



Research Paper

Utilizing Image Processing Techniques for Soil Particle Sizing

Keihan Moradveisi¹, Mohsen Isari^{2*} and Mehran Moradveisi³

¹M.Sc. Alumnus, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran

²Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran

³M.Sc. Alumnus, Department of Earthquake Engineering, Building and Housing Research Center, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

Article information

Received: July 06, 2023

Revised: September 01, 2023

Accepted: September 16, 2023

Keywords:

Python

Image Processing

Soil Granulation

Shape of Soil Particles

*Corresponding author:

m.isari@uok.ac.ir



Abstract

Counting the number of soil particles in grain size studies is of great importance, especially in geological, agricultural, environmental, and engineering sciences. It can be used for detailed analysis of soil properties, determining soil structure, and environmental analysis. The main goal of this research is to evaluate the grain size and shape recognition of soil particles using image processing techniques. In this study, initially, color images of soil grain size were acquired. Then, they were processed using Python programming language and the Scikit-Image library. Finally, for model validation, 17 rice grains and 8 coins were used. The results demonstrated that this method was able to accurately detect the number and shape of these particles. It also performed well in identifying the number and shape of soil particles. Furthermore, when compared to several other software tools in the same field, it provided better results. This approach can be utilized to plot the soil grain size curve, ultimately leading to reduced computational costs and time.

How to cite this paper: Moradveisi, K., Isari, M., & Moradveisi, M. (2024). Utilizing Image Processing Techniques for Soil Particle Sizing. *Environ. Water Eng.*, 10(2), 227-242. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.405737.1878> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Image processing refers to the process of analyzing, modifying, and extracting information from digital images using various methods, algorithms, and techniques. In this process, images are collected from various sources such as digital cameras, sensors, and imaging devices, and then analyzed and transformed using mathematical and engineering concepts. The main goal of image processing is to improve image quality, extract various features, detect patterns and objects, correct and modify images, and understand their content for use in various applications and systems. The technique of digital image processing has been expanded in the field of civil engineering since the 1990s with various objectives, some examples of which can be mentioned in the topics of resistance, permeability and compressibility of soil. In addition, it has been widely used in determining the shape parameters and deformation of materials, examining the cross-section of concrete samples. One of the most useful data about soil is related to particle size. A review of the previous literature in this field indicates the importance of image processing techniques in calculating and obtaining soil characteristics from the image. In this paper, we have used image processing technique with the aim of creating an efficient and fast method in relation to soil particle evaluation. To achieve this goal, soil particle grading was used to evaluate the number and extract their shape. This approach provides access to commonly available imaging capabilities such as mobile phones and medium-pixel cameras for material grading. Therefore, this method brings more speed and accuracy compared to other methods. It is hoped that this research can be a prelude to drawing a soil-grading curve using image-processing technique.

Material and Methods

In this research, a Samsung A series mobile phone camera was used. This 32-megapixel camera provided the desired quality for taking pictures. Images were taken of three materials with distinct visual properties, including river materials, rice grains, and coins. To convert color images to grayscale, the original images were imported into Python using the Scikit-Image library for processing. By converting the image to grayscale, a single-channel image is obtained where each pixel represents a specific light intensity. Real-time images are usually three-channel including

Environment and Water Engineering

Red-Green-Blue (RGB). Other colors are obtained from the combination of these three primary colors. In some image processing applications, there is a need to perform various processing on each pixel; however, processing on RGB pixels is not possible due to high computational complexity and the need to store them. To solve these problems, RGB images are first converted to grayscale images. Then the required processing is performed. The grayscale scale compresses an image to its minimum pixel and increases the visualization of images. Another advantage of this conversion is the easy and correct application of the Threshold algorithm on the image. In this research, three methods of converting color image to grayscale were described. Brightness method, average method and luminance method. The luminance method was used to convert color image to grayscale. In this method of calculating brightness, weighting is done based on primary colors. The numerical value of each gray pixel is as the weighted sum of red, green and blue pixels related to that pixel. Then, thresholding is performed. Thresholding is an operation in image processing that is applied to grayscale images. This method is one of the simplest methods of image segmentation that divides pixels in the image into two categories. This method converts grayscale or RGB images to binary images. The Otsu method was used in this research for thresholding operations. To perform morphological processing, it is necessary to swap black and white pixels with each other. In this operation, the background of the image turns white and soil particles turn black. Morphological processing may change or eliminate noise and image clutter depending on the size and shape of interest. Finally, a contour border that represents lines or separating edges is applied to the image. These borders are usually identified by changes in color intensity or light intensity in the image. Using a border image can be useful in object detection and cleaning, determining borders and shapes, shape analysis, detecting slope and edge direction and other tasks related to image processing.

Results

Counting various grains such as soil particles, cereals, cells, etc. in high numbers is not possible by humans, so this research used 17 rice grains with a black background and 7 coins with a white background to ensure the

accuracy of the counted grains. Some software available in the market is sensitive to the background of images, and this increases the error; therefore, in this research, it was tried to use two images with different backgrounds. This number is countable and known for humans; therefore, this method was used for validation. The result of the image processing operation on the color image and the related explanations of the stages of this transformation for extracting the number and shape of soil particles are presented in Fig. 2.

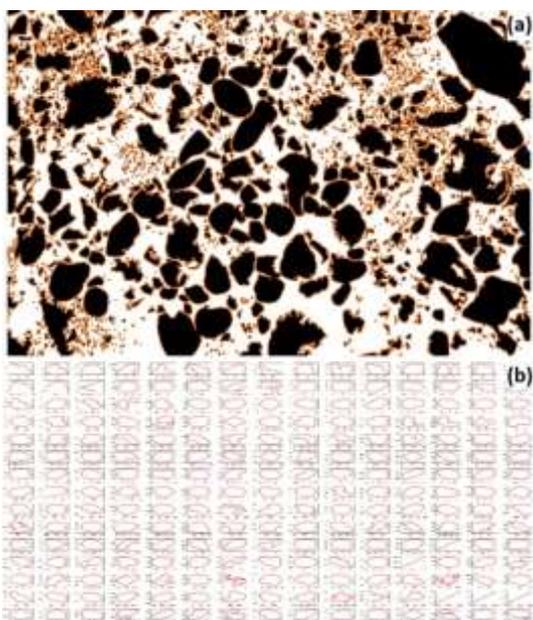


Fig. 2: a) Number of identified soil particles and b) shape of soil particles

Soil particles were mostly composed of small sizes. Therefore, the counting of fine-grained particles was evaluated. The research showed that the accuracy of image processing methods is severely limited by shadows and heterogeneous backgrounds, but as observed in the validation section, the proposed method is not sensitive to the image background and can accurately and with

high precision process images with two black and white background colors. Considering the results of the research, image processing techniques can be considered an effective and efficient step in various fields including river engineering and environmental issues.

Conclusions

The aim of this research was to evaluate soil particles using image processing techniques and to extract grain shapes. The Scikit-Image library and the Python programming language were used to achieve this. Some of the important results obtained from this research are as follows: 1. The developed program is not sensitive to images with an average number of pixels; therefore, the use of image processing with the help of ordinary cameras does not impose any limitations. This reduces the need for expensive imaging equipment; 2. High accuracy in detecting and counting the number of coarse and fine soil particles is another feature of the program developed in this research. Using this feature in evaluating soil erosion and sedimentation and drawing a soil-grading curve is important; and 3. This program has the ability to extract soil particle shapes from images. Given that the written program has the ability to evaluate any type of grain including rice, cereals, soil particles, etc. it can be used in various industries including agriculture that need to estimate the number and shape of grains. It is hoped that this research will be able to take an effective step in various management areas including water resources and environmental issues.

Data Availability

The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

استفاده از فن های پردازش تصویر به منظور دانه بندی خاک

کیهان مرادویسی^۱، محسن ایثاری^{۲*} و مهران مرادویسی^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
^۲استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
^۳دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی زلزله، پژوهشکده ساختمان و مسکن، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۴/۱۵]	<p>شمارش تعداد دانه های خاک در مطالعات دانه بندی، به ویژه در علوم زمین شناسی، کشاورزی و محیط زیست و مهندسی دارای اهمیت است. از جمله آن می توان به تحلیل دقیق خصوصیات خاک، تعیین ساختار خاک و تحلیل محیط زیستی اشاره کرد. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی دانه بندی و تشخیص شکل ذرات خاک با استفاده از فن های پردازش تصویر است. در این پژوهش، ابتدا تصاویری به صورت رنگی از دانه بندی خاک تهیه شد. سپس این تصاویر به وسیله زبان برنامه نویسی Python و کتابخانه Scikit-Image پردازش شدند. در نهایت برای اعتبارسنجی مدل، از ۱۷ عدد دانه برنج و ۸ عدد سکه استفاده شد. نتایج نشان داد که این روش با دقت بالا توانست تعداد و شکل آن ها را تشخیص دهد. همچنین در تشخیص تعداد و شکل ذرات خاک نیز به خوبی عمل کرد. به علاوه، در مقایسه با چندین نرم افزار دیگر در همین زمینه عملکرد بهتری را از خود ارائه کرد. با کمک این روش می توان منحنی دانه بندی خاک را رسم کرد. این رویکرد منجر به کاهش هزینه و زمان محاسبات می شود.</p>
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۶/۱۰]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۶/۲۵]	
واژه های کلیدی: پایتون پردازش تصویر دانه بندی خاک شکل ذرات	
*نویسنده مسئول: m.isari@uok.ac.ir	



نحوه استناد به این مقاله:

مرادویسی، کیهان، ایثاری، محسن. & مرادویسی، مهران. (۱۴۰۳). استفاده از فن های پردازش تصویر به منظور دانه بندی خاک. محیط زیست و مهندسی آب. 10(2) 227-242. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.405737.1878>



۱- مقدمه

شامل وزن مخصوص، انسجام، نفوذپذیری و غیره به کار برد. روش متداول برای تعیین PSD شامل آنالیز غربال و آنالیز هیدرومتر است (Astm 2017). از آنجایی که تجزیه و تحلیل هیدرومتر بر اساس اصل رسوب‌گذاری و قانون استوک است، بنابراین محدودیت‌هایی دارد که در نتیجه، آن را به فرایندی زمان‌بر تبدیل کرده (Coates and Hulse 1985) است. طبقه‌بندی خاک‌ها به روش پردازش تصویر دیجیتال (DIP)^۱ دارای مزایای از جمله، کاهش تعداد اپراتورها، کاهش خطاهای محاسباتی، ارائه داده‌های پایدار مبتنی بر تصویر از یک نمونه است که به نتایج سریع‌تر از روش‌های سنتی از جمله تحلیل هیدرومتر دست پیدا می‌کند. با توجه به مطالب گفته شده می‌توان به گستردگی و اهمیت استفاده از فن‌های پردازش تصویر در علوم مختلف از جمله مهندسی عمران پی برد؛ بنابراین محققین بسیاری در تحقیقات خود از این فن بهره برده‌اند. Kim et al. (2023) یک رویکرد جدید برای تعیین کمیت آنالیز اندازه ذرات خاک پیشنهاد دادند که با استفاده از تحلیل بینایی ماشین و دوربین سه کانال قرمز-سبز-آبی (RGB)^۲ مورد بررسی قرار گرفت. هدف این روش غلبه بر محدودیت‌های فن‌های سنتی با ارائه تجزیه و تحلیل کارآمد و خودکار خاک‌های ریزدانه است. این پژوهش از یک دوربین دیجیتال برای ثبت خواص ته‌نشینی ذرات خاک استفاده کرده و نیاز به هیدرومتر را از بین می‌برد. نتایج تجربی اثربخشی رویکرد مبتنی بر بینایی ماشین را در تعیین دقیق توزیع اندازه ذرات خاک نشان می‌دهد. در پژوهشی برای شناسایی مرز ترک‌ها از فن‌های پردازش تصویر استفاده شد. مشخص کردن کادر تصویر با کمک یادگیری عمیق و روش‌های مرسوم پردازش تصویر در پژوهش Yu et al. (2022) نشان داد که پردازش تصویر با کمک یادگیری عمیق دقت بالاتری را نسبت به فن‌های مرسوم پردازش تصویر دارد. تحلیل شکل ذرات سنگ‌دانه‌های درشت برای تضمین کیفیت مخلوط‌های دارای سیمان و آسفالت بتنی مهم است. روش‌های سنتی برای اندازه‌گیری اندازه ذرات سنگ‌دانه، مانند کالیپر دستی یا الک مکانیکی، زمان‌بر و نیرو محور هستند. دقت روش‌های پردازش

پردازش تصویر به فرایند تحلیل، تغییر و استخراج اطلاعات از تصاویر دیجیتالی با استفاده از روش‌ها، الگوریتم‌ها و فن‌های مختلف اشاره دارد. در این فرایند، تصاویر از منابع مختلف مانند دوربین‌های دیجیتالی، حس‌گرها و دستگاه‌های تصویربرداری جمع‌آوری شده و سپس با استفاده از مفاهیم ریاضی و مهندسی، تحلیل و تبدیل می‌شوند. هدف اصلی پردازش تصویر، بهبود کیفیت تصاویر، استخراج ویژگی‌های مختلف، تشخیص الگوها و اشیاء، تصحیح و اصلاح تصاویر و درک محتوای آن‌ها به منظور استفاده در برنامه‌ها و سامانه‌های مختلف است. روش پردازش تصویر دیجیتال در بسیاری از زمینه‌ها از جمله در تحقیقات پزشکی در رابطه با تجزیه و تحلیل سلول‌ها، اندامک‌های موجودات زنده و همچنین در پیش‌بینی آب‌وهوا در علوم مربوط به هواشناسی و استخراج فناوری‌هایی مانند اثرانگشت، اسکن شبکیه چشم، دید در شب، صنایع دفاعی، استفاده شده است (Mora et al. 1998). مواد دانه‌ای انواع مختلفی دارد که هر کدام از آن‌ها در صنایع مختلف کاربردهای خاص خود را دارند. به عنوان مثال می‌توان به موادی که شامل شن، خاک، زغال‌سنگ، غلات، سنگ معدن، پودرهای دارویی، قرص‌ها و حتی غذای سگ است، اشاره کرد (Behringer et al. 1999). فن پردازش تصویر دیجیتال در حیطه مهندسی عمران از دهه ۹۰ میلادی با اهداف مختلفی گسترش یافت که برخی از نمونه‌های آن را می‌توان در مباحث مقاومت، نفوذپذیری و تراکم‌پذیری خاک مثال زد. علاوه بر این در تعیین پارامترهای شکل و تغییر شکل مصالح، بررسی مقطع نمونه‌های بتنی به طور گسترده مورد استفاده واقع شده است (Aydin and Kurnaz 2023). یکی از مفیدترین داده‌ها در مورد خاک مربوط به اندازه ذرات (PSD)^۱ است. اندازه ذرات بخش مهمی از مکانیک خاک به ویژه در مهندسی ژئوتکنیک است. در هنگام بارگذاری یک سازه، مواد دانه‌ای متشکل از ذرات به طور جداگانه با یکدیگر تعامل کرده تا در برابر بارگذاری اعمال شده مقاومت کنند (Yang and Luo 2015). از اندازه ذرات برای طبقه‌بندی خاک استفاده می‌شود. در نتیجه می‌توان آن را در پیش‌بینی هر رفتار مکانیکی و هیدرولوژیکی خاک

¹Particle Size Distribution²Digital Image Processing³Red-Green-Blue

می‌تواند برای استخراج سریع پارامترهای شاخص برای مخلوط آسفالت استفاده شود. در مقایسه با روش‌های آزمودن سنتی، این روش فقط به استفاده از تلفن همراه و رایانه شخصی نیاز دارد؛ بنابراین یک روش تحلیلی سبک و هوشمند برای به دست آوردن اطلاعات در مورد مخلوط آسفالت و سنگدان (Dan et al. 2021) است. ارزیابی عددی میزان تأثیر توزیع اندازه ذرات زغال‌سنگ بر ضریب انتشار گاز با روش پردازش تصویر پژوهشی است که نشان‌دهنده توانمندی روش پردازش تصویر است. روش تصویری می‌تواند داده‌های مورفولوژیکی هر ذره را استخراج کند، بنابراین توزیع اندازه ذرات به دست آمده دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتر است (Liu et al. 2022). ارزیابی توزیع اندازه ذرات با استفاده از یک رویکرد کارآمد بر اساس فن‌های پردازش تصویر با استفاده از زبان برنامه‌نویسی MATLAB و مقایسه آن با روش غربال استاندارد در پژوهش Damadipour et al. (2019) نشان داد که توافق خوبی بین نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل غربال و نتایج حاصل از درجه بندی نظری بر اساس روش پردازش تصویر وجود دارد.

با توجه به اطلاعات ارائه شده در این بخش، اهمیت بهره‌برداری از فن‌های پردازش تصویر در علوم مشهود است. باین‌حال، مطالعات اندکی در زمینه بررسی و ارزیابی وضعیت ذرات خاک رودخانه توسط فن‌های پردازش تصویر، با بهره‌گیری از زبان برنامه‌نویسی پایتون و کتابخانه Scikit-Image، انجام شده است. کانال‌های طبیعی از دانه‌هایی با اندازه ناهمگن تشکیل شده‌اند که به‌طور غیریکنواخت در مقیاس‌های فضایی مختلف پراکنده شده‌اند. کمی‌سازی توزیع اندازه دانه‌های بستر رودخانه‌ای چالش بزرگی برای مطالعات رفتار کانال رودخانه در هیدرولیک، ژئومورفولوژی و اکولوژی است. به‌عنوان مثال، تغییر اندازه و تعداد دانه‌ها در واحد سطح برای نشان دادن انتقال رسوب بسیار مهم است. علاوه بر این شکل ذرات نیز می‌تواند بر خواص فیزیکی و مکانیکی، از جمله زاویه اصطکاک داخلی (Shinohara et al. 2000) مدول مؤثر و تنش تسلیم، مدول برشی کرنش کوچک (Athassiadis et al. 2014) و ویژگی‌های هدایت هیدرولیکی تأثیر بگذارد (Garcia et al. 2009). بنابراین، مطلوب است تا روش‌های نسبتاً دقیق و

تصویر به‌شدت توسط سایه‌ها و پس‌زمینه‌های ناهمگون محدود می‌شود. (Tuan et al. (2022) یک سامانه بازرسی خودکار بر پایه دید استریو (SVIS)^۱ را برای شناسایی و تحلیل شکل ذرات سنگدانه درشت توسعه دادند. سامانه پیشنهاد شده نقص‌های فناوری‌های پردازش تصویر را برطرف کرده و به‌طور قابل‌توجه به فرایند تصمیم‌گیری در حین انجام تحقیق در محل کمک می‌کند.

بررسی رطوبت خاک یک پارامتر مهم در حوزه‌های مختلف کشاورزی و آب‌شناسی است. مقاومت فشاری بدون محدودیت (UCS)^۲ و محتوای رطوبت عوامل کلیدی در تعیین خصوصیات مکانیکی مؤثر خاک می‌باشند. برای تعیین UCS و محتوای رطوبت خاک از فن‌های پردازش تصویر ویژگی‌های موردنیاز استخراج شد. سپس با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)^۳، ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۴ و جنگل تصادفی (RF)^۵ عملیات کاهش و دسته‌بندی می‌شود (Sagayaraj et al. 2021). روش پیشنهادی برای برآورد دبی رودخانه با استفاده از فن‌های پردازش تصویر مبتنی بر سرعت سنجی تصویر در مقیاس بزرگ (LSPIV)^۶ است. مطالعه حاضر بر ارزیابی این فن برای اندازه‌گیری جریان بر اساس موارد تجربی تمرکز دارد. کیفیت نتایج با اندازه‌گیری‌های سنتی تحلیل و مقایسه شد. دقت اندازه‌گیری‌ها به نظر می‌رسد که حداقل آستانه‌ها را برآورده می‌کند و نتایج امیدوارکننده است (Santos and Fernandes 2022). پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن با مواد جایگزین سیمان (CRM)^۷ و با استفاده از پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی موضوعی است که در (Waris et al. 2020) پیشنهاد شد. نتایج نشان داد، استفاده از ابزارهای پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن مؤثر است. از فن‌های پردازش تصویر برای طبقه‌بندی تصاویر با کمک داده‌های ماهواره لندست به جهت ارزیابی و تأثیر سیل بر کاربری و پوشش زمین استفاده شده است. نتایج ثابت می‌کند که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش تصویر قابلیت تحلیل و ارزیابی سیل بر روی کاربری و پوشش زمین را دارد (Kalidhas and Sivakumar 2022). پردازش تصویر

⁵Random Forest⁶Large Scale Image Velocimetry⁷Cement Replacement Material¹Stereo Vision-based Inspection System²Unconfined Compressive Strength³Artificial Neural Network⁴Support Vector Machine

ارمغان می‌آورد. امید است این پژوهش بتواند مقدمه برای رسم منحنی دانه‌بندی خاک با استفاده از فن پردازش تصویر باشد.

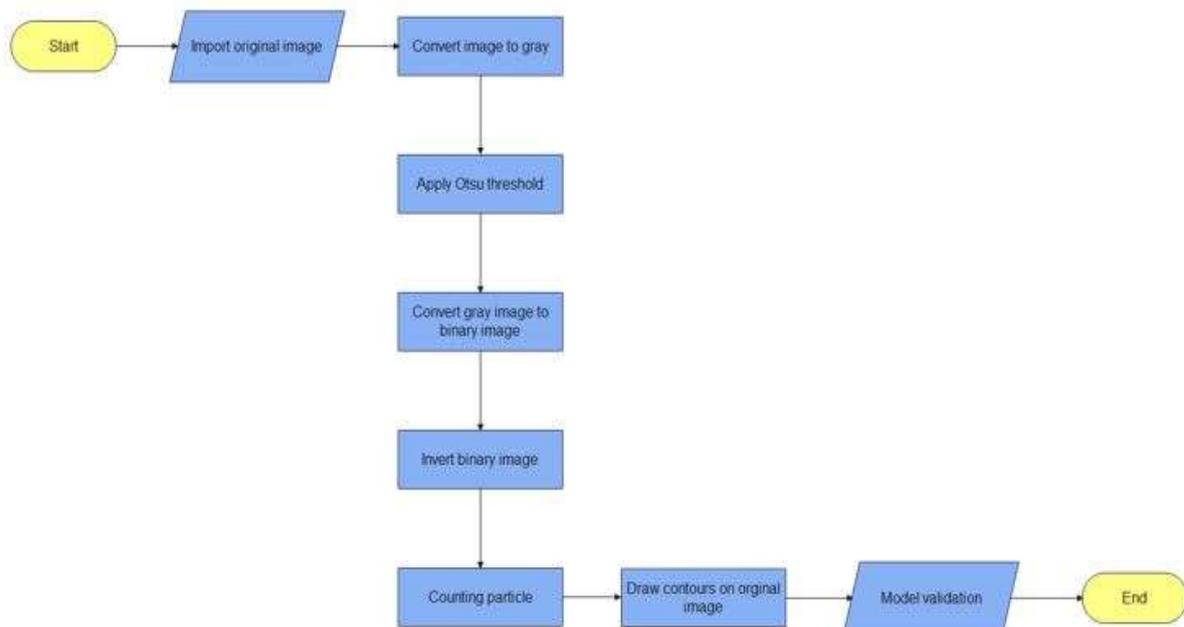
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- پایتون

برای به دست آوردن تعداد و شکل ذرات دانه‌بندی خاک، روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی وجود دارد که اکثر این نرم‌افزارها نیازمند خرید قانونی لایسنس هستند. پایتون به‌عنوان یک زبان برنامه‌نویسی سطح بالا با ویژگی‌های منبع باز و مفسری، در زمینه‌های متعددی از جمله طراحی وب‌سایت، شبکه‌های عصبی و پردازش تصویر استفاده می‌شود. اکوسیستم گسترده پایتون در جوامع علمی جهانی به توسعه‌اش در زمینه‌های مختلف کمک می‌کند. در زمینه پردازش تصویر، پایتون با استفاده از کتابخانه‌های متنوع توانایی برجسته‌ای در تحلیل تصاویر دارد (Xu et al. 2016). از جمله این کتابخانه‌ها می‌توان به OpenCV و Scikit-Image اشاره کرد. Scikit-Image دارای توانایی ویژه در پردازش تصویر است و الگوریتم‌های متعددی از قبیل تقسیم‌بندی، تبدیل‌های هندسی و تشخیص ویژگی را به‌صورت رایگان و بدون محدودیت در اختیار کاربران قرار می‌دهد. در شکل (۱) مراحل انجام این پژوهش آورده شده است.

سریع بتوانند در این موارد پیشروی مؤثر و کارآمدی داشته باشند. این مهم در پژوهش حاضر در ارزیابی تعداد و شکل استخراج‌شده از ذرات با کمک پردازش تصویر مطرح گردیده که برای محاسبه تراکم خاک موردنیاز است. استخراج شکل ذرات خاک اهمیت بسیاری در زمینه‌های مختلف دارد. به‌عنوان مثال شکل ذرات خاک به‌طور مستقیم تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی مهمی از جمله تراکم، نفوذپذیری و تخلخل دارد. همچنین اطلاعات مهمی را در مورد تشکیل و ترکیب خاک ارائه می‌دهد که در پژوهش‌های زمین‌شناسی و مهندسی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این می‌تواند اثرات زیست‌محیطی مختلف را بر روی تراکم جمعیت میکروبی، جذب مواد آلی و غیره در خاک تعیین کند (Sun et al. 2019).

در این پژوهش، از فن پردازش تصویر با هدف ایجاد یک روش کارآمد و سریع در رابطه با ارزیابی ذرات خاک استفاده شده است. برای دستیابی به این هدف، از دانه‌بندی ذرات خاک به‌منظور ارزیابی تعداد و استخراج شکل آن‌ها بهره برده شد. این رویکرد استفاده از امکانات قابل‌دسترس برای ثبت تصاویر معمولی مانند تلفن‌های همراه و دوربین‌هایی با پیکسل متوسط را برای دانه‌بندی مصالح فراهم می‌نماید. از این‌رو، این روش نسبت به سایر روش‌ها، سرعت و دقت بیشتری را به



شکل ۱- مراحل انجام پژوهش

Fig. 1 Steps of research

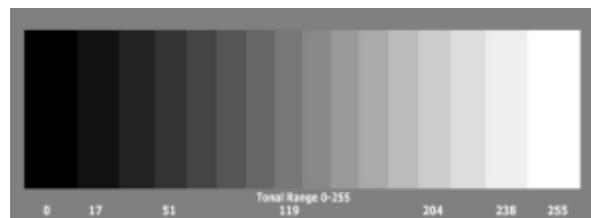
۲-۲- تجهیزات تصویربرداری

برای تهیه تصاویر مورد استفاده در این پژوهش از دوربین تلفن همراه سامسونگ سری A استفاده شد. این دوربین با ۳۲ مگاپیکسل، کیفیت مطلوبی را جهت تهیه عکس‌ها ارائه داد. تصاویر از سه ماده با خصوصیات ظاهری متمایز شامل مصالح رودخانه‌ای، دانه‌های برنج و سکه تهیه شد.

۲-۳- پردازش تصاویر

۲-۳-۱- تبدیل تصویر رنگی به خاکستری

برای تبدیل تصاویر رنگی به خاکستری، با کمک زبان برنامه‌نویسی Python و کتابخانه Scikit-Image، تصاویر رنگی آماده فرایند پردازش شدند. در نهایت، با تبدیل تصویر به مقیاس خاکستری تصویر تک کاناله‌ای حاصل می‌شود که هر پیکسل نشان‌دهنده میزان شدت نور مشخصی است. تصاویر زمان واقعی^۱ معمولاً به صورت سه کاناله شامل سبز-قرمز-آبی RGB هستند. رنگ‌های دیگر از ترکیب این سه رنگ اصلی حاصل می‌شوند. در برخی از کاربردهای پردازش تصویر، نیاز به انجام پردازش‌های مختلف بر روی هر پیکسل وجود دارد؛ اما انجام پردازش بر روی پیکسل‌های RGB به دلیل پیچیدگی محاسباتی بالا و نیاز به ذخیره‌سازی آن ممکن نیست. برای حل این مشکلات، ابتدا تصاویر RGB به تصاویر خاکستری تبدیل می‌شوند. سپس پردازش مورد نیاز انجام می‌شود (Kumar et al. 2020). مقیاس خاکستری، یک تصویر را به حداقل پیکسل آن فشرده و تجسم آسان تصاویر را افزایش می‌دهد. از دیگر مزایای این تبدیل، اعمال راحت و درست الگوریتم آستانه^۲ بر روی تصویر است. شکل (۲) طیف کامل رنگ‌هایی را که مدل خاکستری می‌تواند توصیف کند در بازه ۰-۲۵۵ نشان می‌دهد (Jana et al. 2023).



شکل ۲- طیف رنگ‌های مدل خاکستری

Fig. 2 Gray colors spectrum

در ادامه به سه روش تبدیل تصاویر رنگی به خاکستری که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، اشاره شده است. روش اول که روش روشنایی^۳ نامیده می‌شود، روش ساده‌ای است که مقدار متوسط مؤلفه‌هایی را با بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار در نظر می‌گیرد. رابطه (۱) نحوه پردازش تصاویر به روش روشنایی را بیان می‌کند (Panagiotis Antoniadis. 2023).

$$\frac{\min(R,G,B)+\max(R,G,B)}{2} \quad (1)$$

که R، G و B به ترتیب نشان‌دهنده سه رنگ اصلی یعنی قرمز، سبز و آبی است. این روش یک ضعف بسیار جدی دارد؛ زیرا در آن از یک جزء RGB استفاده نمی‌شود. این مسئله به طور ذاتی یک چالش را تشکیل می‌دهد، زیرا شدت نوری که سیستم بصری انسان درک می‌کند، به تمام سه رنگ اصلی وابسته است. به عبارت دیگر روش روشنایی تمایل به کاهش تضاد^۴ دارد. رابطه (۲) بیانگر روش متوسط^۵ است (Panagiotis Antoniadis. 2023). مقدار متوسط سه جزء قرمز، سبز و آبی را به عنوان مقدار مقیاس خاکستری در نظر می‌گیرد.

$$\frac{R+G+B}{3} \quad (2)$$

که، اگرچه همه مؤلفه‌ها در نظر گرفته می‌شود، اما روش میانگین نیز مشکل‌ساز است؛ زیرا وزن یکسانی را به هر جزء اختصاص می‌دهد. بر اساس تحقیقات روی بینایی انسان، چشم‌ها به هر رنگ به شیوه‌ای متفاوت واکنش نشان می‌دهند (Sun 2021). به طور خاص، چشم‌ها به رنگ سبز، سپس به قرمز و در نهایت به آبی حساس‌تر است؛ بنابراین وزن‌های معادله فوق باید تغییر کند (Panagiotis Antoniadis. 2023). روش سوم نورتابانی، تراکم نور یا لومینانس^۶ روشی است که تصاویر رنگی را به تصاویر خاکستری تبدیل می‌کند. این روش با موفقیت ایرادات روش‌های قبلی را حل می‌کند. لومینانس در نورسنجی به معنای اندازه‌گیری شدت نور در واحد سطح و در یک جهت است. نور تابانی اغلب برای بیان ویژگی گسیل نور یا بازتاب آن از سطوح صاف و پخشنده نور به کار می‌رود. در این روش محاسبه درخشندگی، وزن‌دهی بر مبنای رنگ‌های اصلی انجام می‌شود. مقدار عددی هر پیکسل

⁴Contrast

⁵Average Method

⁶Luminosity Method

¹Real-time

²Threshold Algorithm

³Lightness Method

با توجه به مطالب گفته شده برای ارائه کیفیت مناسبی از تصویر خاکستری از روش (۳) استفاده شده است. شکل (۳) تفاوت سه روش اشاره شده را به نشان می دهد (Johndcook 2009).

خاکستری به عنوان مجموع وزنی پیکسل های قرمز، سبز و آبی مربوط به آن پیکسل به صورت رابطه (۳) محاسبه می شود (Johndcook 2009).

$$Y = 0.2125R + 0.7154G + 0.0721B \quad (3)$$



شکل ۳- روش های مختلف تبدیل تصویر رنگی به خاکستری: الف- تصویر اصلی ب- روش روشنایی ج- روش متوسط د- روش لومینانس
Fig. 3 Different ways to convert RGB image to gray image: a) The original image, b) Lightness Method, c) Average method and d) Luminosity Method

گذاری می شود. کل معادله محاسباتی را می توان به صورت رابطه (۴) توصیف کرد (Otsu 1979).

$$\sigma^2 = W_1 \times W_2 \times (\mu_1 \times \mu_2)^2 \quad (4)$$

که، W_1 و W_2 به ترتیب نسبت تعداد پیکسل های سیاه و سفید به کل تعداد پیکسل های تصویر است. همچنین μ_1 و μ_2 به ترتیب بیان گر میانگین شدت نور پیکسل های سیاه و سفید است. مقدار μ_1 و μ_2 از رابطه (۵) محاسبه می شود (Otsu 1979).

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^t i \times p(i)}{w_1} \quad (5)$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=t+1}^L i \times p(i)}{w_2}$$

که، t نمایانگر شدت نور (مقدار پیکسل) است. $p(i)$ احتمال به وجود آمدن میزان شدت نور t در تصویر است که از رابطه (۶) محاسبه می شود. متغیر L تعداد مقادیر ممکن برای شدت نور است که مقادیری بین ۰ تا ۲۵۵ دارد (Otsu 1979).

اگر تعداد پیکسل هایی که با سطح خاکستری مشخص شده است را با t و تعداد کل پیکسل های تصویر با n نشان داده شود. احتمال وقوع t در سطح خاکستری از رابطه (۶) محاسبه می شود (Otsu 1979).

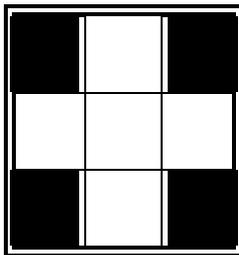
$$p(i) = \frac{n_i}{n} \quad (6)$$

۲-۳-۲- الگوریتم آستانه

آستانه گذاری یک عملیات در پردازش تصاویر است که بر روی تصاویر خاکستری اعمال می شود. این روش، یکی از ساده ترین روش های تقسیم بندی تصاویر است که پیکسل ها را در تصویر به دودسته تقسیم می کند. این روش به تبدیل تصاویر خاکستری یا تصاویر RGB به تصاویر دودویی^۱ می پردازد. آستانه گذاری به عنوان یک روش تقسیم بندی تصاویر معرفی شده و اغلب در تشخیص نواحی مورد نظر تصاویر و حذف نواحی غیر مهم مورد استفاده قرار می گیرد. در کل، این فن می تواند به شناسایی اشیایی که به وضوح در تصاویر قابل مشاهده نیستند، کمک کند. در حوزه بینایی کامپیوتر، آستانه گذاری بیشتر در تصاویر سیاه و سفید به کار می رود (El-Yamany et al. 2023). یکی از راه های بهینه سازی آستانه گذاری تصاویر، روش Otsu است که توسط (Otsu 1979) ارائه شده است. این روش از هیستوگرام تصویر استفاده می کند. روش Otsu با تلاش برای جدا کردن دودسته ی پیکسل با بیشترین واریانس میان دودسته، به آستانه ی بهینه می رسد. این فن معمولاً برای تصاویر دودویی نتایج مناسبی ایجاد می کند. هیستوگرام تصویری که دارای دو پیک است، واضحاً محدوده های مختلفی از شدت نور را نشان می دهد (Otsu 1979). این آستانه به نحوی انتخاب می شود که واریانس بین دودسته سیاه و سفید را به حداکثر برساند. انتخاب آستانه مناسب باعث جدا پذیری بهتر دسته ها و دقت بیشتر در آستانه

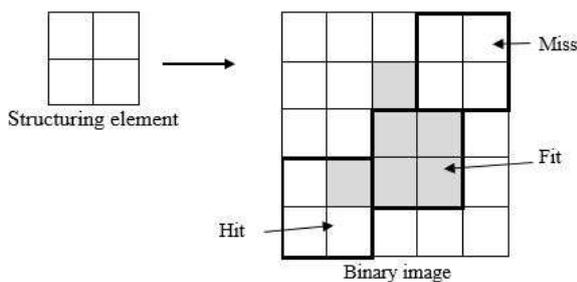
¹Binary

پیکسل‌های فعال با مقدار یک و پیکسل‌های غیرفعال با مقدار صفر است که الگوی خاصی را در بردارد. با قرار دادن عنصر سازنده در هر موقعیت ممکن در تصویر، می‌توان از آن برای تشخیص الگوها، اجرای عملیات خوردگی و انبساط و تغییرات ساختاری در تصویر استفاده کرد (شکل ۴). اندازه و شکل عنصر سازنده معمولاً بسته به نوع و اندازه اشیا موردنظر در تصویر توسط کاربر مشخص و تنظیم می‌شود. در شکل (۴) سلول‌های سیاه‌رنگ مقدار صفر و سلول‌های سفیدرنگ مقدار یک را دارند (Pierre Soille 2004).



شکل ۴- ماتریس عنصر سازنده
Fig. 4 structuring element

در مورفولوژی سه مفهوم وجود دارد که برای عملیات خوردگی و انبساط مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مفاهیم شامل ضربه^۶، تناسب^۷ و اشتباه یا عدم تطابق^۸ هستند (Pierre Soille 2004). در شکل (۵) نمایشی از نگاهت ماتریس عنصر سازنده بر روی تصویر باینری نشان داده شده است که سه اصطلاح ضربه، تناسب و اشتباه را نمایش می‌دهد.



شکل ۵- نگاهت عنصر سازنده بر روی تصویر دودویی
Fig. 5 Mapping structural element on binary image

۲-۳-۳- تصویر دودویی

با اعمال الگوریتم آستانه بر روی تصویر خاکستری، یک تصویر دودویی حاصل می‌شود. این مرحله در محاسبه تعداد ذرات نقش اساسی را ایفا می‌کند.

۲-۳-۴- معکوس کردن مقادیر پیکسل‌های سیاه و سفید در تصویر دودویی

با معکوس کردن^۱ پیکسل مشکی و سفید در تصویر دودویی، پس‌زمینه به رنگ سفید و ذرات خاک به رنگ سیاه تبدیل می‌شود. این تغییر در تصویر می‌تواند به منظور افزایش تمایز بین جزئیات تصویر، برجسته‌تر کردن خصوصیت‌های خاص، یا بهبود تشخیص و تحلیل اشیاء و الگوها در تصویر استفاده شود. هدف از انجام دادن این عملیات دستیابی به دقت بیشتر در محاسبه عملیات شناسایی تعداد ذرات خاک است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۳-۵- عملیات ریخت‌شناسی

عملیات مورفولوژی یک ابزار مفید در پردازش تصویر دیجیتال است؛ زیرا به طور دقیق می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های ساختار هندسی که با شهود و ادراک انسان سازگار است را تعیین کند. پردازش مورفولوژیکی ممکن است عناصر ناخواسته (Noise) و به هم‌ریختگی تصاویر را با توجه به به‌اندازه و شکل موردنظر تغییر و یا حذف کند. در مورفولوژی تصویر، دو عملیات اصلی به نام باز کردن^۲ و بستن^۳ وجود دارد. این دو عملیات با استفاده از عملیات گسترش^۴ و فرسایش^۵ بر روی تصویر اجرا می‌شوند (Goyal 2011).

عنصر سازنده در تمام موقعیت‌ها یا مکان‌های بالقوه در تصویر باینری قرار می‌گیرد و با همسایگی اطراف پیکسل مقایسه می‌شود. یک اصلاح دودویی مشابه فرایند مورفولوژیک است؛ اما در این عملیات، عملیات منطقی نسبت به عملیات ریاضی صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر عنصر سازنده در پردازش تصویر یک ماتریس است که برای اعمال عملیات مورفولوژیک بر روی تصویر استفاده می‌شود. این ماتریس معمولاً یک مجموعه از

⁵Erosion

⁶Hit

⁷Fit

⁸Miss

¹Invert

²Opening

³Closing

⁴Dilation

شدت نور در تصویر مشخص می شوند. استفاده از تصویر مرز می تواند در تشخیص و تمیز کاری اشیاء، تعیین مرزها و شکلها، تحلیل شکل، تشخیص شیب و جهت لبه و سایر وظایف مرتبط به پردازش تصویر مفید باشد (Szeliski (2022).

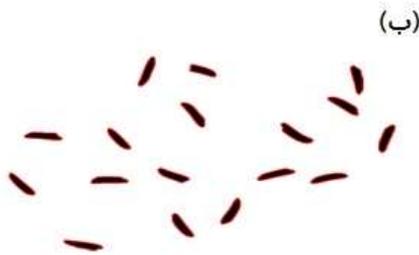
۳- یافته ها و بحث

۳-۱- صحت سنجی مدل

شمارش دانه های مختلف مانند ذرات خاک، غلات، سلولها و غیره در تعداد بالا توسط انسان امکان پذیر نیست لذا این پژوهش برای اطمینان از صحت تعداد دانه های شمارش شده، از ۱۷ عدد دانه های برنج با پس زمینه سیاه شکل (۶-الف) و ۷ عدد سکه با پس زمینه سفید شکل (۷-الف) استفاده کرد. برخی نرم افزارهای موجود در بازار به پس زمینه تصاویر حساس بوده و همین امر موجب افزایش خطا می شود؛ بنابراین در این پژوهش سعی شد از دو تصویر با پس زمینه های مختلف استفاده شود. این تعداد برای انسان قابل شمارش و معلوم است؛ لذا برای صحت سنجی از این روش بهره برده شد. در شکل (۶-ب) و شکل (۷-ب) رنگ قرمز که به دور دانه ها و سکه ها رسم شده به وضوح نشان دهنده دقت بالای عملیات انجام شده بر روی تصاویر است.



(الف)



(ب)

عملیات فرسایش با استفاده از عنصر سازنده^۱ اجرا می شود و در هر موقعیت از تصویر، اگر تمام پیکسل های عنصر سازنده با پیکسل های متناظر در تصویر برابر باشند، رابطه (۷) مقدار پیکسل مورد نظر را به یک تبدیل می کند (Pierre Soille (2004).

$$Erosion(A, B) = \{z | B_z \subseteq A\} \quad (7)$$

که، A نشان دهنده تصویر اصلی است. B عنصر سازنده را نمایش می دهد و B_z نشان دهنده تغییر موقعیت عنصر سازنده به Z است. با استفاده از رابطه (۷)، در عملیات فرسایش، پیکسل های تصویری که با عنصر سازنده همسایه هستند، با یکدیگر مقایسه می شوند و کمترین مقدار بین آنها به عنوان نتیجه جدید برای پیکسل مورد نظر در نظر گرفته می شود. عملیات توسعه نیز با استفاده از عنصر سازنده انجام می شود و در هر موقعیت از تصویر، اگر حداقل یک پیکسل از عنصر سازنده با پیکسل متناظر در تصویر برابر باشد، رابطه (۸) مقدار پیکسل مورد نظر را به یک تبدیل می کند (Pierre Soille (2004).

$$Dilation(A, B) = \{z | B_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (8)$$

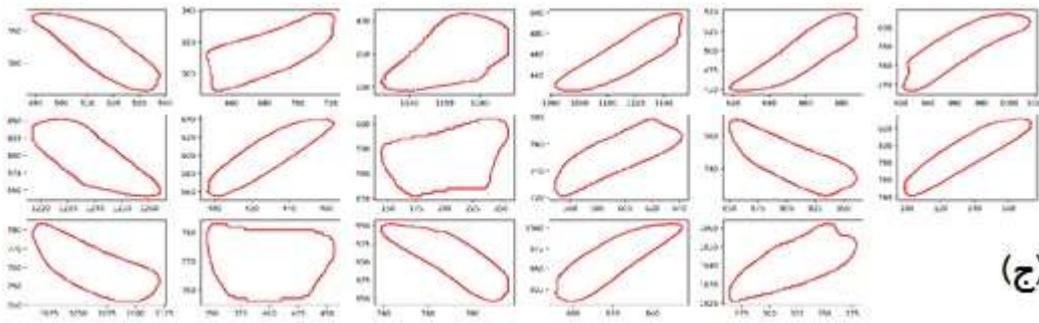
با استفاده از رابطه (۸)، پیکسل های تصویری که با عنصر سازنده همسایه هستند، با یکدیگر مقایسه می شوند. بیشترین مقدار بین آنها به عنوان نتیجه جدید برای پیکسل مورد نظر در نظر گرفته می شود. این عملیات باعث انبساط و افزایش اندازه اشیاء در تصویر می شود و اجزای کوچک تر را جهت اتصال و ادغام با یکدیگر بزرگ تر می کند. مهم است به یاد داشت که نسخه های مختلفی از فرمول های گسترش و فرسایش وجود دارد که به تبعیت از برنامه های خاص متفاوت هستند. فرمول های فوق نشان دهنده نمایش های ریاضی اصولی این عملیات می باشند (Soille et al. 2011).

۲-۳-۶- مرز خارجی تصویر

مرز خارجی تصویر^۲ در پردازش تصویر، نشان دهنده خطوط یا حاشیه های جداکننده ای است که مرزهای اشیاء در تصویر را نشان می دهد. این حاشیه ها معمولاً با تغییرات شدت رنگ یا

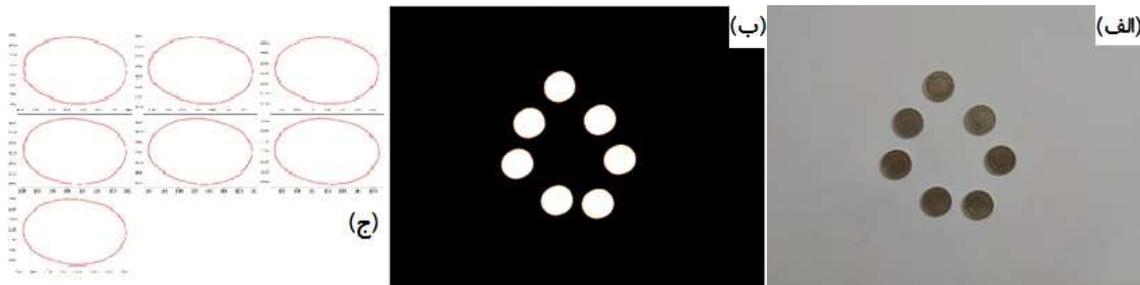
² Contour

¹Kernel



شکل ۶- تعداد و شکل دانه‌های برنج با پس‌زمینه سیاه الف- تصویر اصلی دانه‌های برنج ب- خطوط قرمز دانه‌های شناسایی شده را نشان می‌دهد و ج- شکل ذرات استخراج شده

Fig. 6 Number and shape of rice particles with black background a) The original image of rice grains, b) The red lines indicate the detection of rice grains and c) The extracted particle shapes

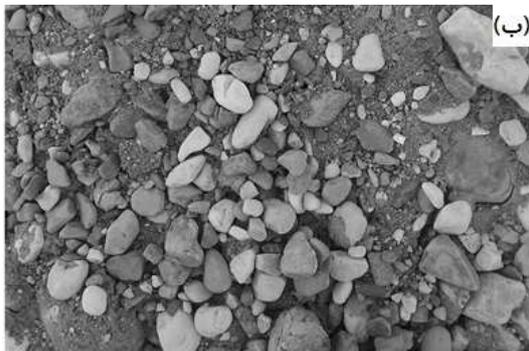


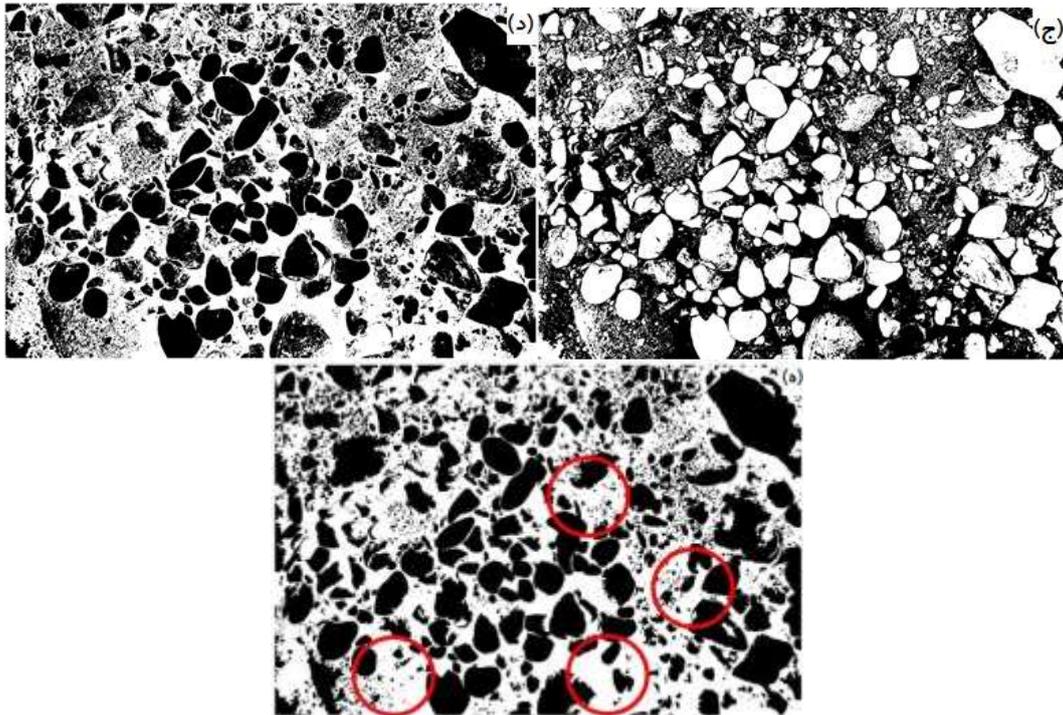
شکل ۷- تعداد و شکل سکه‌ها با پس‌زمینه سفید الف- تصویر اصلی سکه‌ها ب- سکه‌های شناسایی شده ج- استخراج شکل سکه‌های
Fig. 7 Number and shape of coins with white background a) The original image of coins, b) The identified coins and c) Extraction of coin shapes

۳-۲- نتایج پردازش تصاویر

شکل (۸- ه) حاصل می‌شود. دایره‌های قرمز رنگ مشخص شده در شکل (۸- ه) نشان می‌دهد که پس از اعمال الگوریتم ریخت‌شناسی که در مرحله قبل انجام شد، پیکسل‌های سیاه بسیار کوچک از تصویر حذف شده و تصویری به مراتب واضح‌تر شده است. به اصطلاح عناصر ناخواسته از تصویر حذف شده است. این عملیات سبب می‌شود که شمارش تعداد ذرات با دقت بالاتری صورت گیرد زیرا حضور مقادیر عناصر ناخواسته در تصویر موجب افزایش خطا در شمارش می‌شود.

نتیجه حاصل از عملیات پردازش بر روی تصویر رنگی و توضیحات مربوط به مراحل این تبدیل به جهت استخراج تعداد و شکل ذرات خاک در شکل (۸) ارائه شده است. از تصویر رنگی موجود در شکل (۸-الف)، تصویر تک کاناله خاکستری حاصل شد شکل (۸-ب). از این تصویر می‌توان برای تولید تصویر دودویی که مقادیر صفر و یک دارند استفاده کرد شکل (۸-ج). از مقدار آستانه به دست آمده از تصویر که برابر با ۰/۴۴ است، تصویر دودویی مورد نظر حاصل می‌شود. در ادامه، برای اعمال الگوریتم ریخت‌شناسی از تصویر دودویی معکوس استفاده می‌شود (شکل ۸-د). پس از اعمال الگوریتم ریخت‌شناسی



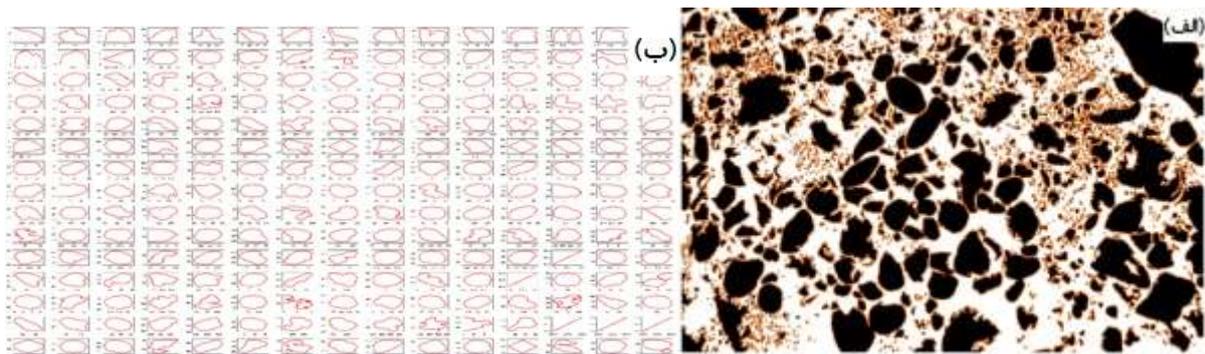


شکل ۸- مراحل پردازش تصویر بر روی ذرات خاک الف- تصویر اصلی ب- تصویر خاکستری ج - تصویر دودویی د- معکوس شده تصویر دودویی ه- اعمال الگوریتم ریخت‌شناسی بر روی تصویر دو کلاسه معکوس شده

Fig. 8 Image Processing Stages on Soil Particles: a) Original image, b) Gray image, c) Binar image, d) Inverted binary image and e) Applying morphology algorithm on inverted binary image

می‌دهد. به‌وضوح می‌توان مشاهده کرد که اکثر شکل دانه‌بندی خاک از نوع گرد گوشه است که از ویژگی‌های بارز ذرات خاک رودخانه‌ها بوده و برنامه توسعه داده‌شده در این پژوهش توانست شکل ذرات را با دقت بالایی استخراج کند.

در نهایت مطابق شکل (۹) تعداد ذرات خاک تعیین و شمارش می‌شود. در شکل (۹- الف) مرز مشخص شده بارنگ قهوه‌ای نشان‌دهنده ذرات خاک شناسایی شده است. این تعداد برابر با ۲۳۲۵ عدد است. شکل (۹- ب) استخراج شکل ذرات خاک را نمایش



شکل ۹- تعداد و شکل ذرات خاک الف- ذرات خاک مشخص‌شده، و ب- شکل ذرات خاک

Fig. 9 Number and shape of soil particles a) Identified soil particles and b) Shape of soil particles

بالای آن در شمارش ریزدانه‌های خاک اشاره کرد. جدول (۱) بیانگر این مقایسه است. در (جدول ۱-ب) ذرات خاک اغلب از اندازه‌های کوچکی تشکیل شده است. از این‌رو برای بررسی شمارش ذرات ریزدانه مورد ارزیابی قرار گرفت. رنگ قهوه‌ای

۳-۳- مقایسه نتایج با سایر نرم‌افزارها
برنامه توسعه داده‌شده در مقایسه با نرم‌افزار Hydraulic Toolbox از دقت بالاتری برخوردار است. از مشخصات اصلی برنامه توسعه داده‌شده در مقابل برنامه مذکور می‌توان به دقت

۴- نتیجه گیری

هدف از پژوهش صورت گرفته ارزیابی ذرات خاک توسط فن‌های پردازش تصویر و استخراج شکل دانه‌ها است. برای دستیابی به این موضوع از کتابخانه Scikit-Image و زبان برنامه‌نویسی Python استفاده شد. از نتایج مهم به دست آمده از این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- برنامه توسعه داده شده، به تصاویری با تعداد پیکسل‌های متوسط حساس نیست، از این رو، استفاده از پردازش تصاویر با کمک دوربین‌های معمولی اشاره محدودیتی ایجاد نمی‌کند. این موضوع موجب کاهش نیاز به تجهیزات گران‌قیمت تصویربرداری می‌شود.

۲- دقت بالا در تشخیص و شمارش تعداد ذرات درشت و ریزدانه خاک از دیگر قابلیت‌های برنامه توسعه داده شده در این پژوهش است. استفاده از این قابلیت در ارزیابی فرسایش و رسوب خاک و رسم منحنی دانه‌بندی خاک دارای اهمیت است.

۳- برنامه Python توانایی استخراج شکل ذرات خاک از روی تصاویر را دارد.

با توجه به اینکه برنامه نوشته شده قابلیت ارزیابی هر نوع دانه‌ای از جمله برنج، غلات، ذرات خاک و غیره را دارد می‌توان از آن در صنایع مختلفی از جمله کشاورزی که نیاز به تخمین تعداد و شکل دانه‌ها دارند مورد استفاده قرار گیرد. امید است که این پژوهش به تواند در حوزه‌های مدیریتی مختلف از جمله منابع آب و محیط زیست گامی مؤثر را بردارد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل m.isari@uok.ac.ir قابل ارسال است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

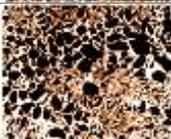
References

ASTM. (2017). Standard test method for particle-size distribution (gradation) of fine-grained soils using the sedimentation

نشان دهنده ذرات شناسایی شده توسط برنامه توسعه داده شده در این پژوهش است. مشاهده می‌شود که درصد بسیار بالایی از ذرات مشخص شده است. اختلاف ۸۷۰ عددی بین ذرات شمارش شده توسط Hydraulic Toolbox و برنامه توسعه داده شده گواهی بر تأیید توانایی این برنامه در شمارش ذرات ریز است. همان‌طور که در مقدمه نیز اشاره شد، روش تصویری می‌تواند داده‌های مورفولوژیکی هر ذره را استخراج کند، بنابراین توزیع اندازه ذرات به دست آمده دقیق‌تر و قابل اعتمادتر است (Liu et al. 2022). در پژوهش (Tuan et al. (2022) مشخص شد که دقت روش‌های پردازش تصویر به شدت توسط سایه‌ها و پس‌زمینه‌های ناهمگون محدود می‌شود اما در مقاله حاضر همان‌طور که در بخش صحت‌سنجی مشاهده شد روش پیشنهادی نسبت به پس‌زمینه تصویر حساس نیست و می‌تواند تصاویر با دو رنگ پس‌زمینه سیاه و سفید را به درستی و با دقت بالایی پردازش کند. با توجه به نتایج پژوهش Kim et al. (2023) می‌توان فن‌های پردازش تصویر را گامی مؤثر و کارآمد در حوزه‌های مختلف از جمله مهندسی رودخانه و مسائل مرتبط با محیط‌زیستی دانست.

جدول ۱- مقایسه Scikit-image با نرم‌افزار Hydraulic toolbox

Table 1 comparing Scikit-image with Hydraulic toolbox

Image	Number of particles	
	Scikit-Image	Hydraulic Toolbox
	2325	2596
	2281	1411
	3036	3236

(hydrometer) analysis. In ASTM (Vol. 7928, pp. 1-25). DOI: [10.1520/D7928-21E01](https://doi.org/10.1520/D7928-21E01)

- Athanassiadis, A. G., Miskin, M. Z., Kaplan, P., Rodenberg, N., Lee, S. H., Merritt, J., Brown, E., Amend, J., Lipson, H., & Jaeger, H. M. (2014). Particle shape effects on the stress response of granular packings. *Soft Matter*, 10(1), 48-59. DOI: [10.1039/C3SM52047A](https://doi.org/10.1039/C3SM52047A)
- Aydin, M., & Kurnaz, T. F. (2023). An alternative method for the particle size distribution: Image processing. *Turk. J. Eng.*, 7(2), 108-115. DOI: [10.31127/tuje.1053462](https://doi.org/10.31127/tuje.1053462)
- Panagiotis Antoniadis. (2023). How to Convert an RGB Image to a Grayscale. Available online at: <https://www.baeldung.com>, Accessed 19, June 2023.
- Behringer, R. P., Howell, D., Kondic, L., Tennakoon, S., & Veje, C. (1999). Predictability and granular materials. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 133(1-4), 1-17. DOI: [10.1016/S0167-2789\(99\)00094-9](https://doi.org/10.1016/S0167-2789(99)00094-9)
- Coates, G. F., & Hulse, C. A. (1985). A comparison of four methods of size analysis of fine-grained sediments. *New Zealand J. Geol. Geophys.*, 28(2), 369-380. DOI: [10.1080/00288306.1985.10422234](https://doi.org/10.1080/00288306.1985.10422234)
- Damadipour, M., Nazarpour, M., & Alami, M. T. (2019). Evaluation of particle size distribution using an efficient approach based on image processing techniques. *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civil Eng.*, 43, 429-441. DOI: [10.1007/s40996-018-0175-3](https://doi.org/10.1007/s40996-018-0175-3)
- Dan, H. C., Bai, G. W., & Zhu, Z. H. (2021). Application of deep learning-based image recognition technology to asphalt-aggregate mixtures: Methodology. *Construct. Build. Mater.*, 297, 123770. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2021.123770](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123770)
- El-Yamany, I., Wael, A., Adly, N., & Torki, M. (2023, June). STACKMAPS: A Visualization Technique for Diabetic Retinopathy Grading. In *ICASSP 2023-2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 1-5)*. IEEE. DOI: [10.1109/ICASSP49357.2023.10095667](https://doi.org/10.1109/ICASSP49357.2023.10095667)
- Garcia, X., Akanji, L. T., Blunt, M. J., Matthai, S. K., & Latham, J. P. (2009). Numerical study of the effects of particle shape and polydispersity on permeability. *Phys. Rev. E*, 80(2), 021304. DOI: [10.1103/PhysRevE.80.021304](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.80.021304)
- Goyal, M. (2011). Morphological image processing. *IJCST*, 2(4), 59. DOI: [10.1002/9781118093467.CH13](https://doi.org/10.1002/9781118093467.CH13)
- Jana, B. R., Thotakura, H., Baliyan, A., Sankararao, M., Deshmukh, R. G., & Karanam, S. R. (2023). Pixel density based trimmed median filter for removal of noise from surface image. *Appl. Nanosci.*, 13(2), 1017-1028. DOI: [10.1007/s13204-021-01950-0](https://doi.org/10.1007/s13204-021-01950-0)
- Johndcook .(2009). Three algorithms for converting color to grayscale. Avalibale online at: <https://www.johndcook.com>, Accessed 24, August 2019.
- Kalidhas, M., & Sivakumar, R. (2022). Image processing and Supervised Classification of LANDSAT data for Flood Impact Assessment on Land Use and Land Cover. In 2022 2nd International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS) (pp. 437-440). IEEE. DOI: [10.1109/ICTACS56270.2022.9988164](https://doi.org/10.1109/ICTACS56270.2022.9988164)
- Kim, D., Song, J., & Park, J. (2023). Quantifying Soil Particle Settlement Characteristics through Machine Vision Analysis Utilizing an RGB Camera. *Agri.*, 13(9), 1674. DOI: [10.3390/agriculture13091674](https://doi.org/10.3390/agriculture13091674)
- Kumar, K., Mishra, R. K., & Nandan, D. (2020). Efficient hardware of RGB to Gray conversion realized on FPGA and ASIC. *Procedia Comput. Sci.*, 171, 2008-2015. DOI: [10.1016/j.procs.2020.04.215](https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.215)
- Liu, J., Cheng, D., Li, Y., Zhao, K., & Kou, Q. (2022). Quantitative evaluation of the influence of coal particle size distribution on gas diffusion coefficient by image processing method. *Fuel*, 314, 122946. DOI: [10.1016/j.fuel.2021.122946](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122946)
- Mora, C. F., Kwan, A. K. H., & Chan, H. C. (1998). Particle size distribution analysis of coarse aggregate using digital image processing. *Cement Concrete Res.*, 28(6), 921-932. DOI: [10.1016/S0008-8846\(98\)00043-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00043-X)
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet.*, 9(1), 62-66. DOI: [0018-9472/79/0100-0062\\$00.75](https://doi.org/10.1109/0018-9472/79/0100-0062$00.75)

- Sagayaraj, A. S., Kabilesh, S. K., Mohanapriya, D., & Anandkumar, A. (2021). Determination of soil moisture content using image processing-a survey. 2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT) (pp. 1101-1106). IEEE. DOI: [10.1109/ICICT50816.2021.9358736](https://doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358736)
- Santos, R., & Fernandes, J. N. (2022). Estimation of river flow discharges using image processing. International Conference on Testing and Experimentation in Civil Engineering (pp. 363-374). Cham: Springer Nature Switzerland. DOI: [10.1007/978-3-031-29191-3_30](https://doi.org/10.1007/978-3-031-29191-3_30)
- Shinohara, K., Oida, M., & Golman, B. (2000). Effect of particle shape on angle of internal friction by triaxial compression test. *Powder Technol.*, 107(1-2), 131-136. DOI: [10.1016/S0032-5910\(99\)00179-5](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00179-5)
- Soille, P., Pesaresi, M., & Ouzounis, G. K. (2011). Mathematical morphology and its applications to image and signal processing. 10th International Symposium, ISMM 2011, Verbania-Intra, Italy, July 6-8, 2011, *Proceedings*. DOI: [10.1007/978-3-642-21569-8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21569-8)
- Soille, P., & Soille, P. (2004). Opening and closing. Morphological image analysis: *Principl. Appl.*, 105-137. DOI: [10.1007/978-3-662-05088-0_4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-05088-0_4)
- Soille, P., & Soille, P. (2004). Hit-or-miss and skeletons: In Morphological Image Analysis: *Principl. Appl.*, 139-182. DOI: [10.1007/978-3-662-05088-0_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-05088-0_5)
- Sun, Q., Zheng, J., Coop, M. R., & Altuhafi, F. N. (2019). Minimum image quality for reliable optical characterizations of soil particle shapes. *Comput. Geotech.*, 114, 103110. DOI: [10.1016/j.compgeo.2019.103110](https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.103110)
- Sun, X. (2021). Design of the poster image system based on human vision. *Sci. Program.*, 2021, 1-14. DOI: [10.1155/2021/1411145](https://doi.org/10.1155/2021/1411145)
- Szeliski, R. (2022). Computer vision: algorithms and applications. *Springer Nat.* DOI: [10.1007/978-3-030-34372-9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9)
- Tuan, N. M., Kim, Y., Lee, J. Y., & Chin, S. (2022). Automatic stereo vision-based inspection system for particle shape analysis of coarse aggregates. *J. Comput. Civil Eng.*, 36(2), 04021034. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0001005](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001005)
- Waris, M. I., Mir, J., Plevris, V., & Ahmad, A. (2020). Predicting compressive strength of CRM samples using Image processing and ANN. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 899, No. 1, p. 012014). IOP Publishing. DOI: [10.1088/1757-899X/899/1/012014](https://doi.org/10.1088/1757-899X/899/1/012014)
- Xu, Z., Zhang, X., Chen, L., Pei, K., & Xu, B. (2016). Python probabilistic type inference with natural language support. In *Proceedings of the 2016 24th ACM SIGSOFT international symposium on foundations of software engineering* (pp. 607-618). DOI: [10.1145/2950290.2950343](https://doi.org/10.1145/2950290.2950343)
- Yang, J., & Luo, X. D. (2015). Exploring the relationship between critical state and particle shape for granular materials. *J. Mechanic. Phys. Solid.*, 84, 196-213. DOI: [10.1016/j.jmps.2015.08.001](https://doi.org/10.1016/j.jmps.2015.08.001)
- Yu, L., He, S., Liu, X., Jiang, S., & Xiang, S. (2022). Intelligent crack detection and quantification in the concrete bridge: A deep learning-assisted image processing approach. *Adv. Civil Eng.*, 2022. DOI: [10.1155/2022/1813821](https://doi.org/10.1155/2022/1813821)