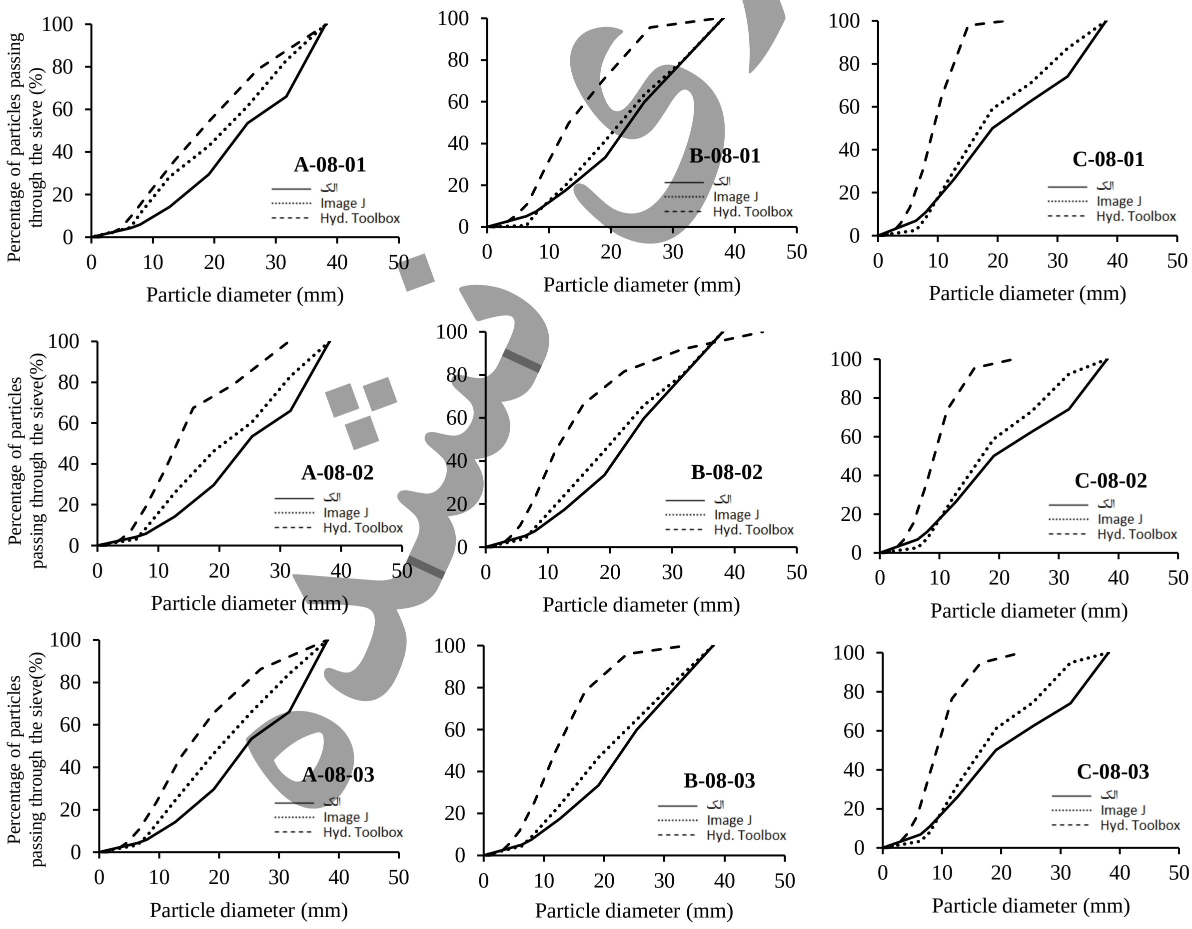
Fig. 7 Sieve granulation curve of samples A, B, C

شکل ۷ منحنی دانه‌بندی الک نمونه A, B , C

۳-۱- مقایسه‌ی نتایج نرم‌افزار Image j و Hydraulic Toolbox بر مبنای نتایج الک

شکل ۸ نتایج منحنی دانه‌بندی حاصل از نرم‌افزارهای Hydraulic Toolbox و نرم‌افزار Image J در مقایسه با منحنی حاصل 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 حاصل 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 حاصل از نرم-افزار Image J خطای بسیار کمی با نتایج حاصل از الک دارد. بطوری‌که 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٪ بدست آمد. در نمونه‌ی C میانگین خطای نسبی در عمق ۸ سانتی‌متری برای ریزدانه برابر ۹٪ و درشت دانه برابر ۱۴٪ بدست 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 طرفی هرچه انحراف معیار کمتر باشد، مقدار خطا بیشتر خواهد بود. در جدول ۱ مقادیر 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 مقادیر *K* قطرهای شاخص این نرم‌افزار ارائه شده است.



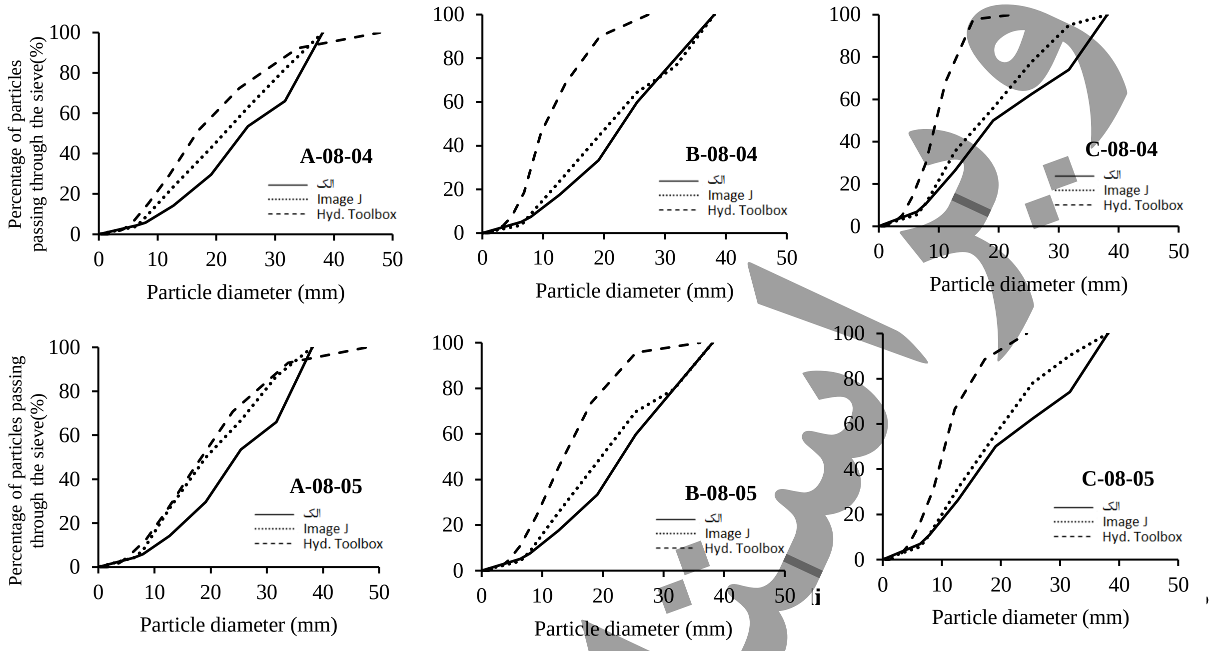


Fig. 8 The results of Sieve, Hydraulic Toolbox and Image J at depth of 8 cm with different flow velocities

شکل ۸ نتایج حاصل از الک، Hydraulic Toolbox و Image J در عمق ۸ سانتی‌متر با سرعت جریان‌های مختلف

جدول ۱: مقادیر انحراف معیار حاصل از آزمون الک و نرم‌افزار 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

۲-۳- تاثیر سرعت و عمق جریان بر روی مقادیر *K* قطر شاخص ۵۰٪

تاثیر سرعت جریان

در اشکال ۹، ۱۰ و ۱۱ تاثیر سرعت جریان بر روی مقادیر *K* قطر شاخص ۵۰٪ در سه عمق مورد بررسی برای سه نمونه‌ی A , B , C ارائه شده است. در این شکل‌ها محور افقی مقادیر سرعت به صورت بی بعد (*V/Vc*) و محور عمودی مقادیر *K* قطر شاخص ۵۰٪ می‌باشد. مشاهده می‌شود که سرعت جریان بر روی مقادیر *K* قطر شاخص ۵۰٪ تاثیر محسوسی ندارد. بطوریکه در عمق ۴ سانتی‌متر میانگین مقادیر *K* در نمونه‌ی A , B , C به ترتیب ۱/۰۱ و ۱/۱۹ و ۱/۰۸ می‌باشد. همچنین در عمق ۸ سانتی‌متر،

مقادیر 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. طبق این نتایج مشاهده می‌شود مقادیر K نمونه A در هر سه عمق ۴ و ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نسبت به دو نمونه دیگر پایین‌تر است. در عمق ۸ سانتی‌متری مقادیر K نمونه B و C در سرعت‌های مختلف تقریبا روی هم منطبق است. همچنین مقادیر K نمونه C در دو عمق ۴ و ۱۲ سانتی‌متر نسبت به مقادیر K نمونه B کمتر است.

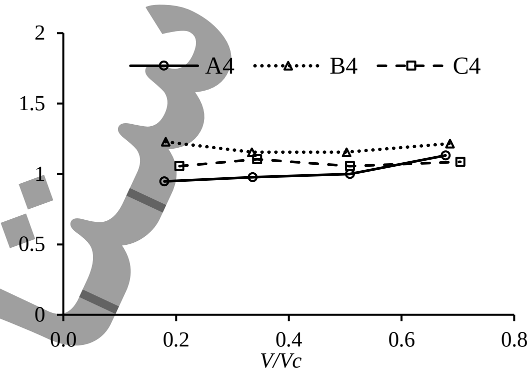


Fig. 9 The effect of flow velocity on the value of K at a depth of 4 cm at index diameter of 50%

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

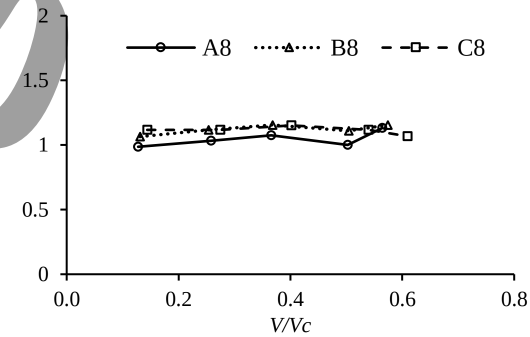


Fig. 10 The effect of flow velocity on the value of K at a depth of 8 cm at index diameter of 50%

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

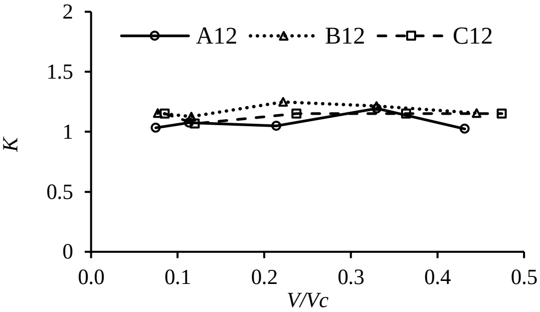


Fig. 11 The effect of flow velocity on the value of K at a depth of 12 cm at index diameter of 50%

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

۳-۳- تاثیر عمق جریان

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ تاثیر تغییر عمق جریان به ازای سرعت‌های مختلف بر روی مقادیر K قطر شاخص ٪۵۰ برای سه نمونه‌ی A , B , C نشان داده شده است. مطابق نتایج در هر نمونه عمق جریان تاثیر محسوسی بر روی مقدار K قطر شاخص نداشته و مقادیر متوسط 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 متوسط ۱/۰۴۶)؛ برای نمونه B به ترتیب ۱/۱۹، ۱/۱۲ و ۱/۱۸ (با مقدار متوسط ۱/۱۶) و برای نمونه C به ترتیب ۱/۰۸، ۱/۱۱ و ۱/۱۳ (با مقدار متوسط ۱/۱) می‌باشد (با میانگین کل ۱/۱ هر سه نمونه). این نتیجه نشان دهنده‌ی بی اثر بودن پدیده شکست نور در نتایج تصاویر تهیه شده در عمق‌های مختلف می‌باشد. با توجه به اینکه تصاویر با زاویه دید ۹۰ درجه از یک صفحه افقی با ابعاد کوچک (۲۰×۲۰ سانتی-متر) تهیه شده است، با افزایش عمق اثر زاویه شکست نور در تصویر تهیه شده ناچیز است. شایان ذکر است در نمونه A، مقادیر K قطر شاخص ٪۵۰ با افزایش عمق جریان افزایش جزئی نشان می‌دهد؛ و این افزایش در مقادیر سرعت کم، محسوس‌تر است. این شرایط در نمونه B نیز تا حدودی مشاهده شده است، اما در نمونه C منحنی‌های K هر سه عمق تقریبا برهم منطبق است. در نمونه C پارامترهای ضریب یکنواختی، انحراف معیار و جورشدگی نسبت به دو نمونه دیگر بطور محسوسی بیشتر است؛ به عبارت دیگر این نمونه نسبت به دو نمونه دیگر یکنواختی کمتری دارد. از طرفی در این نمونه مقادیر قطرهای شاخص ٪۵۰ و کوچکتر نسبت به دو نمونه دیگر ریزتر است.

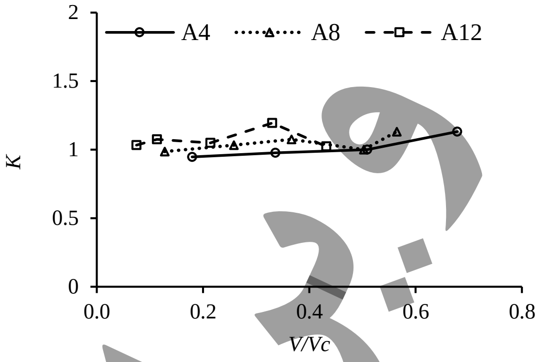


Fig. 12 The effect of flow depth on the *K* value of the index diameter of 50% in sample A

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

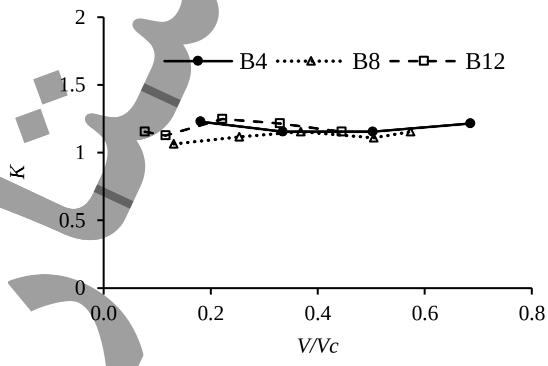


Fig. 13 The effect of flow depth on the *K* value of the index diameter of 50% in sample B

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

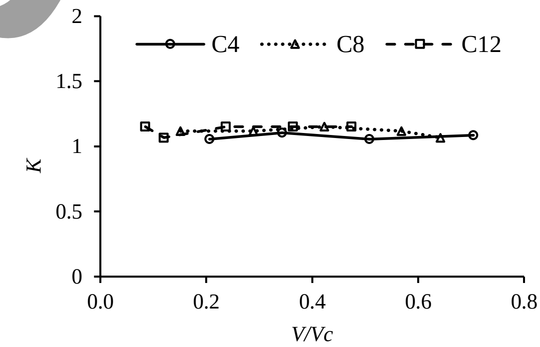


Fig. 14 The effect of flow depth on the *K* value of the index diameter of 50% in sample C

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

۴-۳- خطای مطلق نسبی و ضریب همبستگی

مقادیر خطا در حالت تر با عمق‌ها و سرعت‌های مختلف 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٪ بدست آمد. این مقادیر برای نمونه B به ترتیب ۱۳٪ برای عمق ۴ سانتی‌متر، ۱۴٪ مربوط به ریزدانه و ۱۲٪ مربوط به درشت‌دانه در عمق ۸ و مقادیر ۱۷٪ برای ریزدانه و ۱۴٪ برای درشت دانه 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 درشت دانه برابر با ۱۴٪ و در عمق ۱۲ سانتی‌متری مقادیر خطای ریزدانه برابر با ۹٪ و درشت‌دانه برابر با ۱۴٪ بدست آمد. مقادیر ضریب همبستگی برای تمامی نمونه‌ها تقریبا نزدیک ۱ بدست آمد.

۵-۳- نتایج فاکتور شکل

در شکل ۱۵ تاثیر عمق و سرعت جریان بر فاکتور شکل نتایج حاصل 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 بصورت مستطیلی هستند. در نمونه A در تمامی عمق‌ها و سرعت‌ها، درصد شکل مستطیلی دانه‌ها بطور تقریبی باهم برابر بوده (بطور متوسط ۸۵٪) و اختلاف ناچیزی باهم دارند. در نمونه B و C مقادیر 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 مقادیر درصد شکل مستطیلی دانه‌ها کاهش جزئی را نشان می‌دهد، بطوریکه از ۸۰٪ به حدودا ۷۰٪ رسیده است. در عمق ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نمونه B در بالاترین سرعت جریان، رابطه فوق برقرار نیست. در نمونه C عکس این حالت مشاهده شده است، بطوریکه با افزایش عمق جریان، مقدار درصد شکل مستطیلی از ۸۰٪ به حدودا ۹۰٪ افزایش نشان می‌دهد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق به صورت آزمایشگاهی تاثیر عمق و سرعت جریان بر دانه‌بندی و شکل ذرات رسوبات سطحی بستر رودخانه‌های شنی با استفاده از روش پردازش تصویر (دو

نرم افزار Image J و Hydraulic Toolbox) ارزیابی گردید. خلاصه نتایج این تحقیق به صورت زیر ارائه می‌شود:

- ✓ نمونه‌های برداشت شده از بستر رودخانه زنجانرود بر اساس سیستم 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 حاصل 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 مقادیر *K* قطرهای شاخص این نرم‌افزار استخراج شد.

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

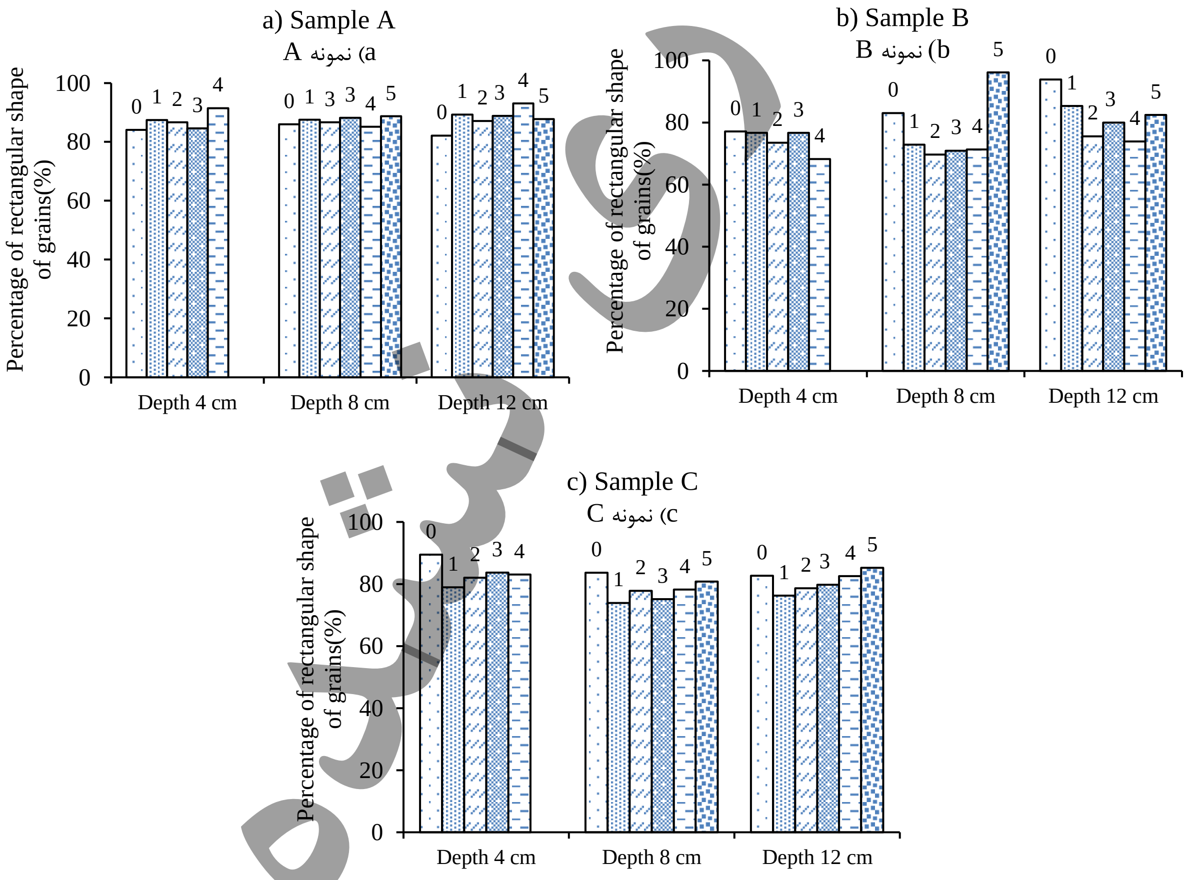


Fig. 15 Percentage of rectangular shape of grains in three samples A, B and C

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

- ✓ سرعت جریان بر روی مقادیر K قطر شاخص ۵۰٪ تاثیر محسوسی نداشت. طبق نتایج مشاهده شد که مقادیر K نمونه A در هر سه عمق ۴ و ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نسبت به دو نمونه دیگر پایین‌تر است. در عمق ۸ سانتی‌متری مقادیر K نمونه B و C در سرعت‌های مختلف روی هم منطبق بود. همچنین مقادیر K نمونه C در دو عمق ۴ و ۱۲ سانتی‌متر نسبت به مقادیر K نمونه B کمتر بود.
- ✓ در نمونه A، مقادیر K قطر شاخص ۵۰٪ با افزایش عمق جریان افزایش جزئی نشان داد و این افزایش در مقادیر سرعت کم، محسوس‌تر بود. این شرایط در نمونه B نیز تا حدودی مشاهده شد، اما در نمونه C منحنی‌های K هر سه عمق تقریبا برهم منطبق بود.
- ✓ در نمونه C پارامترهای 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 مقادیر 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 تمامی عمق‌ها و سرعت‌ها، درصد شکل مستطیلی دانه‌ها بطور تقریبی باهم برابر بودند (بطور متوسط ۸۵٪). از طرفی در نمونه B در هر سه عمق، با افزایش سرعت جریان مقادیر درصد شکل مستطیلی دانه‌ها کاهش جزئی را نشان داد، بطوری‌که از ۸۰٪ به حدودا ۷۰٪ کاهش یافت. در نمونه C عکس این حالت مشاهده شده است، بطوری‌که با افزایش عمق جریان، درصد شکل مستطیلی از ۸۰٪ به حدودا ۹۰٪ افزایش نشان داد.

۵- فهرست علایم

قطر بزرگ ذره (mm)	a
قطر متوسط ذره (mm)	b
قطر کوچک ذره (mm)	c
قطرهای شاخص (mm)	d_5, d_{15}, d_{35}, d_{50}, d_{85}, d_{100}
قطر شاخص الک (mm)	$d_{i\text{-}s}$
قطر شاخص محاسباتی (mm)	$d_{i\text{-}cal}$
ضریب (بی‌بعد)	K
سرعت متوسط جریان (m/s)	V
سرعت بحرانی جریان (m/s)	Vc

۶- منابع

Abd Sharif Esfahani, M., Rajabi Hashjin, M. and 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 5nd Congress of Iran Hydraulic, Kerman, Iran. (In Persian)

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

Azizian, A. and 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. and Abt, S.R. (2001). Sampling frame for improving pebbele count accuracy in coarse gravel-bed streams. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 37, 1001-1014.

Damadipour, M., Nazarpour, M. and 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. and Manciola, P. (2016). Characterization of a fFlood event through a sediment analysis: the Tescio river case study. Water, 8(308), 1-20.

Hassannejad Sharifi, F. Samadi, A. and Azizian, A. (2016). Evaluation of the performance of the image processing method in estimating Manning's 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. and Reid, I. (2005). A transferable method for the automated grain sizing of river gravels. Water Resources Research, 41, 225-234.

Anonymous, (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. and 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)

Characteristics of Alluvial Streams. Wallingford, Report No.187, England.

Warrick, J. A. Rubin, D. M. Ruggiero, P. Harney, J. N. Draut, A. E. and 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 and 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 of Hydraulics,13(4), 93-110. (In Persian)

Sulaiman, M.S., Sinnakaudan, S.K., Ng, S.F. and 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.

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. and Lucas, H. (2010). Comparison of automated image-based grain sizing to standard pebble-count methods. Journal of Hydraulic Engineering, 136, 461-473.

Sadeghi, H. and 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. and 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., and Bettess, R. (2005). *A New General Method for Prediction of the Frictional*

ویراستاری نشده