

برآورد منحنی دانه‌بندی رسوبات درشت‌دانه سطحی با استفاده از سیستم تصویربرداری طراحی شده

امیرحسین طبعی^۱، علی کرمی خانیکی^(۲)، علی‌اکبر بیدختی^۳ و کامران لاری^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان جهادکشاورزی ایران

۳. استاد، دانشکده ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

۴. استادیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹

چکیده

شناخت رسوبات از مباحث پایه در مهندسی سواحل و رودخانه می‌باشد. یکی از پارامترهای شناسایی رسوبات، دانه‌بندی آنها است. برای تعیین دانه‌بندی، همواره از روش‌های سنتی همانند الک کردن رسوبات استفاده می‌شود، که دقیق، اما زمان‌بر است. پردازش تصاویر این قابلیت را فراهم می‌سازند که با استفاده از کوچک‌ترین واحد تصویر دیجیتال (پیکسل)، به جداسازی و ردیابی اهداف (دانه‌های رسوبی) در تصاویر پرداخت. در این مقاله سیستمی به‌صورت یکپارچه برای تصویربرداری از رسوبات میدانی درشت‌دانه و ارائه منحنی دانه‌بندی از آن ساخته و مورد آزمایش قرار می‌گیرد. پردازش و آنالیز رسوبات با نرم‌افزار ImageJ انجام و مقایسه نتایج با نتایج روش الک، برای صحت سنجی انجام شد. نمونه‌های تصاویر از رسوبات شنی و ماسه‌ای، آزمایشگاهی و طبیعی برداشت شد. یافته‌ها نشان می‌دهد توزیع به‌دست‌آمده از تصاویر رسوبات سطحی درشت‌دانه (بزرگ‌تر از یک میلی‌متر) و یکنواختی، همبستگی خوبی با توزیع به‌دست‌آمده از روش الک دارد و زمان را حداقل به یک‌دهم و هزینه کل را پایین می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز رسوبات، پردازش تصاویر، سیستم تصویربرداری، منحنی دانه‌بندی، نرم‌افزار ImageJ.

مقدمه

تهیه نقشه بستر رودخانه و فرآیندهای ساحلی و فراساحلی می‌باشد. یک متغیر کلیدی برای رسم و توصیف واحدهای ژئومورفیک رودخانه، توزیع اندازه دانه‌های رسوبی بستر و الگوی تغییر آن در طول زمان است (et al., 2018) (Marchetti). از شاخصه‌های کلیدی مدل‌سازی دینامیک رسوب رودخانه، منحنی درجه‌بندی دانه‌ها می‌باشد، زیرا

رسوبات در تمام کرانه‌های ساحلی و تمام مسیرهای رودخانه‌ای وجود دارند. هر ساله میلیون‌ها تن خاک به دلیل خطرات طبیعی و فعالیت‌های انسانی تخریب می‌شود (رجبی و همکاران، ۱۳۹۸). اهمیت دانه‌بندی رسوبات در هیدرودینامیک جریان، انتقال رسوبات، مدل‌سازی،

* نویسنده مرتبط: karamikhaniki@gmail.com

برداری برای مرزبندی دانه‌ها را بررسی کردند. Sime در سال ۲۰۰۳ (Sime, 2003) از آنالیز تصاویر برای تعیین توزیع اندازه دانه‌ها در رودخانه با بستر شنی و شناسایی مرزبندی دانه‌ها از دو روش مختلف استفاده کرد. پاپانیکولاو و همکاران (Papanicolaou et al., 2004) به تحلیل و توزیع اندازه دانه‌بندی رسوبات سطحی ساحلی با استفاده از نرم‌افزار *IGOR Pro* پرداختند. روبین در سال ۲۰۰۴ (Rubin, 2004) از رسوبات میدانی تصویربرداری و از خودهمبستگی^۳ میان پیکسل‌ها در تصویر دیجیتال برای اندازه‌گیری میانگین دانه‌بندی سطح مقطع استفاده کرد. گراهام و همکاران (Graham et al., 2005) در مجموعه‌ای از مقالات، به مطالعه و اندازه‌گیری رسوبات درشت‌دانه و بررسی روش‌های پردازش آنها پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که مقیاس تصویر باید به‌گونه‌ای باشد که کوچک‌ترین دانه مورد مطالعه دارای محور بزرگ‌تر از ۲۳ پیکسل باشد. آنها دو رویکرد، بر اساس ویژگی‌های سراسری (برحسب شدت نور) و بر اساس ویژگی‌های همسایگی (ذرات دانه‌ها) را گسترش دادند. روبین و همکاران در سال ۲۰۰۷ (Rubin et al., 2007) ابزارهایی را که در زمینه تصویربرداری از رسوبات در سواحل و زیر آب کاربرد دارند ساختند. اشنایدر و هارب (Schneider and Harb, 2009) به مطالعه و پردازش تصاویر دانه‌های رسوبی بستر رودخانه با نرم‌افزار *ImageTool* و مقایسه نتایج آن با روش الگ پرداختند. پراساد و همکاران (Prasad et al., 2011) با بررسی و تعیین شکل دانه‌های ماسه از تصاویر موفق به شناسایی ۲۱ شکل مختلف برای دانه شدند. تورلی و همکاران (Turley et al., 2016) به تعیین رسوبات ریز در رودخانه با استفاده از تجزیه و تحلیل تصویر دیجیتال پرداختند و دو رویکرد جدید مبتنی بر تحلیل تصویر غیرخودکار را ارائه کردند. برای این کار از نرم‌افزارهای *Adobe Photoshop* و *Elements* و *Pixlr* استفاده شد. پورینتون و بوهاگن (Bookhagen and Purinton, 2019) روشی را برای اندازه‌گیری و شمارش سنگ‌ریزه‌ها در بستر رودخانه شنی

ناهمواری کانال و حرکت اولیه رسوب را مشخص می‌کند (Lang et al., 2020). دانه‌ها در شکل، ترکیب (نوع و فراوانی)، جهت یافتگی^۱، فشردگی^۲ و اندازه متغیر هستند (Sukhtankar, 2008). تجزیه و تحلیل دانه‌ها نسبت اندازه دانه‌ها در نمونه معین را مشخص می‌کند و هدف آن به دست آوردن توزیع فراوانی و محاسبه آماری است (USGS, 2001).

در بررسی محیط رسوبی توالی‌های مختلف می‌توان از ابزارهای متنوعی استفاده کرد، تا به شرایط و ویژگی‌های حوضه‌های رسوبی پی برد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). تصاویر به ابزاری کارآمد برای انجام سریع تجزیه و تحلیل رسوبات نامحلول تبدیل شده است (Bosnic et al., 2012). استفاده از نرم‌افزارهای پردازش تصاویر، روشی جایگزین برای تجزیه و تحلیل توزیع اندازه دانه‌ها بر اساس تصاویر می‌باشد (Ghalib, 1999). روش‌های دیگری از جمله امواج صوتی (Kim et al., 2004) و امواج لیزر (Di Stefano et al., 2010) برای مشخص کردن ویژگی‌های رسوبات نیز در حال توسعه است. همچنین فناوری‌های سنجش از دور و ترکیب تصاویر ماهواره هم روشی جدید، برای نقشه‌برداری از دانه‌ها ارائه می‌کند (Marchettiet al., 2018).

در مطالعه دانه‌بندی رسوبات به کمک تصاویر دو رویکرد کلی وجود دارد، اولی شامل روش‌هایی است که از تقسیم جزء و شمارش پیکسل‌ها استفاده می‌شود، که در آن اندازه و توزیع دانه‌بندی تعیین می‌شود و روش دوم روش‌های آماری بر اساس بافت تصاویر است و مبتنی بر الگوهای خاص می‌باشد که در تصاویر تکرار می‌شود (Shin, 2004). متداول‌ترین روش طبقه‌بندی تصویر را می‌توان روش آماری حداکثر احتمال و کمترین فاصله، نام برد (ماهوش محمدی و هزارخانی، ۱۳۹۹). انتخاب تکنیک‌ها تا حدودی به اندازه دانه بستگی دارد، تکنیک باید دقیق، ارزان، سریع و طیف وسیعی از اندازه دانه‌ها را پوشش دهد (Bankole et al., 2019).

مک ایوان و همکاران (McEwan et al., 2000) به مطالعه ترکیب دانه‌بندی رسوبات سطحی از طریق تجزیه و تحلیل تصاویر پرداختند و الگوریتم‌های تشخیص لبه

1. Orientation
2. Packing
3. Autocorrelation

و یا محیط هر دانه
مرحله ۴: خروجی گرافیکی و استخراج توزیع اندازه
دانه‌ها (نمودار دانه‌بندی)

پارامترهای تاثیر گذار در این چهار مرحله بستگی به:
۱- نوع و محاسبه قدرت تفکیک دوربین، ۲- تکنیک و
سیستم سخت‌افزاری عکس‌برداری، ۳- برنامه نرم‌افزاری
دارد.

در عکس‌برداری از رسوبات محاسبه قدرت تفکیک
دوربین و فاصله مناسب دوربین تا هدف از جمله پارامترهای
بسیار مهم در به دست آوردن نتایج قابل قبول می‌باشد
(Rice and Church, 1996).

در استفاده از نرم‌افزارها درستی نتایج شامل: ۱- اندازه
اشیاء^۲، ۲- میزان تفکیک و ملموسی اشیاء، ۳- درستی
تقریبی زمینه^۳ و تفکیک آن از پیش‌زمینه^۴، ۴- روش آنالیز و
محاسبات می‌شود.

انتخاب عوامل مناسب و درست، مثل فیلترها و بقیه
موارد در استفاده از نرم‌افزارهای پردازش و آنالیز تصاویر،
ترکیبی از علم و هنر است (West and Cameron, 2006).
در جدول ۱ تقسیم‌بندی مقیاس اندازه دانه‌های رسوبی
نشان داده شده است.

روش مطالعه

در این تحقیق برای تعیین دانه‌بندی رسوبات، سیستمی
سخت‌افزاری طراحی و ساخته شد.

نمونه‌های رسوبات برای بررسی در سه حالت کلی در نظر
گرفت. حالت اول دانه‌هایی که در تست مدل‌های هیدرولیکی
کاربرد دارد و اندازه‌های مشخص دارند. حالت دوم نمونه‌های
میدانی که کدگذاری و به آزمایشگاه منتقل شدند. حالت
سوم استفاده از سیستم سخت‌افزاری در محیط‌های میدانی
و انتقال برخی نمونه‌ها به صورت تصادفی^۵ به آزمایشگاه برای
صحت‌سنجی داده‌ها که آزمایش الک در مورد آنها، بررسی
شده است.

از طریق تصاویر ارائه و الگوریتمی خاص را برای محاسبات
تعریف کردند. آنها برای تهیه تصاویر دوربین را روی دکل پنج
متری نصب کردند.

باید در نظر داشت در عکس‌برداری دیجیتال چندین
موضوع روی کیفیت تصاویر موثر هستند و مهم‌ترین آنها
تعداد پیکسل‌ها، سنسور داخلی، لنز و قدرت پردازش
درونی دوربین است (Davis, 2010). اساس عکاسی به
نور و سپس به ضبط و کنترل نور بستگی دارد. پردازش
تصویر عبارت است از هر نوع پردازش سیگنالی که ورودی
آن یک تصویر و خروجی آن می‌تواند تصویر و یا مجموعه‌ای از
متغیرها باشد (Gonzalez and Woods, 2008).

پردازش تصاویر در حالت کلی شامل: ۱- دریافت تصویر
ورودی، ۲- پیش‌پردازش تصاویر، ۳- پردازش تصاویر،
۴- آنالیز تصویر می‌باشد. این مراحل به‌طور جزئی‌تر شامل:
۱- تبدیل هندسی تصاویر، همانند تغییر اندازه و چرخش،
۲- تبدیل رنگی تصاویر، ۳- ترکیب و تجزیه تصاویر،
۴- فشردن سازی تصاویر، ۵- قطعه‌بندی تصاویر،
۶- تفاضل تصاویر، ۷- میانگین‌گیری تصاویر و غیره است
(Gonzalez et al., 2009).

پردازش تصویر در رسوبات، شامل تولید تصویر سیاه
و سفید است و در آن هر دانه رسوب به‌وسیله یک مرز
مشخص نشان داده شود. این همواره یک فرآیند دومرحله‌ای
است، اولین مرحله تقسیم‌بندی کلی از دانه‌ها است، اما
قادر به تولید نواحی یکتا برای هر دانه نیست. در مرحله
دوم با استفاده از مرزبندی بین دانه‌ها تصویر باینری تکمیل
و گستره هر دانه به‌صورت مجزا مشخص می‌شود. در
آخر اندازه دانه‌ها به‌وسیله روش تحلیل مناسب استخراج
می‌شود. مرزبندی مفهومی در تجزیه و تحلیل تصویر است و
شامل ویژگی پیرامون یک پیکسل و همسایگی آن می‌باشد
(Sonka et al., 2015).

تبدیل یک تصویر از رسوبات به منحنی دانه‌بندی، شامل
چهار مرحله اساسی زیر است:

مرحله ۱: عکس‌برداری از نمونه رسوب

مرحله ۲: تشخیص مرزبندی دانه‌های رسوبی

مرحله ۳: آنالیز تصویر و نسبت طول به عرض و مساحت

1. Binary
2. Objects
3. Background
4. Foreground
5. Random

جدول ۱. مقیاس اندازه رسوبات (Blott and Pye, 2001)

Grain size		Descriptive terminology		
phi	mm/ μ m	Udden (1914) and Wentworth (1922)	Friedman and Sanders (1978)	GRADISTAT program
			Very large boulders	
-11	2048 mm		Large boulders	Very large
-10	1024	Cobbles	Medium boulders	Large
-9	512		Small boulders	Medium
-8	256		Large cobbles	Small
-7	128		Small cobbles	Very small
-6	64			
-5	32	Pebbles	Very coarse pebbles	Very coarse
-4	16		Coarse pebbles	Coarse
-3	8		Medium pebbles	Medium
-2	4		Fine pebbles	Fine
-1	2	Granules	Very fine pebbles	Very fine
0	1	Very coarse sand	Very coarse sand	Very coarse
1	500 μ m	Coarse sand	Coarse sand	Coarse
2		Medium sand	Medium sand	Medium
3		Fine sand	Fine sand	Fine
4		Very fine sand	Very fine sand	Very fine
5	31	Silt	Very coarse silt	Very coarse
6	16		Coarse silt	Coarse
7	8		Medium silt	Medium
8	4		Fine silt	Fine
9	2	Clay	Very fine silt	Very fine
			Clay	Clay

سیستم سخت‌افزاری تهیه تصاویر

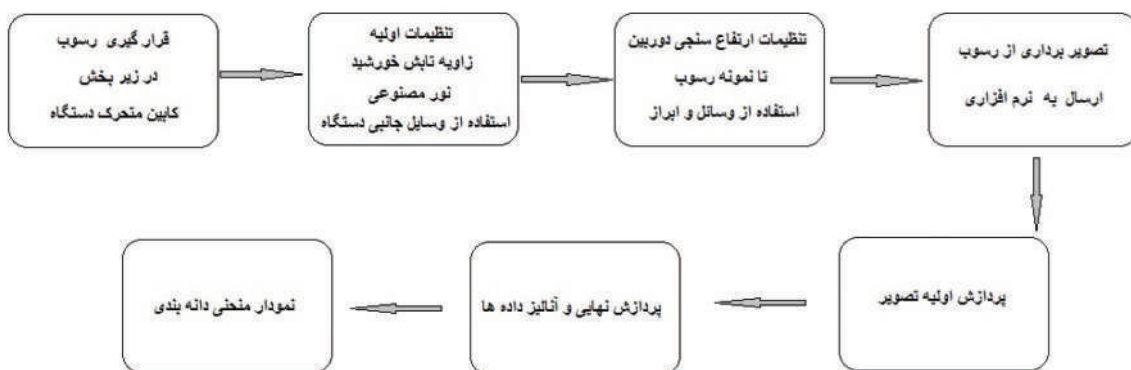
بدنه سیستم سخت‌افزاری از شاسی آلومینیومی با قابلیت حرکت و متشکل از سه طبقه است. در بالاترین طبقه، کلیدهای کنترلی برای ارتفاع سنجی و هدایت کلیه بخش‌های دیگر و کامپیوتر متصل به سیستم قرار دارد. در طبقه میانی باتری‌ها، برد الکترونیکی، موتور حرکتی کابین متحرک و اجزاء جانبی و متصل به آن و در طبقه پایین ابزار و وسایل جانبی می‌باشد. سیستم دارای بخش متحرکی است و کابین و اجزاء روی آن شامل دوربین، سنسورها و نور مصنوعی بر روی آن قرار دارد. یک سنسور اولتراسونیک، ارتفاع سنجی تعیین فاصله لنز دوربین تا سطح رسوب را در هر مرحله انجام می‌دهد.

تکنیک‌های اتوماتیک آنالیز دانه‌های رسوبی باید: (۱) ساده، سریع و کاربردی باشند. (۲) نشان‌دهنده توزیع دانه‌بندی با دقت و قابل مقایسه با روش‌های سنتی باشد. (۳) در سرتاسر طیف دانه‌های رسوبی کاربردی باشد (Graham et al., 2005).

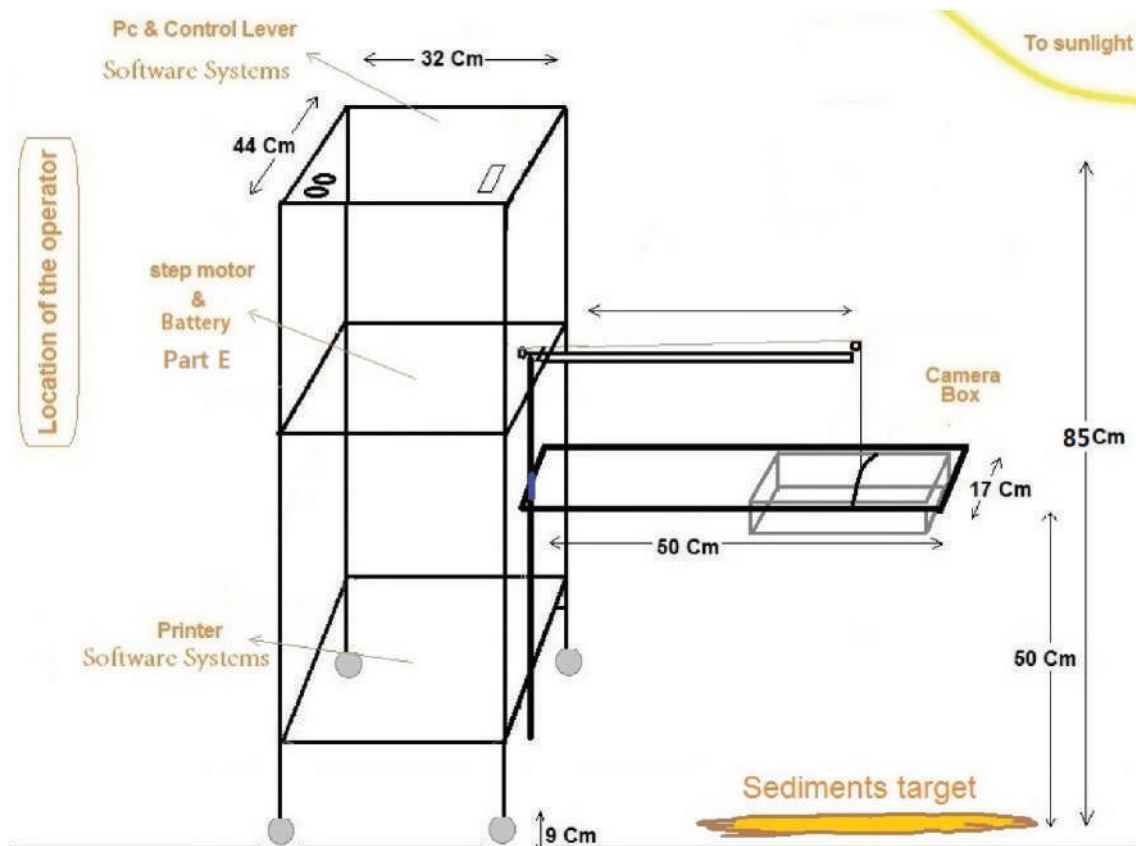
هدف از ساخت سیستم سخت‌افزاری مجموعه‌ای به صورت یکپارچه است، تا در پژوهش‌های میدانی، در محل و با سرعت، بدون انتقال دانه‌ها به آزمایشگاه، منحنی دانه‌بندی سطحی رسوبات برآورد شود. که شامل تصویربرداری صحیح از دانه‌ها و در مرحله بعد پردازش و آنالیز دانه‌های رسوبی توسط اپراتور، در نرم‌افزار متصل به آن می‌باشد.

نمونه رسوب در زیر لنز دوربین قرار می‌گیرد و به کمک کلیدهای کنترلی بخش متحرک به بالای نمونه هدایت و در چند فاصله مشخص و تعیین شده بسته به اندازه رسوبات تصویربرداری و به نرم‌افزار منتقل شده و با پردازش و آنالیز و انجام محاسبات منحنی دانه‌بندی برآورد می‌شود.

در شکل ۱ نمودار بلوکی مراحل کلی روند کار، شکل ۲ نقشه ساخت، جدول ۲ قطعات اصلی و ویژگی‌های سیستم تصویربرداری و آنالیز تصاویر و در شکل ۳ تصویر آن نشان داده شده است.



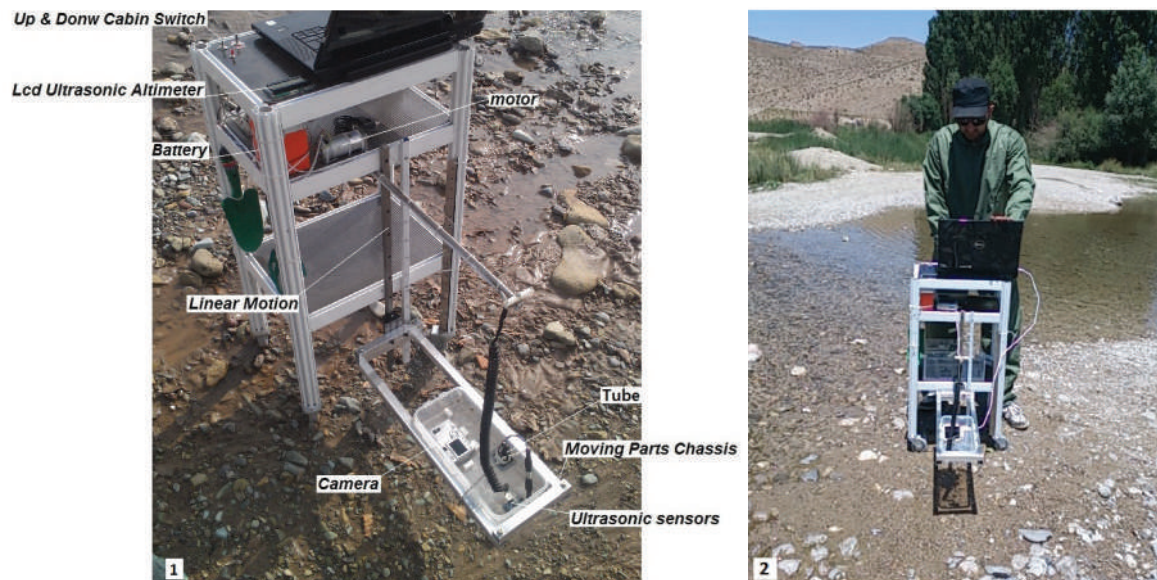
شکل ۱. نمودار بلوکی روند کار سیستم تصویربرداری و آنالیز تصاویر



شکل ۲. نقشه کلی ساخت سیستم تصویربرداری

جدول ۲. برخی مشخصات سیستم تصویربرداری و آنالیز تصاویر

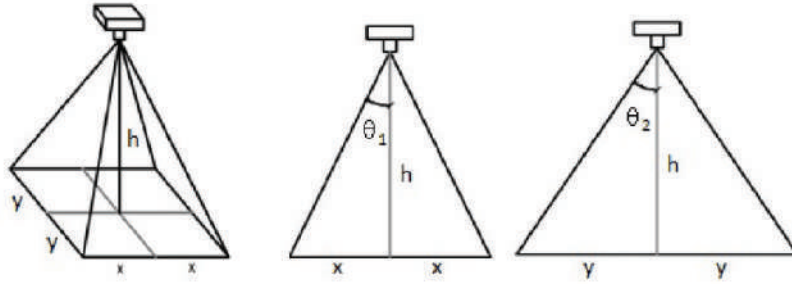
مشخصات و ویژگی‌های	Parts of the system	اجزاء و قطعات دستگاه
Aluminum , (85*44*32) Cm	The main chassis	جنس بدنه (شاسی اصلی)
12volt DC 4.7 Amp for motor & 4.8 volt 1.5 Amp for	Batteries	باتری‌ها
Ultrasonic sensors		
12 volt Dc 100rpm	Gearbox and motor	موتور و گیربکس
Mobil phone Htc (6.3Megapixels)	Camera	دوربین‌ها قابل نصب
Canon Digital IXUS 510 Hs (10.1Mega Pixels)		
A6 (16Mega Pixels) Mobil phone		
Model: SRF05	Ultrasonic sensors	سنسور التراسونیک
Voltage: 5volt		
Current consumption: 2 m amp		
Altimetry: 2-450 CM		
Angle sensor: 15 Degree		
Accuracy: 2mm		
Model: Avr Language planning: C	Microcontroller	میکروکنترلر
Image j	Software	نرم‌افزار
Galvanized Diagonal: 1mm	Wire	سیم بالا کشنده بخش متحرک
plastic diagonal: 9Cm	Wheel chassis	چرخ‌های شاسی
(50*17) Cm Aluminum	Moving parts chassis	شاسی متحرک
Plastic (13.5*18*5)Cm	Cabin	کابین
65Cm No :15 Galvanized	motion Linear	لینیر
Galvanized & plastic (4.5*6) Cm	Block	ارابه یا جعبه قرقره



شکل ۱.۳ (۱) سیستم تصویربرداری از رسوبات در محیط طبیعی و معرفی برخی قطعات آن، (۲) نمایش کلی و قرارگیری اپراتور در نمونه‌برداری تصویری از دانه‌های رسوبی حاشیه رودخانه

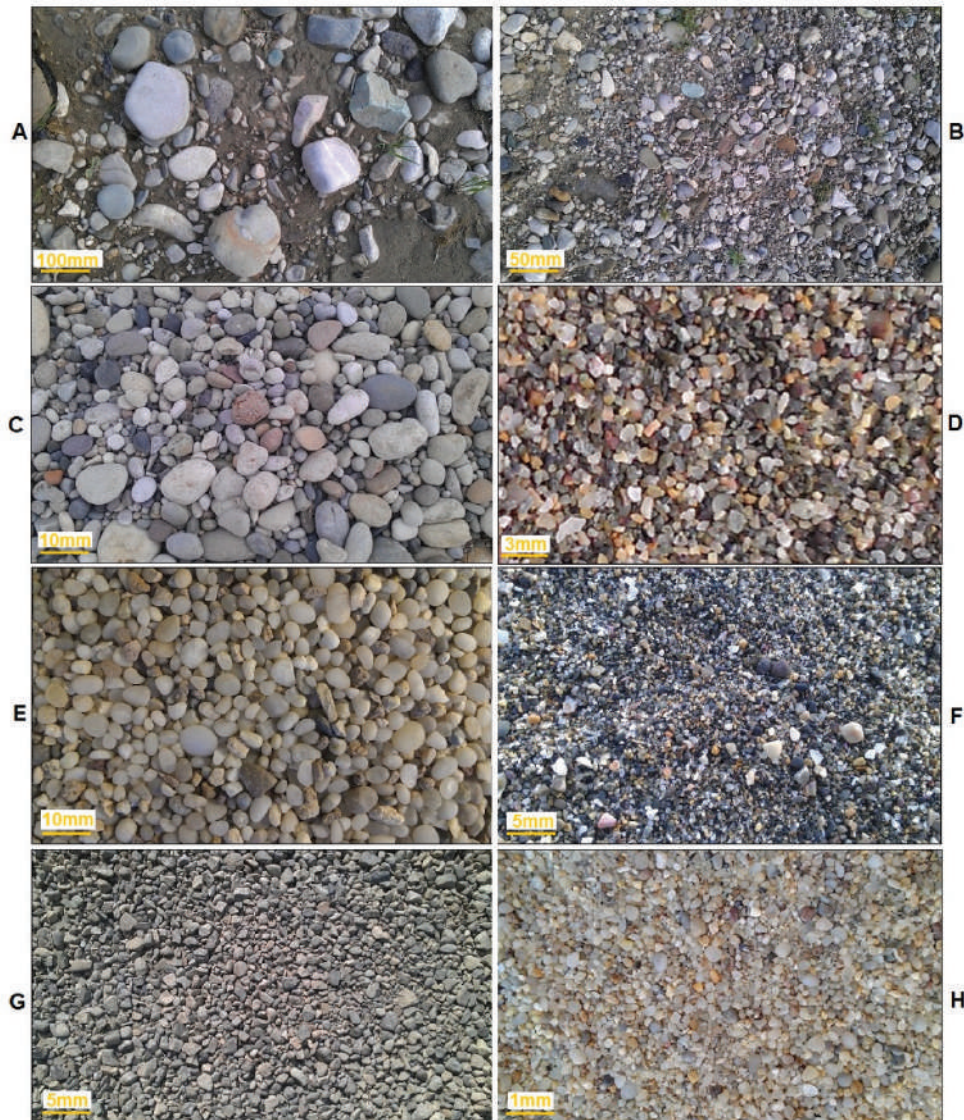
مساحت ناحیه تصویربرداری در زیر لنز دوربین مطابق شکل ۴ است. دوربین عمود به سطح رسوبات می‌باشد. عکس‌برداری توسط دوربین (برحسب mm) و A مساحت ناحیه تصویربرداری شده می‌باشد. ارتفاع دوربین از زمین، x و y نصف طول و عرض کادر

$$\tan \theta_1 = \frac{x}{h} \quad , \quad \tan \theta_2 = \frac{-y}{h} \quad , \quad A = 2x \times 2y$$



شکل ۴. مساحت چهارچوب سطح تصویربرداری و نمای جانبی آن

در شکل ۵، نمونه‌ها از تصاویر برداشت شده از دانه‌های شکل، گردی، جهت یافتگی و رنگ‌بندی در آنها مشاهده رسوبی در فواصل مختلف می‌باشد و طیف وسیعی از اندازه، می‌شود.



شکل ۵. نمونه‌هایی از تصاویر رسوبات با اندازه‌های مختلف دانه‌بندی، شکل، گردی، جهت‌گیری و رنگ‌بندی

نمونه‌برداری از دانه‌های رسوبی بستر

در مجموع بیش از ۵۰ نمونه رسوب سطحی با دانه‌بندی مشخص و نامشخص طبیعی در دسته‌بندی شن و ماسه مورد بررسی قرار گرفت. عکس‌برداری‌ها در شرایط نور طبیعی و با سیستم تصویربرداری ارائه شده انجام شد. از هر نمونه رسوب بسته به شرایط در فواصل پنج و ۱۰ و ۲۰ و ۵۰ سانتیمتری عکس‌برداری شد. در هر فاصله سه بار عکس‌برداری تکرار و به نرم‌افزار منتقل و منحنی دانه‌بندی از روش پردازش و آنالیز استخراج شد.

عملیات نرم‌افزاری

تصاویر نمونه‌ها با دوربین‌هایی با رزولوشن واقعی ((Pixel)) (۳۲۶۴*۱۹۵۲) و ((Megapixel)) (۶/۳۷) و ((Pixel)) (۴۶۰۸*۳۴۵۶) و ((Megapixel)) (۱۵/۹۲) و ((Pixel)) (۸۰۰۰*۶۰۰۰) مگاپیکسل به‌وسیله سیستم تصویربرداری عکس‌برداری شد و به نرم‌افزار متصل به آن منتقل شد. ویرایش ابتدایی و عملیات اصلی پردازش و آنالیز و استخراج داده‌های اولیه، شامل تعیین مساحت و تعداد تک تک دانه‌های درون تصویر با نرم‌افزار ImageJ (نسخه ۱/۵۳e) و محاسبات نهایی و رسم نمودار در نرم‌افزار Excel انجام شد و ضریب‌های تصحیح فاصله در محاسبات نهایی اعمال شد (برای سریع‌تر شدن عملیات پردازش توسط اپراتور در نرم‌افزار، به‌جای استفاده از خط کش مقیاس در کنار هر تصویر و پیدا کردن مقیاس تصاویر، برای فواصل تعریف شده، بسته به مشخصات کانونی دوربین‌های مورد استفاده، ضریب‌ها به‌صورت تجربی استخراج شد تا در زمان آنالیز از آنها برای تعیین مقیاس و همچنین تبدیل واحد استفاده شود).

تبدیل واحد و طول قطر میانگین هر دانه با استفاده از معادله زیر برای رسم توزیع دانه‌بندی مشخص شد.

$$D_{(mm)} = \sqrt{\frac{S_{\alpha}}{\pi}} \times 2 \times 0.2645 \times \alpha \quad (1 \text{ معادله})$$

در این فرمول، $D_{(mm)}$ قطر دانه، S_{α} مساحت دانه برحسب پیکسل مربع، $\pi=3.14159$ ، عدد ۰/۲۶۴۵ تبدیل طول پیکسلی به طول میلی‌متری، α ضریب تصحیح فاصله

دوربین با سطح رسوبات است.

در خروجی نتایج اولیه از نرم‌افزار پردازش و آنالیز، محیط و مساحت هر دانه به دست می‌آید و با توجه به شکل بی‌نظم دانه‌های رسوبی و فرض کروی بودن دانه‌ها و بحث کرویت^۱ و گردش‌دگی^۲ آنها، محاسبه قطر دانه‌ها از روی مساحت‌ها و تبدیل آنها به قطر متوسط (قطر معادل)، به‌جای استفاده از قطر بزرگ و کوچکی هر دانه، به علت پوشش بهتر و نتایج واقعی‌تر نسبت به میانگین‌گیری قطری استفاده شد. برای تبدیل مساحت به قطر متوسط، مساحت هر دانه برآورد و قطر میانگین تعیین و مقیاس پیکسل به مقیاس طول فیزیکی تبدیل و در نهایت با توجه به تعداد دانه‌های شمارش شده توسط نرم‌افزار، میزان فراوانی قطر دانه‌ها در کل دانه‌ها محاسبه و نمودار منحنی دانه‌بندی رسم شد. در آنالیز نمونه، دانه‌ها با قطر کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از حد، بسته به نوع و اندازه، برای بهبود نتایج، از محاسبات خارج شد.

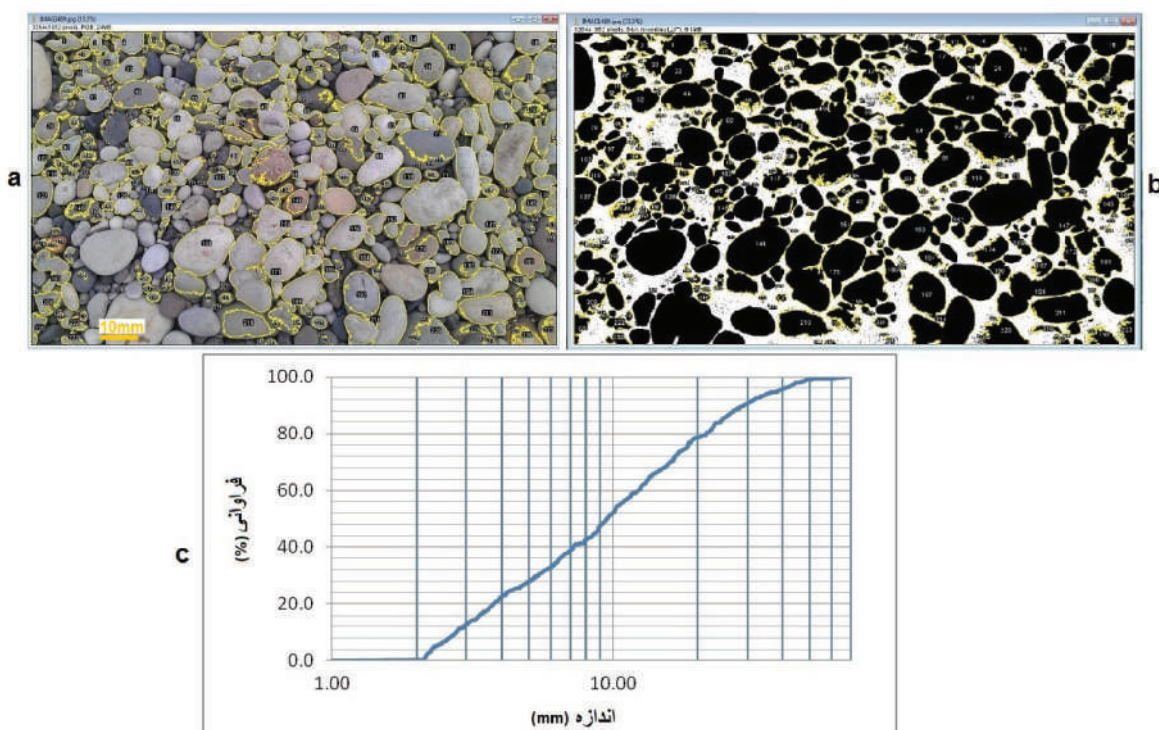
به‌طور خلاصه برای پردازش و آنالیز دانه‌های رسوبی از تصویر پس از برداشت تصویر مناسب از دانه‌های رسوبی در سیستم تصویربرداری و انتقال به نرم‌افزار متصل به آن، مراحل زیر انجام شد:

- تنظیمات اولیه تصویر (فاصله و یا مقیاس، چرخش، برش، کاهش سایه‌ها و تصحیح تصاویر و غیره)
- افزایش و یا کاهش کنتراست در صورت لزوم
- تبدیل تصویر رنگی به خاکستری^۳، (8bit)
- تبدیل تصویر خاکستری به سیاه و سفید (که در آن رنگ مشکی نمایانگر دانه‌ها و سفید زمینه تصویر است)
- اعمال فیلترها (فیلتر Median، فیلتر unsharp mask و ...)
- کاهش نویز^۴
- خالی و پر کردن برخی فضاها مورد نظر^۵
- اعمال تابع آبخیز^۶ (مرز مورفولوژی)
- آنالیز دانه‌های رسوبی شامل، تنظیمات اندازه‌گیری

1. Sphericity
2. Roundness
3. Grayscale
4. Despeckle
5. Fill Holes
6. Watershed

- انتقال نتایج اولیه به نرم افزار اکسل و محاسبات نهایی
 - در صورت داشتن معادل آنالیز دانه بندی دانه ها به روش الک، رسم آن و مقایسه دو نمودار با یکدیگر
 در شکل ۶ دانه های رسوبی و نمایش مرز بندی در دو حالت عادی و باینری و منحنی دانه بندی آنها و در شکل ۷ خلاصه ای از روند مراحل تعیین توزیع اندازه دانه ها نشان داده شده است.

در set measurements، تنظیم و اجرای Analyze particles (غیرال عددی هر دانه و به دست آوردن مساحت، قطر، محیط، مرکز جرم و غیره هر دانه و کل دانه های درون تصویر)، استخراج جدول ها، شکل مرز بندی نهایی دانه های شمارش شده (رسم بیضی معادل (منطبق) هر دانه در تصویر)، تعیین نوار مقیاس، ذخیره کد برنامه اجرا شده، رسم نقشه سطحی^۱



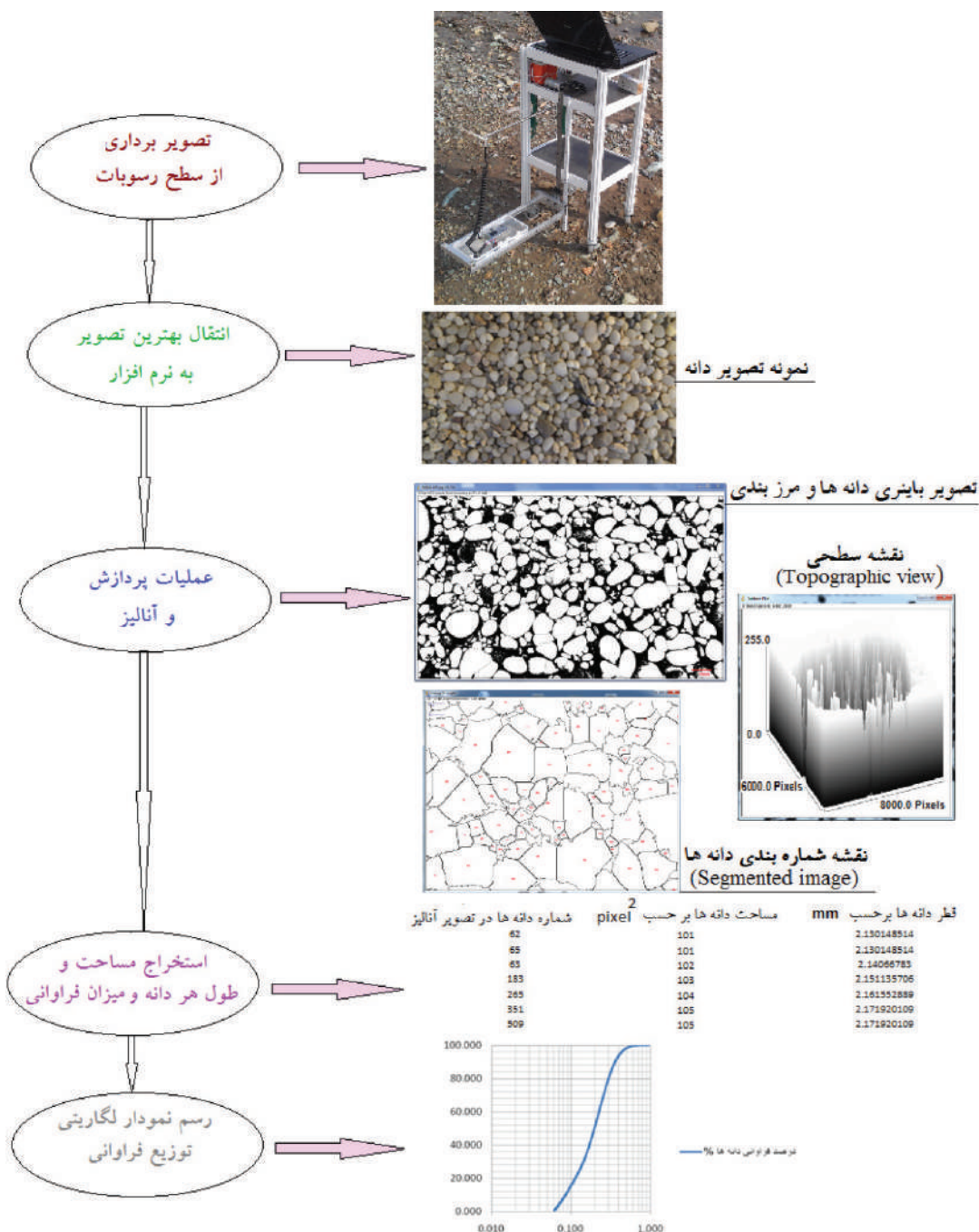
شکل ۶. a و b) رسوبات درشت دانه رودخانه ای در حالت عادی و باینری مرز بندی شده و c) نمودار منحنی دانه بندی

کوچک تر موجب ایجاد نبود تشخیص صحیح اندازه ها و مشکلات در نرم افزار پردازش می شود. در مراحل آزمایش بسیاری از تصاویر برای آنالیز اندازه دانه ها مناسب نبودند چون در آنها شناسایی دانه های فردی امکان پذیر نبود و به دلیل اندازه در مقایسه با وضوح و روشنایی دانه ها به هم گره می خوردند.

اعمال تنظیمات نرم افزار برای هر گروه از رسوبات (شامل فاصله عکس برداری تا میانگین سطح، زاویه تابش یکسان و عمود نور در همه جهات سطح و نبود ایجاد سایه و ... در نرم افزار (و سخت افزار)) ضروری می باشد.

در مواردی که تصاویر طیف وسیعی از دانه بندی را شامل می شود، نرم افزار مشکلاتی را در تشخیص سنگ ریزه ها رسوبی خواهد داشت. اگر خطای ناشی از پردازش تصویر را بتوان نادیده گرفت، برهمکنش بین دانه ها باعث کوچک تر دیده شدن، همپوشانی و تخریب برخی از دانه ها می شود (Stähly et al., 2017). اگر ترکیب دانه ها دارای تنوع زیادی در اندازه و شکل باشد، این اثرات تقویت می شود. شرایط نوری مختلف و تغییرات آن در محیط طبیعی، سایه ها، چسبیدگی دانه ها، رنگ بندی های مختلف، محدودیت کادر تصویربرداری و رسم مرز مورفولوژی در زمان پردازش و شکسته شدن سنگ های بزرگ تر به

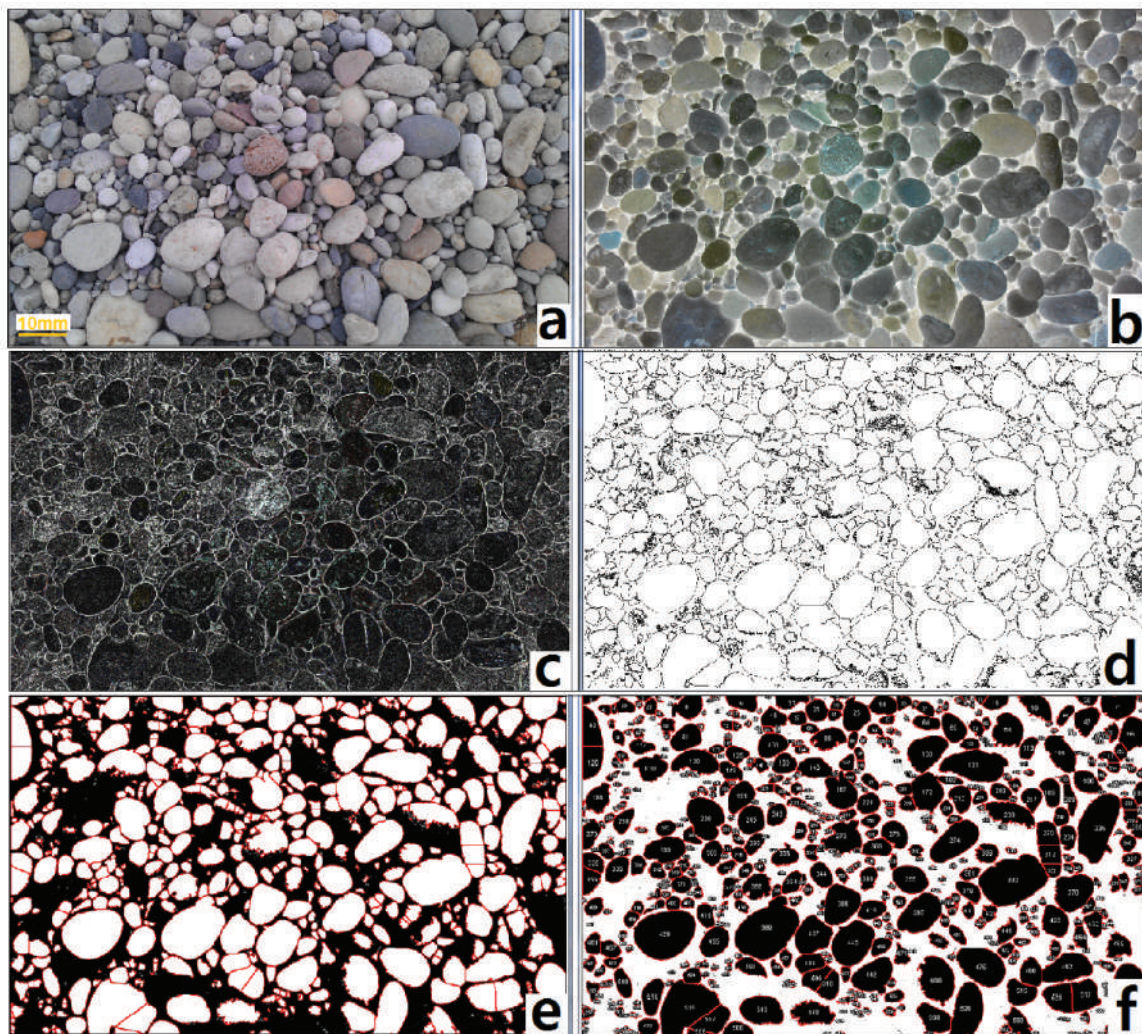
1. Topographic view



شکل ۷. روند کلی مراحل تعیین توزیع دانه‌بندی رسوبات سطحی از تصاویر

نسبی خطای دو نمودار ۲۳/۹٪ است. ضریب همبستگی مقادیر نظیر محورهای افقی دو روش (اندازه دانه‌ها) برابر ۰/۹۲۲۱ است که نشان‌دهنده همبستگی خوب (روند افزایشی و کاهش‌ی نزدیک و همسان نسبت به هم) نمودارهای رسم شده روش پردازش و الگ دانه‌های رسوبی می‌باشد.

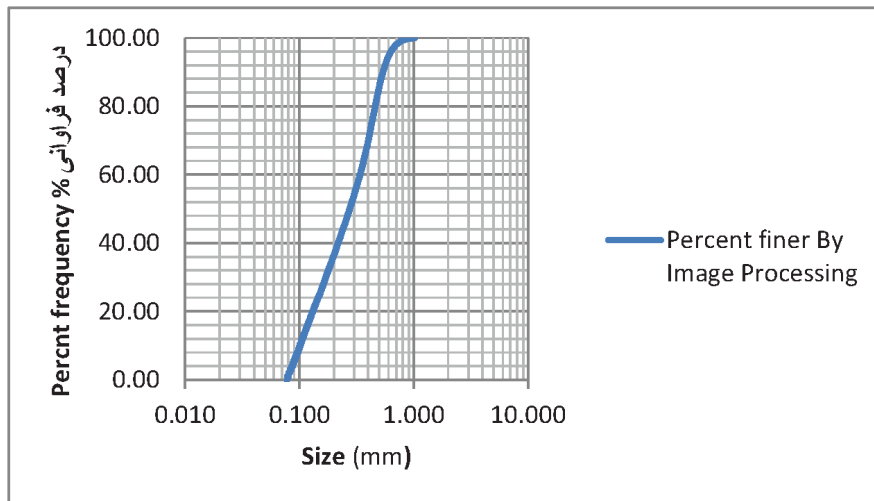
در شکل ۸ مراحل پردازش تا مرحله بیضی‌های منطبق شده، مرزبندی و شماره‌گذاری هر دانه را نشان می‌دهد. شکل ۹ نمونه‌ای از تصویر رسوب و در شکل‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ رسم در صد فراوانی به روش پردازش تصاویر، الگ و مقایسه نتایج آنها برای نمونه شکل ۹ نشان داده شده است. خطای مطلق ۰/۱۶۷، خطای نسبی ۰/۲۳۹ و درصد



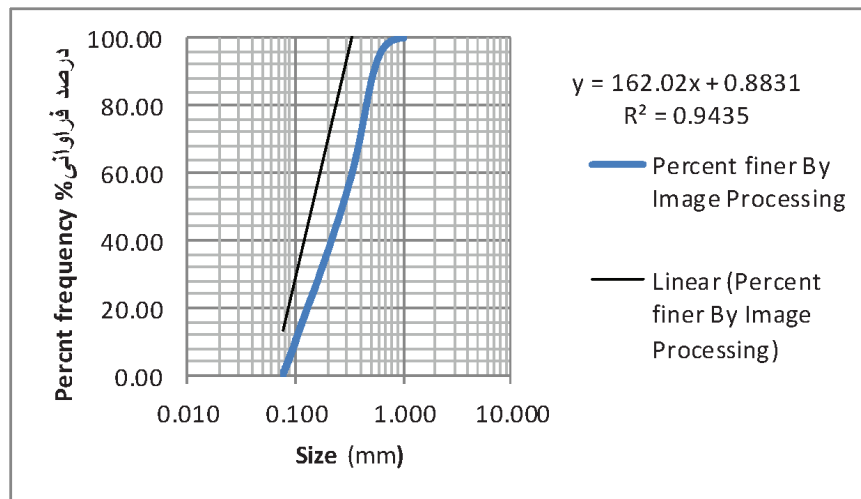
شکل ۸. مراحل پردازش دانه‌های رسوبی، تصویر a نمونه‌ای از رسوبات، تصاویر b, c, d, e, f مراحل پردازش دانه‌ها شامل جدا کردن پس‌زمینه (تفریق پس‌زمینه)، مرزبندی، شماره‌گذاری و آنالیز دانه است



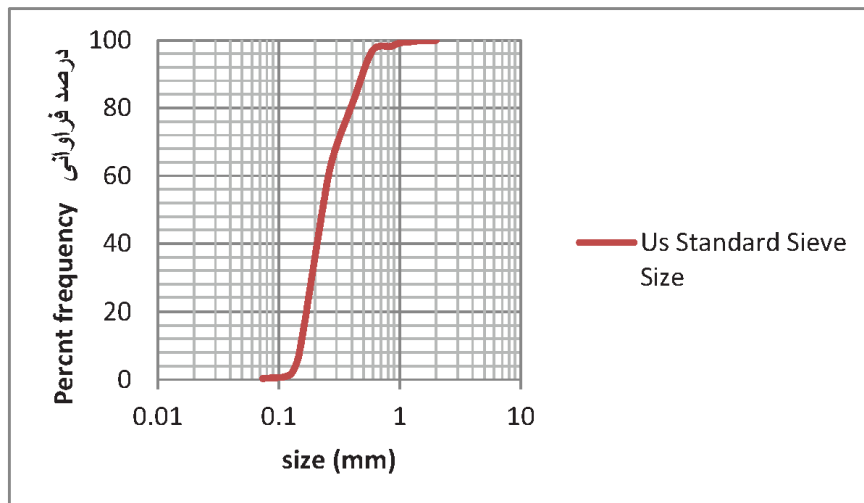
شکل ۹. نمونه تصویر دانه‌های رسوبی ساحلی که در فاصله پنج سانتیمتری با سیستم تصویربرداری، عکس‌برداری شده



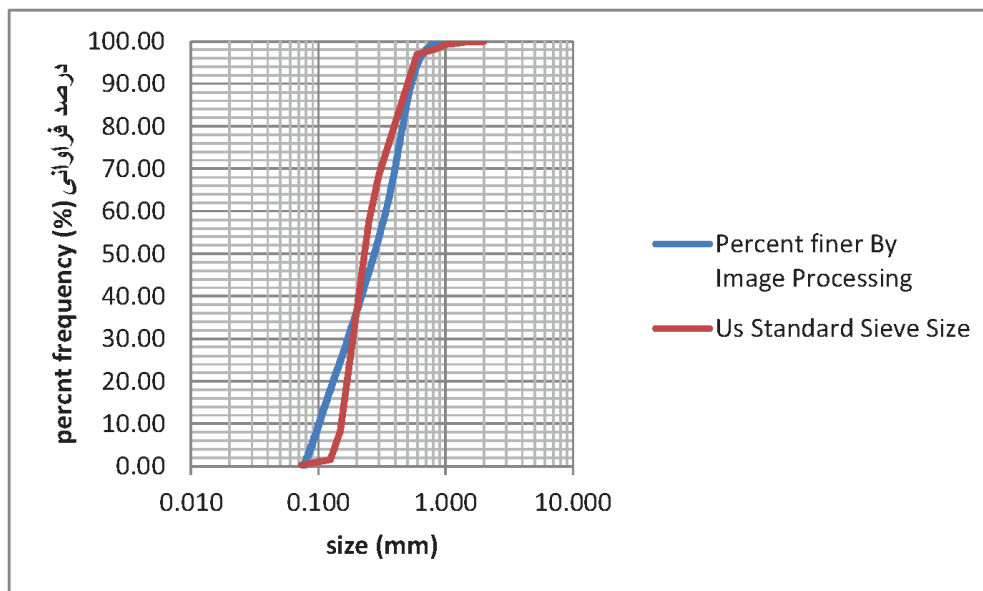
شکل ۹. درصد فراوانی (منحنی دانه‌بندی)، به روش پردازش تصاویر، نمونه رسوب شکل ۹



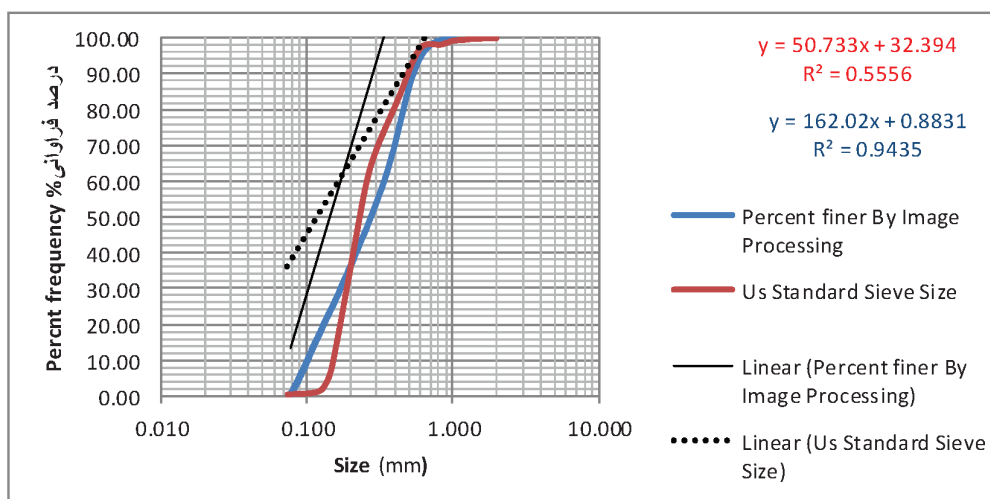
شکل ۱۰. درصد فراوانی (منحنی دانه‌بندی)، به روش پردازش تصاویر، نمونه رسوب شکل ۹، به همراه معادله رگرسیون خطی و ضریب رگرسیون (R-Squared)



شکل ۱۱. درصد فراوانی (منحنی دانه‌بندی) نمونه رسوب ساحلی شکل ۹ به روش الک کردن رسوبات



شکل ۱۳. مقایسه دو نمودار (درصد فراوانی) از روش پردازش تصاویر و الک، نمونه رسوب شکل ۹



شکل ۱۴. مقایسه دو نمودار (درصد فراوانی) از روش پردازش تصاویر و الک، نمونه رسوب شکل ۹، به همراه معادله رگرسیون خطی و ضریب شاخص (R-Squared) هر دو نمودار

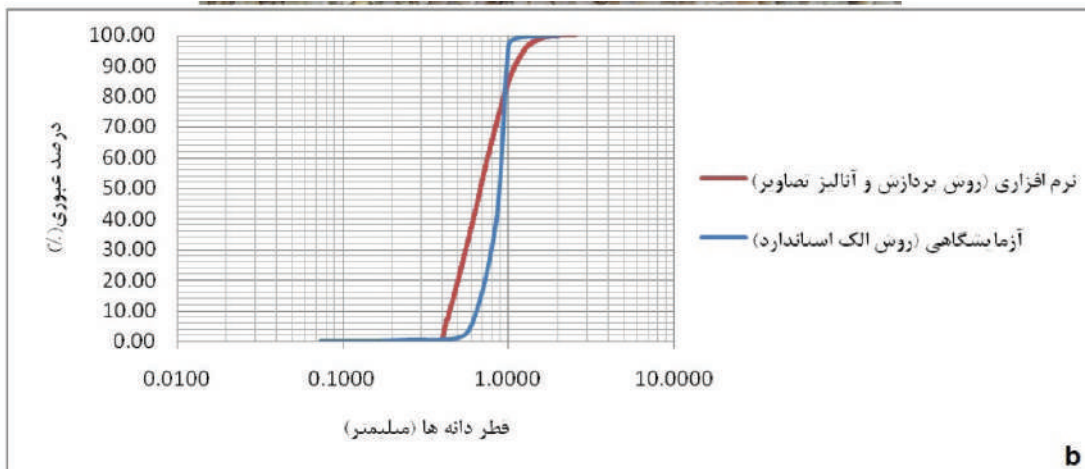
مقایسه میان روش پردازش تصاویر و الک

و روش پردازش تصاویر تعداد دانه‌ها-فرکانس^۲ را محاسبه می‌کند. نتیجه روش پردازش تصاویر یک توزیع دانه‌بندی تعداد-فرکانس در قطر یا مساحت-فرکانس می‌باشد. در شکل‌های ۱۵ تا ۱۸ نمونه‌هایی از دانه‌های رسوبی سطحی طبیعی و مقایسه نمودار دانه‌بندی آنها با روش الک برای لایه سطحی دانه‌ها نشان داده شده است.

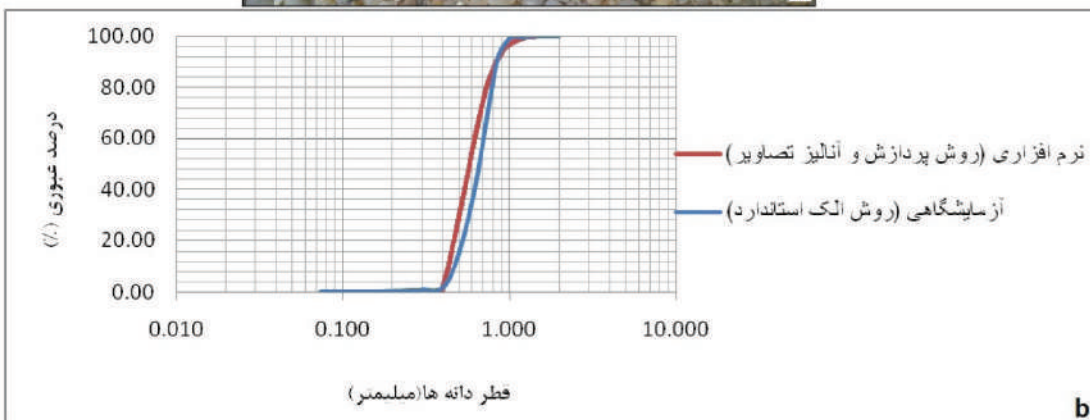
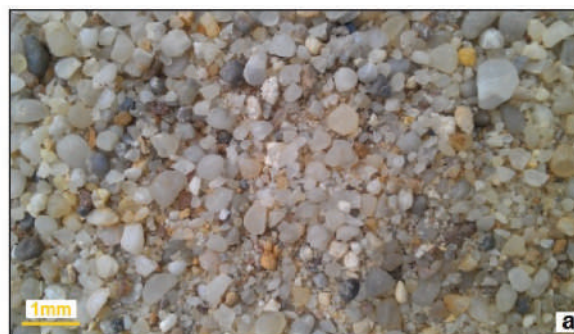
در روش الک، دانه‌های رسوبی از زیرمجموعه‌های مختلف کل حجم رسوب موجود در بستره، اندازه‌گیری می‌شود ولی برخلاف آن در روش پردازش، لایه بالایی و سطحی رسوب عکس‌برداری و اندازه‌گیری می‌شود (و خطای حاصل از شکل واقعی دانه‌ها را باعث می‌شود). نمونه در روش الک از یک نقطه برداشته ولی در روش پردازش از یک سطح انجام می‌شود. روش الک منحنی‌های جرم-فرکانس^۱

1. Mass-frequency
2. Number-frequency

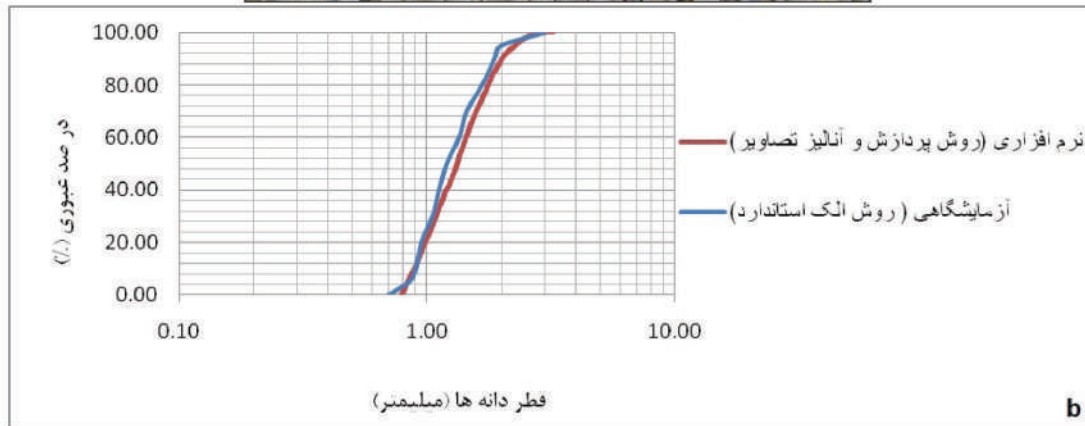
برآورد منحنی دانه‌بندی رسوبات درشت‌دانه سطحی با استفاده ...



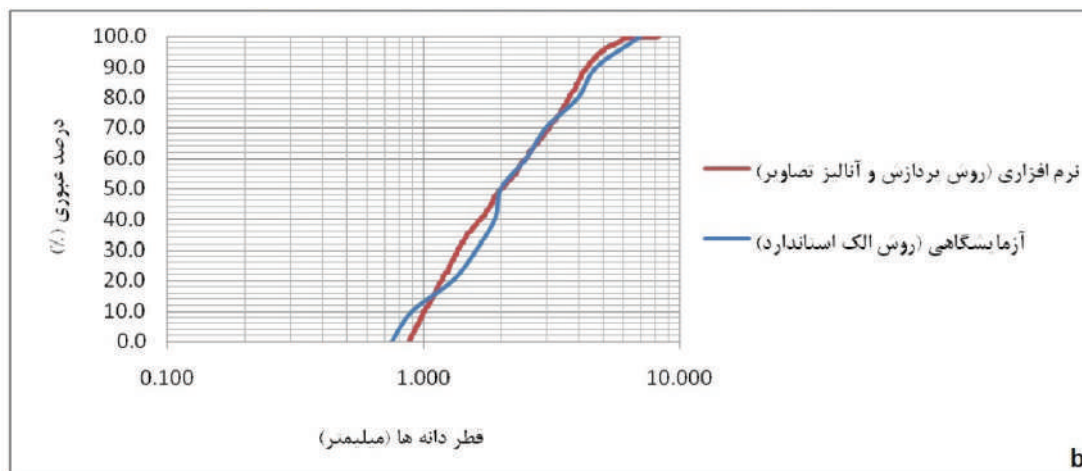
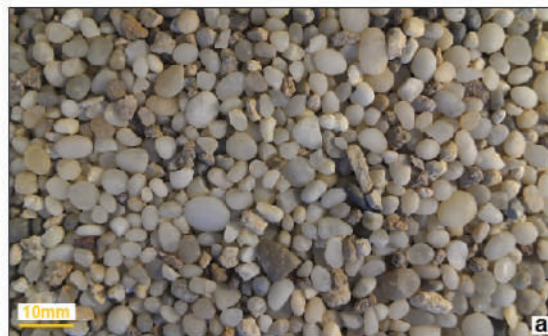
شکل ۱۵. (a) نمونه‌ای از دانه‌های رسوبی (b) نمودار توزیع دانه‌بندی از روش پردازش و مقایسه با روش الک



شکل ۱۶. (a) نمونه‌ای از دانه‌های رسوبی ساحلی (b) مقایسه نمودار توزیع دانه‌بندی از روش پردازش با روش الک



شکل ۱۷. (a) نمونه‌ای از دانه‌های رسوبی و (b) نمودار توزیع دانه‌بندی از روش پردازش و مقایسه با روش الک



شکل ۱۸. (a) نمونه‌ای از دانه‌های رسوبی و (b) نمودار توزیع دانه‌بندی از روش پردازش و مقایسه با روش الک

بحث

تشخیص افزایش و همبستگی نتایج روش پردازش و الگ کاهش دارد. بررسی نتایج نشان می‌دهد، که مقدار خطا در تعیین دانه‌بندی نمونه‌ها در حدود ۲۵ درصد است.

در کل خطاهای مرتبط با پردازش تصاویر برای به دست آوردن اندازه دانه‌بندی را می‌توان به سه نوع تفکیک کرد: (۱) خطاهایی که مرتبط با توانایی پردازش تصویر و روش‌های تحلیل تشخیص دقیق نواحی منحصربه‌فرد و اندازه‌گیری آنها در یک تصویر هستند و با اندازه واقعی دانه‌های ارتباط دارند. (۲) ایجاد انحنای پیچیدگی فضایی، به دلیل سطح سه‌بعدی رسوب که به‌صورت تصویر دوبعدی در صفحه با استفاده از لنز تشدید می‌شود. (۳) خطای فابریک در رویکردهای عکاسی، زیرا ساختار سه‌بعدی پیچیده یک رسوب به معنی همپوشانی دانه‌ها است و تا حدودی سبب پنهان شدن یکی از دیگری می‌شود و کجی دانه‌ها نسبت به صفحه تصویر، سبب بروز خطای فابریک می‌شود.

نتیجه‌گیری

مقایسه روش پردازش تصاویر با روش‌های الگ با استفاده از داده‌های رسوب میدانی منجر به نتایج زیر می‌شود:

۱. کیفیت نتایج بستگی به شکل دانه، گردی و جهت‌گیری، شرایط نوری، محدودیت سطح قرارگیری رسوبات، مشخصات دوربین، نرم‌افزار و روش پردازش و آنالیز تصاویر دارد.
۲. زمان در روش پردازش در مجموعه نمونه‌ها، به حداقل یک‌دهم روش الگ و هزینه آزمایش‌ها نیز پایین‌تر است. زمان پردازش و تحلیل تصویر برای اپراتور کارآزموده بسته به نوع تصویر، حدود ۱۰ تا ۱۵ دقیقه می‌باشد. یک اپراتور می‌تواند پردازش حدود ۴۰ نمونه را در هر روز انجام دهد (از آنجا که چند روز زمان برای یادگیری لازم است فقط برای تعداد زیاد نمونه‌ها این روش سودمند می‌باشد). مزایای این روش، سرعت بالا، هزینه کمتر و برآورد منحنی دانه‌بندی در محل نمونه‌ها بدون انتقال به آزمایشگاه می‌باشد.
۳. با توجه به نتایج بهتر در رسوبات رودخانه‌ای، روش پردازش تصاویر برای اندازه دانه‌های شن و ماسه (درشت‌دانه) و تهیه نقشه سطحی دانه‌بندی (نقشه

در این تحقیق تصویربرداری از دانه‌های رسوبی به‌منظور تعیین منحنی دانه‌بندی رسوبات سطحی درشت‌دانه انجام شد. نتایج نشان می‌دهد، مقایسه روش پردازش برای نمونه‌های شن و ماسه با شماره الگ ۱۸ تا ۱ یعنی رسوباتی با اندازه دانه‌بندی ۱ تا ۲۵/۵ میلی‌متر (و بزرگ‌تر) با روش الگ دارای همبستگی قابل قبول می‌باشد.

دو مسئله اساسی در تعیین توزیع دانه‌بندی به روش پردازش تصاویر وجود دارد اولی ناشی از طبیعت رسوب در زمان عکس‌برداری می‌باشد، سطح دانه‌های رسوبی بزرگ‌تر خشک‌شوندگی سریع‌تری نسبت به دانه‌های ریزتر که در شکاف‌ها قرار دارند نشان می‌دهد. اگر رسوب ریز روی سنگ‌های بزرگ‌تر قرار گیرند یا اگر سنگ‌های بزرگ‌تر دارای ترکیب‌های جهت‌گیری پیچیده باشند نرم‌افزار اغلب قادر به تشخیص دانه‌ها به‌صورت انفرادی نیست. مسئله دوم اینکه نرم‌افزار دانه‌های تکی را در برخی مواقع خرد و یا متصل به دانه‌های دیگر می‌کند و دانه بزرگ‌تری در نظر می‌گیرد. برای مثال در مورد پوشش گیاهی در میان دانه‌ها، بخش‌های خیس و سایه‌ها، می‌تواند باعث چنین مشکلی شوند و ارزیابی بیش از حد یا کمتر رخ دهد.

باید در نظر داشت در روش پردازش تصاویر حجم دانه‌ها در نظر نمی‌گیرد، درحالی‌که حجم آنها در نتایج الگ تأثیر دارد و دانه‌ها با استفاده از محورهای واقعی آنها اندازه‌گیری می‌شوند. رسوبات در محیط طبیعی با بارندگی و یا برابر عوامل دیگر به‌گونه‌ای که بر روی بیشترین سطح خود باشند قرار می‌گیرند و دراصل دانه‌های درشت در بالا و دانه‌های ریز در پایین باشند. همه اینها باعث اختلاف در نتایج روش پردازش تصاویر و روش الگ می‌شود.

درکل روش پردازش برای دانه‌بندی نزدیک به هم (انحراف معیار از میانگین کم)، اندازه کم و بیش یکنواخت، رسوبات درشت‌دانه سطحی در محیط طبیعی خوب عمل می‌کند. ولی در رسوبات با دانه‌بندی متنوع مشکلاتی ایجاد می‌شود و تخمین بیشتر از حد واقعی بخش ریز توزیع دانه‌بندی را به دنبال دارد. در نمونه‌های پردازش شده از رسوبات، زمانی که اندازه رسوبات کمتر از یک میلی‌متر می‌شود خطای

grainsize variability. *Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 275-278.

- Davis, H., 2010. *Creative Close-ups: Digital Photography Tips and Techniques*. Wiley publishing, ISBN: 978-0-470-52712-2, 14-120

- Di Stefano, C., Ferro, V. and Mirabile, S., 2010. Comparison between grain-size analyses using laser diffraction and sedimentation methods. *Bio Systems Engineering*, 106.

- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. and Eddins S.L., 2009. *Digital Image Processing Using MATLAB*. Gatesmark publishing; 2nd edition, ISBN13:0.9820854.0.0, 100-122.

- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., 2008. *Digital Image Processing*. (Third Edition), Prentice-Hall, ISBN: 978-0-13-168728-8, 98-130.

- 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, W07020.

- Graham, D. J., Rice, S. P. and Reid, I., 2005. Automated Sizing of coarse-grained sediments: Image-processing procedures. *Mathematical Geology*, 37, 1-28.

- Ghalib, A., 1999. Soil Particle Size Distribution by Mosaic Imaging and Watershed Analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13, S. 80-87.

- Harb, G. and Schneider, J., 2009. Application of two Automated Grain Sizing Approaches and Comparison with Traditional Methods. 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment.

- Kim, G. Y., Richardson, M. D., Bibee, D. L., Kim, D. Ch., Wilkens, R. H., Shin, S. R. and Song, S. T., 2004. Sediment type's determination using acoustic techniques in the Northeastern Gulf of Mexico. *Geosciences Journal*, 8, 1, 95-103.

- Lang, N., Irniger, A., Rozniak, A., Hunziker, R., Wegner, J. and Schindler, K., 2020. GRAINet: Mapping grain size distributions in

دانه‌بندی بستر رودخانه) مناسب‌تر است.

۴. سیستم تصویربرداری ساخته شده، مشکل نمونه‌برداری تصویری در عملیات میدانی را بر طرف و باعث افزایش دقت و کاهش زمان می‌شود.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری پژوهش‌کننده حفاظت خاک و آبخیزداری بخش سواحل و سازمان پژوهش‌های صنعتی ایران سیاسگزاری می‌شود.

منابع

- رجیبی، ع. م.، یآوری، ع. و سلوکی، ح. ر.، ۱۳۹۸. کاربرد مدل EPM در ارزیابی فرسایش خاک (مطالعه موردی، حوضه سازند، سد ساوه). فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۳، ۵۰، ۸۹-۹۸.

- عباسی، ن. الف.، سیوکی، م. ق.، یوسفی، م. و نویدی ایزد، ن.، ۱۳۹۵. اثر رخساره کروزیانا از نهشته‌های سازند نایبند (تریاس پسین) در برش پروده، جنوب باختری طبس، خاور ایران مرکزی. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۰، ۳۸، ۱-۱۵.

- ماهوش محمدی، ن.، هزارخانی، الف.، ۱۳۹۹. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال برای تفکیک واحدهای دگرسانی منطقه تخت گنبد سیرجان. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۴، ۵۳، ۳۱-۴۳.

- Bankole, S.A., Buckman, J., Stow, D. and Lever, H., 2019. Grain-size analysis of mud rocks: A new semi-automated method from SEM images. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 174, 244-256.

- Blott, S. J. and Pye, K., 2001. Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surface Processes and Landforms Earth Surface Process, Landforms*, 26, 1237-1248 (2001) DOI: 10.1002/esp. 261.

- Bosnic, I., Sousa, H., Cascalho, J. P., Taborda, R., Ribeiro, M. and Lira, M., C., 2012. New insights into image analysis applied to beach

river beds from UAV images with convolutional neural networks. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (EGU).

- Marchetti, G., Bizzi, S., Belletti, B., Carbonneau, P. and Castelletti, A., 2018. Orbital grain size mapping from Sentinel 2 images. *Geophysical Research Abstracts*, 20, EGU2018-13642.

- McEwan, I. K., Sheen, T. M., Cunningham, G. J. and Allen, A. R., 2000. Estimating the size composition of sediment surfaces through image analysis. *Engrs Water and Mar. Engng, Journals Department, Institution of Civil Engineers*, 12069, 189-195.

- Papanicolaou, Th. and Strom, K., 2004. Grain Size Analysis of Beach Sediment in Rich Passage Washington. A Report prepared for Pacific International Engineering.

- Prasad Shrestha, B., Poudel, L., Thapa, Bh. and Kumar Shrestha, N., 2011. Sediment Shape Characterization Using Digital Image Processing. The 12th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering, Thailand.

- Purinton, B. and Bookhagen, B., 2019. Introducing Pebble Counts: A grain-sizing tool for photo surveys of dynamic gravel-bed rivers. Manuscript under Review for journal *Earth Surface Dynamics*, CC BY 4.0 License.

- Rice, S. P. and Church, M., 1996. Grain-size sorting within river bars in relation to down-stream _ning along a wandering channel. *Sedimentology*, 57 (1), 232-251.

- Rubin, D. M., Chezar, H., Harney, J. N., Topping, D. J., Melis, T. S. and Sherwood, Ch. R., 2007. Underwater microscope for measuring spatial and temporal changes in bed-sediment grain size. *Sedimentary Geology* 202, 402-408.

- Rubin, D. M., 2004. A Simple Autocor-

relation Algorithm For Determining Grain Size From Digital Images of Sediment. *Journal of Sedimentary Research*, 74, 1, 160-165.

- Shin, S., 2004. Wavelet Analysis of Soil Mass Images for Particle Size Determination. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 19-27.

- Sime, L. C., 2003. Information on Grain Size in Gravel-Bed Rivers by Automated Image Analysis. *Journal of Sedimentary Research* 73, 630-636.

- Sonka, M., Hlavac, V. and Boyle, R., 2015. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. Fourth Edition, Publisher, Global Engineering: Timothy L. Anderson, ISBN-13: 978-1-133-59360-7, 105-181

- Stähly, S., Friedrich, H. and Detert, M., 2017. Size Ratio of Fluvial Grains' Intermediate Axes Assessed By Image Processing and Square-Hole Sieving. *Journal Hydraulic Engineering*, 143(6).

- Sukhtankar, R.K., 2008. *Applied Sedimentology*. CBS Publishers, ISBN: 81-239-1052-5.

- Turley, M. D., Bilotta, G. S., Arbociute, G., CHadd, R. P., Extence, C. A. and Brazier, R. E., 2016. Quantifying Submerged Deposited Fine Sediments in Rivers and Streams Using Digital Image Analysis. *River Research and Applications*, DOI: 10.1002/rra.3073.

- USGS, 2001. USGS east-coast sediment analysis; procedures, database, and geo referenced displays. U.S Geological Survey (USGS), 21-35.

- West, J. L. and Cameron, I. D., 2006. Using the medical image processing package ImageJ for Astronomy. *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 242-247.