

## ارزیابی عملکرد روش پردازش تصویر در تخمین ضریب زبری مانینگ در لایه سطحی بستر رودخانه‌ها

فرزام حسن نژاد شریفی<sup>۱</sup>، امیر صمدی<sup>۲\*</sup>، اصغر عزیزیان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

۲. استادیار، گروه مهندسی آب دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

۳. استادیار، گروه مهندسی آب دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۲/۱۲)

### چکیده

با توجه به اهمیت برآورد مناسب ضریب زبری در مطالعات مهندسی رودخانه، در تحقیق حاضر به ارزیابی روش پردازش تصویر در تخمین ضریب زبری مانینگ لایه سطحی بستر رودخانه‌ها پرداخته شده است. ارزیابی روش مزبور در بازه‌ای ۷/۵ کیلومتری از رودخانه شلمان رود گیلان با کاربرد هم‌زمان روش‌های دانه‌بندی با الک و پردازش تصاویر دیجیتال صورت گرفته است. پردازش تصاویر تهیه‌شده از بستر رودخانه حاکی از آن است که این روش از دقت بسیار بالایی در برآورد اندازه ذرات رسوبی (ذرات دارای اندازه  $d_{50}$  و بزرگتر) برخوردار بوده و می‌تواند به‌منظور تخمین ضریب زبری مانینگ ذرات رسوبی بستر از طریق روابط تجربی موجود، مورد استفاده قرار گیرد. برای ارزیابی نتایج روش پردازش تصویر در تخمین ضرایب مانینگ، از شبیه‌سازی جریان یک‌بعدی ماندگار توسط مدل هیدرولیکی Hec-Ras استفاده گردید و مدل در قالب سناریوهای مختلف اجرا شد. درنهایت، مقایسه مشخصه‌های هیدرولیکی به‌دست‌آمده در مقاطع مورد بررسی، نسبت به نتایج روش Cowan نشان داد که رابطه تجربی  $Bray-d_{90}$  با حداکثر اختلاف نسبی عرض سطح آب به میزان ۱۳/۷٪، در برآورد ضرایب زبری مانینگ در سطح بستر رودخانه بهترین کارایی را خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ذرات سطحی، پردازش تصاویر، ضریب زبری مانینگ، روش Hec-Ras، Cowan

### مقدمه

رودخانه‌ها به‌عنوان بخشی از چرخه هیدرولوژیکی اکوسیستم کره زمین در شکل‌گیری و تحولات تاریخی تمدن‌ها و زندگی بشر همواره ایفای نقش داشته‌اند. توصیف کمی و دقیق بسترهای شنی از اهمیت اساسی در هیدرولیک جریان رودخانه‌ها و ریخت‌شناسی رودخانه‌های رسوبی برخوردار می‌باشد. این اهمیت بدان جهت است که بسیاری از خصوصیات جریان مانند سرعت متوسط، انتقال رسوب و خصوصیات آشفستگی، از ساختار و شکل بستر رودخانه‌ها تأثیر می‌پذیرد (Nikora et al., 2001). مشخصه‌های اندازه ذرات و مصالح بستر رودخانه‌ها (به‌عنوان مثال  $d_{50}$ ،  $d_{84}$  یا  $d_{90}$ ) که به توزیع اندازه ذرات وابسته‌اند به شیوه‌های گوناگون مانند آزمایش دانه‌بندی با الک، روش نمونه‌برداری Wolman (1954) در مطالعات میدانی و... قابل برآورد می‌باشند (Aberle and Nikora, 2006). رایج‌ترین روش در این بین، آزمایش الک است که در آن با استفاده از وزن تجمعی دانه‌های عبوری از الک، منحنی توزیع

اندازه ذرات به‌دست می‌آید (ASTM, 2006).

امروزه، پیشرفت‌های پدید آمده در علم پردازش تصویر، امکان محاسبه منحنی توزیع اندازه ذرات را از طریق عکس‌برداری فراهم نموده است. توسعه تکنیک‌های نمونه‌برداری از مصالح و رسوبات رودخانه‌ای، زمان موردنیاز برای برداشت نمونه‌ها را کاهش داده است؛ به همین علت امروزه روش‌های اندازه‌گیری دانه‌بندی ذرات سطحی، مبتنی بر روش‌های پردازش تصویر، با استقبال زیادی روبه‌رو شده است. همچنین توسعه این روش‌ها، فرآیند شناسایی و اندازه‌گیری خودکار مشخصات دانه‌بندی را تسهیل نموده است. با توجه به عدم وجود مطالعات ژئوتکنیک و مکانیک خاک (به‌علت هزینه زیاد و زمان‌بر بودن) در بسیاری از مطالعات مهندسی رودخانه، می‌توان روش پردازش تصویر را به‌عنوان روشی مناسب برای تسهیل استخراج منحنی دانه‌بندی مصالح بستر و دیگر مشخصات ذرات، مورد استفاده قرار داد (Azizian et al., 2013). لذا امکان دسترسی به اطلاعات دقیق‌تری از زبری بستر رودخانه برای انجام مدل‌سازی هیدرولیک جریان و سیلاب فراهم شده و بالتبع افزایش دقت شبیه‌سازی را به دنبال دارد.

تاکنون تحقیقات زیادی در رابطه با استفاده از روش پردازش تصاویر ذرات رسوبی بستر رودخانه‌ها با اهداف گوناگون انجام شده است که برخی از آن‌ها عبارتند از: استفاده از روش عکس‌برداری شبکه‌ای در بستر رودخانه کرج برای تعیین دانه‌بندی لایه محافظ یک بستر درشت‌دانه (Abdesharif et al, 2005)، سنجش دقت روش پردازش تصویر در تعیین مؤلفه‌های رسوبات بستر سه رودخانه در انگلیس، بر مبنای یک الگوریتم قوی برای تشخیص ذرات در تصویر (Graham et al, 2005)، به‌کارگیری میکروسکوپ قابل استفاده در زیر آب به منظور اندازه‌گیری تغییرات مکانی و زمانی در اندازه ذرات رسوبی بستر رودخانه کلرادو در Grand Canyon (Rubin et al, 2007)، به‌کارگیری یک روش خودهمبستگی (Autocorrelation) برای برآورد ابعاد رسوبات درشت‌دانه از طریق پردازش عکس‌های تهیه‌شده از رسوبات (اندازه‌های ماسه تا سنگ) سواحل دلتای رودخانه Elwha (Warrick et al, 2009)، استفاده از یک روش خودکار پردازش تصویر در رودخانه‌های دارای شیب زیاد به منظور تعیین اندازه متوسط ذرات رسوبی (Penders, 2010)، مقایسه یک روش مبتنی بر پردازش تصاویر دیجیتالی نسبت به روش شمارش ذرات به منظور تعیین توزیع اندازه ذرات سنگی (Storm et al, 2010)، بررسی برآورد توزیع اندازه ذرات بستر در رودخانه Jing-Mei واقع در تایوان، بر مبنای استفاده از روش پردازش تصویری I-FM<sup>۳</sup> (Chang and Chung, 2012)، استفاده از روش پردازش تصویر با به‌کارگیری الگوریتم توسعه‌یافته در محیط نرم‌افزار Matlab که توانایی استخراج مشخصات هندسی مصالح سطحی بستر رودخانه را از روی تصاویر تهیه‌شده از بستر رودخانه دارا می‌باشد (Azizian et al, 2013)، معرفی یک روش اصلاح‌شده برای اندازه‌گیری ذرات به صورت خودکار، به کمک یک شبکه فازی عصبی و به منظور برآورد توزیع اندازه ذرات در تصاویر دیجیتالی گرفته‌شده از رسوبات (۱۶ تا ۵۱۲ میلی‌متر) بستر رودخانه Lanyang در شمال شرقی تایوان (Chung and Chang, 2013)، تحلیل دقت دانه‌بندی رسوبات ریز و درشت‌دانه در بستر بخش ساحلی بازسازی‌شده دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس واقع در شهرستان نور، با استفاده از پردازش تصاویر حاصل از دوربین‌هایی با قدرت تفکیک مکانی مختلف در محیط نرم‌افزار GIAS (Sadeghi and Gharemahmoodli, 2013)، ارزیابی اثر قدرت تفکیک‌های

اغلب برنامه‌هایی که به منظور پردازش تصاویر توسعه یافته‌اند، بر مبنای یک اسلوب و الگوریتم از پیش تعیین‌شده و یا قابل انتخاب، کار پردازش بر روی تصاویر را انجام می‌دهند. این برنامه‌ها می‌توانند برای اهداف گوناگونی مورد استفاده قرار گیرند؛ به‌عنوان مثال، GIAS یک برنامه برای پردازش تصویر بوده که به منظور کسب اطلاعات بیشتر از جزئیات موجود در تصاویر زمین‌شناختی، توسعه یافته است. این برنامه یک مدل پردازش تصویر را به منظور محاسبه و به تصویر کشیدن مساحت، فراوانی، شعاع، محیط، گریز از مرکز و محل مرکز ثقل اشیاء، با یک مدل توزیع مکانی ترکیب می‌کند که این مدل، کار تحلیل نزدیکترین همسایه (Nearest Neighbor Analysis) وابسته به اندازه نمونه را به صورت خودکار انجام می‌دهد. ImageJ نیز یک برنامه رایج برای پردازش تصویر است که توسط مؤسسات ملی بهداشت<sup>۱</sup> (NIH) در ایالات متحده آمریکا به‌عنوان یک برنامه با کارکرد آزاد، توسعه یافت. وجود مدل‌های دوشاخه‌ای<sup>۲</sup> مرسوم، ImageJ را قادر به انجام کارهای متعددی از جمله تحلیل توزیع فراوانی اندازه گودال‌های موجود در مقاطع نازک زمین‌شناختی می‌سازد. GIAS، ImageJ و سایر برنامه‌های مشابه در محیط ویندوز (نظیر: Scion Image و ImageTool) و سیستم عامل‌های دیگر، تنها برای کاربردهای زمین‌شناختی طراحی نشده‌اند (Beggan and Hamilton, 2010). به‌عنوان مثال، GIAS قادر است با دریافت یک تصویر دیجیتالی مناسب از یک سطح دارای ذرات سنگی و یا رسوبی، با استفاده از الگوریتمی که در آن تعبیه شده است، تعداد کل ذرات موجود در تصویر و همچنین تعداد ذرات با مساحت‌های گوناگون را مشخص سازد. این برنامه، به طور مستقیم منحنی دانه‌بندی ذرات موجود در تصویر را در اختیار قرار نمی‌دهد، اما کاربر می‌تواند با انتقال اطلاعات موجود در خروجی به محیط Excel و انجام پاره‌ای از محاسبات به منحنی دانه‌بندی ذرات دست یابد (این محاسبات تا حدودی زمان‌بر خواهند بود). برنامه ImageJ نیز قابلیت دسترسی به نتایجی مشابه با GIAS را دارد ولی تفاوت آن با GIAS در این است که مراحل الگوریتم توسط کاربر تعیین می‌شوند؛ به‌علاوه ImageJ دارای ابزارهای متنوعی به منظور ویرایش تصویر در تمامی مراحل پردازش می‌باشد (برای مثال علاوه بر فیلتر Median (میان) می‌توان از وجود فیلترهای Mean (متوسط)، Gaussian Blur (تیرگی نرمال)، Unsharp Mask (پوشش ملایم) و ... در حین پردازش بهره برد).

آزمایشگاهی با استفاده از وسایل پیشرفته تحقیقاتی انجام شده است. به عنوان نمونه، Mohajeri *et al.* (2015) روش‌های مختلف تعیین زبری در بسترهای شنی را در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه ترنتوی ایتالیا در یک کانال مستقیم روباز با مقطع مستطیلی مورد بررسی قرار دادند. ایشان در روش پردازش تصویر صرفاً تعدادی از سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در بستر کانال آزمایشگاه (جمع‌آوری شده از رودخانه) را بر روی کاغذ قرار داده و سپس از آن‌ها تصویر تهیه نموده و تصاویر را با نرم‌افزار ماترکس مورد تحلیل قرار داده‌اند. بدیهی است در مطالعه حاضر، به هیچ عنوان دانه‌بندی ذرات بستر به صورت انتخابی نبوده و وضعیت بستر با همان شرایط واقعی که در مطالعات مهندسی رودخانه با آن روبرو هستیم و تحت شرایط واقعی طبیعت مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه شلمان رود در شرق شهرستان لنگرود در استان گیلان، بین عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 54' 55''$  تا  $36^{\circ} 57' 09''$  شمالی و طول جغرافیایی  $49^{\circ} 55' 16''$  تا  $50^{\circ} 14'$  شرقی واقع شده است. این حوضه از شمال به دریای خزر، از جنوب و جنوب شرق به حوضه آبریز رودخانه شلمان رود، از شرق به حوضه آبریز رودخانه رودسر و از غرب و شمال غرب به ترتیب به حوضه‌های آبریز رودخانه‌های شمرد و لنگرود محدود می‌شود. شلمان رود در طی مسیر خود روستاهای بلوردکان، آتش‌سرا و لاتلیل را مشروب نموده و سپس از شهرستان املش عبور می‌کند. یکی از شاخه‌هایی که پس از عبور شلمان رود از املش موجب افزایش میزان آبدهی این رودخانه می‌شود، بارگیلی رود است که از ارتفاعات جنوب غرب و غرب حوضه سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیری طولانی، در غرب روستای خرشتوم به شلمان رود وارد می‌شود. شلمان رود در نهایت با طی مسیر ۲۵ کیلومتر در چمخاله، وارد دریای خزر می‌شود (Esmaili Varaki *et al.*, 2012a). در شکل (۱)، نمایی از موقعیت حوضه آبریز رودخانه نشان داده شده است. برای شناخت وضعیت مصالح و ذرات رسوبی سطحی بستر رودخانه شلمان رود، بازدیدهایی از مسیر رودخانه به عمل آمد که نشان داد از محل بند انحرافی املش واقع در بالادست روستای کهلستان تا محدوده روستای خرشتوم، شرایط مناسب به منظور انجام عملیات تصویربرداری در بستر رودخانه، به دلیل داشتن ذرات رسوبی با اندازه‌های مطلوب و متنوع (محدوده شن خیلی ریز تا قلوه‌سنگ‌های کوچک) و همچنین مسیرهای قابل تردد و

مختلف دوربین‌های تصویربرداری بر منحنی دانه‌بندی و مشخصات هندسی مصالح سطحی بستر رودخانه سیرچ واقع در شمال شرقی کرمان، با استفاده از روش پردازش تصویر (Samadi and Azizian, 2015) و نیز استفاده از یک روش برنامه‌ریزی غیرخطی به منظور به دست آوردن اندازه‌های معرف ذرات و ویژگی‌های ذاتی وابسته به رسوبات نظیر قطر متوسط و قطر میانه (Cheng and Liu, 2015).

انجام مطالعات در محیط‌های رودخانه‌ای معمولاً نیازمند در اختیار داشتن مشخصات توزیع اندازه ذرات رسوبی برای مدل‌سازی هیدرولیکی و انتقال رسوب در زمینه مهندسی رودخانه می‌باشد. تحقیقات مذکور، عمدتاً نیازمند تعیین منحنی دانه‌بندی و نحوه توزیع اندازه ذرات بوده‌اند. از این‌رو، هدف از انجام این پژوهش‌ها، اغلب معرفی روش پردازش تصویر به عنوان یک روش جایگزین به جای شیوه‌های سنتی برآورد اندازه ذرات (مانند دانه‌بندی با الک، روش‌های نمونه‌برداری با شمارش ذرات و . . .) به منظور صرفه‌جویی در نیروی کار، زمان و هزینه می‌باشد. با توجه به کاربرد اندازه‌های مختلف ذرات رسوبی در تعیین ضریب زبری مانینگ در بستر رودخانه‌ها و از طرفی با در نظر گرفتن پیشرفت علم پردازش تصویر در طی سال‌های گذشته و اهمیت کاربرد آن در زمینه مهندسی رودخانه از جمله در استخراج منحنی دانه‌بندی رسوبات و همچنین دشوار و زمان‌بر بودن روش‌های مختلف تعیین ضریب زبری مانند Cowan (1956)، Chow (1959)، سازمان حفاظت خاک آمریکا<sup>۱</sup> (SCS)، تصاویر ارائه شده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا<sup>۲</sup> (USGS) و . . . (Acement and Schneider, 1985)، استفاده از روشی برای تعیین ضریب زبری ذرات در بستر رودخانه‌ها که ضمن صرف زمان کمتر، از دقت مطلوبی برخوردار بوده و قضاوت کارشناسی بر روی نتایج آن چندان اثرگذار نباشد، ضروری به نظر می‌رسد.

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی امکان استفاده از روش پردازش تصاویر در تخمین ضریب زبری مصالح سطحی بستر رودخانه شلمان رود (واقع در استان گیلان)، تصاویر متعددی از بستر تهیه و مقدار ضریب زبری مانینگ، با استفاده از روش‌های تجربی مختلف، محاسبه شد. همچنین برای ارزیابی نتایج، مقادیر ضریب زبری به دست آمده از روش‌های مختلف، وارد مدل یک‌بعدی Hec-Ras گردید. چنین بررسی تاکنون در مقیاس بزرگ (بازهای از یک رودخانه) صورت نگرفته اما در مقیاس

1. Soil Conservation Service  
2. United States Geology Survey

جمع‌آوری و داخل پلاستیک‌های مخصوص، نگه‌داری شدند. برای کسب اطمینان از این‌که ذرات، از قسمت سطحی بستر برداشته می‌شوند، پس از اتمام عکس‌برداری‌ها در هر نقطه، تمام ناحیه داخل قاب با استفاده از اسپری، رنگ‌پاشی شد (شکل ۳). مختصات UTM هر نقطه نیز با استفاده از GPS ذخیره گردید. این عملیات در تمامی نقاط از بازه مورد مطالعه، صورت گرفت. چهار مورد از تصاویر تهیه‌شده در نقاط مختلف از مسیر رودخانه در شکل (۴) نشان داده شده است.

شایان ذکر است که برای سهولت کار، نقاط نمونه‌برداری در بستر رودخانه در قسمت‌هایی از مسیر پیمایش صحرائی مدنظر قرار گرفتند که اندازه ذرات و توزیع آنها دارای تمایز نسبت به یکدیگر بودند. یعنی اگر در فواصل ۲۰ متری از مسیر، توزیع اندازه ذرات یا آرایش دانه‌بندی بستر رودخانه یکسان بود، فقط یک تصویر برداشت گردید. عکس‌برداری‌ها در مدت ۵ روز، در هوای ابری و در شرایط عدم تابش مستقیم نور خورشید صورت گرفت. پس از پایان عملیات تصویربرداری در منطقه، ذرات رسوبی سطحی جمع‌آوری‌شده از نقاط تصویربرداری، برای انجام آزمایش الک به آزمایشگاه مکانیک خاک انتقال داده شدند تا در ادامه، نتایج حاصل از آزمایش بر روی آنها با نتایج حاصل از پردازش تصاویر مربوط به هر نمونه، مورد مقایسه قرار گیرد.

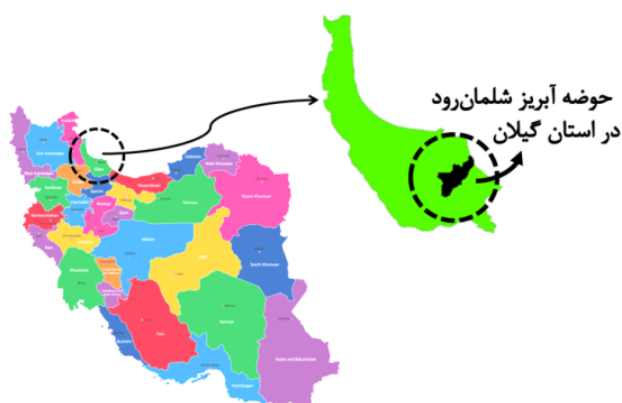
#### استخراج منحنی‌های دانه‌بندی با استفاده از روش دانه‌بندی با الک و روش پردازش تصاویر

در آزمایش دانه‌بندی با الک، نحوه توزیع قطر یا اندازه ذرات موجود در هر مخلوط (نمونه) برحسب درصد وزنی، دانه‌بندی نامیده می‌شود که برای نشان دادن آن از منحنی دانه‌بندی (درصد ریزتر در برابر قطر ذرات) استفاده می‌گردد. قطرهای حاصل از این آزمایش، مقادیری کلی از متوسط اندازه ذرات، بدون در نظر گرفتن شکل آنها و نحوه قرار گرفتن در بستر رودخانه می‌باشد. لذا نمونه‌برداری رسوبات لایه سطحی بستر (بخشی از ذرات رسوبی که به‌طور مستقیم در معرض جریان قرار می‌گیرند) در این روش، بسیار دشوار بوده و همچنین نیاز به تمیز کردن قسمتی از ذرات که در زیر سطح بستر قرار گرفته‌اند می‌باشد. از این رو انجام دقیق این روش، زمان‌بر و درعین حال بسیار پرهزینه است (Rubin, 2004). از طرفی در روش پردازش تصاویر دیجیتال تهیه‌شده از ذرات سطحی، نتایج پردازش تصاویر مربوط به تصویر دوبعدی ذراتی می‌شود که مستقیماً در تماس با جریان آب قرار دارند. در این روش به‌طور عمده، تعداد ذرات و مساحت و ابعاد آنها به‌دست می‌آید. از

تصویربرداری، وجود دارد. لذا بازه مورد مطالعه با طول ۷/۵ کیلومتر که از محل بند انحرافی املش آغاز شده و با عبور از کنار دست روستاها و جاده‌های محلی، در نهایت به روستای خرشتوم می‌رسد، انتخاب گردید.

#### انجام عملیات میدانی در بازه مورد مطالعه

به‌دست آوردن نحوه توزیع اندازه ذرات با استفاده از برنامه‌های پردازش تصاویر، منوط به وجود تصاویری مناسب از ذرات می‌باشد. از طرفی آزمایش دانه‌بندی با الک، بر پایه تهیه نمونه‌های خشک (و یا نمونه‌هایی که پیش از انجام آزمایش، خشک خواهند شد) و مناسب از خاک یا ذرات رسوبی استوار است. برای تهیه تصاویر از دو دوربین دیجیتالی Canon PowerShot A3300 IS با قدرت تفکیک مکانی ۱۶ مگاپیکسل و Canon PowerShot G12 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ مگاپیکسل استفاده گردید. با توجه به مشکلات موجود در پیمایش میدانی مسیر رودخانه‌ها و حمل تجهیزات تصویربرداری موردنیاز، از آنجا که هدف این تحقیق ارائه روشی مناسب



شکل ۱- نمایی از موقعیت حوضه آبریز رودخانه شلمان رود در استان گیلان

برای تعیین زبری ذرات بستر با تسهیل روش‌های پیچیده و دشوار قبلی است، سعی گردید سازوکاری طراحی و اجرا گردد که سهولت تصویربرداری با دقت مناسب از مسیر رودخانه را با تجهیزاتی که به‌سادگی قابل حمل در مسیر رودخانه باشند، ترکیب نماید. لذا تصاویر با استفاده از استقرار دوربین‌ها روی میله افقی فلزی و سه‌پایه ثابت و قابل حمل، از فاصله تقریبی ۹۴ تا ۹۹ سانتی‌متری تا سطح بستر، در ۴۰ نقطه از بازه موردنظر تهیه شدند (شکل ۲). در هر نقطه با هر یک از دوربین‌ها تصویری از فراز رسوبات گرفته شد که مربوط به ذرات سطحی داخل قاب چوبی با ابعاد ۴۰ در ۴۰ سانتی‌متر می‌شود. همچنین پس از تهیه تصاویر در هر نقطه، ذرات سطحی موجود در این قاب به‌منظور انجام آزمایش دانه‌بندی با سری الک‌ها

قطرهای متوسط و بزرگ ذرات خواهد بود. همچنین روش پردازش تصاویر برخلاف روش آزمایش الک، مشکلات مربوط به نمونه‌برداری ذرات سطحی بستر را به همراه نخواهد داشت.

آنجا که معمولاً ذرات سنگی با قطرهای بزرگ و متوسط خود روی زمین قرار می‌گیرند و قطر کوچک آن‌ها در راستای قائم واقع می‌شود، بنابراین قطرهای حاصل از این روش میانگین



شکل ۲- بازه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری در رودخانه سلمان رود



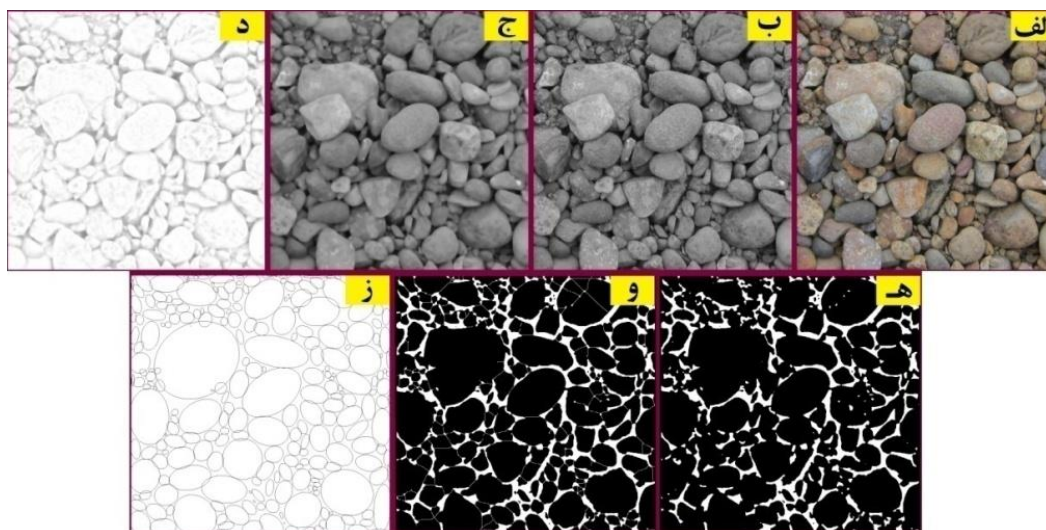
شکل ۳- عملیات میدانی: الف) تصویربرداری از ذرات رسوبی بستر با استفاده از تجهیزات موجود و ب) رنگ‌پاشی ذرات سطحی موجود در قاب ۴۰ سانتی‌متری



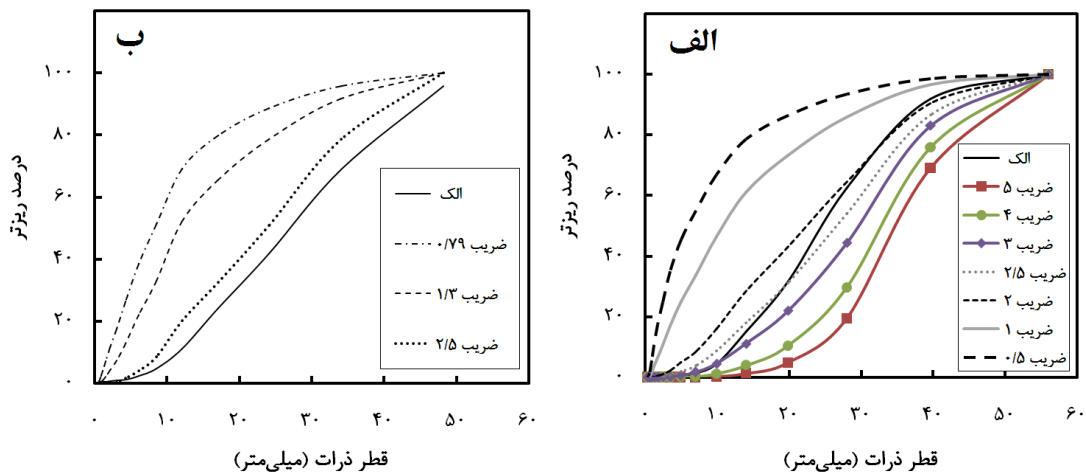
شکل ۴- نمونه‌هایی از تصاویر تهیه‌شده از داخل قاب ۴۰ در ۴۰ سانتی‌متری و ذرات سطحی بستر در بازه مورد مطالعه از رودخانه: (۱) نقطه شماره ۱، (۲) نقطه شماره ۲، (۳) نقطه شماره ۳، (۴) نقطه شماره ۴

برای تکمیل فرآیند پردازش، با محاسبه قطر بزرگ (a) و متوسط (b) هر یک از بیضی‌ها، مساحت تمامی ذرات منفرد موجود در تصویر محاسبه می‌گردد. این نتایج تنها شامل تصویر دوبعدی ذرات می‌باشد و از آن‌جا که معمولاً ذرات با قطرهای متوسط و بزرگ خود روی بستر قرار می‌گیرند و قطر کوچک (c) آن‌ها در راستای قایم واقع می‌شود، لذا قطر معادل به‌دست‌آمده از منحنی‌های پردازش تصویر، تنها حاصل از میانگین قطرهای متوسط و بزرگ ذرات بوده و منحنی توزیع اندازه ذرات در این روش با منحنی دانه‌بندی با الک اختلاف خواهد داشت (مهاجر، ۲۰۱۵). به‌منظور 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. به‌عنوان مثال در مطالعات گذشته، ضریب ۰/۷۹ بدین منظور به کار رفته است (Graham *et al.*, 2005). در این پژوهش ضرایب تصحیح مختلف بر روی تعدادی از منحنی‌های دانه‌بندی حاصل از پردازش تصویر، توسط نرم‌افزار اعمال شد و مقدار ۲/۵ به‌عنوان ضریب تصحیح مناسب انتخاب گردید. شکل (۶) به‌کارگیری ضرایب تصحیح مختلف را بر روی دو نمونه از منحنی‌های حاصل از پردازش تصویر نشان می‌دهد. درنهایت مختصات نقاط واقع بر منحنی دانه‌بندی (اندازه ذرات برحسب میلی‌متر و درصد ریزتر ذرات) توسط نرم‌افزار نمایش داده می‌شود که قابلیت انتقال به محیط‌های دیگر مانند Excel را دارد. نمونه‌هایی از منحنی‌های نهایی به‌دست آمده از آزمایش دانه‌بندی با الک و روش پردازش تصاویر نیز در شکل (۷) نشان داده شده‌اند.

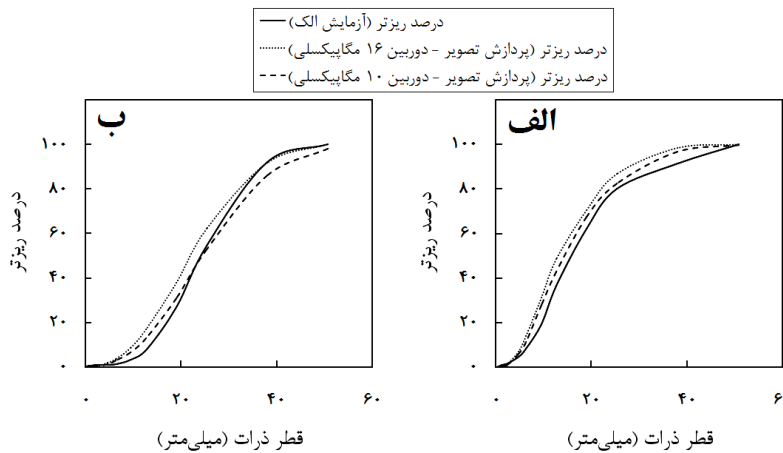
در این مطالعه، در میان اغلب نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه، ذراتی در اندازه‌های ۲mm تا ۶cm به چشم می‌خورد. لذا برای انجام آزمایش از سری الک‌های دارای ابعاد چشمه ۵۰/۸mm (الک ۲ اینچ)، ۳۸/۱mm (الک ۱/۵ اینچ)، . . . و ۰/۵۹۵mm (الک شماره ۳۰) استفاده گردید. برای ثبت نتایج، درصد تجمعی رد شده از هر الک، محاسبه و منحنی دانه‌بندی برای هر یک از ۴۰ نمونه در محیط Excel ترسیم شد. به‌منظور پردازش تصاویر از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصاویر (الگوریتم‌هایی مانند فیلتر کردن تصاویر، حذف پس‌زمینه تصاویر، کاهش خَش (Noise) و . . .) در محیط نرم‌افزار FHWA Hydraulic Toolbox استفاده شده است. در شکل (۵) مراحل کلی پردازش تصویر نشان داده شده است. این مراحل به‌ترتیب عبارتند از: الف) تعیین طول خط مقیاس در تصویر (این طول باید حین عکس‌برداری در محل، تعیین گردد)، ب) تبدیل تصویر رنگی به تصویر خاکستری هشت‌بیتی، ج) عبور دادن تصویر از فیلتر Median (این فیلتر به برطرف کردن خَش و لکه‌ها از روی ذرات موجود در تصویر کمک می‌نماید)، د) اعمال عملگر حذف پس‌زمینه (Background Subtraction)، هـ) ایجاد نواحی حدی یا آستانه‌ای (Thresholded Regions) که تصویر را به حالت باینری (Binary) 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 به‌کمک آن، ذراتی که در تماس با یکدیگر بوده و یا هم‌پوشانی دارند، به‌صورت خودکار از یکدیگر جدا می‌شوند و ز) برازش بیضی‌ها بر ذرات.



شکل ۵- مراحل پردازش تصویر: الف) تعیین خط مقیاس در تصویر رنگی برش داده شده، ب) تصویر خاکستری هشت‌بیتی، ج) تصویر پس از عبور دادن از فیلتر Median، د) تصویر پس از اعمال عملگر حذف پس‌زمینه، هـ) ایجاد نواحی حدی (تصویر باینری)، و) اعمال عملگر Watershedding و ز) برازش بیضی‌ها بر ذرات



شکل ۶- اعمال ضرایب تصحیح مختلف در منحنی دانه‌بندی حاصل از روش پردازش تصاویر: الف) نقطه شماره ۳۳ و ب) نقطه شماره ۱



شکل ۷- منحنی دانه‌بندی حاصل از روش آزمایشگاهی و روش پردازش تصاویر: الف) نقطه شماره ۱۵ و ب) نقطه شماره ۳۵

و حتی عمق و دبی جریان می‌باشد. با توجه به عوامل مؤثر ذکر شده، Cowan (1956) رابطه زیر را برای تعیین ضریب زبری مانینگ پیشنهاد می‌نماید:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن  $n_0$  ضریب زبری مانینگ پایه است که با توجه به جنس آبراهه برای مجرای منشوری و با بستر هموار انتخاب می‌شود. برای برآورد این ضریب در مقاطع مختلف از روابط ارائه شده برای بستر و سواحل رودخانه استفاده گردید و سپس با استفاده از راهنمای زبری رودخانه‌ها و با برقراری تشابه بین مقاطع رودخانه در بازه‌های متفاوت، مقدار این ضریب اصلاح گردید. ضرایب اصلاحی  $n_1, n_2, n_3, n_4$  و  $m_5$  نیز به ترتیب در برگیرنده اثرات نامنظمی سطح مقطع، چگونگی تغییرات سطح مقطع، وجود موانع در مسیر آبراهه، پوشش گیاهی و درجه مارپیچی بودن مسیر آبراهه هستند. Cowan ضمن تفسیر وضعیت آبراهه در انتخاب ضرایب مذکور جدولی را نیز برای انتخاب این ضرایب ارائه نموده است (Esmaili Varaki et al., 2012b).

در مجموع، ۸۰ تصویر رنگی (سه‌م هر دوربین، ۴۰ تصویر است) با فرمت JPEG و با ظرفیت اولیه برای انجام پردازش وارد نرم‌افزار شدند که منحنی‌های حاصل از پردازش تمامی آن‌ها پس از ورود نتایج به محیط Excel به دست آمد. سپس از روی تمامی منحنی‌های دانه‌بندی (آزمایشگاهی و نرم‌افزاری)، مقادیر قطرهای مشخصه  $d_{16}, d_{50}, d_{65}, d_{75}, d_{84}$  و  $d_{90}$  قرائت گردید تا به منظور بررسی میزان همبستگی و اعمال رگرسیون خطی بین مقادیر حاصل از آزمایش و نتایج پردازش تصاویر (دوربین‌های ۱۰ و ۱۶ مگاپیکسلی)، در محیط نرم‌افزار Excel، این مقادیر در تناظر با یکدیگر قرار بگیرند.

#### تعیین ضریب زبری با استفاده از روش Cowan

ضریب زبری یکی از پارامترهای مهم در تعیین مشخصات هیدرولیکی جریان بوده و یکی از بخش‌های مهم را در کالیبراسیون مدل‌های ریاضی به خود اختصاص می‌دهد. این ضریب متأثر از زبری بستر کانال (جنس کانال)، نامنظمی سطح مقطع، پوشش گیاهی (نوع و میزان تراکم آن)، شکل مسیر (مستقیم و یا پیچان رود بودن آن)، وجود موانع در مسیر جریان

## تجزیه و تحلیل نتایج

### بررسی دقت روش پردازش تصاویر در برآورد اندازه ذرات

پس از انجام رگرسیون خطی بین قطرهای مشخصه آزمایشگاهی و قطرهای حاصل از پردازش تصاویر، ضرایب همبستگی ( $r$ ) بین نتایج این دو روش به دست آمد. مقادیر ضریب همبستگی بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از پردازش تصاویر با دوربین ۱۶ مگاپیکسلی برای قطرهای  $d_{16}$ ،  $d_{50}$ ،  $d_{65}$ ،  $d_{75}$ ،  $d_{84}$  و  $d_{90}$  به ترتیب برابر با ۰/۸۶۵، ۰/۹۰۷، ۰/۹۰۴، ۰/۸۹۲، ۰/۸۱۷ و ۰/۸۰۶ حاصل گردید. همچنین این مقادیر برای نتایج حاصل از پردازش تصاویر با دوربین ۱۰ مگاپیکسلی، به ترتیب ۰/۸۳۵، ۰/۸۷۱، ۰/۸۶۱، ۰/۸۲۳، ۰/۷۴۸ و ۰/۷۵۴ به دست آمدند. مقادیر مذکور نشان از وجود همبستگی قوی تا بسیار قوی بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از پردازش تصاویر دارد که بیانگر برآورد نسبتاً دقیق قطرهای مختلف توسط روش پردازش تصویر می‌باشد. از سوی دیگر، میزان خطای (اختلاف) روش پردازش تصاویر در برآورد قطرهای مشخصه فوق نسبت به اندازه‌های متناظر حاصل از آزمایش دانه‌بندی با الک، به صورت رابطه زیر و به طور جداگانه برای نتایج حاصل از هر دوربین به دست آمدند:

(رابطه ۲)

$$\frac{[(d_i)_{IA} - (d_i)_{Sieve}]}{(d_i)_{Sieve}} = \text{خطای نسبی در برآورد قطر } d_i$$

که در آن  $(d_i)_{IA}$  و  $(d_i)_{Sieve}$ ، قطری که  $i$  درصد ذرات از آن ریزترند را به ترتیب برای روش پردازش تصویر و روش آزمایشگاهی نشان می‌دهند. در نهایت میانگین حسابی خطاهای نسبی به عنوان خطای متوسط نسبی، برای هر دوربین محاسبه شد (شکل ۸).

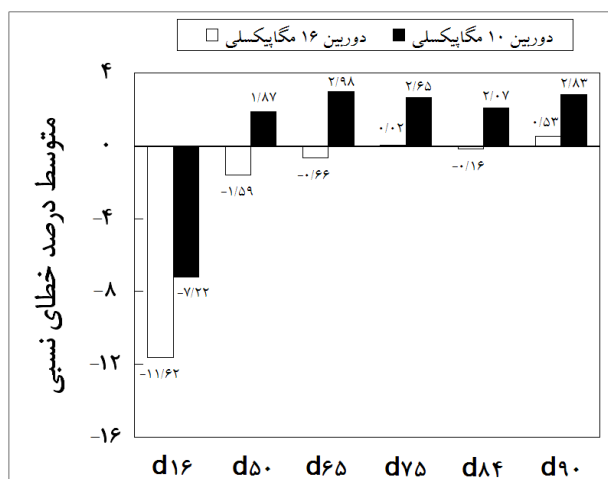
با توجه به مقادیر خطای نسبی مربوط به برآورد قطرها در شکل (۸)، مشخص می‌شود که دقت روش پردازش تصاویر در برآورد قطر ذرات رسوبی موجود در نمونه‌ها قابل قبول بوده و میزان این دقت، در تخمین قطرهای مربوط به ذرات درشت‌تر، بیشتر است؛ طوری که میزان خطا در برآورد اندازه  $d_{16}$  در دو حالت پردازش تصاویر مربوط به دوربین‌های ۱۶ و ۱۰ مگاپیکسلی به ترتیب  $-۱۱/۶۲$  و  $-۷/۲۲$  درصد می‌باشد و در مورد تخمین سایر اندازه‌ها، مقدار خطا حداکثر به  $-۱/۵۹$  و  $۲/۹۸$  درصد (به ترتیب مربوط به پردازش تصاویر دوربین‌های ۱۶ و ۱۰ مگاپیکسلی) می‌رسد. همچنین استفاده از دوربین دارای قدرت تفکیک مکانی بالاتر (۱۶ مگاپیکسلی) نسبت به دوربین دارای قدرت تفکیک مکانی پایین‌تر (۱۰ مگاپیکسلی)، نتایج نسبتاً دقیق‌تری را در برآورد قطر ذرات بزرگتر از اندازه  $d_{50}$

حاصل می‌نماید. این دقت بالا در مورد ذرات دارای اندازه  $d_{75}$  چشمگیرتر بوده است (خطای ۰/۰۲ درصد). چنین دقت بالایی در پیش‌بینی اندازه ذرات، امکان استفاده از روش پردازش تصاویر را برای برآورد ضریب زبری مانینگ دانه‌های رسوبی در بستر رودخانه، از طریق روابط تجربی موجود فراهم می‌آورد. روابط تجربی تعیین زبری دانه‌های رسوب عمدتاً به صورت رابطه توانی زیر بیان می‌شوند:

$$n = \alpha d^{\frac{1}{6}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن،  $n$  و  $d$  به ترتیب بیانگر ضریب زبری مانینگ و قطر مشخصه‌ای از رسوب می‌باشند. پارامترهای این رابطه توسط محققین مختلف به صورت جدول (۱) ارائه شده است.

ضرایب مانینگ برای ۴۰ نقطه مورد نمونه‌برداری با استفاده از روابط تجربی مختلف (جدول ۱) محاسبه شدند. لازم به ذکر است، با توجه به این که ذرات رسوبی لایه سطحی بستر در بازه مطالعاتی رودخانه شلمان رود، محدوده شن خیلی ریز تا قلوه‌سنگ‌های کوچک را در بر می‌گیرند و با مدنظر قرار دادن موارد کاربرد روابط تجربی مختلف در جدول (۱)، روابط ضریب زبری مانینگ دانه‌های رسوبی در بستر رودخانه مورد مطالعه با استفاده از قطرهای معرف، کارایی نخواهند داشت. این در حالی است که استفاده از روابطی مانند Henderson به دلیل لحاظ کردن قطرهایی که توسط روش پردازش تصاویر، دقیق‌تر برآورد شده‌اند ( $d_{75}$ ) مناسب به نظر می‌رسد. مثلاً، متوسط مقدار ضرایب مانینگ برای نقاط نمونه‌برداری با استفاده از رابطه Henderson و به کارگیری قطرهای حاصل از روش آزمایشگاهی و روش پردازش تصاویر دوربین ۱۶ مگاپیکسلی، به ترتیب برابر با ۰/۰۲۰۷۹ و ۰/۰۲۰۷۶۶ به دست آمدند.



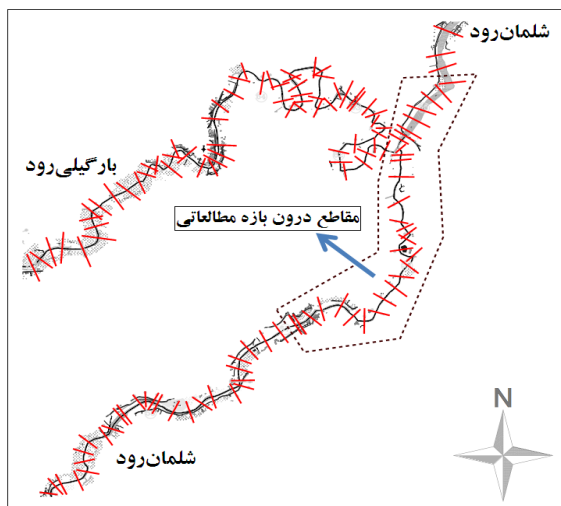
شکل ۸- مقادیر متوسط خطای مربوط به تخمین اندازه ذرات در روش پردازش تصاویر نسبت به نتایج روش آزمایشگاهی



جدول ۱- روابط تعیین ضریب زبری دانه‌های رسوب در مطالعات هیدرولیک (Cited in Publication No.: 331-a, 2009)

نام رابطه	d معرف	واحد d	ضریب $\alpha$	موارد کاربرد
Strickler (1923)	$d_{50}$	m	۰/۰۴۷۴	برای رسوبات یکنواخت است
Meyer-Peter and Muller (1948)	$d_{90}$	m	۰/۰۳۸۴	برای رسوبات غیریکنواخت (برای بسترهای قله‌سنگی و بستر سپر شده مناسب نیست)
Lane and Carlson (1953)	$d_{75}$	m	۰/۰۴۷۳	برای رسوبات غیریکنواخت (برای بسترهای قله‌سنگی و بستر سپر شده مناسب نیست)
Bray (1979)	$d_{90}$	ft	۰/۰۴۹۵	بسترهای شنی
Henderson (1966)	$d_{50}$	ft	۰/۰۳۴	بسترهای شنی
Henderson (1966)	$d_{75}$	ft	۰/۰۳۱	بسترهای شنی
Garde & Ranga Raju (1978), Subramanya (1982)	$d_{50}$	m	۰/۰۴۷	بسترهای شنی
Raudkivi (1976)	$d_{65}$	mm	۰/۰۱۳	بسترهای شنی

است. در جدول (۲) خلاصه نتایج حداکثر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شده است.



شکل ۹- طرح کلی مسیر رودخانه شلمان رود و مقاطع ورودی به مدل Hec-Ras

جدول ۲- حداکثر دبی‌های سیلاب لحظه‌ای رودخانه شلمان رود به‌ازای مقادیر متفاوت دوره بازگشت (آرشیو شرکت آب منطقه‌ای گیلان)

دوره بازگشت (سال)	حداکثر سیلاب لحظه‌ای (مترمکعب بر ثانیه)		
	شلمان رود (شاخه راست)	شلمان رود (بازه انتهایی)	بارگیلی رود
۲	۳۸/۵	۱۳۹	۱۰۰/۵
۵	۵۶/۷	۲۰۹/۵	۱۵۲/۸
۱۰	۷۱/۹	۲۶۳/۲	۱۹۱/۳
۲۵	۸۹/۴	۳۲۶/۱	۲۳۶/۷
۵۰	۹۵/۶	۳۵۵	۲۵۹/۴
۱۰۰	۱۱۷/۲	۴۳۷/۶	۳۲۰/۴
۲۰۰	۱۴۲/۷	۵۶۶/۶	۴۲۳/۹

### ارزیابی نتایج با استفاده از شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در مدل یک‌بعدی Hec-Ras

برای تعیین رابطه مناسب برای تعیین ضریب زبری مانینگ ذرات در بستر رودخانه لازم است شرایط هیدرولیکی جریان در مجرای اصلی و سیلاب‌دشت، به‌ازای دبی‌های سیلابی مختلف، مدل شود. برای این منظور مدل‌های هیدرولیکی متعددی وجود دارد که بسته به داده‌های در دسترس و نیز درجه اهمیت شبیه‌سازی جریان در رودخانه می‌توان از آنها استفاده نمود. با توجه به سهولت کاربرد مدل هیدرولیکی یک‌بعدی Hec-Ras در اکثر پروژه‌های مهندسی رودخانه توسط محققان، در این تحقیق توانایی آن در تحلیل جریان یکنواخت با کاربرد نتایج حاصله، بررسی شده است. برای پیش‌بینی مشخصه‌های جریان در بازه مورد مطالعه در رودخانه نیاز به تعریف هندسه مدل، دبی جریان و شرایط مرزی می‌باشد. داده‌های مورد نیاز برای تهیه هندسه مدل در بازه مورد مطالعه در رودخانه شامل ۸۱ مقطع از مقاطع نقشه‌برداری بود که از آرشیو شرکت آب منطقه‌ای گیلان تهیه گردید. موقعیت این مقاطع در بازه مورد مطالعه در شکل (۹) نشان داده شده است.

برای تعیین دبی سیلاب ضمن بررسی پارامترهای هواشناسی نظیر درجه حرارت، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی، سرعت و برای باد، میزان بارندگی، تعداد روزهای بارانی و ... و پارامترهای مهم هیدرولوژیکی مانند بررسی وضعیت آبدهی ماهانه و سالانه این رودخانه و همچنین بررسی وضعیت سیلاب‌های روزانه و لحظه‌ای، با انجام تحلیل فراوانی سیلاب‌های روزانه و لحظه‌ای، سیلاب‌هایی با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۲۰۰ سال برای ارائه به مدل هیدرولیکی Hec-Ras، برآورد گردیده

دستیابی به نتایجی مشابه وجود نخواهد داشت. این مورد، خود از نقاط ضعف چنین روش‌هایی به شمار می‌رود.

در این پژوهش پس از تهیه مدل هندسی رودخانه و دبی سیلاب‌های موردنظر، شرایط مرزی به‌منظور مدل‌سازی وارد محیط مدل یک‌بعدی Hec-Ras گردید. سپس با توجه به موقعیت ۴۰ نقطه نمونه‌برداری در مقاطع مختلف، ضرایب زبری مانینگ بر اساس روابط تجربی (جدول ۳) و نیز نتایج به‌دست‌آمده از روش پردازش تصاویر (دوربین ۱۶ مگاپیکسلی) محاسبه شدند. تحت شرایط مذکور، مدل هیدرولیکی در قالب سناریوهای مجزا و در حالت جریان ماندگار اجرا شد و مشخصه‌های هیدرولیکی جریان در مقاطع مختلف به دست آمد. در نهایت برای ارزیابی عملکرد روابط مختلف برآورد ضریب زبری، از نتایج مدل (مشخصات هندسی بستر) مبتنی بر به‌کارگیری ضرایب مانینگ روش متداول Cowan استفاده شد. خلاصه نتایج بدست آمده از مقایسه بین روش‌های مختلف در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

روش‌های متداول تعیین ضریب زبری مانینگ نظیر روش Cowan، عمدتاً از طریق انجام عملیات میدانی و ثبت مشخصات رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها و نهایتاً مقایسه مشخصات و تصاویر تهیه‌شده با عکس‌ها و جداولی که همراه با توضیحات لازم در کتب و منابع علمی وجود دارند، مقدار این ضریب را تعیین می‌کنند؛ طوری که ابتدا با انجام عملیات میدانی، تمامی خصوصیات بازه‌ها و مقاطع عرضی در ساحل چپ، راست و بستر اصلی رودخانه به‌طور جداگانه ثبت و از آن‌ها عکس‌برداری می‌گردد. سپس با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و تغییرات مواد بستر و پوشش گیاهی رودخانه و سواحل، کل منطقه به چند بازه تقسیم می‌شود. در هر بازه نیز یک ضریب زبری برای هر سیلاب‌دشت (سواحل چپ و راست) و یک ضریب نیز برای کانال اصلی تعیین می‌گردد (غفاری و مساعدی، ۱۳۸۴). با وجود در نظر گرفتن عوامل متعدد در تعیین ضرایب مانینگ به‌وسیله این روش‌ها، ضرایب حاصل از آن‌ها مقادیری کلی برای هر بازه بوده و با تعویض مجریان عملیات، تضمینی برای

جدول ۳- مقادیر درصد اختلاف عرض سطح آب در حالت استفاده از ضرایب مانینگ حاصل از روش Cowan و روش پردازش تصاویر به‌ازای دبی‌های سیلاب مختلف

Strickler (d50)	Bray (d50)	Bray (d65)	Bray (d90)	Henderson (d50)	Henderson (d75)	Garde & Ranga Raju - Subramanya (d50)	Raudkivi (d65)	دبی سیلاب (سال)
۱۵/۱	۱۲/۸	۱۱/۱	۴/۰	۲۰/۷	۲۰/۷	۱۵/۱	۲۰/۲	۲
۱۶/۱	۱۳/۴	۸/۲	۴/۴	۲۱/۰	۲۱/۳	۱۶/۰	۱۹/۲	۵
۱۷/۲	۱۴/۴	۱۰/۷	۵/۷	۲۲/۱	۲۳/۲	۱۷/۵	۲۱/۲	۱۰
۲۴/۶	۲۲/۳	۱۳/۹	۸/۸	۳۰/۰	۳۱/۷	۲۴/۵	۲۹/۴	۲۵
۲۴/۹	۲۳/۶	۱۶/۲	۹/۸	۳۱/۳	۳۲/۲	۲۴/۸	۳۰/۲	۵۰
۳۱/۳	۲۸/۸	۲۳/۲	۱۰/۸	۳۸/۹	۴۰/۲	۳۱/۲	۳۷/۷	۱۰۰
۲۵/۹	۲۲/۹	۱۷/۳	۱۳/۷	۴۲/۵	۴۴/۰	۲۵/۷	۴۱/۳	۲۰۰

جدول ۴- مقادیر درصد اختلاف تراز سطح آب در حالت استفاده از ضرایب مانینگ حاصل از روش Cowan و روش پردازش تصاویر به‌ازای دبی‌های سیلاب مختلف

Strickler (d50)	Bray (d50)	Bray (d65)	Bray (d90)	Henderson (d50)	Henderson (d75)	Garde & Ranga Raju - Subramanya (d50)	Raudkivi (d65)	دبی سیلاب (سال)
۴/۹	۴/۰	۳/۱	۲/۲	۶/۰	۶/۴	۴/۹	۵/۸	۲
۴/۷	۳/۶	۲/۸	۱/۷	۵/۷	۵/۹	۴/۶	۵/۴	۵
۳/۸	۳/۲	۲/۳	۱/۶	۵/۲	۵/۷	۳/۸	۴/۹	۱۰
۳/۵	۲/۷	۱/۷	۱/۰	۴/۸	۵/۴	۳/۴	۴/۶	۲۵
۳/۳	۲/۵	۱/۰	۲/۵	۴/۷	۵/۳	۳/۲	۴/۶	۵۰
۲/۳	۳/۰	۶/۹	۴/۱	۴/۸	۵/۲	۲/۱	۳/۴	۱۰۰
۵/۰	۵/۲	۶/۶	۳/۶	۱/۵	۳/۲	۵/۱	۴/۸	۲۰۰

نتایج حاصل از رابطه Bray (و به‌ویژه فرمول Bray با احتساب قطر  $d_{90}$ )، کمترین اختلاف را با نتایج به‌دست آمده از روش Cowan نشان می‌دهد. لذا در مطالعات مهندسی رودخانه که محاسبه پهنه (عرض) سیلاب از اهمیت بالایی برخوردار است (نظیر مطالعات حد بستر و حریم رودخانه‌ها) توصیه می‌شود که

با توجه به جدول (۳)، در عمده روابط و روش‌های برآورد ضریب زبری مانینگ، با افزایش دبی میزان اختلاف عرض سطح آب بین دو روش پردازش تصویر و Cowan افزایش می‌یابد. همچنین میزان این اختلاف در دو رابطه Henderson و Raudkivi بیشتر از سایر روابط است. بر خلاف روابط مذکور،

تفاوت میان نتایج پردازش تصاویر مربوط به دوربین‌های ۱۰ و ۱۶ مگاپیکسلی در برآورد قطرهای ذرات رسوبی، چندان زیاد نبوده اما در پردازش تصاویر دوربین ۱۶ مگاپیکسلی قطرهای  $d_{۵۰}$ ،  $d_{۶۵}$ ،  $d_{۷۵}$ ،  $d_{۸۴}$  و  $d_{۹۰}$  اندکی دقیق‌تر و لذا ضرایب زبری مانینگ وابسته به این قطرها نیز با دقت بیشتری برآورد می‌گردد. لذا پیشنهاد می‌شود که در کارهای مشابه ترجیحاً از دوربین‌های دارای قدرت تفکیک بالا استفاده شود.

نتایج اجرای مدل هیدرولیکی Hec-Ras با استفاده از ضرایب مانینگ محاسبه‌شده از روش پردازش تصاویر و روابط تجربی مختلف نشان داد که پهنه سیلاب در مقاطع مختلف، در مورد رابطه Bray و به‌ویژه  $Bray-d_{۹۰}$  بر خلاف رابطه Henderson، کمتر دچار تغییر می‌شود. لذا استفاده از رابطه تجربی  $Bray-d_{۹۰}$  به‌منظور برآورد دقیق‌تر ضرایب زبری مانینگ ذرات رسوبی سطحی در بستر رودخانه سلمان‌رود پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به استفاده از روش Cowan و روش‌های مشابه با آن برای برآورد ضرایب مانینگ بستر رودخانه‌ها در اکثر پروژه‌ها و کارهای تحقیقاتی مربوط به مطالعات پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد و حریم بستر رودخانه‌ها در کشور و با علم به این‌که این روش‌ها علاوه بر زمان‌بر بودن، نیاز به جمع‌آوری اطلاعات گوناگون از بستر و مسیر رودخانه دارند و قضاوت کارشناسی افراد بر روی نتایج حاصل از آن‌ها تأثیرگذار است، استفاده از روش پردازش تصاویر تهیه‌شده از بستر رودخانه برای تخمین ضرایب زبری مانینگ ذرات بستر با استفاده از روابط تجربی مناسب می‌تواند جایگزین خوبی برای این روش‌ها به‌شمار آید. با کم کردن فواصل نقاط عکس‌برداری (افزایش تعداد نقاط) در راستای طولی بستر رودخانه، می‌توان دقت نتایج در برآورد قطر ذرات و آرایش توزیع آنها و بالتبع دقت مدلسازی هیدرولیکی را افزایش داد.

از روش پردازش تصویر و رابطه Bray برای برآورد ضرایب زبری بستر و سواحل رودخانه استفاده گردد.

بر خلاف پهنه سیلاب که حساسیت بالایی نسبت به شیوه برآورد ضرایب زبری دارد، تراز سطح آب از حساسیت کمتری در این زمینه برخوردار است. به‌عنوان مثال حداکثر اختلاف در برآورد رقوم سطح آب توسط تمامی روابط، کمتر از ۷ درصد می‌باشد (جدول ۴).

## نتیجه‌گیری کلی

با توجه به دشوار و زمان‌بر بودن روش‌های مختلف تعیین ضرایب زبری به‌خصوص در مطالعه میدانی مسیر یک رودخانه، استفاده از روشی برای تعیین ضرایب زبری ذرات در بستر رودخانه‌ها که ضمن صرف زمان کمتر، از دقت مطلوبی برخوردار بوده و دیدگاه کارشناسی افراد بر روی نتایج آن چندان اثرگذار نباشد، ضروری به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر به بررسی امکان استفاده از روش پردازش تصاویر تهیه‌شده از ذرات رسوبی بستر رودخانه سلمان‌رود، برای برآورد ضرایب زبری مانینگ این ذرات پرداخته شد. به‌طور کلی نتایج زیر از طریق آزمایش‌ها، تصویربرداری میدانی و تحلیل‌های صورت‌گرفته، حاصل شدند:

گرچه منحنی‌های دانه‌بندی حاصل از روش دانه‌بندی ذرات با الک، به نحوه توزیع واقعی ذرات موجود در یک نمونه رسوبی نزدیک‌ترند، اما روش پردازش تصاویر به‌دلیل داشتن سرعت بالا، صرف هزینه و انرژی کمتر و نتایجی نزدیک به نتایج آزمایشگاهی در این زمینه، می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش دانه‌بندی با الک باشد. ضمن آنکه نتایج روش پردازش تصویر، قطری از ذرات را به‌دست می‌دهد که مستقیماً در معرض جریان آب قرار دارند. این مورد با نتایج Rubin (2004) انطباق دارد.

## REFERENCES

- Abdesharif Esfahani, M., Karbasi, M., Rajabi-hashjin, M. and Kiasalari, A. (2005). Introduction of grid photography method of riverbed for determining armored-layer gradation of a coarse-grained bed (Case study: Karaj River). *5th Iranian Hydraulic Conference*, 8-10 Nov., Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. (In Farsi)
- Aberle, J. and Nikora, V. (2006). Statistical properties of armored gravel bed surfaces. *Water Resources Research*, 42(11), W11414, doi:10.1029/2005WR004674.
- Acement, G. S. and Schneider V. R. (1985). Guide for selecting Manning's roughness coefficient for natural channels and flood plains, *Water Resources paper 2339*, US Geological survey, Washington DC. (updated 2002), 98 pages.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2006). Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. C136 / C136M: 14.
- Azizian, A., Morshedi, F. and Arian, A. (2013). Utilization of image processing technique for obtaining surface material gradation curve of the riverbed. *9th River Engineering International Seminar*, 22-24 Jan., Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Farsi)
- Beggan, C. and Hamilton, C. W. (2010). New image processing software for analyzing object size-frequency distributions, geometry, orientation, and spatial distribution. *Computers & Geosciences*, 36(4), 539-549.

- Bray, D.I. (1979). Estimating average velocity in gravel-bed rivers: American Society of Civil Engineers, *Journal of the Hydraulics Division*, 105(HY9), 1103-1122.
- Chang, F.J. and Chung, Ch. H. (2012). Estimation of riverbed grain-size distribution using image processing techniques. *Journal of Hydrology*, 440-441: 102-112.
- Cheng, Z. and Liu, H. (2015). Digital grain-size analysis based on autocorrelation algorithm. *Sedimentary Geology*, 327, 21-31.
- Chow, V.T. (1959). *Open-channel hydraulics*, New York, McGraw-Hill, 680 p.
- Chung, Ch. H. and Chang, F.J. (2013). A refined automated grain sizing method for estimating river-bed grain size distribution of digital images. *Journal of Hydrology*, 486, 224-233.
- Cowan, W.L. (1956). Estimating hydraulic roughness coefficients, *Agricultural Engineering*, 377, 473-475.
- Esmaeili Varaki, M., Zamani, A. and Kazemirad, M. (2012a). Numerical simulation of various cut-offs on meandering rivers, a case study: Shalman rood river in Guilan province. *11th Iranian Hydraulic Conference*, 6-8 Nov., Urmia University, Urmia, Iran. (In Farsi)
- Esmaeili Varaki, M., Shekholeslami, J. and Ashrafzadeh, A. (2012b). Effects of large floods on river morphology and flood zoning in areas vulnerable to damage, case study: Chabookroud river in Guilan province. *1st passive defence conference in Caspian sea basin*, University of Guilan, Rasht, Iran. (In Farsi)
- Garde, R.J., Ranga Raju, K.G. (1978). *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. Wiley Eastern, New Delhi.
- Ghaffari, G. and Mosaedi, A. (2006). Effect of applying different Manning's roughness coefficient determination methods to estimate the amount of flooding area (Case study, Babolroud River). *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, 12(6), 11 - 20. (In Farsi)
- 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(7), 1-12.
- Henderson, F.M. (1966). *Open Channel Flow*. MacMillan Publishing Co. Inc. New York, USA.
- Lane, E.W., and Carlson, E.J. (1953). Some factors affecting the stability of canals constructed in coarse granular materials, *Proceedings of International Association of Hydraulic Research*, 5th Congress, Minneapolis.
- Meyer - Peter, P.E., and Muller, R. (1948). Formulas for Bed Load Transport, *Proceedings of the 3rd International Association for Hydraulic Research*, Stockholm, 39-64.
- Mohajeri, S.H. (2015). An investigation on gravel-bed roughness characterization. *Journal of Hydraulics*, 9(4), 73-86 (In Farsi).
- Mohajeri, S.H., Grizzi, S., Righetti, M., Romano, G.P. and Nikora, V. (2015). The structure of gravel-bed flow with intermediate submergence: A laboratory study. *Water Resources Research*, 51(11), 9232-9255.
- Nikora, V., Goring, D., McEwan, I. and Griffiths, G. (2001). Spatially averaged open-channel flow over rough bed. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(2), 123-133.
- Penders, C.A. (2010). *Determining mean grain-size in high gradient streams with autocorrelative digital image processing*. Master of Science Thesis, Appalachian State University, Boone, North Carolina, United States.
- Publication No. 331-a. (2009). *Guideline for Determination of the Hydraulic Roughness Coefficient of Rivers*. Draft, Bureau of Engineering and Technical Criteria for Water and Wastewater, Ministry of Energy, Iran. (In Farsi)
- Raudkivi, A.J. (1976). *Loose Boundary Hydraulics*. 2<sup>nd</sup> ed., Pergamon Press, New York.
- Rubin, D.M. (2004). A Simple Autocorrelation Algorithm for Determining Grain Size from Digital Images of Sediment, *Journal of Sedimentary Research*, 74(1), 160-165.
- Rubin, D.M., Chezar, H., Harney, J. N., Topping, D. J., Melis, T. S. and Sherwood, C. R. (2007). Underwater microscope for measuring spatial and temporal changes in bed-sediment grain size. *Sedimentary Geology*, 202(3), 402-408.
- Sadeghi, S. H. and Gharemahmoodli, S. (2013). Accuracy analysis of bed sediment gradation using the processing of images of cameras with different resolutions. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5(2), 115-124. (In Farsi)
- Samadi, A. and Azizian, A. (2015). Evaluating the effect of different image resolutions on obtaining the surface material gradation curve of riverbed using image processing technique. *1st National Congress on Iran's Irrigation & Drainage*, 13-14 May., Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (In Farsi)
- Storm, K. B., Kuhns, R. D. and Lucas, H. J. (2010). Comparison of automated image-based grain sizing to standard pebble-count methods. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(8), 461-473.
- Strickler A. (1923). Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen für Ströme, Kanäle und Geschlossene Leitungen, Berna.
- Subramanya, K. (1982). *Flow in Open Channels*. vol. 1, Tata McGraw-Hill Book Company, New York.
- 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*, 34(13), 1811-1821.