



## روشی جدید برای تعیین آرایش ذرات خاک توسط پردازش تصویر دیجیتال

سامان تبریزی زرین قبایی<sup>۱</sup>، رضاقلی اجلالی<sup>۲\*</sup>، میکائیل یوسف زاده فرد<sup>۳</sup>، سید جواد سید فتاحی<sup>۴</sup>

دریافت مقاله: ۹۸/۰۲/۱۱ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۷/۰۲

### چکیده

آرایش ذرات خاک بر روی رفتار خاک تاثیرگذار است. تعیین آرایش ذرات خاک پیچیده است. در این مقاله، از تبدیل موجک بر اساس پردازش تصویر دیجیتال برای تعیین آرایش ذرات خاک استفاده شده است. تصویر خاک به قسمت‌های کوچک  $512 \times 512$  پیکسل تجزیه می‌شود و توسط تبدیل موجک تحلیل می‌شود. برای هر قسمت شاخص انرژی محاسبه می‌شود. از آنجایی که انرژی را می‌توان به‌طور جداگانه برای هر سه جهت افقی، عمودی و مورب محاسبه کرد، اطلاعات بیشتری را در مورد آرایش ذرات خاک مانند شکل ذرات و جهت ذرات را می‌توان به دست آورد. برای این منظور، شاخص انرژی با مقایسه انرژی‌های افقی و عمودی تعیین می‌شود. تصویربرداری از خاک‌ها به دو روش ته نشینی و سطح صاف انجام می‌شود و شاخص انرژی برای هر دو روش محاسبه و مقایسه می‌شود. مقادیر شاخص انرژی بیشتر از صفر نشان می‌دهد که دانه‌ها به صورت افقی آرایش یافته‌اند، در حالی که مقادیر شاخص انرژی کمتر از صفر نشان دهنده آرایش عمودی دانه‌ها است. بنابراین شاخص انرژی شاخصی مناسب برای تعیین آرایش ذرات خاک می‌باشد. تعیین آرایش ذرات خاک با استفاده از روش پردازش تصویر باعث کاهش اپراتور، کاهش خطاهای محاسباتی و ارائه داده‌های مبتنی بر تصویر دائمی می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** پردازش تصویر، آرایش ذرات، تبدیل موجک، نرم افزار *MATLAB*.

<sup>۱</sup> . گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

<sup>۲</sup> . گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران [reza\\_ejlali@iaut.ac.ir](mailto:reza_ejlali@iaut.ac.ir)

<sup>۳</sup> . گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

<sup>۴</sup> . گروه مهندسی برق، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

\* مسئول مکاتبات

## ۱. مقدمه

محققان ژئوتکنیک بر این باور هستند که آرایش ذرات خاک و شکل آن ها یکی از مهم ترین ویژگی های خاک است که نشان دهنده رفتار خاک خواهد بود. در مقایسه با اندازه ذرات، تعیین آرایش ذرات دارای پچیدگی های فراوانی می باشد. روش پردازش تصویر دیجیتال (DIP) به طور مداوم در حال توسعه است و در بسیاری از علوم استفاده می شود. به عنوان مثال، پردازش تصویر دیجیتال در جرم شناسی برای تطبیق اثر انگشت استفاده می شود (Mardia et al., 1997). پردازش تصویر نقش مهمی در بسیاری از درمان ها و تشخیص های پزشکی دارد. به عنوان مثال، تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) و ماموگرافی دیجیتال از مهم ترین آزمایش ها در قسمت تشخیص پزشکی هستند که از پردازش تصویر دیجیتال استفاده می کنند (Pham et al., 2000). بر مبنای بینایی کامپیوتری تزریق سلول به صورت تجربی با موفقیت بالا انجام می شود (Weng et al., 2009). ارزیابی کیفیت داروها، تولید مواد غذایی و فلزات با روش های تجزیه و تحلیل تصویر از سایر کاربردهای پردازش تصویر می باشند (Du and Su, 2004, Islam et al., 2008, Eremin, 2006).

بسیاری از محققان از تکنیک های تصویری برای پیدا کردن خواص مهندسی استفاده کرده اند که در زیر به چند مورد از آنها اشاره می شود.

لو و همکاران (Luo et al., 1992)، از روش Convex و Vein hull برای آنالیز خودکار تعیین جهت ذرات خاک استفاده کردند. اعظمی و همکاران (Azami et al., 2010)، با استفاده از بسیاری از آزمایش های تجربی و عددی به مطالعه اثر آرایش ذرات بر خواص خاک پرداخته اند.

یو و همکاران (Yu et al., 2013)، آزمایش سانتریفیوژ را روی شن و ماسه با زوایای مختلف انجام دادند و مطالعات

نشان داد که شکل ذرات خاک به طور قابل ملاحظه ای بر روی روانگرایی خاک تاثیرگذار است.

لی و دافالیاس (Li and Dafalias, 2012)، با استفاده از مطالعات تجربی، تانسور شکل را برای تعیین رفتار خاک معرفی کردند و به این نتیجه رسیدند که تعیین تانسور شکل برای بررسی مدل رفتاری خاک ضروری است. کیم و همکاران (Kim et al., 2012, Kim et al., 2013)، روش نوترونی و روش اشعه ایکس را برای تعیین توزیع اندازه ذرات و توزیع آب استفاده کردند.

تافس و همکاران (Tafesse et al., 2012)، روش Glow-In-the-Dark را برای محاسبه اندازه سه بعدی و توزیع شکل خاک به کار برده اند.

کومارا و همکاران (Kumara et al., 2012)، به بررسی و تحلیل توزیع اندازه ذرات شن پرداخته اند. بومان و همکاران (Bowman et al., 2001)، یک روش کمی را با استفاده از توصیف گره های شکل فوریه و آنالیز تصویر برای مشخص کردن شکل ذرات شن و ماسه طراحی کردند. ویلسون و کلوتز (Wilson and klotz, 1996)، روش ویدیویی را برای اندازه گیری زاویه ذرات شن و ماسه مورد استفاده در بتن آسفالتی ارائه دادند.

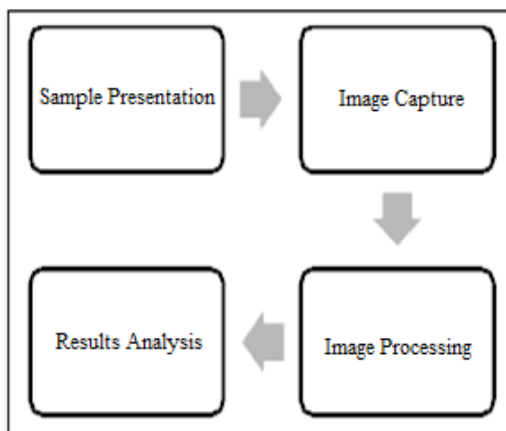
سوچان و همکاران (Sochan et al., 2015)، پارامترهای شکل ذرات شن و ماسه را معرفی کردند و نتایج را با روش Krumbein مقایسه کردند.

محمود و همکاران (Mahmoud et al., 2010)، یک روش عددی جدید ارائه کرده اند که با ترکیب کردن روش المان گسسته و روش پردازش تصویر دیجیتال به مطالعه اثر خواص دانه ها در آسفالت داغ پرداخته اند.

دیپوا (Dipova, 2017)، با استفاده از پردازش تصویر دیجیتال به تعیین منحنی دانه بندی خاک پرداخت و نتایج قابل قبولی را کسب کرد. نتایج را با روش الگ مقایسه کرد و ملاحظه کرد که هر دو روش نتایج یکسانی ایجاد می کند.

تبریزی زرین قبایی و همکاران (Tabrizi-zarringhabaei et al., 2019)، به بررسی منحنی دانه بندی خاک ریز دانه توسط پردازش تصویر دینامیکی پرداختند و با روش سنتی مقایسه

روش WT از تبدیل موجک‌های هار (Haar, 1910)، برای محاسبه انرژی موجود در هر سطح تجزیه استفاده می‌کند. کل انرژی برای هر سطح تجزیه با رابطه (۱) محاسبه می‌شود.



شکل ۱. فرآیند روش پردازش تصویر دیجیتال

$$E_i = \sum E_{Horizontal\ i} + \sum E_{Vertical\ i} + \sum E_{Diagonal\ i} \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $E_i$  محاسبه اندازه اختلاف بین مقادیر متوسط خاکستری مناطق همسایه در تصویر برای سطح تجزیه  $i$  ام است.  $E_{Horizontal}$ ،  $E_{Vertical}$  و  $E_{Diagonal}$  به ترتیب انرژی در جهت افقی، عمودی و مورب است.

از آنجایی که انرژی برای هر سه جهت افقی، عمودی و مورب محاسبه شده است، اطلاعات مربوط به آرایش ذرات را می‌توان به دست آورد. برای این منظور، EI از مقایسه  $E_{Vertical}$  و  $E_{Horizontal}$  بدست می‌آید.

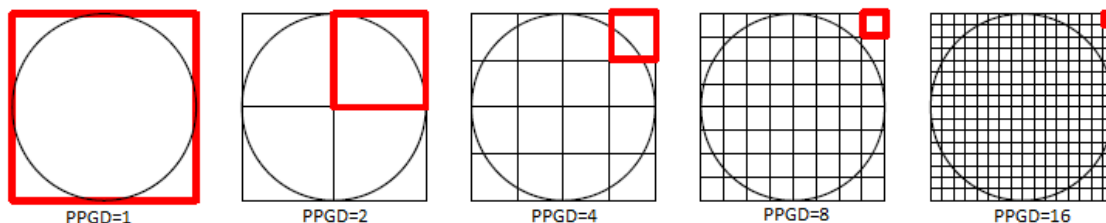
کردند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. بعلاوه ایشان به بررسی شکل ذرات نیز پرداخته اند.

بسیاری از تحقیقات با روش‌های مختلف برای تعیین آرایش ذرات انجام شده است. اما اغلب این روش‌ها نیازمند تجهیزات گران قیمت هستند و شامل ابزارهای پیشرفته‌ای هستند که به طور کلی در آزمایشگاه قابل دسترسی نیستند. در این مقاله از یک روش جدید برای تعیین آرایش ذرات خاک توسط تبدیل موجک (WT) بر اساس پردازش تصویر دینامیکی استفاده شده است. WT برای توصیف شاخص انرژی (EI) بر اساس تصویر به کار برده شده است. آزمایش‌های فراوانی برای صحت سنجی قابلیت WT برای یافتن و تعیین آرایش ذرات خاک انجام شد. کاربردهای قابل استفاده از شاخص انرژی در این مقاله مورد بحث قرار گرفته است. هدف از این مقاله ایجاد شاخص مناسب برای تعیین آرایش و شکل ذرات خاک است. بقیه مقاله به صورت زیر تنظیم شده است. در بخش ۲ معرفی روش گنجانده شده است. آزمایش‌ها در بخش ۳ ارائه شده است. نتایج و بحث در بخش ۴ تهیه شده است. در نهایت، نتیجه‌گیری در بخش ۵ آورده شده است.

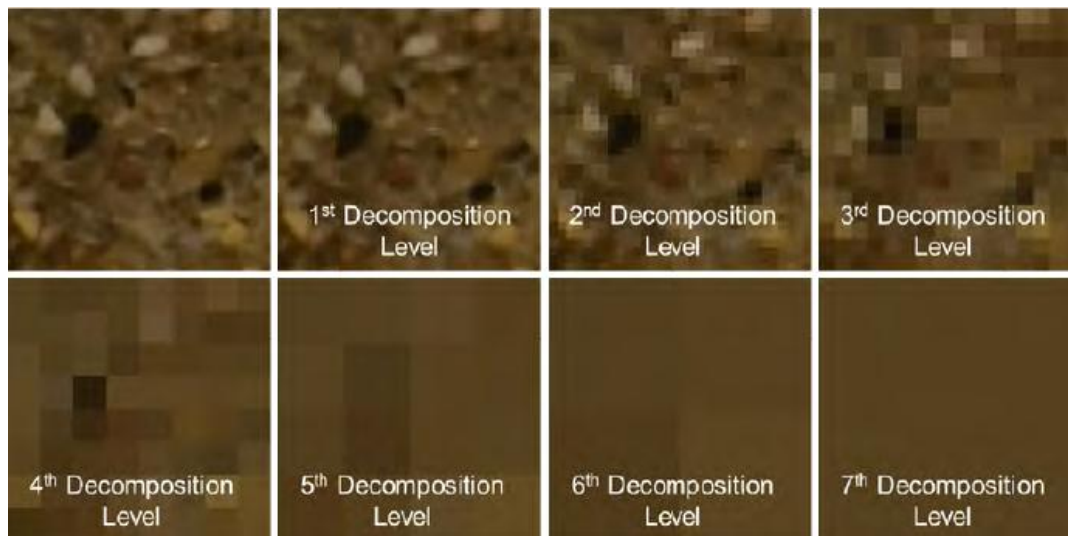
## ۲. روش تبدیل موجک

کلیات روش تعیین آرایش ذرات خاک توسط WT بر اساس پردازش تصویر دیجیتال در (شکل ۱) نشان داده شده است. به منظور استفاده از WT برای تعیین توزیع اندازه ذرات خاک، از مفهوم پیکسل در هر قطر دانه (PPGD) استفاده می‌شود همان‌طور که در (شکل ۲) نشان داده شده است.

WT یک تصویر با سایز  $2^i \times 2^i$  پیکسل از خاک را به  $i$  سطح تجزیه، تجزیه می‌کند که در (شکل ۳) نشان داده شده است.



شکل ۲. مفهوم پیکسل در هر قطر دانه (Ohm and Hryciw, 2013)



شکل ۳. هفت سطح تجزیه

کروییت نیز محسوب می‌شود و هر گاه EI برابر یک باشد یعنی ذرات خاک اغلب کروی هستند.

### ۳. نحوه انجام آزمایش ها

خاک با PPGD های مختلف عکس برداری می‌شود. مشخصات خاک در جدول (۱) آورده شده است. در روش عکس برداری ته نشینی (SIT)، خاک بلافاصله به سیلندر پر شده از آب ریخته می‌شود. دانه‌های خاک در هنگام ته نشینی در طول مسیر به پایین سیلندر با توجه به اندازه آنها طبقه بندی می‌شوند. در هنگام ته نشینی، دوربین همراه میکرو لنز برای گرفتن عکس از خاک استفاده می‌شود. جداسازی ذرات با توجه به سایز آنها برای DIP ضروری است. تصاویر خاک با دوربین دیجیتال تهیه شده و با نرم افزار MATLAB تجزیه و تحلیل می‌شوند که در (شکل ۴) نشان داده شده است.

اگر انرژی در جهت افقی بزرگتر از انرژی در جهت عمودی باشد EI از رابطه (۲) محاسبه خواهد شد.

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^n E_{Horizontal i}}{\sum_{i=1}^n E_{Vertical i}} \quad (2)$$

حال اگر انرژی در جهت عمودی بزرگتر از انرژی در جهت افقی باشد EI از رابطه (۳) محاسبه خواهد شد.

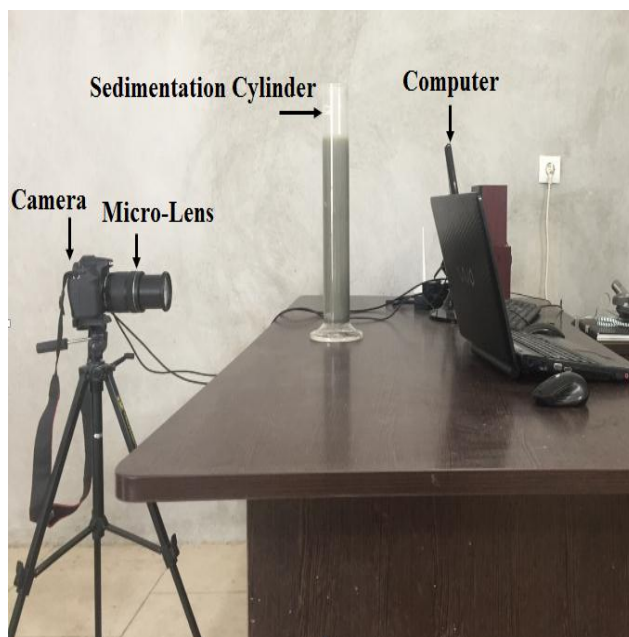
$$EI = -\frac{\sum_{i=1}^n E_{Vertical i}}{\sum_{i=1}^n E_{Horizontal i}} \quad (3)$$

مقادیر EI بیشتر از صفر نشان می‌دهد که دانه‌ها به صورت افقی آرایش یافته‌اند، در حالی که مقادیر EI کمتر از صفر نشان دهنده آرایش عمودی دانه‌ها است. مقدار EI شاخص

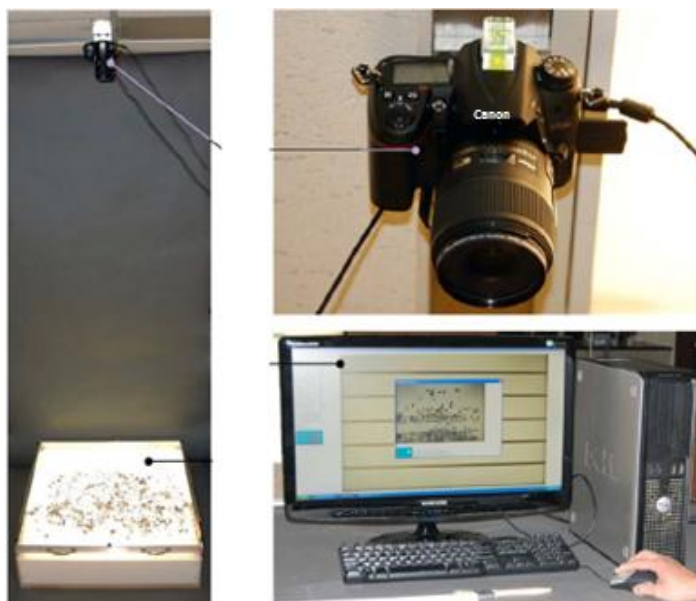
در روش سطح صاف (FST)، نمونه در سطح صاف پخش می‌شود و از بالا عکس گرفته می‌شود که در (شکل ۵) نشان داده شده است. (شکل ۶ و ۷) تصاویر و نتایج به دست آمده از هر دو روش را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات خاک.

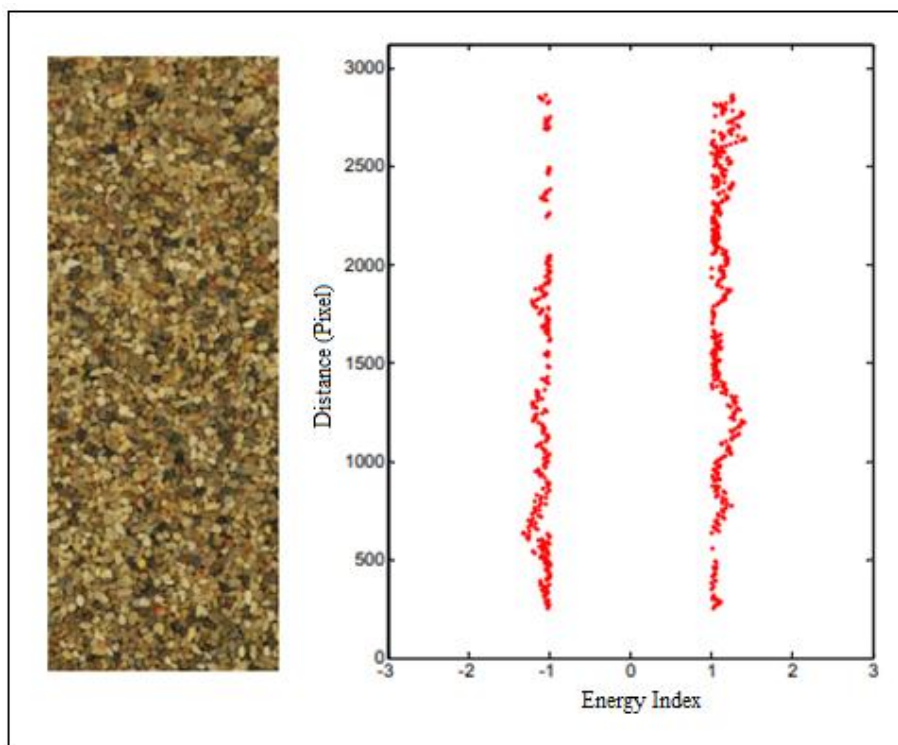
Soil number	Soil color	Soil uniformity	PI
1	Brown	Uniform	33



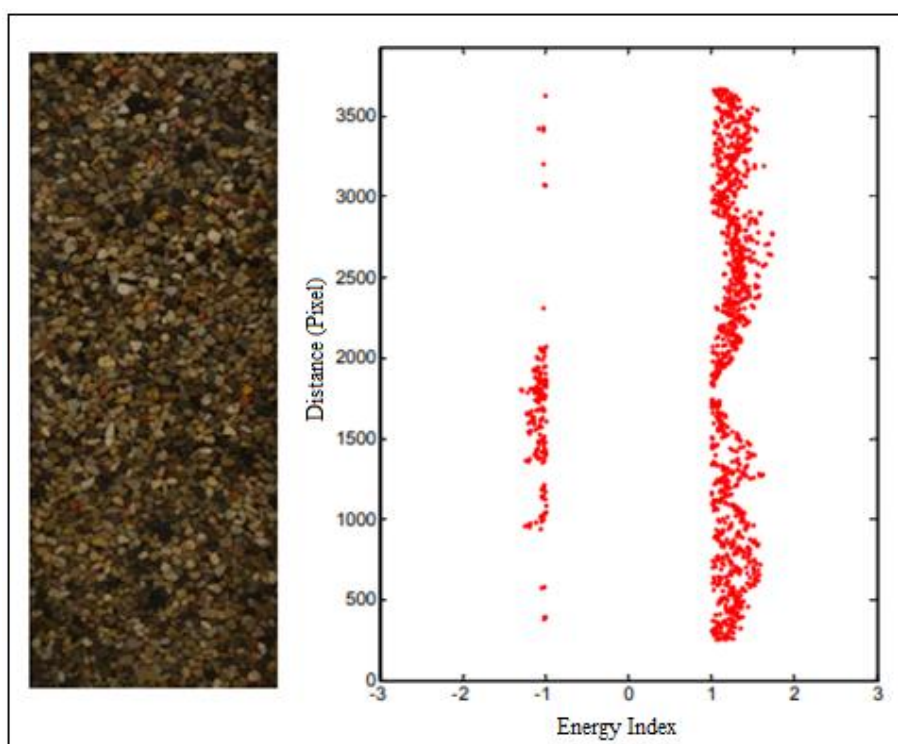
شکل ۴. تجهیزات روش SIT



شکل ۵. تجهیزات روش FST

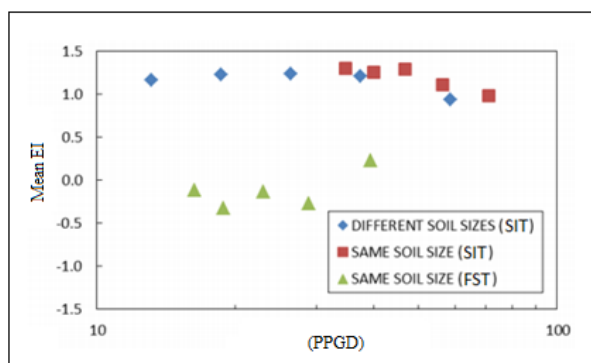


شکل ۶. توزیع شاخص انرژی در روش SIT

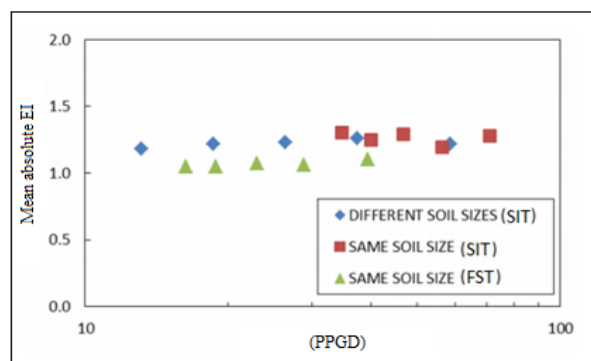


شکل ۷. توزیع شاخص انرژی در روش FST





شکل ۸. توزیع شاخص انرژی در روش SIT و FST



شکل ۹. توزیع قدر مطلق شاخص انرژی در روش SIT و FST

میانگین مقدار EI در SIT حدود ۱/۲ است، در حالی که میانگین مقدار EI در FST برابر ۰/۱- است. میانگین قدر مطلق EI در SIT برابر با ۱/۲۴ است، در حالی که مقدار قدر مطلق EI در FST برابر ۱/۰۷ است. همانطور که قبلاً ذکر شد، دانه‌های خاک به صورت افقی در SIT مرتب شده‌اند و مقدار متوسط EI بیشتر از صفر است، در حالی که دانه‌های خاک در FST به‌طور تصادفی قرار می‌گیرند و مقدار میانگین EI آنها تقریباً برابر صفر است. دانه‌های خاک در SIT اغلب طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین محور خود را نشان می‌دهند، در حالی که در FST به‌طور معمول طولانی‌ترین و متوسط‌ترین محور خود را نشان می‌دهند. بنابراین، میانگین مقادیر قدر مطلق EI در SIT بالاتر از میانگین قدر مطلق EI در FST است. این مشاهدات نشان می‌دهد که میانگین EI می‌تواند شاخصی از آرایش دانه‌ها باشد، در حالی که میانگین قدر مطلق EI می‌تواند شاخصی از شکل ذرات یا کرویت آنها باشد. به‌طور کلی، مقادیر EI که توسط SIT بدست می‌آید می‌تواند

همان‌طور که در شکل‌ها (۶) و (۷) نشان داده شده است اکثر مقادیر EI در SIT بیشتر از صفر است، در حالی که مقادیر EI در FST بین بزرگتر از صفر و کوچکتر از صفر توزیع می‌شود. بدیهی است که دانه‌های خاک در SIT به صورت افقی آرایش یافته‌اند (EI بزرگتر از صفر)، در حالی که دانه‌های خاک در FST به‌طور تصادفی آرایش یافته‌اند، زیرا در این روش، ته‌نشینی از طریق آب وجود ندارد. این اختلاف آرایش دانه‌ها را نمی‌توان به سادگی توسط چشم مشاهده کرد.

#### ۴. نتایج و بحث

پانزده آزمایش انجام شد و میانگین مقدار EI و میانگین قدر مطلق EI در جداول (۲)، (۳) و (۴) ذکر شده است. داده‌ها در شکل‌های (۸) و (۹) مقایسه شده است.

جدول ۲. آنالیز شاخص انرژی توسط پانزده آزمایش با سایز

ذرات خاک مختلف

Different soil sizes with same camera magnification in SIT					
PPGD	58.6	37.3	26.4	18.6	13.2
Mean EI	0.93	1.21	1.23	1.22	1.16
Mean	1.22	1.26	1.23	1.22	1.18
absolute EI					

جدول ۳. آنالیز شاخص انرژی توسط پانزده آزمایش با سایز

ذرات خاک یکسان

Same soil sizes with different camera magnifications in SIT					
PPGD	71	56.5	46.8	39.9	34.8
Mean EI	0.98	1.11	1.29	1.25	1.3
Mean	1.28	1.19	1.29	1.25	1.3
absolute EI					

جدول ۴. آنالیز شاخص انرژی توسط پانزده آزمایش در FST

Same soil sizes with different camera magnifications in FST					
PPGD	39.3	28.9	23	18.9	16.3
Mean EI	0.23	-0.27	-0.14	-0.33	-0.12
Mean	1.1	1.06	1.07	1.05	1.05
absolute EI					

است. FST نشان می‌دهد که مقادیر EI بین مقادیر مثبت و منفی توزیع شده‌است. در SIT، ذرات خاک گرایش شدیدی به مقدار EI بیشتر از صفر داشتند. بنابراین با توجه به انجام آزمایشات فراوان با دو روش مختلف و مقایسه آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که از EI برای اندازه‌گیری آرایش ذرات خاک در آزمایشگاه‌های ژئوتکنیک می‌توان استفاده کرد.

یک شاخص مناسب از شکل ذرات و آرایش ذرات خاک باشد.

#### ۵. نتیجه‌گیری

WT برای تعیین توزیع اندازه ذرات خاک استفاده شده‌است. این مقاله طبقه بندی آرایش ذرات خاک را بر اساس WT توصیف می‌کند. EI با مقایسه انرژی‌های افقی و عمودی تعیین می‌شود. مقادیر EI بزرگتر از صفر نشان می‌دهد که دانه‌ها به صورت افقی آرایش یافته‌اند، در حالی که مقادیر کوچکتر از صفر نشان دهنده آرایش عمودی دانه‌های خاک

#### منابع

- Azami, A., Pietruszczak, S., Guo, P., 2010. Bearing capacity of shallow foundations in transversely isotropic granular media. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 34(8): 771-793.
- Bowman, E.T., Soga, K., Drummond, W., 2001. Particle shape characterisation using fourier descriptor analysis. *Geotechnique*, 51(6): 545-554.
- Dipova, N., 2017. Determining the grain size distribution of granular soils using image analysis. *Acta Geotechnica Slovenica*, 14: 29-37.
- Du, C.J., Sun, D.W., 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5): 230-249.
- Eremin, S.N., 2006. Image processing technology in the systems for quality control of sheet metal roll. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 16(1): 127-130.
- Haar, A., 1910. The theory of orthogonal function systems. *Mathematische Annalen*, 69(3): 331-371(in German).
- Islam, M.J., Ahmadi, M., Sid-Ahmed, M.A., 2008. Image processing techniques for quality inspection of gelatin capsules in pharmaceutical applications. *The 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*.
- Kim, F.H., Penumadu, D., Gregor, J., Kardjilov, N., Manke, I., 2013. High resolution neutron and x-ray imaging of granular materials. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(5): 715-723.
- Kim, F.H., Penumadu, D., Hussey, D.S., 2012. Water distribution variation in partially saturated granular materials using neutron imaging. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(2): 147-154.
- Kumara, G.H.A.J.J., Hayano, K., Ogiwara, K., 2012. Image analysis techniques on evaluation of particle size distribution of gravel. *International Journal of Geomate*, 3(1): 290-297.
- Li, X.S., Dafalias, Y.F., 2012. Anisotropic critical state theory: role of fabric. *Journal of Engineering Mechanics*, 138(3): 263-275.
- Luo, D., Macleod J.E.S., Leng, X., Smart, P., 1992. Automatic orientation analysis of particles of soil microstructures. *Géotechnique*, 42(1): 97-107.
- Mahmoud, E., Masad, E., Nazarian, S., 2010. Discrete element analysis of the influences of aggregate properties and internal structure on fracture in asphalt mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(1):10-20.



- Mardia, K.V., Baczkowski, A.J., Feng, X., Hainsworth, T.J., 1997. Statistical methods for automatic interpretation of digitally scanned finger prints. *Pattern Recognition Letters*, 18(11-13): 1197-1203.
- Ohm, H.S. and Hryciw, R.D., 2013. Enhanced soil characterization through advances in imaging technology. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*: 3491-3494.
- Pham, D.L., Xu, C., Prince, J.L., 2000. Current methods in medical image segmentation. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 2: 315-337.
- Sochan, A., Zieliński, P., Bieganski, A., 2015. Selection of shape parameters that differentiate sand grains, based on the automatic analysis of two-dimensional images. *Sedimentary Geology*, 327: 14-20.
- Tabrizi-zarringabaei, S., Ejlali, R.G., Yousefzadeh Fard, M., Seyyedfattahi, S., 2019. An image-based method to determine the particle size distribution (PSD) of fine-grained soil. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 34(3): 81-88.
- Tafesse, S., Fernlund, J.M.R., Bergholm, F., 2012. Digital sieving-Matlab based 3-D image analysis. *Engineering Geology*, 137-138: 74-84.
- Wang, W.H., Liu, X.Y., Sun, Y., 2009. High-throughput automated injection of individual biological cells. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 6(2): 209-219.
- Wilson, J.D., Klotz, L.D., 1996. Quantitative analysis of aggregate based on hough transform. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1530(1): 111-115.
- Yu, H., Zeng, X., Li, B., Ming, H., 2013. Effect of fabric anisotropy on liquefaction of sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(5): 765-774.