

## تعیین دانه‌بندی مصالح سطحی آبراهه‌ها در دو حالت خشک و تر با استفاده از فناوری پردازش تصویر (مطالعه موردی: رودخانه سیرج کرمان)

اصغر عزیزیان<sup>۱</sup> و امیر صمدی<sup>۲\*</sup>

۱ و ۲- استادیاران گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین،

ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۸

### چکیده

با توجه به نیاز مبرم مطالعات مهندسی هیدرولیک به تعیین اندازه رسوبات سطحی و در معرض جریان بستر، و با توجه به مشکلات بسیار در تعیین آنها با روش‌های اندازه‌گیری دستی و آزمون‌های دانه‌بندی با الک در آزمایشگاه، در تحقیق حاضر الگوریتمی توسعه داده شده است که می‌تواند با تهیه تعدادی تصویر از بستر حین بازدید میدانی و تهیه اطلاعات کاربری اراضی، کمک شایانی به سهولت مطالعه، تسریع روند آن و افزایش دقت مدل‌سازی کند. برای بررسی صحت و دقت این الگوریتم در مقابل روش دانه‌بندی مرسوم مکانیک خاک، از چهار دوربین دیجیتال مختلف (با قدرت تفکیک ۶، ۱۰، ۱۲/۱ و ۱۴ مگاپیکسل) و دو اندازه قاب تصویر مربعی (به ابعاد ۵/۰+ و ۱ متر) هم در شرایط خشک و هم در شرایط جریان ناچیز آب، در بازه‌ای ۵ کیلومتری از مسیر رودخانه سیرج در شمال شرق کرمان برای تصویربرداری و نمونه‌برداری رسوب استفاده شد. نتایج به‌دست آمده در بستر خشک نشان می‌دهد که دوربین‌های با توان تفکیک بالا کمترین میزان خطا را در برآورد قطر متوسط مصالح دارند. هرچند به‌علت یکنواخت بودن ذرات بستر، عملکرد دوربین‌های ۶ و ۱۴ مگاپیکسلی (با حداکثر میزان اختلاف در برآورد قطر متوسط کمتر از ۱۲ درصد) نیز قابل قبول است. دوربین‌های ۱۲/۱ و ۱۰ مگاپیکسلی نیز به ترتیب کمترین خطا را در برآورد حداکثر قطر ذرات به‌دست داده‌اند. در بسترهای تر، محاسبات حاکی از آن است که نتایج حاصل از پردازش تصویرهای به‌دست آمده از دوربین با توان تفکیک پایین ۶ مگاپیکسلی، اختلاف زیادی با دیگر دوربین‌ها، خصوصاً در توزیع منحنی دانه‌بندی و نیز مشخصات آماری ذرات بستر، دارد. بررسی مشخصات آماری روی توزیع دانه‌بندی مصالح سطحی بستر رودخانه نشان می‌دهد که قطر متوسط، قطر حداکثر و انحراف از معیار ذرات به‌دست آمده از دوربین با توان تفکیک ۱۰ مگاپیکسل بیشتر از آنهایی است که از دیگر دوربین‌ها به‌دست آمده است. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که ارتباط مستقیمی بین پارامترهای ابعاد تصویر (فریم)، قدرت تفکیک دوربین و فاصله آن از بستر آبراهه وجود دارد و با کاهش قدرت تفکیک دوربین در یک فریم ثابت، حتماً باید فاصله دوربین نسبت به بستر آبراهه افزایش یابد و برعکس. نتایج همچنین نشان می‌دهد که در آبراهه‌های دارای توزیع دانه‌بندی نسبتاً یکنواخت، می‌توان از هر دوربینی استفاده کرد. اما در آبراهه‌های دارای بستر درشت‌دانه یا ریزدانه بهتر است از دوربین‌های با توان تفکیک به ترتیب پایین و بالا استفاده کرد.

### واژه‌های کلیدی

اندازه رسوب، توان تفکیک، دوربین، رودخانه، شبیه‌سازی

### مقدمه

بیش از یک قرن است که در مطالعات رسوب‌شناسی و انتقال رسوبات برای اندازه‌گیری ذرات بستر نمونه‌هایی متعدد جمع‌آوری و آنها را به آزمایشگاه منتقل می‌کنند تا آزمون‌های دانه‌بندی

رودخانه‌های با بستر شنی، که دامنه تغییرات توزیع دانه‌بندی ذرات نسبتاً گسترده است، می‌تواند همراه‌کننده باشد.

با در نظر داشتن اهمیت دانه‌بندی بستر، روش‌های سنتی که برای تعیین اندازه ذرات بستر به کار می‌روند، نیازمند نیروی کار زیاد است، دارای دقت زمانی کم هستند و از نظر سوابق تاریخی ابهاماتی نیز دارند. در مقابل، روش‌های مبتنی بر پردازش تصویرهای دیجیتال از همبستگی مکانی برای تعیین اندازه ذرات بهره می‌برند. مقایسه نتایج روش پردازش تصویر با مقادیر حاصل از روش‌های مبتنی بر الگودادن نشان می‌دهد که روش پردازش تصویر با افزایش چشمگیر دقت زمانی به‌عنوان جایگزین بالقوه در برابر روش‌های سنتی قابل استفاده است (Penders, 2010).

تحقیقاتی چند در خصوص استفاده از روش پردازش تصاویر در آبراهه‌ها با اهداف گوناگون وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از:

- استفاده از روش عکسبرداری شبکه‌ای در بستر رودخانه کرج برای تعیین دانه‌بندی لایه محافظ بستر درشت‌دانه (Abdesharif-Esfahani *et al.*, 2005)، که در آن گفته شده است روش مذکور با دقت و سرعت مناسب می‌تواند جایگزین روش قدیمی شمارش شبکه‌ای گردد؛

- سنجش دقت روش پردازش تصویر در تعیین مؤلفه‌های رسوبات بستر سه رودخانه در انگلیس (Graham *et al.*, 2005)، که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد روش پردازش تصویر در سطح اعتماد پنج درصد دارای دقت مناسبی است؛

- به‌کارگیری میکروسکوپ قابل استفاده در زیر آب به‌منظور اندازه‌گیری تغییرات مکانی و زمانی در اندازه ذرات رسوبی بستر رودخانه کلرادو در گراند

روی آنها اجراشود، فرآیندی بسیار زمان‌بر و پرهزینه. علاوه بر این، بسیاری از روش‌های نمونه‌برداری برای تهیه نمونه از مصالح سطحی بستر که به‌طور مستقیم با جریان در تماس هستند، مناسب نیستند زیرا نمونه‌های مربوط به آنها معمولاً از عمق بستر رودخانه هستند و از این‌رو نمی‌توانند تصویری درست از وضعیت دانه‌بندی لایه سطحی مصالح بستر ارائه دهند که در تماس مستقیم با جریان رودخانه هستند (Bunte & Abt, 2001).

علاوه بر این، با رسوب‌گذاری در آبراهه، توپوگرافی بستر آن عوض می‌شود و در نتیجه مشخصات جریان تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. بنابراین، تعیین مشخصات توپوگرافی بستر در زمان وقوع رسوب‌گذاری و بعد از آن بااهمیت است که معمولاً اطلاع دقیقی از وضعیت دانه‌بندی بستر در زمان بررسی وضعیت جریان وجود ندارد و از این‌رو مدل‌سازی جریان، با فرض ثابت بودن وضعیت زبری بستر (دانه‌بندی مواد سطحی)، با اطلاعات قبلی پیش می‌رود. به‌جز این موضوع، وضعیت توپوگرافی بستر و زبری هیدرولیکی مجاری طبیعی ممکن است در طول مسیر به‌شدت تغییر کند و بر این اساس استفاده از مشخصات دانه‌بندی یک نقطه به‌عنوان زبری کل بستر رودخانه باعث ایجاد عدم قطعیت زیادی در مطالعات وضعیت جریان خواهد شد. توصیف دقیق زبری بستر رودخانه برای مدل‌سازی هیدرودینامیک جریان ضروری است (Beggan & Hamilton, 2010).

در اکثر مطالعات رایج، توزیع دانه‌بندی مواد بستر اغلب با D50 (قطر متوسط وزنی ذرات) مشخص می‌شود. این ساده‌سازی در جایی قابل پذیرش است که توزیع دانه‌بندی یکنواخت و تغییرات محدود باشد؛ ولی در جاهایی مانند

مشخصات هندسی مصالح سطحی بستر رودخانه را از روی تصاویر تهیه شده از بستر رودخانه داراست؛ - معرفی یک روش اصلاح‌شده برای اندازه‌گیری ذرات به‌صورت خودکار، به‌کمک شبکه فازی عصبی در بستر رودخانه Lanyang در شمال شرقی تایوان (Chung & Chang, 2013)، که در آن گفته شده است شبکه فازی عصبی می‌تواند آستانه دوتایی را (که پارامتری تعیین‌کننده برای فرآیند اندازه‌گیری خودکار ذرات است) به‌طور مناسب شناسایی کند و برای برآورد دقیق توزیع اندازه ذرات، با نیاز به کاربری خیلی کمتر برای هر تصویر دیجیتالی، مورد استفاده قرار گیرد؛ - بررسی تاثیر الگوریتم‌های بازسازی تصویر و حوزه آبخیز بر منحنی دانه‌بندی ذرات (Payesteh *et al.*, 2018)، که بر اساس آن فیلتر بازسازی تصویر در مقابل الگوریتم حوضه آبخیز بهتر عمل می‌کند و این روش می‌تواند به‌عنوان روشی کارآمد و سریع، جایگزین روش‌های سنتی، مانند سردکردن، شود. اخیراً برای مقایسه روش سنتی شمارش ذرات با روش‌های نوین تصویری (دانه‌بندی خودکار ذرات با نرم‌افزار ImageJ و پردازش دستی تصویر با نرم‌افزار QGIS در تعیین اندازه ذرات درشت‌دانه بستر کانال، هم در شرایط آزمایشگاهی ایده‌آل و هم در شرایط میدانی (یک کانال مصنوعی خاکی و دو جریان طبیعی کوهستانی)، مطالعاتی شده که بر اساس نتایج به‌دست آمده از آنها تطابق خوبی بین هر سه روش در شرایط ایده‌آل آزمایشگاهی وجود داشته است. اما در حالت‌های میدانی همانند تحقیقات دیگران اختلاف‌هایی گزارش شده است. بر اساس این تحقیق در شرایط نامطلوب میدانی، روش پردازش دستی تصویر با وجود زمان‌بر بودن بر

کانون (Rubin *et al.*, 2007)، که صرفاً برای تعداد نمونه‌های زیاد و تهیه نقشه اندازه ذرات سطحی در حد شن و ماسه قابل استفاده است؛ - به‌کارگیری یک روش خودمبستگی برای برآورد ابعاد رسوبات درشت‌دانه از طریق پردازش عکس‌های تهیه شده از رسوبات سواحل دلتای رودخانه الو (Warrick *et al.*, 2009)، که این روش حساسیت کمتری نسبت به شرایط تابش نور در مقایسه با سایر روش‌ها از خود نشان داده است؛ - استفاده از یک روش خودکار پردازش تصویر در رودخانه‌های دارای شیب زیاد به منظور تعیین اندازه متوسط ذرات رسوبی (Penders, 2010)، که در ۸۵ درصد از مواقع، قطر میانگین ذرات را با اختلاف ۵۰ درصد نسبت به نمونه‌های الک شده به‌دقت تعیین می‌کند؛ - مقایسه یک روش مبتنی بر پردازش تصاویر دیجیتالی نسبت به روش شمارش ذرات به‌منظور تعیین منحنی دانه‌بندی ذرات سنگی (Storm *et al.*, 2010)، که در آن نشان داده شد روش مبتنی بر تصاویر دیجیتالی به‌طور قابل قبولی در پنج ناحیه از شش ناحیه مورد مطالعه، به‌خوبی اجرا شده است؛ - بررسی برآورد توزیع اندازه ذرات بستر در رودخانه جینگ‌می واقع در تایوان، بر مبنای استفاده از روش پردازش تصویری I-FM (Chang & Chung, 2012)، که در آن گفته شده است برآورد میزان شن و ماسه و صدک‌های توزیع اندازه ذرات، در مقایسه با سایر روش‌های پردازش تصویر و روش‌های دستی، بسیار رضایت‌بخش‌تر است؛ - استفاده از روش پردازش تصویر با به‌کارگیری الگوریتم توسعه‌یافته در محیط نرم‌افزار متلب (Azizian *et al.*, 2013)، که توانایی استخراج

نتایج بررسی‌های محققان، با توجه به مطالب فوق‌الذکر، نشان‌دهنده تغییر دانه‌بندی سطحی بستر در مسیر آبراهه چه به صورت زمانی و چه به صورت مکانی است (به جز آبراهه‌های دارای لایه مسلح سطحی) و از این رو نمی‌توان به برخی نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های رایج و واسنجی‌ها اطمینان کافی کرد و مدل مزبور را در شرایط زمانی مختلف به کار گرفت.

با توجه به آنچه گفته شد و نیز اهمیت روش پردازش تصویر در برآورد منحنی دانه‌بندی مصالح سطحی بستر آبراهه، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی عملکرد دوربین‌های با توان تفکیک مختلف (۶، ۱۰، ۱۲/۱ و ۱۴ مگاپیکسل) بر منحنی دانه‌بندی مصالح سطحی بستر آبراهه دائمی سیرچ در کرمان است. از آنجا که بخش عمده این تحقیقات معطوف به بستر خشک است، ارزیابی روش پردازش تصویر در آبراهه‌های دارای جریان آب از دیگر اهداف اصلی این پژوهش کاربردی به‌شمار می‌آید.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه سیرچ در بخش شرقی استان کرمان و در فاصله ۴۵ کیلومتری از شهر کرمان قرار دارد. این رودخانه از کوه‌های سیرچ و سدو سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از روستای سیرچ به سمت شرق جریان می‌یابد. محدوده مطالعاتی این رودخانه از بالادست روستای سیرچ (بالادست پاسگاه انتظامی) و در مختصات  $X=550285$  متر و عرض  $Y=3339440$  متر شروع و تا پایین دست پل امامت سیرچ در مختصات  $X=556698$  متر و عرض  $Y=3339138$  متر ادامه می‌یابد. طول بازه مورد بررسی رودخانه در این تحقیق، حدود ۵

روش دانه‌بندی خودکار ذرات برتری دارد، زیرا زمان لازم برای آماده‌سازی تصویر در روش دانه‌بندی خودکار ذرات تقریباً سه برابر افزایش و در مقابل، خطای تخمین اندازه متوسط ذرات حدود ۳۷ درصد کاهش می‌یابد. سیسلاقی و همکاران (Cislaghi et al., 2016) توصیه کرده‌اند در کاربرد روش‌های تصویری که برای سهولت کارهای میدانی توسعه یافته‌اند، با توجه به تاثیرات آنها بر نتایجی که به دست خواهد آمد، باید دقت کافی صورت پذیرد. در تحقیق دیگری روی رودخانه آبرفتی با بستر شنی، عملکرد دو الگوریتم مختلف حوزه آبخیز و بازسازی تصویر در نرم‌افزار متلب ارزیابی و بر اساس نتایج بررسی‌های پایسته و همکاران (Payesteh et al., 2018) راندمان تخمین قطر ذرات در مدل بازسازی تصویر ۹۶/۳ درصد و در مدل الگوریتم حوزه آبخیز ۶۶ درصد گزارش شد.

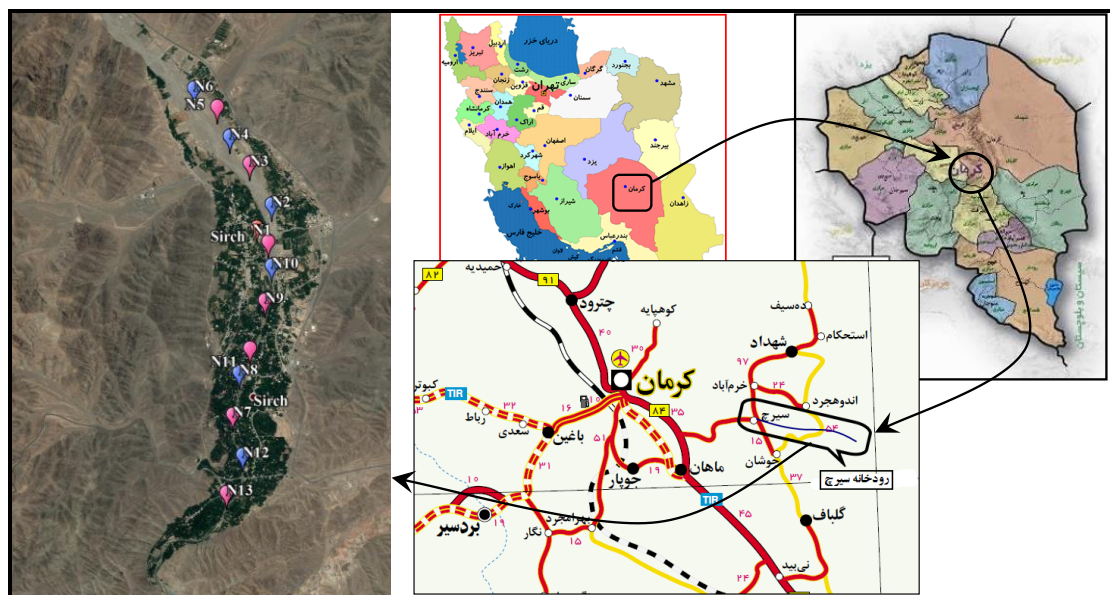
اطلاعات دانه‌بندی بستر رودخانه یکی از موارد بسیار پرکاربرد در مطالعات هیدرولیک و رسوب در پروژه‌های مهندسی رودخانه است. امروزه به‌رغم آنکه تعیین دانه‌بندی مصالح بستر در مطالعات مهندسی رودخانه و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها با اهمیت است اما به‌علت هزینه‌های گزاف نمونه‌برداری دستی از مسیر رودخانه، انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و هزینه‌های مربوط به آزمایش‌های مکانیک خاک، اکثر شرکت‌های مهندسان مشاور از آن چشم‌پوشی می‌کنند و کارفرمایان نیز حاضر به تقبل هزینه‌های آزمایش‌ها نیستند. مشاوران عمدتاً برای تهیه اطلاعات موردنیاز با استفاده از باز دیده‌های میدانی و قضاوت‌های مهندسی مقدار متوسط مصالح سطحی بستر آبراهه را، آنهم در چند نقطه مشخص، برآورد می‌کنند و اطلاعات به‌دست‌آمده از این راه را برای کل مسیر به کار می‌برند.

فیزیکی مصالح لایه سطحی بستر آغاز گردید. با توجه به سهولت پردازش تصاویر، در مقایسه با آزمایش‌های زمان‌بر و پرهزینه مکانیک خاک، سعی شد از سطح وسیع‌تری از بستر رودخانه تصویربرداری شود و تغییرات دانه‌بندی در بستر رودخانه با پردازش کلیه تصاویر بررسی و نتایج آن با منحنی توزیع دانه‌بندی آزمایشگاهی، که صرفاً برای محل نمونه‌برداری است، مقایسه شود. در مرحله پردازش تصاویر، از نرم‌افزارهای Hydraulic ImageJ، Toolbox و GIAS استفاده و نتایج حاصل از روش‌های مختلف به شکل مقدماتی ارزیابی شد؛ بهترین و دقیق‌ترین نرم‌افزار برای پردازش تصاویر (نرم‌افزار ImageJ) برگزیده و پس از بررسی روش‌های مختلف برای پردازش تصاویر، فرآیند بهینه‌پیگیری کار به صورت دستورالعملی کاربردی تدوین شد. دقت دو روش همراه با مزایا و معایب هر یک ارزیابی و عدم قطعیت‌های موجود در آنها معرفی شد.

کیلومتر است. با توجه به واقع شدن رودخانه در یک بازه کوهستانی، مصالح رودخانه عمدتاً از نوع درشت‌دانه (شن و ماسه) است. در شکل ۱، نمایی از موقعیت جغرافیایی این رودخانه همراه با عکس ماهواره‌ای از محل‌های برداشت تصاویر نشان داده شده است.

### عملیات میدانی در بازه مورد مطالعه

اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌سازی شامل نقشه‌های توپوگرافی، مقاطع عرضی و آمار هیدرومتری و غیره جمع‌آوری گردید. از مسیر بازه ابتدایی رودخانه سیرج بازدید شد و پس از انتخاب محل‌های مناسب برای تعیین دانه‌بندی مصالح، محل نمونه‌برداری و تهیه تصاویر شبکه‌بندی و سپس مصالح برای دانه‌بندی با الک نمونه‌برداری شد. نمونه‌های تهیه شده به آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) انتقال شد و آزمایش دانه‌بندی با الک برای تشخیص مشخصات



شکل ۱- نمایی از موقعیت جغرافیایی رودخانه سیرج در استان کرمان و توزیع مکانی محل‌های برداشت تصویر از بستر آن  
 Fig. 1. A view of the geographical location of the Sirch River in Kerman province and the spatial distribution of the photography location from river bed

زمین که در کیفیت تصویر تاثیر دارد، از سه پایه و قاب استفاده شد.

در این تحقیق، از چهار دوربین با توان تفکیک (رزولوشن) متفاوت برای ارزیابی اثر رزولوشن دوربین در منحنی دانه‌بندی، دو قاب تصویر متفاوت برای تعیین تاثیر ابعاد تصویر در مقابل تغییرات اندازه ذرات و دقت منحنی دانه‌بندی، و دو فاصله مختلف دوربین از بستر برای تعیین فاصله مناسب تصویربرداری در تحقیقات مشابه استفاده شده است. مشخصات فنی دوربین‌ها در جدول ۱ ارائه شده است (دوربین عکس‌برداری لومیکس پاناسونیک قابلیت تصویربرداری در زیر آب را نیز دارد).

برای استقرار دوربین، تراز لوله‌ای و قاب آلومینیمی مربعی شکل از یک سه پایه یا تجهیزات جانبی استفاده شد. برای سهولت بازدیدهای میدانی و داده‌برداری در رودخانه، استفاده از یک دوربین عکس‌برداری همراه با تراز و تبدیل‌کننده مقیاس (خط‌کش)، دقت مناسبی در تعیین منحنی دانه‌بندی ذرات تشکیل‌دهنده بستر رودخانه به‌دنبال دارد و همراه داشتن سایر تجهیزات الزامی نیست. در واقع مهم آن است که تصویر برداشت شده کاملاً افقی با سطح زمین باشد تا بهترین تصویر برای پردازش تصویر به‌دست آید. در این بررسی، برای حذف خطای ناشی از لرزش دست و سایه انداختن روی

جدول ۱- مشخصات فنی دوربین‌ها

Table 1. Technical Specifications of Cameras

Resolution (MP)	Manufacturer	Model	Digital zoom	Optical Zoom	Shutter speed (sec)	Sensor type*	Continuous Shooting (fps)	Sensor sensitivity (ISO)
6	Casio	EX-F1	4x	12x	60-1/4000	CMOS	60	100-1600
10	Canon	Powershot G12	4x	5x	15-1/4000	CCD	2	80-3200
12.1	Canon	Powershot SX200IS	4x	12x	15-1/3200	CCD	0.8	80-1600
14	Panasonic	DMC-FT2	4x	4.6x	60-1/3000	CCD	1.8	100-6400

\* The CMOS sensor is cheaper than the CCD and its power consumption is lower and lighter. But these sensors are less sensitive and therefore have lower image quality and hence are used in places where image quality is not significant. In contrast, the CCD sensor has a higher image quality.

متصل می‌شوند و اضلاع قاب تصویر به‌راحتی قابل تنظیم هستند. در این طرح از دو اندازه قاب با اضلاع ۰/۵ و ۱ متر (سطح تصویر ۲۵ و ۱۰۰ دسی‌متر مربع) استفاده شد. قبل از شروع پیمایش در مسیر رودخانه، اضلاع قاب در محل آزمایشگاه با ابزار دقیق اندازه‌گیری و محل‌های مشخص شده با نوار رنگی علامت‌گذاری شد. در حین عملیات صحرایی، با بستن گیره نوآ دابل در محل تعیین شده، قاب با ابعاد موردنظر ایجاد و به‌هنگام پیمایش نیز این ابعاد مجدداً کنترل گردید. برای کسب حداکثر رزولوشن دوربین در تصویر به‌دست‌آمده، دوربین در

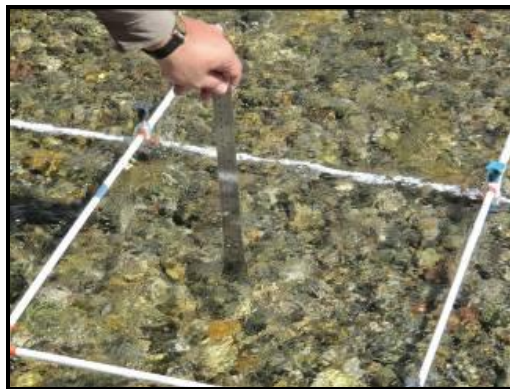
با لحاظ کردن مشکلات موجود در پیمایش صحرایی مسیر رودخانه و برای سهولت برداشت تصویرها و موارد دیگر، مکانیزم‌هایی به‌شرح زیر طراحی شد.

برای سهولت تبدیل مقیاس ابعاد تصویر به ابعاد واقعی بستر رودخانه، از یک خط‌کش با طول مشخص استفاده شد که حین تصویربرداری داخل ابعاد تصویر قرار گیرد. یک قاب آلومینیمی با قابلیت تغییر دادن ابعاد اضلاع و قابل باز و بسته کردن آن طراحی شد که اضلاع آن با چهار گیره نگهدارنده تجهیزات آزمایشگاهی (گیره نوآ دابل) به یکدیگر

شد که با افزایش ابعاد قاب تصویر، فاصله دوربین از بستر رودخانه افزایش می‌یابد که این میزان در دوربین‌های با قدرت تفکیک کمتر، بیشتر است. در شکل ۲، نحوه استقرار و تصویربرداری از بستر رودخانه در شرایطی نشان داده شده است که آب با ارتفاع کم (حدود ۱۰-۵ سانتی‌متر) در قسمت‌های انتهایی بازه مورد بررسی رودخانه سیرچ جریان دارد. در این حالت، عمق جریان آب داخل قاب نیز با استفاده از خط‌کش به صورت تقریبی اندازه‌گیری شد.

نزدیکترین فاصله نسبت به قاب تنظیم شد تا قاب موردنظر کل ابعاد تصویر را در برگیرد و حداقل حاشیه تصویر در خارج از قاب باشد. از این‌رو، فاصله دوربین با صفحه تصویر (بستر رودخانه) در قاب یک متری و دوربین ۶ مگاپیکسلی حداکثر و در قاب ۰/۵ متری و دوربین ۱۴ مگاپیکسلی حداقل است.

در حین پیمایش صحرایی، از بستر رودخانه در فواصل مختلف (بر اساس تغییرات دانه‌بندی ذرات تشکیل‌دهنده بستر) عکس‌برداری شد. پیشتر گفته



(ب)



(الف)

شکل ۲- الف) استقرار تجهیزات برای تصویربرداری از بستر رودخانه در حالت وجود جریان آب و ب) اندازه‌گیری عمق جریان آب داخل رودخانه

Figure 2. a) Installing equipment for river bed imaging in the presence of water flow; b) Measuring the depth of water flow in the river

صفحه قاب تصویر روی بستر رودخانه مستقر می‌شود. سه پایه دوربین با توجه به جهت تابش نور خورشید (برای جلوگیری از سایه‌افکنی) در مقابل آن مستقر و میله افقی نگهدارنده دوربین روی آن نصب می‌شود. دوربین روی میله افقی مستقر و موقعیت آن با توجه به صفحه تصویر تنظیم و تراز می‌شود و با بستن پیچ‌های نگهدارنده ثابت خواهد ماند. فاصله دوربین تا صفحه تصویر برای هر دوربین و هر قاب تصویر متغیر است؛ در این بررسی، این فاصله بین ۰/۸ تا ۱/۶۵ متر در نظر گرفته شد. یادآوری می‌شود

کج بودن تصویر در ایجاد خطای اندازه‌گیری ذرات در طرفین تصویر موثر است و لازم خواهد بود صفحه تصویر دقیقاً موازی بستر رودخانه باشد. بدین منظور از یک عدد تراز لوله‌ای کوچک مغناطیسی ساخت شرکت استنلی (با طول ۱۰ سانتی‌متر) استفاده شد. این وسیله دو تراز لوله‌ای عمود بر هم دارد که وقتی روی صفحه تصویر دوربین (مانیتور) مستقر شده بر سه پایه قرار گیرد، امکان تراز کردن دوربین در صفحه افقی (راستای x و y) را خواهد داشت. بعد از انتخاب محل موردنظر،

تصویر دیجیتالی از بستر آبراهه، مشخصاتی همچون تعداد سنگدانه‌های تشکیل‌دهنده، محیط، مساحت، قطر هر سنگدانه و... را به کاربر می‌دهد که می‌توان آن را در صفحات گسترده اکسل ذخیره کرد (Ferreira & Rasband, 2012).

برای دستیابی به برآوردی از شیوه توزیع اندازه ذرات، از قسمت تحلیل دانه‌بندی سنگدانه- رسوب موجود در این برنامه استفاده شد. در این بخش، برنامه دارای الگوریتم و ابزارهایی است که با استفاده از آنها و تنها با دریافت یک تصویر مناسب از ذرات بستر، قادر به محاسبه سریع مختصات نقاط واقع بر منحنی دانه‌بندی آن تصویر خواهد بود. شکل ۳، مراحل پردازش تصویر ورودی در این برنامه را برای یکی از تصاویر نشان می‌دهد. این مراحل به ترتیب عبارتند از: الف) تعیین طول خط مقیاس در تصویر با بردن ابزار خطی موجود در این قسمت روی یک طول مشخص در تصویر (این طول باید حین عکس‌برداری در محل، تعیین شود) طول خط مقیاس در نرم‌افزار وارد می‌شود. برای کسب نتایج بهتر، لازم است که طول معین، خطی راست و طویل باشد که تصویر را به‌طور مورب طی می‌کند (در این تحقیق از قطر قاب تصویر استفاده شد). همچنین محدوده‌ای از تصویر رنگی که باید پردازش شود<sup>۱</sup> نیز مشخص شود، ب) تبدیل تصویر رنگی به تصویر خاکستری هشت‌بیتی<sup>۲</sup>، ج) عبور دادن تصویر از فیلتر Median (این فیلتر به برطرف کردن خش<sup>۳</sup> و لکه‌ها از روی ذرات موجود در تصویر کمک می‌کند)، د) اعمال عملگر کاهش پس‌زمینه<sup>۴</sup>: این عملگر با استفاده از یک الگوریتم از پیش تعیین شده (توپ غلتان<sup>۵</sup>) به تصحیح و حذف قسمت‌هایی از پس‌زمینه ذرات کمک می‌کند که حالت غیریکنواخت دارند،

بهترین زمان برای تصویربرداری هنگامی است که آفتاب تقریباً عمود بر سطح می‌تابد (بین ساعت ۱۰ تا ۱۴). ابری بودن مانع ادامه کار نیست و اگر لازم باشد می‌توان از منبع نوری کمکی نیز استفاده کرد.

بعد از مراحل فوق برای هر دوربین و هر قاب تصویر، از بستر رودخانه در محل موردنظر عکس‌برداری شد و شماره عکس موردنظر همراه با مختصات محل و شماره نقطه در برگ ثبت اطلاعات برای محاسبات دفتری درج شد. یک نمونه دستی از خاک بستر رودخانه در داخل قاب تهیه و برای آزمایش دانه‌بندی به آزمایشگاه انتقال داده شد.

در این تحقیق، برای پردازش تصاویر از نرم‌افزار ImageJ استفاده شده که یکی از قابلیت‌های آن، پردازش تصاویر مربوط به ذرات رسوبی و سنگدانه‌ای و استخراج مستقیم منحنی دانه‌بندی مربوط به آن‌هاست. این نرم‌افزار نرم‌افزاری قدرتمند برای آنالیز تصویر می‌باشد که در مؤسسه ملی بهداشت آمریکا و بر روی پلاتفرم جاوا ساخته شده و برای کاربردهای تشخیصی در فیزیک پزشکی ساخته شده و در علوم مختلف نیز کاربرد فراوان دارد (Rasband, 2012). نرم‌افزار ImageJ به کمک افزونه‌هایی که برایش ساخته شده در بسیاری از مسائل پردازش و تحلیل تصاویر به‌کار می‌رود، از جمله در تصویربرداری سه‌بعدی از سلول‌های زنده، پردازش تصویر در پرتوشناسی پزشکی، پردازش خودکار تصاویر در خون‌شناسی و پردازش تصویر سنگدانه‌ها. ساختار گسترش‌پذیر ImageJ و امکاناتی که برای افزودن ویژگی‌های تازه در اختیار کاربران می‌گذارد، این برنامه را به گزینه محبوبی برای آموزش پردازش تصویر تبدیل کرده است. نرم‌افزار ImageJ با استفاده از الگوریتم‌هایی که در آن تعبیه شده و با دریافت

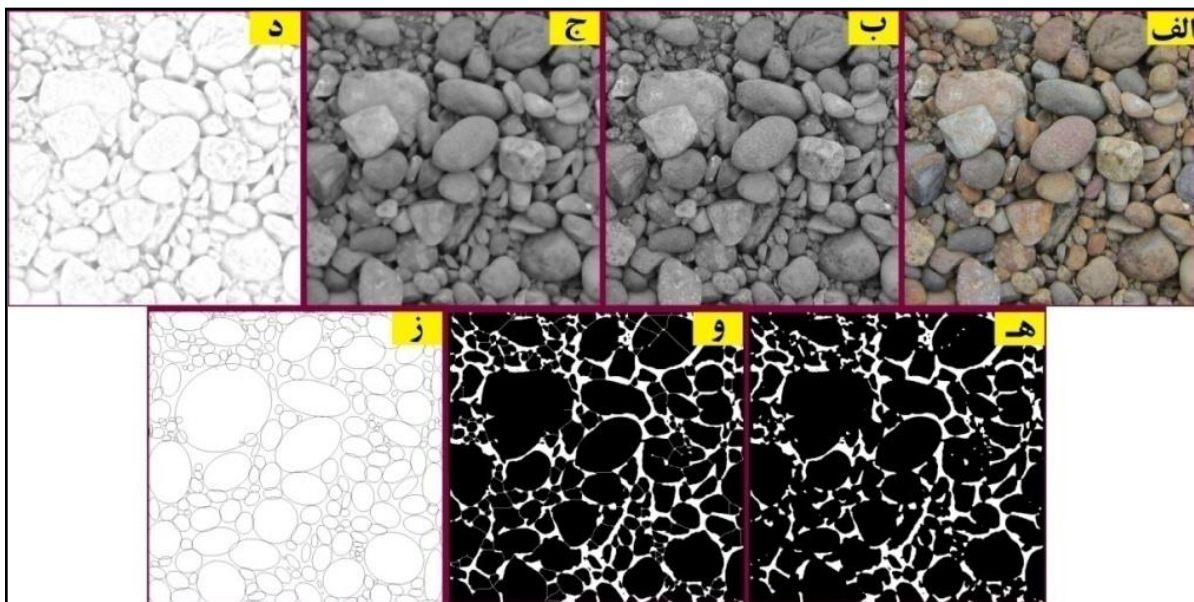
1- Set Cropping Extents  
3- Noise  
5- Rolling Ball

2- 8-Bit Image  
4- Subtracting Background



شده‌اند، می‌یابد. سپس هر یک از این نقاط را تا جای ممکن (تا جایی که لبه ذره اجازه می‌دهد) اتساع می‌دهد، (ز) برآزش چندضلعی‌ها یا بیضی‌ها بر ذرات. برنامه در مرحله (ز) به ترتیب بهترین چندضلعی‌ها و بیضی‌ها را بر ذرات موجود در یک تصویر باینری هشت‌بیتی، محیط می‌کند. در نهایت امکان اخذ نتایج آنالیز ابعاد سنگدانه‌ها براساس اشکال هندسی برآزش داده شده در محیط اکسل وجود دارد و می‌توان منحنی دانه‌بندی را نیز رسم کرد.

ه) ایجاد نواحی حدی یا آستانه‌ای<sup>۱</sup>: در این مرحله، تصویر به حالت باینری تبدیل می‌شود. در واقع در تصویر تنها دو رنگ به چشم می‌خورد که یکی مربوط به ذرات و دیگری مربوط به پس‌زمینه آنها می‌شود، (و) استفاده از عملگر پخش<sup>۲</sup>: برنامه به کمک این عملگر، به صورت خودکار ذراتی را که در تماس با یکدیگرند یا همپوشانی دارند، از یکدیگر جدا می‌کند، بدین ترتیب که پس از تشکیل نقشه فواصل اقلیدسی<sup>۳</sup>، دورترین نقاطی را که دچار خوردگی<sup>۴</sup>



شکل ۳- مراحل پردازش تصویر

الف) تعیین خط مقیاس در تصویر رنگی برش داده شده، ب) تصویر خاکستری هشت بیتی، ج) تصویر پس از عبور دادن از فیلتر Median، د) تصویر پس از اعمال عملگر حذف پس‌زمینه، ه) ایجاد نواحی حدی (تصویر باینری)، و) اعمال عملگر پخش و ز) برآزش بیضی‌ها بر ذرات

Figure 3. Image processing steps: a) Set the scale line on cropped image; b) Convert to an 8-bit greyscale image; c) Applying a median filter; d) Subtract the background; e) Thresholding; f) Watershed segmentation; h) Ellipse fitting.

داده شده است. برای ارزیابی و به چالش کشیدن روش پردازش تصویر در استخراج منحنی دانه‌بندی مصالح سطحی بستر، هم از بسترهای خشک و هم از بسترهای دارای جریان آب، تصویرهایی برداشت شد که جزئیات آن در بخش بعدی گفته شده‌است.

#### موقعیت مکانی محل‌های برداشت تصویر

برای ارزیابی عملکرد روش پردازش تصویر، در مجموع از ۱۳ نقطه از رودخانه تصویرهایی با دوربین‌های با توان تفکیک مختلف برداشت گردید. موقعیت مکانی نقاط برداشت شده در شکل ۱ نشان

1- Thresholded Regions  
3- Euclidian Distance Map

2- Watershedding  
4- Ultimate Eroded Points

## نتایج و بحث

فرآیند بازسازی مورفولوژیکی می‌شود. برخلاف توان تفکیک‌های پایین، در دوربین‌های با توان تفکیک بالا الگوریتم‌های تشخیص لبه و دیگر الگوریتم‌های پردازش تصویر برای شناسایی و محاسبه قطر ذرات عملکرد بهتری دارند. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با یافته‌های صادقی و قره محمودلی (Sadeghi, & Gharemahmoodli, 2013) همخوانی مناسبی دارد؛ این محققان نیز به این نتیجه رسیده‌اند که مناسب‌ترین دوربین برای تصویربرداری برای اهداف پردازش تصویر رسوبات ریزدانه و درشت‌دانه در بازه با قدرت تفکیک ۱۰ تا ۱۶ مگاپیکسل است. فرامرزی و همکاران (Faramarzi *et al.*, 2015) نیز در تحقیقات خود با استفاده از دوربین ۲۴ مگاپیکسل و نرم‌افزار ImageJ به این نتیجه رسیدند که برای ذرات بزرگ‌تر از ۲/۴ میلی‌متر، میزان خطای بین داده‌های پردازش تصویر و داده‌های آزمایشگاهی کمتر از ۱۰ درصد است و برای ذرات کوچکتر از ۲/۴ میلی‌متر مقدار خطا تا حد قابل توجهی افزایش می‌یابد.

نتایج به‌دست آمده از قاب ۰/۵ متری نشان می‌دهد که اثر توان تفکیک تصویر بر منحنی توزیع دانه‌بندی مصالح سطحی بستر اندک است (شکل ۴-ب). در این حالت، به‌دلیل ارتفاع کم دوربین‌ها (برای پوشش محدوده قاب) اثر توان تفکیک ناچیز است و می‌توان از هر دوربینی استفاده کرد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نیز در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. محاسبات حاکی است که مقدار برآورد شده قطر متوسط مصالح بستر به‌شدت وابسته به توان تفکیک دوربین مورد استفاده است (قاب ۱ متری). برای مثال، اختلاف قطر متوسط برآورد شده توسط دوربین با توان تفکیک ۱۰ مگاپیکسل و دیگر دوربین‌ها در حدود

با توجه به اینکه امکان ارائه نتایج کلیه نقاط مورد بررسی وجود ندارد، نتایج مربوط به دو حالت بستر (خشک و تر) در نقاط N1 و N12 ارائه می‌شود. طبق نتایج به‌دست آمده در قاب ۱ متری، منحنی دانه‌بندی استخراج شده از دوربین ۱۴ مگاپیکسل به‌سمت راست و منحنی استخراج شده از دوربین ۶ مگاپیکسل به سمت چپ نمودار تمایل دارد (شکل ۴-الف). به‌عبارت بهتر، منحنی دانه‌بندی دوربین ۶ مگاپیکسلی همواره بالاتر از منحنی به‌دست آمده از دوربین ۱۴ مگاپیکسلی است. برای مثال، چنانچه قطر معادل ۱۰ میلی‌متر را معیار مقایسه قرار دهیم متوجه خواهیم شد که درصد فراوانی به‌دست آمده از دوربین ۱۴ و ۶ مگاپیکسلی به‌ترتیب برابر با ۳۷ و ۴۸ درصد است. یکی از علل اصلی این امر را می‌توان به اثر توان تفکیک دوربین‌های مورد استفاده در شناسایی و استخراج دانه‌های موجود در عکس مرتبط دانست. به‌عبارتی می‌توان این‌گونه بیان کرد که دوربین با قدرت تفکیک بالا (۱۴ مگاپیکسلی)، یک دانه رسوب را چند دانه رسوب و دوربین با قدرت تفکیک پایین (۶ مگاپیکسلی)، چند دانه رسوب را یک دانه رسوب در نظر می‌گیرد. این موضوع موجب تغییر توزیع فراوانی ذرات به قطرهای مختلف خواهد شد. از این‌رو هرچه اندازه ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات بزرگ‌تر باشد، دقت دوربین با قدرت تفکیک کمتر از ۱۰ مگاپیکسل (توان تفکیک متوسط) در تخمین صحیح قطر ذرات به واقعیت نزدیک‌تر است. بنابراین اثر توان تفکیک دوربین بر میزان دقت ارزیابی اندازه رسوبات بستر متفاوت خواهد بود. همچنین توان تفکیک پایین تصویر موجب ناکارایی پردازش‌هایی همچون فیلترینگ، حذف پس‌زمینه، ایجاد عمل آستانه‌ای و پیشبرد

چولگی ندارد و تقریباً در تمامی حالات مقدار ۱/۷ برآورد شده است.

نتایج به‌دست آمده در قاب ۰/۵ متری نیز تا حدودی مشابه با نتایجی است که از قاب ۱ متری به‌دست آمده است، با این تفاوت که به‌علت کوچک بودن محدوده تصویربرداری، میزان تاثیر توان تفکیک دوربین بر مشخصات آماری مربوط به توزیع دانه‌بندی مصالح سطحی بستر، کم ولی معنی‌دار است. برای مثال، حداکثر اختلاف بین دوربین‌های مختلف در محاسبه قطر متوسط مصالح بستر در حدود ۹ تا ۲۴ درصد است، در این حالت نیز عملکرد دوربین با توان تفکیک ۱۰ مگاپیکسلی تقریباً تفاوت معنی‌داری با عملکرد سایر دوربین‌ها دارد.

۳۷ تا ۴۹ درصد است. مشابه همین مسئله در مورد حداکثر قطر ذره استخراج شده و انحراف از معیار ذرات نیز صادق است. گفتنی است که با افزایش توان تفکیک دوربین، ذرات ریزدانه بهتر شناسایی و استخراج می‌شوند. زیرا کاهش توان تفکیک موجب کاهش کارایی الگوریتم‌های شناسایی ذره می‌شود و باعث خواهد شد چند ذره رسوب به‌هم چسبیده در نظر گرفته شوند. اما در توان تفکیک‌های بالا الگوریتم‌های مذکور به خوبی می‌توانند ذرات ریزدانه را نیز شناسایی و محاسبه کنند. برای مثال، دوربین ۶ مگاپیکسلی نسبت به دوربین ۱۴ مگاپیکسلی، حداقل قطر ذرات رسوبی بستر را تقریباً دو برابر برآورد کرده است. نکته قابل توجه دیگر این است که تغییر توان تفکیک تصویر تاثیر خاصی بر ضریب

جدول ۲- مشخصات آماری توزیع دانه‌بندی مصالح سطحی بستر N1 (قاب ۱ متری)

Table 2- Statistical characteristics of particle size distribution of river bed at N1 (1 meter frame)

Resolution (MP)	Statistical characteristics				
	Min (mm)	Mean (mm)	Max (mm)	Standard deviation (mm)	Skew coefficient
6	0.8	19.9	87.9	26.0	1.7
10	0.5	27.2	120.1	35.6	1.7
12.1	0.5	18.3	81.0	24.0	1.7
14	0.4	19.1	84.1	24.9	1.69

جدول ۳- مشخصات آماری توزیع دانه‌بندی مصالح سطحی بستر N1 (قاب ۰/۵ متری)

Table 3. Statistical characteristics of particle size distribution of river bed at N1 (0.5 meter frame)

Resolution (MP)	Statistical characteristics				
	Min (mm)	Mean (mm)	Max (mm)	Standard deviation (mm)	Skew coefficient
6	0.5	17.1	75.4	22.4	1.7
10	0.3	21.2	93.7	27.8	1.7
12.1	0.3	19.5	86.4	25.6	1.7
14	0.3	18.3	80.8	24.0	1.7

محاسبات نشان می‌دهد که نتایج پردازش تصویرهای به‌دست آمده از دوربین با توان تفکیک ۶ مگاپیکسلی، اختلاف زیادی با نتایجی دارد که با دیگر دوربین‌ها به‌دست آمده است، خصوصاً در

در نقطه N12، عمیق جریان آب ۱۰ سانتی‌متر است. در شکل ۴-ج منحنی دانه‌بندی مصالح سطحی بستر رودخانه نشان داده شده که از پردازش تصاویر این نقطه به‌دست آمده است.

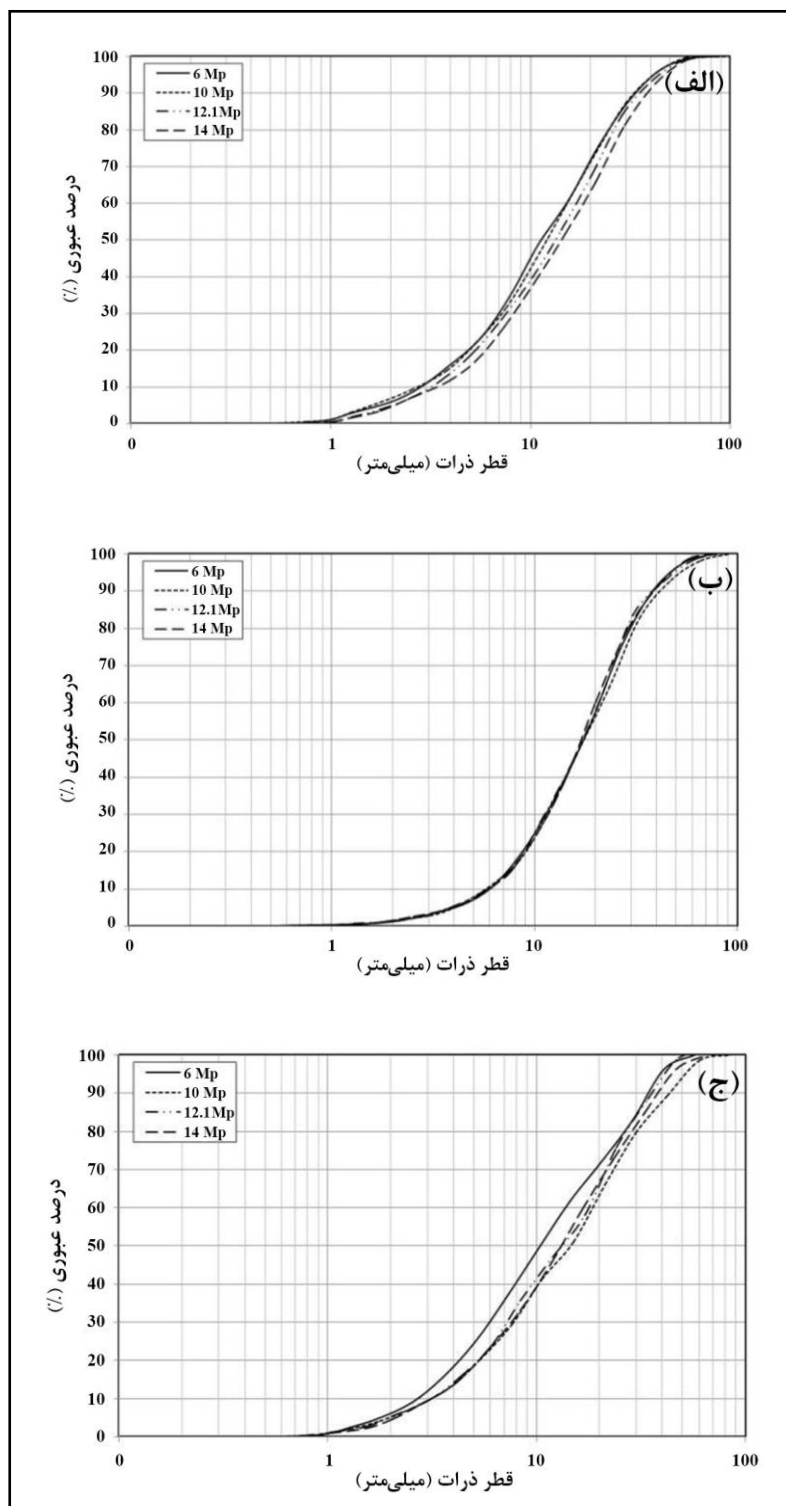
همین موضوع موجب نزدیک شدن نتایج خروجی الگوریتم‌های پردازش تصویر شده است. گفتنی است که در این نقطه شیب بستر کم است و در نتیجه تلاطم جریان تاثیر چندانی بر کیفیت تصویرها و به وجود آمدن نویز یا به هم خوردگی نداشته است. بررسی مشخصات آماری توزیع دانه‌بندی مصالح سطحی بستر رودخانه نشان می‌دهد که قطر متوسط، قطر حداکثر و انحراف از معیار ذرات به‌دست آمده از دوربین با توان تفکیک ۱۰ مگاپیکسل بیشتر است تا از سایر دوربین‌ها. دوربین با توان تفکیک ۶ مگاپیکسل نسبت به دوربین‌های ۱۲/۱ و ۱۴ مگاپیکسلی، حداقل قطر ذرات بستر را با اختلافی در حدود ۶۷ درصد برآورد کرده است (جدول ۴).

توزیع منحنی دانه‌بندی و نیز مشخصات آماری ذرات بستر. از نکات جالب توجه دیگر در این نقطه، مشابهت منحنی‌های دانه‌بندی به‌دست آمده از دوربین‌های با توان تفکیک ۱۰، ۱۲/۱ و ۱۴ مگاپیکسلی (خصوصاً برای ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میلی‌متر) است. برای ذرات بزرگتر از ۱۰ میلی‌متر، عملکرد تصویر به‌دست آمده از دوربین‌های ۱۲/۱ و ۱۴ مگاپیکسلی با عملکرد تصویر به‌دست آمده با دوربین ۱۰ مگاپیکسلی اندکی متفاوت است.

در شکل ۵ نمایی از تصویر برداشت شده از بستر رودخانه با دوربین‌های مختلف نشان داده شده است. در کل، به‌غیر از تصویر برداشت شده با دوربین ۶ مگاپیکسلی، بقیه تصویرها کیفیت خوبی دارند و

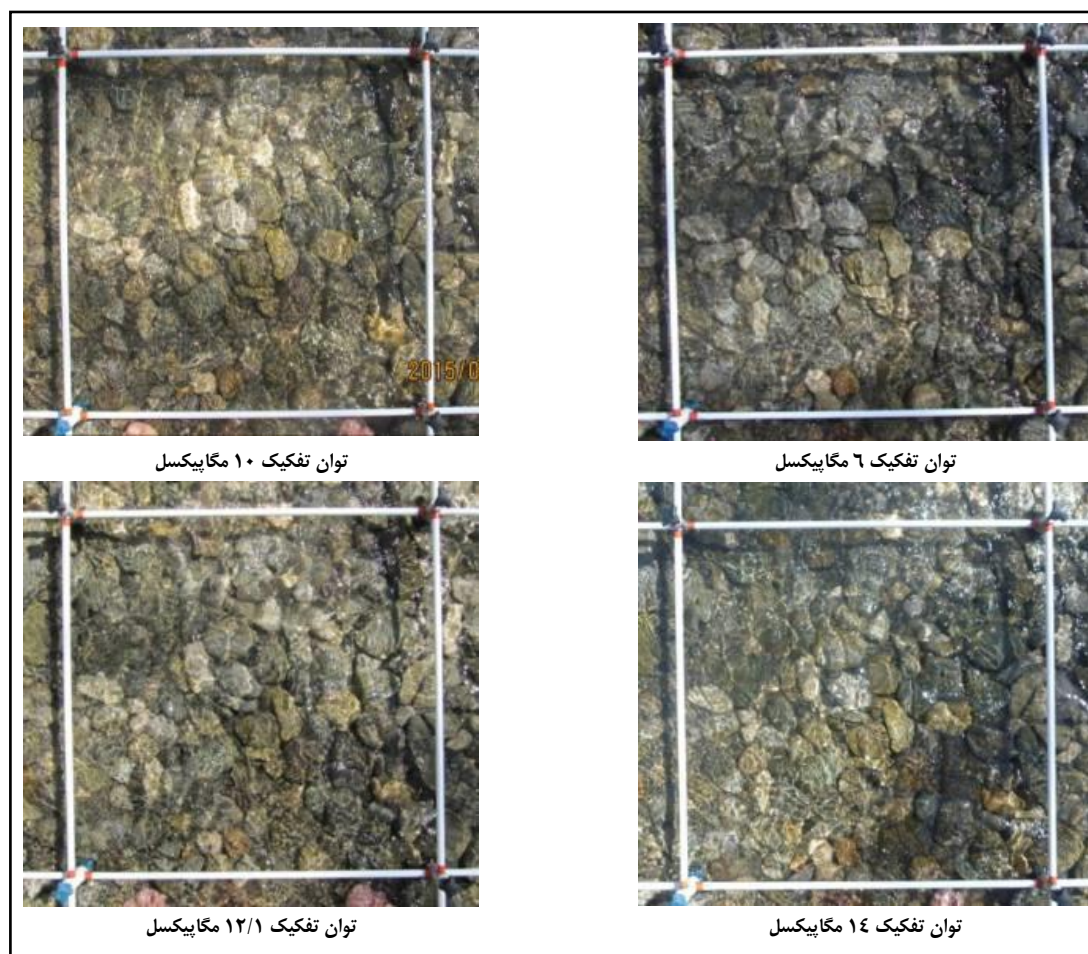
جدول ۴- مشخصات آماری توزیع دانه‌بندی مصالح سطحی بستر N12 (قاب ۰/۵ متری)

Resolution (MP)	Statistical characteristics				
	Min (mm)	Mean (mm)	Max (mm)	Standard deviation (mm)	Skew coefficient
6	0.5	12.3	57.9	16.9	1.8
10	0.4	16.0	75.1	24.4	1.9
12.1	0.3	14.4	67.8	19.8	1.8
14	0.3	13.2	66.0	19.0	1.9



شکل ۴- اثر توان تفکیک دوربین‌های عکسبرداری بر منحنی دانه‌بندی ذرات بستر  
 (الف) N1 (قاب ۱ متری)، (ب) N1 (قاب ۰/۵ متری) و (ج) N12 (قاب ۰/۵ متری)

Fig. 5. Effect of the camera resolution on the particle size distribution curve  
 a) N1 (1 meter frame), b) N1 (0.5 meter frame), c) N12 (0.5 meter frame)



شکل ۵- اثر توان تفکیک دوربین عکسبرداری بر کیفیت تصویر برداشت شده از بستر آبراهه تر (N12)

Fig. 5. Effect of the camera resolution on the quality of the image taken from the wet river bed (N12)

تا کنون استفاده از روش پردازش تصویر برای استخراج مشخصات هندسی مصالح بستر و منحنی دانه‌بندی در بسیاری از مطالعات با موفقیت همراه بوده است. در این تحقیق نیز صرفاً برای نشان دادن قابلیت پردازش تصویر، علاوه بر تصویرهای با توان تفکیک مختلف، از چندین نقطه از بستر رودخانه نیز نمونه رسوب برداشت شد. با توجه به این توضیحات، نیازی به برداشت نمونه از هر نقطه نیست و نمونه‌های برداشت شده به‌خوبی مبین عملکرد مناسب روش پردازش تصویر است.

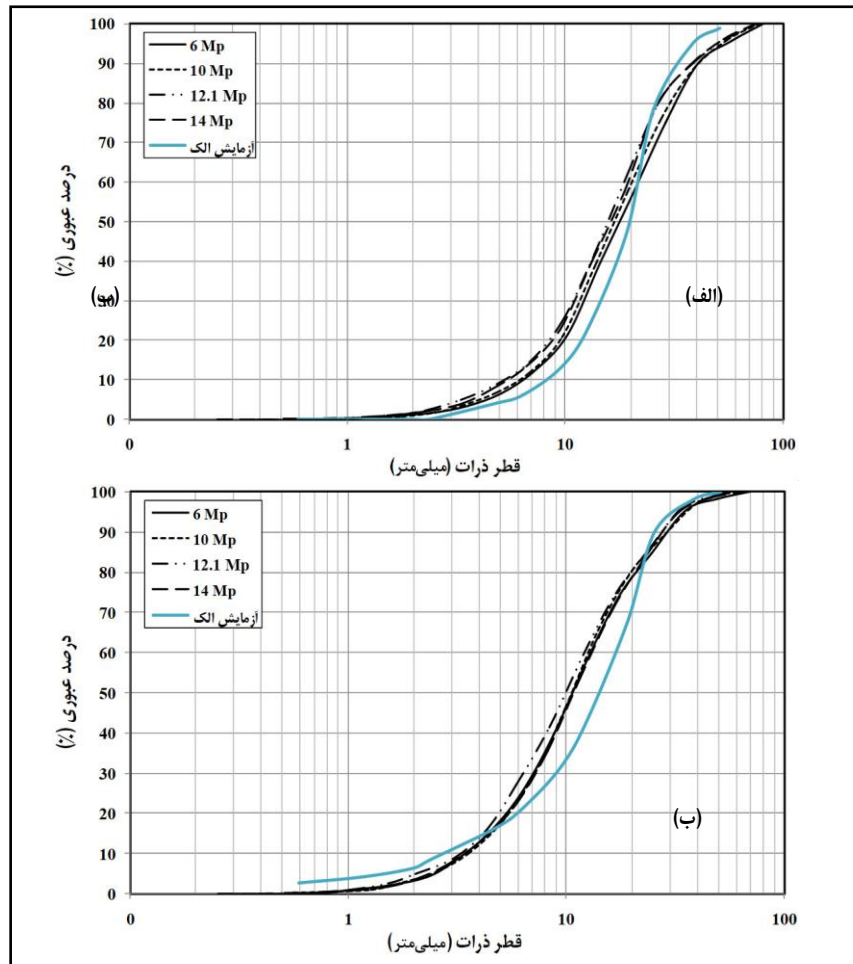
در شکل ۶، نمودار دانه‌بندی مصالح سطحی بستر به‌دست آمده از آزمایش با الک به‌همراه نتایج

ارزیابی صحت نتایج حاصل از روش پردازش تصویر

برای ارزیابی عملکرد روش پردازش تصویر در استخراج منحنی دانه‌بندی مصالح سطحی بستر، در چندین نقطه از رودخانه نمونه‌هایی از مصالح بستر رودخانه در داخل قاب‌های مورد استفاده برداشت و به آزمایشگاه مکانیک خاک منتقل شد. در آزمایشگاه، با استفاده از ابزارهای موجود (سری الک، شیکر و...)، منحنی دانه‌بندی مصالح سطحی بستر برای نقاط موردنظر به‌دست آمد. برای مقایسه بین نتایج حاصل از پردازش تصویر و نتایج آزمایشگاهی، از شاخص آماری درصد اختلاف نسبی استفاده شد.

به‌علت یکنواخت بودن ذرات بستر، عملکرد دوربین‌های ۶ و ۱۴ مگاپیکسلی نیز (با حداکثر میزان اختلاف ۱۲ درصد) قابل قبول است. دوربین‌های ۱۲/۱ و ۱۰ مگاپیکسل نیز به‌ترتیب کمترین خطا را در برآورد حداکثر قطر ذرات به‌دست داده‌اند. در این نمونه نیز دوربین‌های با توان تفکیک پایین خطای نسبی کمتر و عملکرد نسبتاً بهتری در محاسبه حداقل قطر ذرات دارند.

به‌دست آمده از روش پردازش تصویر برای نقطه N2 (نمونه دستی ۱) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود نمودار به‌دست آمده از آزمایشگاه مکانیک خاک تطابق خوبی با نتایج به‌دست آمده از روش پردازش تصویر دارد. نتایج به‌دست آمده برای نمونه دستی ۲ (نقطه N4) نیز نشان می‌دهد که دوربین‌های با توان تفکیک بالا دارای کمترین میزان خطا در برآورد قطر متوسط مصالح هستند. هرچند

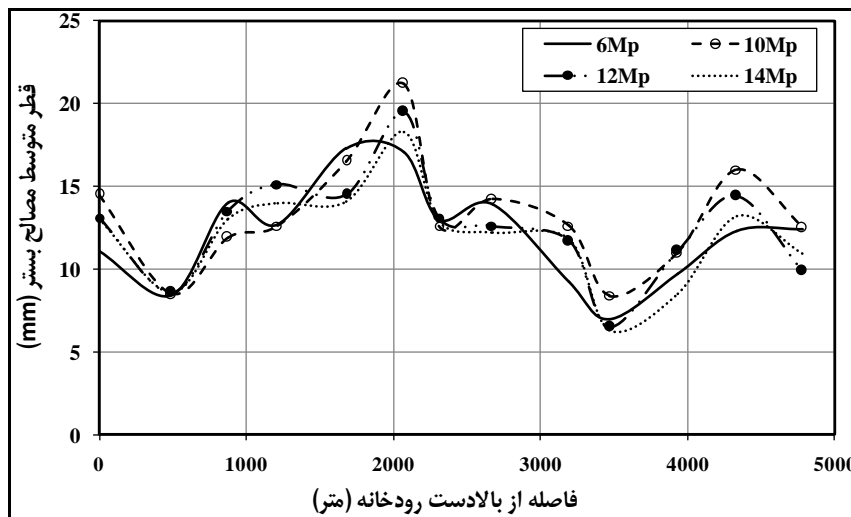


شکل ۶- مقایسه نمودار آزمایشگاهی و نتایج به‌دست آمده از روش پردازش تصویر: الف) نمونه ۱- نقطه N2 و ب) نمونه ۲- نقطه N4  
 Fig 6. Comparison of the laboratory chart and the results obtained from the image processing method  
 a) Sample 1- N2, b) Sample 2- N4

نسبتاً بالای رودخانه، ذرات ریزدانه‌تری ترسیب کرده است. در انتهای بازه مطالعاتی نیز به علت وجود پوشش‌های گیاهی متراکم در بستر و حاشیه رودخانه، سرعت جریان کاهش یافته و رسوبات درشت‌دانه‌تری بر جای گذاشته شده است. به طور کلی، قطر متوسط مصالح بستر در بازه مطالعاتی در تمامی دوربین‌ها بین ۵ تا ۲۰ میلی‌متر متغیر است.

### توزیع مکانی قطر متوسط مصالح بستر در طول رودخانه

در شکل ۷ می‌بینیم در محدوده کیلومتر ۱+۰۰۰ تا ۳+۰۰۰ به علت پهنای زیاد رودخانه، رسوبات درشت دانه‌ای ترسیب یافته و موجب شده متوسط قطر مصالح بستر در این بازه نسبت به بازه‌های دیگر بیشتر شود. در محدوده کیلومتر ۳+۰۰۰ تا ۴+۰۰۰ نیز به علت پهنای کم و شیب



شکل ۷- توزیع مقادیر قطر متوسط مصالح بستر در طول بازه تصویربرداری با دوربین‌های مختلف

Fig. 7. Distribution of average diameter values of bed materials during the photography domain with different cameras

کاربرد کمتری دارد و نیاز به مطالعات و تحقیقات بیشتری است.

### نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی روش پردازش تصویر برای استخراج منحنی دانه‌بندی بستر رودخانه سیرچ در دو حالت بستر خشک و تر اجرا و برای این کار از تصویرهایی استفاده شد که با دوربین‌های با توان تفکیک‌های مختلف (۶، ۱۰، ۱۲/۱ و ۱۴ مگاپیکسل) برداشت شده بود. برای ارزیابی عملکرد

نتایج حاصل از روش پردازش تصویر و روش آزمایشگاهی نشان می‌دهد که توان روش پیشنهادی در این تحقیق بالاست و با خطای کمی مشخصات هندسی بستر را محاسبه می‌کند. از این رو توصیه می‌شود در مطالعات و پروژه‌هایی که به هر دلیل مطالعات ژئوتکنیک مقدور نیست، از این روش برای استخراج مشخصات دانه‌بندی مصالح سطحی بستر استفاده کنند. نتایج حاصل از این روش در مطالعات تعیین حد بستر و حریم و مدل‌سازی هیدرولیکی کاربرد دارد؛ برای مدل‌سازی رسوب در رودخانه‌ها



حالت، به دلیل ارتفاع کم دوربین‌ها (برای پوشش دادن محدوده قاب)، اثر توان تفکیک ناچیز است و می‌توان از هر دوربینی استفاده کرد. ارزیابی عملکرد روش پردازش تصویر در بستر تر (با عمق جریان ۱۰ سانتی‌متر) نیز نشان داد که استفاده از دوربین با توان تفکیک پایین ۶ مگاپیکسلی، خصوصاً در توزیع منحنی دانه‌بندی و نیز مشخصات آماری ذرات بستر، اختلاف زیادی با دیگر دوربین‌ها دارد. استفاده از دوربین با توان تفکیک ۶ مگاپیکسل نسبت به دوربین‌های ۱۲/۱ و ۱۴ مگاپیکسلی، حداقل قطر ذرات بستر را با اختلافی در حدود ۶۷ درصد برآورد می‌کند و از این‌رو توصیه می‌شود برای استخراج منحنی دانه‌بندی بستر در شرایطی که جریان آب روی بستر جاری است از دوربین‌های با توان تفکیک بالا استفاده شود.

خروجی حاصل از این پژوهش می‌تواند راهنمای مناسبی برای محققان و نیز برای مهندسان در پروژه‌هایی باشد که با کمبود داده و منابع مالی روبه‌رو هستند.

روش پردازش تصویر، تعدادی نمونه نیز از بستر رودخانه برداشت و با انتقال به آزمایشگاه مکانیک خاک منحنی دانه‌بندی واقعی نیز استخراج شد و مبنای مقایسه قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از دوربین‌های با توان تفکیک کمتر از ۱۰ مگاپیکسل خطای زیادی را در وضعیت دانه‌بندی ایجاد می‌کند.

دوربین‌های با توان تفکیک بالا دارای کمترین میزان خطا در برآورد قطر متوسط مصالح هستند. هرچند به علت یکنواخت بودن ذرات بستر، عملکرد دوربین‌های ۶ و ۱۴ مگاپیکسلی نیز (با حداکثر ۱۲ درصد اختلاف در برآورد قطر متوسط) قابل قبول است. دوربین‌های ۱۲/۱ و ۱۰ مگاپیکسل نیز به ترتیب کمترین خطا را در برآورد حداکثر قطر ذرات به دست داده‌اند.

نتایج آزمایش‌ها تصویر مصالح بستر رودخانه در قاب به ابعاد ۰/۵ متر نیز حاکی از این مطلب است که اثر توان تفکیک تصویر بر منحنی توزیع دانه‌بندی مصالح سطحی بستر اندک است. در این

## قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی «تعیین مشخصات دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه با روش پردازش تصویری به‌جای آزمایشات پرهزینه و وقت‌گیر مکانیک خاک برای انجام مطالعات مهندسی رودخانه» تحت قرارداد شماره ۹۳/۰۹ مورخ ۹۳/۰۴/۳۱ (کد ۷۵۰۳۱۲۰۹۰) است و با حمایت مالی کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان به انجام رسیده است. محققان لازم می‌دانند از کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان سپاسگزاری نمایند.

## مراجع

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). 5<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference, Nov. 8-10. Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. (in Persian)

- Azizian, A., Morshedi, F. and Arian, A. 2013. Utilization of image processing technique for obtaining surface material gradation curve of the riverbed. 9<sup>th</sup> River Engineering International Seminar, Jan. 22-24. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (in Persian)
- Beggan, C. and Hamilton, C. W. 2010. New image processing software for analyzing object size-frequency distributions, geometry, orientation, and spatial distribution. *Comput. Geosci.* 36(4): 539-549.
- Bunte, K. and Abt, S. R. 2001. Sampling frame for improving pebble count accuracy in coarse gravel-bed streams. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 37(4): 1001-1014.
- Chang, F. J. and Chung, Ch. H. 2012. Estimation of riverbed grain-size distribution using image processing techniques. *J. Hydrol.* 440-441, 102-112.
- Chung, Ch. H. and Chang, F. J. 2013. A refined automated grain sizing method for estimating river-bed grain size distribution of digital images. *J. Hydrol.* 486, 224-233.
- Cislaghi, A., Chiaradia, E. A. and Bischetti, G. B. 2016. A comparison between different methods for determining grain distribution in coarse channel beds. *Int. J. Sediment Res.* 31(2), 97-109.
- Faramarzi, J., Hafezi-Moghaddas, N., Golzarian, M. R. and Ghafouri, M. 2015. Estimation of granular grain curve based on image processing technique, 19<sup>th</sup> Symposium of the Geological Society of Iran and 9<sup>th</sup> National Geological Conference of Payame-Noor University. Dec.17-18. Payame-Noor University, Tehran, Iran. (in Persian)
- Ferreira, T. and Rasband, W. S. 2012. ImageJ, User Guide, IJ 1.46r, U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. Available at: [imagej.nih.gov](http://imagej.nih.gov).
- Graham, D. J., Rice, S. P. and Reid, I. 2005. A transferable method for the automated grain sizing of river gravels. *Water Resour. Res.* 41(7): 1-12.
- Payesteh, M., Lashkar-Ara, B. and Fathi-Moghadam, M. 2018. An Estimation of the particle-size distribution in gravel bed river Using Image Processing. *Irrig. Sci. Eng.* 40(4): 125-139. (in Persian)
- Penders, C. A. 2010. Determining mean grain-size in high gradient streams with autocorrelative digital image processing. M. Sc. Thesis. Appalachian State University, Boone, North Carolina, United States.
- Rasband, W. S. 2012. ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, Available at: [imagej.nih.gov](http://imagej.nih.gov).
- 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. *Sediment. Geol.* 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. *J. Watershed Eng. Manage.* 5(2): 115-124. (in Persian)

- Storm, K. B., Kuhns, R. D. and Lucas, H. J. 2010. Comparison of automated image-based grain sizing to standard pebble-count methods. *J. Hydraul. Eng.* 136(8): 461-473.
- 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 Surf. Process. Landf.* 34(13): 1811-1821.

## **Determination of Surface Material Gradation of Streams in Dry and Wet Conditions Using Image Processing Technology (Case Study: Sirch River, Kerman)**

**A. Azizian and A. Samadi\***

\* Corresponding Author: Assistant Professor, Water Sciences and Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: samadi@eng.ikiu.ac.ir

Received: 21 February 2018, Accepted: 19 November 2018

### **Abstract**

Hydraulic engineering studies need to know the sizes of surface sediments exposed to flow. The conventional ways, manual measurement methods such as performing gradation tests (sieve analysis) in a laboratory, face many problems in determining the sizes of sediments. An algorithm has been developed to facilitate problems. By providing a number of images of the bed materials during field surveys and providing land use information, this algorithm can help accelerating processing and increasing the accuracy of modeling. To verify the accuracy and precision of this algorithm, versus the conventional soil gradation method, four different digital cameras (with 6, 10, 12.1, 14 megapixels resolution) and two square-frames (0.5 and 1 meter in size) used for imaging and sampling bed materials, in dry and under low water flow conditions, in a distance of 5 km in Sirch River, north east of Kerman. The results showed that cameras with high resolution had the least error in estimating the average diameters of materials in dry beds. However, due to the uniformity of the bed surface particles, the performance of cameras with 6 and 14 megapixels was also acceptable, so that the maximum difference in the average diameter estimation was less than 12%. The cameras with 12.1 and 10-megapixels had lowest error in estimation the maximum particle's diameters, respectively. Furthermore, calculations carried out in the wet bed surface indicated that the results of images processing obtained from the camera with a low resolution, 6 megapixels, differ greatly from what had been obtained by other cameras, especially in distribution of the gradation curve and statistical characteristics of the particles. A survey on the statistical characteristics of the bed surface materials distribution showed that the average diameter, maximum diameter and deviation of the particles obtained from the camera with a resolution of 10 megapixels were greater than those obtained by other cameras. In a general conclusion, it can be stated that there is a direct relationship between these parameters: the image dimensions (frame), the resolution of the camera and its distance from the stream bed, in a way that by reducing the resolution of the camera in a fixed frame, the camera's distance from the stream bed should be increased, and vice versa. Based on the results in the streams with fairly uniform grain distribution, any camera can be used. But in streams that have a coarse-grained or fine-grained bed, it's better to use low and high resolution cameras, respectively.

**Key Words:** Grain Size, Image Processing, Sediment, Simulation, Stream