



کنترل ابعادی ذرات شن و ماسه بر اساس استاندارد ملی ایران با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

خلیل خلیلی¹، سید محمد امام^{2*}

1- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند

* بیرجند، کد پستی 9719866981، sy.m.emam@birjandut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

یکی از متداولترین تکنیک‌های آنالیز شکل ذرات استفاده از روش سری فوریه می‌باشد. پارامترهای شکل شناسی از قبیل گردی، کشیدگی، تقارن، مثلثی و مربعی بودن با استفاده از توصیف‌گرهای مرتبه پایین و پارامترهای یافت مثل صافی سطح با توصیف‌گرهای از مرتبه بالاتر بیان می‌شوند. ابتدا تصاویر گرفته شده از ذرات شن و ماسه از نظر لبه، رنگ و دیگر مشخصه‌ها بهبود دهی و پردازش می‌شوند، سپس می‌توان از تصویر خروجی و باینری شده با استفاده از الگوریتم سری فوریه، خصوصیات مورد نظر جسم را استخراج کرد. در این مقاله، دو کاربرد سری فوریه برای توصیف ذرات مورد بررسی قرار گرفته است، کاربرد اول بدست آوردن مشخصه‌هایی از قبیل کشیدگی و مثلثی بودن شن و ماسه است که در کاربردهایی از قبیل بتن، اندود گچ و دیگر مصارف ساختمانی، راهسازی و غیره دارای اهمیت می‌باشد. موضوع دوم، امکان مقایسه اندازه ذرات شن و ماسه با مقادیر استاندارد مورد نیاز برای هر کاربرد آن می‌باشد که میزان انحراف از استاندارد را مشخص می‌کند. مقایسه اندازه های استخراج شده با مقادیر بدست آمده توسط روش‌های استاندارد فعلی کارایی روش پردازش تصویر را نشان می‌دهد. ویژگی شکل در استاندارد سنتی مورد بررسی قرار نمی‌گیرد و تنها ابعاد جسم توسط الگهای استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. لذا با استفاده از پردازش تصویر و تکنیک سری فوریه، امکان بهبود استاندارد فعلی از نظر افزایش سرعت، کاهش هزینه‌ها و افزودن پارامترهای شکل ذرات شن و ماسه، امکان‌پذیر خواهد شد.

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 26 تیر 1397
پذیرش: 15 مرداد 1397
ارائه در سایت: آذر 1397

کلیدواژگان:

دانه‌بندی ذرات شن و ماسه
ذرات شن و ماسه
پردازش تصویر
توصیف‌گر سری فوریه
شکل شناسی

Dimensional control of sand particles based on the Iranian National Standard Organization using image processing technique

Khalil Khalili¹, Seyed Mohammad Emam^{2*}

1- Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Department of Mechanical and metallurgy Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

* P.O.B. 9719866981 Birjand, Iran, sy.m.emam@birjandut.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 17 July 2018
Accepted 6 August 2018
Available Online December 2018

Keywords:

Sand Classification
Sand Grains
Image Processing
Fourier series Descriptors
Morphology

Abstract

Fourier series is a general technique for particle shape analysis. Lower order Fourier descriptors provide measures of roundness, elongation, asymmetry, triangularity and squareness. Higher order descriptors provide textural information like surface roughness. In this paper, firstly the captured image of sands grains is pre-processed to improving the quality of image in terms of edge sharpness, color and other image factors. Then, the sand shape characteristics is extracted using the Fourier series from the output Image of the previous step. In this work, two applications of the Fourier series in particle shape analysis are considered. First, the measurement of sand shape characteristics like elongation and triangularity which is important factors in cement mixture, plaster, other building applications and road construction. Secondly, the sizes of sand grains are also measured and compared to standardized classes used for each above mentioned applications to show the deviation from the standard specifies. The comparison between measured data from machine vision technique and conventional standard method show the efficiency of this new visual inspection system. The shape characteristics are not considered in conventional standard and only the dimensional measurement is developed. Therefore, using the machine vision method along with the Fourier series improves the current standard in terms of fast measuring speed, low cost measurement and adding the shape characteristics as well as the size of sands.

1- مقدمه

بعضی به بررسی خصوصیات کلی و برخی به مشخصه‌هایی جزئی‌تری از جسم می‌پردازند [1]. بارت با استفاده از ویژگی گوشه‌دار بودن در مقابل مسطح بودن به معرفی شکل می‌پردازد [2]. شکل 1 نمونه‌ای از کار بارت را نشان می‌دهد. شکل شناسی در زمینه مکانیک خاک توسط کرامین با مفهوم کرویت¹ که

در بسیاری از زمینه‌های علمی و بخش‌های صنعت نیاز به دانستن و آنالیز شکل ذرات می‌باشد. در حقیقت آنالیز ذرات بیان کننده ساختار، دانه‌بندی و دیگر خواص ماده مثل مقاومت برشی، دانسیته، نفوذ پذیری و تراکم پذیری می‌باشد. روش‌های بسیاری برای بیان مشخصه‌های شکل ذرات استفاده شده است.

¹ Sphericity

Please cite this article using:

Kh. Khalili, S. M. Emam, Dimensional control of sand particles based on the Iranian National Standard Organization using image processing technique, *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*, Vol. 5, No. 3, pp. 52-62, 2018 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

بودن ذرات در خواص مواد ملات‌های بدست آمده، ایت پارامتر را با استفاده از تکنیک سری فوریه مورد بررسی قرار داده است [9]. فول و هرلیک با استفاده از سری فوریه در کانی شناسی به بررسی خواص رسوبات پرداخته‌اند [10]. بوهان و همکاران با بررسی خواص مورفولوژیکی برده‌های ایجاد شده توسط ماشین‌آلات، اطلاعات مهمی در مورد مشکلات سایشی بوجود آمده استخراج کردند [11]. اندازه‌گیری ابعاد ذرات با وسایل آزمایشگاهی مثل الک‌ها نیز انجام می‌گیرد ولی هنوز استخراج برخی پارامترها مثل کشیدگی، نوک تیز بودن و غیره به راحتی با وسایل آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست. از طرف دیگر با توجه به محدودیت‌های نظیر هزینه و زمانبر بودن در آزمایشات تجربی، تکنیک‌های متعددی جهت شبیه‌سازی و استخراج ویژگی‌های شکل ذرات پیشنهاد شده است. روش المان گسسته¹ یک حل عددی محاسبه این پارامترها را امکان‌پذیر می‌نماید [12]. تکنیک ماشین بینایی یکی از سریعترین و دقیقترین روش‌های اندازه‌گیری غیرتماسی می‌باشد، بطوریکه استخراج پارامترهای مورفولوژیکی ذرات را با انجام عملیات پردازش تصویر روی عکس‌های تهیه شده از ذرات امکان‌پذیر می‌نماید [13، 14]. با بکارگیری روش‌های عددی مثل سری فوریه، شبیه‌سازی شکل ذره و استخراج ویژگی‌های آن امکان‌پذیر می‌باشد [15].

در این تحقیق نیز با استفاده از ضرایب سری فوریه مشخصه‌هایی از قبیل گردی، کشیدگی، تقارن، مثلثی و مربعی بودن مورد بررسی قرار گرفته است. شن و ماسه مورد استفاده در کاربردهای مختلف مثلاً بتن دارای استانداردهای مخصوصی هستند که به صورت عبور دانه‌های شن از الک‌هایی با اندازه‌های مشخص و با ترتیب خاصی می‌باشد. میزان انحراف از این استاندارد نیز در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

2- استاندارد سنگدانه‌های بتن

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران با توجه به کاربردهای مختلف شن و ماسه، استانداردهای مختلفی تصویب کرده است. به عنوان مثال، استاندارد شماره 302 را برای ماسه بکار رفته در بتن ارائه داده است [16]. در همه‌ی این استانداردها از الک‌های مشخصی استفاده می‌شود که اندازه هر الک بیان‌کننده قطر منافذ آن می‌باشد، با توجه به هر کاربرد خاص باید از الک‌های خاصی با ترتیب از اندازه درشت، متوسط و ریز معلوم استفاده شود. در جدول 1 الک‌های استاندارد همراه با شماره

برابر نسبت مساحت جسم به مساحت کوچکترین دایره‌ی محیط بر جسم است، بیان شد [3]. برای مشاهده بهتر کروی بودن جسم ریتنهاس نمودار دوبعدی کرویت را معرفی کرد [4].

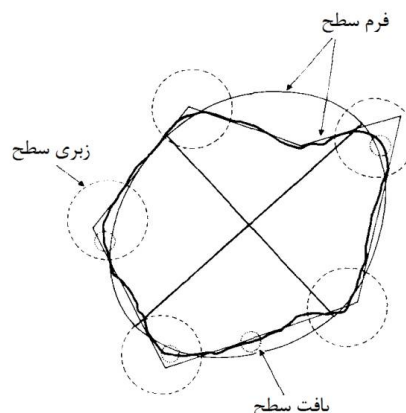


Fig. 1 Barrett Particle shape definition [3]

شکل 1 خصوصیات شکل تعریف شده توسط پارامتر بارت [3]

همچنین مسطح بودن را ویدل [5] با توجه به نسبت انحنای گوشه‌های جسم به کل محیط بیان کرد و کرامبین آن را توسط نمودار دو بعدی کامل نمود [3]. کرویت و مسطح بودن دو تعریف کاملاً متفاوت از شکل شناسی می‌باشند، کرویت نزدیکی شکل به دایره را بیان می‌کند و ارتباط مستقیمی با کشیدگی دارد و هرچه شکل دارای دانه بندی کشیده‌تری باشد، کرویت کمتر است در حالیکه مسطح بودن مربوط به بافت جسم و گوشه‌دار نبودن، می‌باشد. هرچه ذره مسطح‌تر باشد، صافی سطح بیشتر خواهد بود. مسطح بودن را می‌توان به صورت نسبت مجذور محیط به مساحت نیز بیان کرد. در زمینه تکنولوژی پودر، هیود ضریب شکلی به صورت نسبت مساحت به حجم را معرفی کرد [6]. این ضریب برای اشکال پیچیده و ترکیبی کارایی نداشت بنابراین استنفورد و راس ضریبی به صورت نسبت مجموع تورفتگی و برآمدگی ذرات به تعداد آنها را بیان کردند که این ضریب هم فقط اشکال خاصی را شامل می‌شد. پوزاک نیز ضریب شکل را برابر میزان انحراف معیار ذره از شکل استاندارد آن به فرم ماتریسی در نظر گرفت که مسطح بودن را در مقابل نامنظمی شکل نشان می‌داد [7]. سپس آنالیز فراکتل توسط والچ معرفی شد که از این مزیت برخوردار بود که محاسبات پیچیده توسط کامپیوتر انجام می‌شد و علاوه بر مشخصه‌های شکل شناسی، اطلاعات مربوط به بافت جسم را محاسبه می‌نمود، همچنین از ترکیب شدن با ضرایب دیگر استخراج خواص کاملی از جسم امکان‌پذیر می‌باشد [8]. سو با توجه به تاثیر گوشه‌دار

¹ Discrete element method (DEM)

در معادله (1)، $R(\theta)$ مقدار شعاع در زاویه θ ، n تعداد کل هارمونیک‌ها، N شماره هر هارمونیک، a و b ضرایب بیان کننده مقدار و زاویه هر هارمونیک می‌باشند.

برای استفاده از این فرمول باید مرکز سطح جسم مشخص شده و با شروع از زاویه صفر نسبت به محور افقی و یک دور کامل با اختلاف مقدار زاویه یکسان خطوط شعاعی که مرکز سطح جسم را به محیط برخورد می‌دهد ترسیم و در نهایت با استفاده از فرمول (1) سری فوری قطبی بدست می‌آید. سری فوری به فرم کارترین طبق فرمول (2) بدست می‌آید.

$$x_m + iy_m = \sum_{n=-\frac{N}{2}+1}^{\frac{N}{2}} (a_n + ib_n) \left(\cos\left(\frac{2\pi nm}{M}\right) + i \sin\left(\frac{2\pi nm}{M}\right) \right) \quad (2)$$

در معادله (2)، x و y مختصات کارترین هر نقطه، N تعداد کل توصیف‌گرها، n شماره هر توصیف‌گر، M تعداد کل نقطه‌های بیان کننده جسم، m شماره هر نقطه از جسم، a و b ضرایب هر توصیف‌گر و i علامت عدد موهومی می‌باشند.

برای استفاده از فرمول فوری به فرم کارترین باید روی محیط جسم با توجه به گام مورد نیاز پیمایش انجام شود و در هر گام مختصات نقطه را بدست آورد. در نهایت با محاسبه سری فوری نقاط بدست آمده ضرایب هر توصیف‌گر محاسبه می‌شود. توصیف‌گری که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است طبق فرمول (3) محاسبه می‌شود [15]. مقدار هر توصیف‌گر با توجه به مقدار n در جدول (2) آورده شده است.

$$\text{ضریب توصیف‌گر} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (3)$$

جدول 2 توصیف‌گرهای شکل فوری [18]

Table 2 Fourier shape descriptors [18]

| ضریب (n) | توصیف‌گر سری فوری |
|----------|-------------------|
| 0 | گردی |
| 1 | تقارن |
| 2 | کشیدگی |
| 3 | مثلثی بودن |
| 4 | مربعی بودن |

در جدول 3 ضرایب سری فوری برای توصیف‌گرهای مختلف مربوط به چند شکل پایه نشان داده شده است. در این شکل توصیف‌گر (-1) مربوط به کشیدگی، (-2) مثلثی بودن، (-3) مربعی بودن، (+1) تقارن، (+2) کشیدگی از مرتبه دوم و توصیف‌گر (+3) مربوط به مثلثی بودن از مرتبه دوم می‌باشد [۳، ۱۹].

آن‌ها جهت دانه‌بندی انواع سنگدانه‌ها آورده شده است [17]. باید درصد عبوری از هر الک در رنج مشخص و علاوه بر این میزان ناخالصی‌ها نیز باید با عبور از الک‌های مخصوص آزمایش شود. با توجه به درصد عبوری شن و ماسه و ناخالصی‌های، آن میزان انحراف از استاندارد مشخص می‌شود.

3- روش سری فوری

در این تحقیق از روش سری فوری برای بیان میزان انحراف شکل از گرد بودن استفاده شده است، همچنین می‌توان توسط هارمونیک‌های مختلف شکل توصیف‌گرهای اضافی برای دیگر خواص شکل محاسبه نمود. مثلاً هارمونیک از مرتبه دو تقارن شکل، هارمونیک مرتبه سه مثلثی بودن و هارمونیک مرتبه چهار بلوک یا مربعی بودن را مشخص می‌کند. در ادامه روابط ریاضی و پارامترهای مختلف شکل مورد بررسی قرار گرفته است.

3-1- معادلات ریاضی

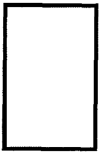
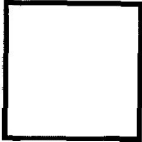

برای استفاده از هارمونیک‌های سری فوری از مرتبه‌های مختلف و بدست آوردن توصیف‌گرهای آن، می‌توان از سری فوری بسته به فرم قطبی و کارترین استفاده نمود. فرم قطبی سری فوری مطابق رابطه (1) قابل محاسبه می‌باشد.

$$R(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^N (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \quad (1)$$

جدول 1 الک‌های استاندارد جهت دانه‌بندی انواع سنگدانه‌ها

Table 1 Standard sieves for the grading of various types of aggregates

| انواع الک‌ها | نمره الک (اینچ) | اندازه الک (میلیمتر) |
|--------------|-----------------|----------------------|
| | 100 | 0/15 |
| | 50 | 0/3 |
| ریز | 30 | 0/6 |
| | 16 | 1/18 |
| | 8 | 2/36 |
| متوسط | 4 | 4/75 |
| | 3/8 | 9/5 |
| | - | 12/5 |
| | - | 19 |
| | - | 25 |
| درشت | - | 37/5 |
| | - | 50 |
| | - | بزرگتر از 50 |

| | | |
|---|--------|--------|
|  | -1 | 0/2680 |
| | +1 | 0/0000 |
| | -2 | 0/0000 |
| | +2 | 0/0814 |
| | -3 | 0/0814 |
|  | +3 | 0/0000 |
| | -1 | 0/0000 |
| | +1 | 0/0000 |
| | -2 | 0/0000 |
| | +2 | 0/0000 |
|  | -3 | 0/1113 |
| | +3 | 0/0000 |
| | -1 | 0/0001 |
| | +1 | 0/0001 |
| | -2 | 0/2500 |
| +2 | 0/0001 | |
| -3 | 0/0001 | |
| +3 | 0/0625 | |

4- سیستم آزمایشگاهی پیاده‌سازی شده

در شکل 2 اجزاء سخت‌افزاری سیستم آزمایشگاهی جهت تصویر برداری، استخراج ابعاد و ویژگی‌های شکل دانه‌های شن نشان داده شده است.

در این تحقیق از دوربین GigE مدل DFK 23GX236 با پایه سنسور CMOS استفاده شده است که یک دوربین ویدیویی با سنسور 1/2.8 اینچ و اندازه 29(H)×29(D)×57(W) میلی‌متر مکعب بوده و تصاویر گرفته شده توسط آن دارای رزولوشن 1920(H)×1200(V) می‌باشد. برای دوربین از لنز Computar مدل M0814-MP2 استفاده شده است که این لنز از نوع C-mount با فاصله کانونی 8 میلی‌متر می‌باشد.



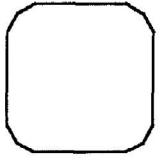
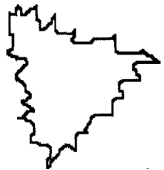
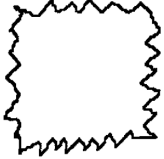
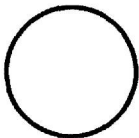
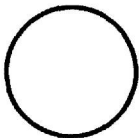
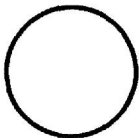
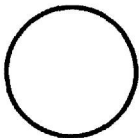


Fig. 2 Stablished laboratory setup

شکل 2 سیستم آزمایشگاهی پیاده‌سازی شده

جدول 3 ضرایب و توصیف‌گرهای فوریه برای اشکال پایه [3]

Table 3 Fourier shape descriptors for general shapes [3]

| اشکال پایه | توصیف‌گر سری فوریه | ضریب سری فوریه |
|--|--------------------|----------------|
|  | -1 | 0/2314 |
| | +1 | 0/0346 |
| | -2 | 0/2286 |
| | +2 | 0/0467 |
| | -3 | 0/0281 |
|  | +3 | 0/0496 |
| | -1 | 0/0043 |
| | +1 | 0/0015 |
| | -2 | 0/1748 |
| | +2 | 0/0019 |
|  | -3 | 0/0035 |
| | +3 | 0/0068 |
| | -1 | 0/0000 |
| | +1 | 0/0000 |
| | -2 | 0/0000 |
|  | +2 | 0/0000 |
| | -3 | 0/0642 |
| | +3 | 0/0000 |
| | -1 | 0/0483 |
| | +1 | 0/0490 |
|  | -2 | 0/2170 |
| | +2 | 0/0268 |
| | -3 | 0/0555 |
| | +3 | 0/0692 |
| | -1 | 0/0214 |
|  | +1 | 0/0799 |
| | -2 | 0/0279 |
| | +2 | 0/0142 |
| | -3 | 0/0816 |
| | +3 | 0/0285 |
|  | -1 | 0/0000 |
| | +1 | 0/0000 |
| | -2 | 0/0000 |
| | +2 | 0/0000 |
| | -3 | 0/0000 |
|  | +3 | 0/0000 |
| | -1 | 0/2607 |
| | +1 | 0/0000 |
| | -2 | 0/0000 |
| | +2 | 0/0749 |
|  | -3 | 0/0137 |
| | +3 | 0/0000 |

در این تحقیق از روش ترکیبی هیکیلا و فاگراس برای کالیبراسیون استفاده شده است [20]. برای استخراج پارامترهای کالیبراسیون شامل ماتریس انتقال و ماتریس دوران با دقت قابل قبول، با توجه به صفحه کالیبراسیون انتخاب شده از 48 نقطه موجود در آن استفاده شده است. در نهایت با جابجا کردن صفحه کالیبراسیون در 20 موقعیت مختلف، محدوده فضایی که قرار است در آن اندازه‌گیری انجام شود کالیبره خواهد شد. پس از یافتن پارامترهای کالیبراسیون و برقراری رابطه مجدد بین نقاط متناظر در صفحه کالیبراسیون و تصویر، برای تمام نقاط، مقدار خطای بین محل واقعی نقاط تصویر و نقاط استخراج شده بر حسب پیکسل در شکل 4 نشان داده شده است. مقدار میانگین خطا در راستای x و y به ترتیب برابر $0/1424$ پیکسل و $0/1486$ پیکسل می‌باشد. جهت بررسی دقت اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از سیستم آزمایشگاهی پیاده‌سازی شده، از سه بلوک گیج Moore & Wright با دقت ساخت $0/45$ تا 1 میکرومتر (با توجه به اندازه بلوک‌ها) مطابق شکل 5 استفاده شده است [21]. با توجه به شکل 6 این سه قطعه در محل صفحه کالیبراسیون قرار گرفته‌اند. شرایط تصویر برداری برای اندازه‌گیری این قطعات با شرایطی که در بخش بعد از دانه‌های شن تصویر برداری شده، یکسان در نظر گرفته می‌شود تا بتوان دقت اندازه‌گیری را مقایسه نمود.

در آزمایش‌ها، قطعات بر روی یک صفحه نوری شامل دیود نوری مینباتوری قرار گرفته‌اند و شرایط نسبتاً ایده آل نورپردازی از پشت را فراهم آورده است. از مزایای این نوع نورپردازی، تشخیص لبه‌ها با دقت بالا می‌باشد. در شکل 7 تصویر گرفته شده از سه بلوک گیج واقع بر روی صفحه نوری نشان داده شده است.

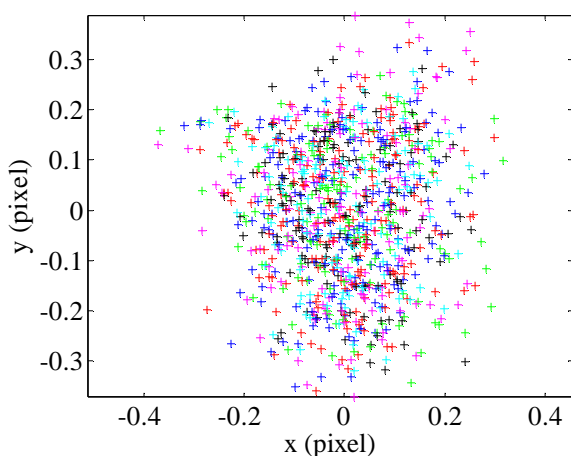


Fig. 4 The calibration error for points of calibration planes
شکل 4 خطای کالیبراسیون برای نقاط صفحات کالیبراسیون

مهمترین بخش، قبل از اندازه‌گیری ابعاد شن با استفاده از سیستم آزمایشگاهی فوق، عملیات کالیبراسیون می‌باشد. با انجام این مرحله امکان تبدیل مختصات جسم از واحد تصویر (پیکسل) به واحد متریک، امکان پذیر می‌باشد. کالیبراسیون شامل تشخیص و معرفی موقعیت مکانی دوربین نسبت به جسم و همچنین یافتن پارامترهای ذاتی دوربین و اعمال آنها می‌باشد. یکی از متداولترین روش‌های کالیبراسیون، استفاده از صفحه شطرنجی مطابق شکل 3 و برقراری ارتباط بین نقاط واقع در آن و نقاط متناظرشان در تصویر می‌باشد [20].

با استفاده از ماتریس دوران R_c و ماتریس انتقال T_c . نقاط واقع در صفحه شطرنجی از مرجع مختصات واقع در آن به مرجع مختصات دوربین انتقال می‌یابد (رابطه 4).

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R_c \times \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} + T_c \quad (4)$$

(x_c, y_c, z_c) مختصات هر نقطه در مرجع دوربین و (x_o, y_o, z_o) موقعیت نقطه متناظر آن در دستگاه مختصات صفحه کالیبراسیون می‌باشد. یکی از مهمترین منابع خطا در حین فرایند کالیبراسیون، اعوجاج لنز می‌باشد که باعث بروز خطای شعاعی و مماسی در حین انتقال نقاط از مرجع مختصات صفحه کالیبراسیون به صفحه تصویر می‌شود.

در خطای شعاعی با توجه به کاهش دقت ساخت لبه‌های لنز نسبت به مرکز آن، نقاط تصویر در راستای شعاع لنز جابجا خواهند شد (کشیدگی تصویر). از سوی دیگر به دلیل قرار نگرفتن محور اپتیکی دو طرف لنز در یک راستا، خطای مماسی در حین ثبت نقاط تصویر بروز خواهد داد.

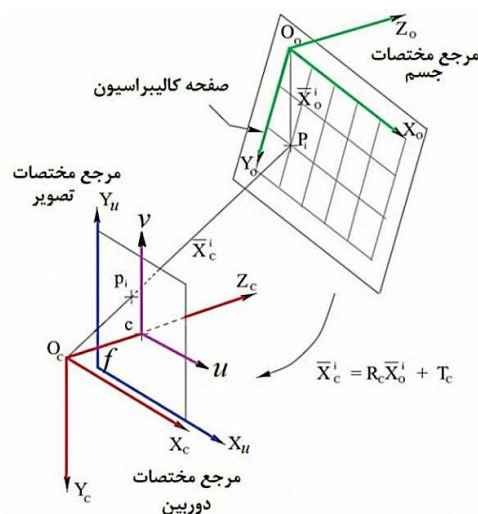


Fig. 3 Perspective Conversion in the Calibration Process [20]

شکل 3 تبدیلات پرسپکتیو در فرایند کالیبراسیون [20]

با توجه به شکل 7 اختلاف روشنایی قطعات مورد اندازه گیری نسبت به زمینه قابل ملاحظه می باشد. لذا تبدیل تصاویر خاکستری به باینری با دقت بسیار خوب قابل انجام است. جهت این تبدیل از نرم افزار NI Vision Assistant و در محیط برنامه نویسی Labview استفاده شده است. در این نرم افزار، الگوریتم های مختلفی مثل Entropy، Metric، Inter variance و غیره برای این منظور قابل استفاده می باشد. الگوریتم های مختلف دیگری نیز در این نرم افزار قابل اعمال می باشد که برای تصاویر با تنوع بالایی تغییرات نوری، مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به اختلاف سطح روشنایی زیاد بین قطعات از زمینه در این مقاله، که به علت استفاده از تصاویر با کنتراست زیاد بوجود آمده است، نتایج حاصل از الگوریتم های مختلف تقریباً یکسان می باشد و لذا از بکارگیری بقیه روش ها صرف نظر شده است. در روش Inter variance آستانه بهینه بر اساس ماکزیمم کردن واریانس بین مناطق (با سطح روشنایی مختلف) موجود در تصویر استخراج می شود. در روش Metric برای هر آستانه، با توجه به سطوحی که معرف مقیاس خاکستری اولیه هستند، مقداری تعیین می شود. نهایتاً آستانه بهینه مربوط به کوچکترین مقدار است. Entropy روشی جهت تشخیص اجسام ریز موجود در تصویر است که بیشتر برای تشخیص عیوب موجود در تصویر استفاده می شود [22]. در مرحله بعد باید مرز جسم استخراج گردد. در این مرحله با عبور خطوط موازی از تصویر باینری شده، اولین پیکسل هر خط که شدت روشنایی آن از سطح یک (سفید) به صفر (سیاه) تغییر میکند به عنوان لبه اول و در ادامه، اولین پیکسلی که شدت روشنایی از سطح صفر به یک تغییر می کند به عنوان لبه دوم شناسایی می شود. در شکل 8، به عنوان نمونه، لبه های استخراج شده از تصویری که توسط روش Metric باینری شده نشان داده شده است.

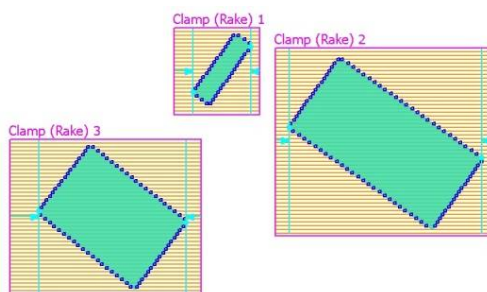


Fig. 8 Image of edges extracted using Clamp

شکل 8 تصویر لبه های استخراج شده توسط دستور Clamp

با اعمال پارامترهای کالیبراسیون استخراج شده روی لبه های



(الف)



(ب)

Fig. 5 a) Moore & Wright measurement gages box b) Selected gages for measuring the accuracy of the system

شکل 5 الف) جعبه بلوک اندازه گیری Moore & Wright (ب) بلوک گیج های انتخاب شده جهت بررسی دقت سیستم



Fig. 6 Imaging of gages using the established laboratory system

شکل 6 سیستم آزمایشگاهی در حال تصویربرداری از بلوک گیج ها



Fig. 7 Image of gages on the optical plate

شکل 7 سیستم آزمایشگاهی در حال تصویربرداری از بلوک گیج ها



(الف)



(ب)

Fig. 10 Imaging of sands a) Optical plate off b) Optical plate on
شکل 10 تصویر اولیه ذرات شن و ماسه: الف) صفحه نوری خاموش ب) صفحه نوری روشن

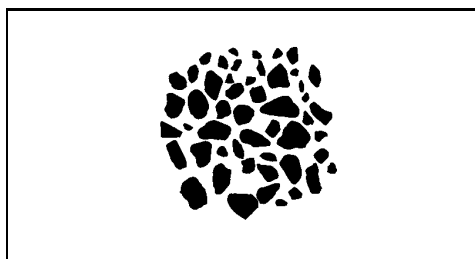


Fig. 11 Image of sands after applying Inter variance binary filter
شکل 11 تصویر شن و ماسه پس از بکارگیری فیلتر باینری Inter variance

تصویر باینری شده در این قسمت به عنوان ورودی برای انجام محاسبات ریاضی و اعمال سری فوریه روی ذرات و استخراج خصوصیات شکل، استفاده می‌شود. در بخش بعد توضیحات مربوط به محاسبات توضیح داده خواهد شد. با توجه به اینکه در شکل 11 تعداد 51 ذره شن و ماسه قرار دارد، لذا جهت مشخص شدن خصوصیات هر شن، از شماره گذاری طبق شکل 12 استفاده شده است.

6- محاسبات و استخراج پارامترهای شکل

برای انجام معادلات ریاضی و استخراج نتایج از نرم‌افزار National Instruments Labview v8.2.1 و برای بدست آوردن توصیف‌گرهای شکل ذرات از سری فوریه قطبی استفاده شده

استخراج شده، ابعاد بلوک‌ها برای سه الگوریتم Entropy، Metric و Inter variance در جدول 4 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج دارای اختلاف قابل ملاحظه‌ای نمی‌باشند. با توجه به میزان خطا در این جدول، برای باینری کردن تصاویر در مراحل بعد (پردازش تصویر ذرات شن) از روش Inter variance استفاده شد.

5- پردازش تصویر ذرات شن و ماسه

در شکل 9 تصویربرداری از ذرات شن و ماسه نشان داده شده است. چیدمان سیستم آزمایشگاهی در این حالت دارای شرایط کاملاً یکسانی با قسمت قبل (شکل 7) می‌باشد. در شکل 10 تصویر اولیه گرفته شده از ذرات شن و ماسه در حالتیکه صفحه نوری روشن و خاموش باشد، نشان داده شده است. با توجه به توضیحات قسمت قبل، در این مرحله نیز با استفاده از روش Inter variance ذرات شن و ماسه به تصویر باینری تبدیل می‌شوند. در شکل 11 تصویر باینری ذرات نشان داده شده است.

جدول 4 نتایج حاصل از اندازه‌گیری بلوک گیج‌ها

| اندازه استخراج شده از تصویر باینری شده | | | اندازه واقعی بلوک (mm) |
|--|--------|---------|------------------------|
| Inter variance | Metric | Entropy | |
| 10/19 | 10/21 | 10/23 | 10 |
| 50/23 | 50/25 | 50/31 | 50 |
| 70/26 | 70/29 | 70/32 | 70 |
| 0/91 | 1/00 | 1/13 | میانگین درصد خطا |



Fig. 9 Imaging of sands using the established laboratory system
شکل 9 سیستم آزمایشگاهی در حال تصویربرداری از ذرات شن و ماسه

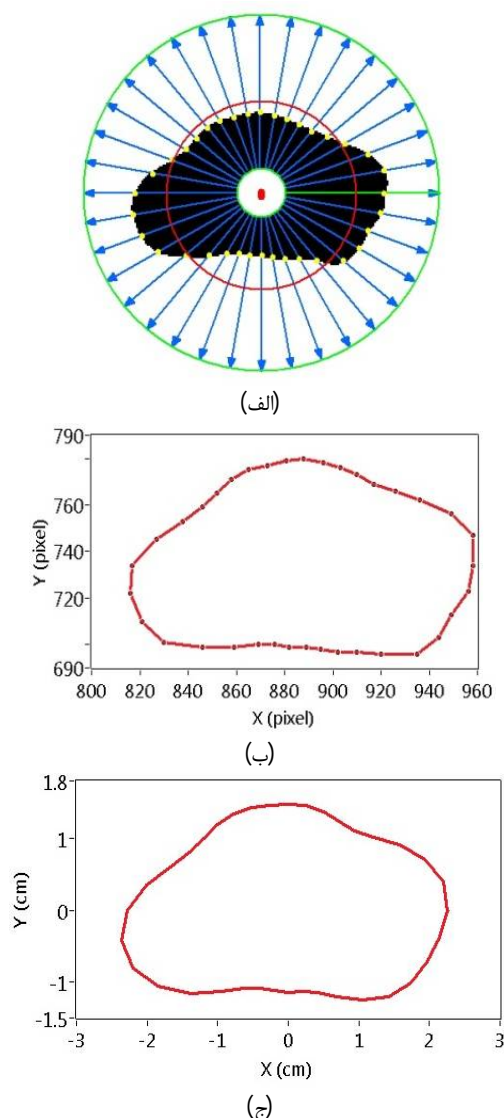


Fig. 13 a) A selected sand b) Connected boundary points graph c) Connected boundary points graph after applying the Fourier series
شکل 13 الف) ذره شن و ماسه. ب) گراف حاصل از اتصال نقاط مرزی (ج) گراف حاصل از اعمال سری فوری روی نقاط مرزی

یکی از متغیرهای موجود در بدست آوردن ضرایب سری فوریه گام‌های زاویه‌های برای یک دوران کامل و استخراج نقاط می‌باشد. هرچه گام زاویه‌ای کوچکتر باشد دقت بالاتر می‌باشد ولی در عین حال زمان محاسبه را بالا می‌برد. با بررسی چهار گام زاویه‌ای متفاوت مشخص می‌شود که با کم کردن تأثیر چشمگیری در نتایج حاصل نمی‌شود. تغییر گام زاویه‌ای در پنج پارامتر شکل ذره در شکل‌های 15 تا 19 نشان داده شده است. در این مقاله برای داشتن دقت مناسب از گام زاویه‌ای 5 درجه استفاده شده است. در جدول 5 میانگین پنج پارامتر مربوط به هر ذره نشان داده شده است.

است. برای این منظور ابتدا باید نقاط روی مرز جسم با گام‌های زاویه‌ای مساوی استخراج شود. در این نرم‌افزار با توجه به پارامترهای متعددی که از خصوصیات هندسی جسم قابل استخراج است، ابتدا مرکز هندسی هر شن، شعاع دایره محیطی و شعاع دایره محاطی استخراج می‌شود. مرکز هندسی به عنوان مرکز الگوریتم لبه‌یاب دایره‌ای در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد دو دایره به مرکز ذکر شده ترسیم می‌شود. دایره اول با شعاعی کوچکتر از شعاع دایره محاطی و دایره بزرگ به شعاعی بزرگتر از دایره محیطی ترسیم می‌شود. دلیل انتخاب این دو دایره با شعاع‌های ذکر شده، اطمینان از قرار گرفتن مرز ذره بین دایره‌ها می‌باشد. در مرحله آخر و با توجه به دقت مورد نیاز، خطوطی با گام زاویه‌ای مورد نظر از محیط دایره کوچک به سمت محیط دایره بزرگ ترسیم و محل برخورد اولین پیکسلی که مرز بین سطح تاریک و روشن باشد، به عنوان لبه جسم تعیین می‌شود. بعد از بدست آمدن نقاط و اعمال تکنیک فوریه، پارامترهای کشیدگی، گرد بودن ذرات جسم، تقارن، مثلثی و مربعی بودن برای هر یک از ذرات مشخص می‌شود. ولی برای استفاده از این ضرایب باید میانگین هر یک از پنج پارامتر گرفته شود تا بتوان آن‌ها را با پارامترهای مشابه از شکل دیگر مقایسه کرد. با مقایسه این پارامترها می‌توان شن و ماسه مناسب‌تر را برای کاربرد مورد نظر انتخاب نمود. شکل 13 یکی از ذرات شن که نقاط مرزی آن پیدا شده همراه با گراف این نقاط و گراف حاصل از اعمال سری فوریه بسته ذره را نشان می‌دهد. در شکل 14 اعمال این فرایند برای تمام ذرات شن و ماسه نشان داده شده است.

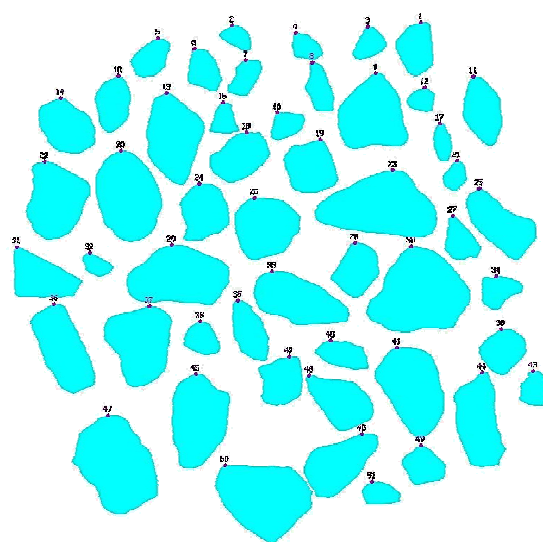


Fig. 12 Numbered sands

شکل 12 ذرات شن و ماسه شماره‌گذاری شده

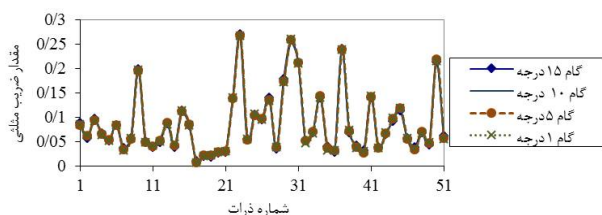


Fig. 18 The effect of angular step on the triangularity factor

شکل 18 تأثیر گام زاویه‌ای روی ضریب مثلثی بودن شکل

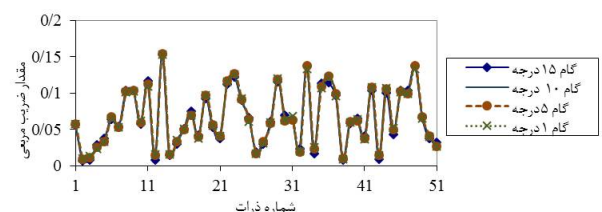


Fig. 19 The effect of angular step on the squareness factor

شکل 19 تأثیر گام زاویه‌ای روی ضریب مربعی بودن شکل

در حال حاضر استاندارد موجود برای ذرات شن و ماسه استفاده از ال‌کهای استاندارد و بررسی اندازه ذرات می‌باشد، ولی واضح است که این پارامتر برای بیان خصوصیات شن کافی نمی‌باشد. همان‌طور که ذکر شد کشیدگی و گوشه دار بودن شکل از جمله پارامترهای مهم برای ذرات قابل قبول در استفاده‌های مختلف می‌باشد که با استفاده از نتایج حاصل از اعمال سری فوریه قابل دسترسی است.

7- مقایسه با استاندارد شن موجود در بتن

با توجه به استاندارد 302 موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای شن و ماسه بکار رفته در بتن ال‌کهای استاندارد می‌باشند باید ذرات شن از آن عبور کنند و دارای درصد خاصی باشند مشخص می‌شود. در جدول 6 الزامات اجباری برای دانه‌های درشت بتن را نشان می‌دهد، که در این جدول محدوده قابل قبول درصد عبوری مشخص می‌باشد. برای بررسی اندازه ذرات شن و ماسه و گروه بندی آن‌ها به سه دسته ذرات ریز، متوسط و درشت، نتایج در جدول 7 نشان داده شده است. در این جدول تعداد ذراتی که در هر گروه قرار می‌گیرند و درصد عبوری از هر ال‌ک را نشان می‌دهد که با مقایسه با جدول 6 استفاده از این مجموعه شن و ماسه برای کاربرد در بتن رد و یا پذیرفته می‌شود. همان‌طور که در قسمت کالیبراسیون توضیح داده شد، دقت اندازه‌گیری سیستم (0/91 درصد میانگین خطا) می‌باشد. با توجه به اینکه شرایط اندازه‌گیری ذرات در این قسمت دارای شرایط مشابهی با بلوک گیج‌ها است، لذا نتایج جدول 7 با دقت بالایی قابل استناد می‌باشد. از مقایسه جدول 6 و جدول 7

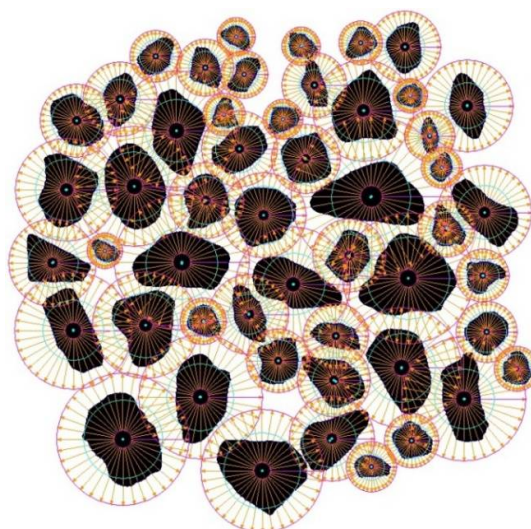


Fig. 14 Extraction of sand boundary points

شکل 14 استخراج نقاط مرزی شن‌ها

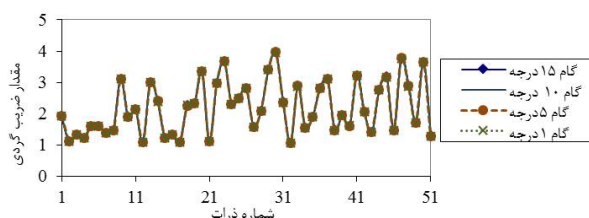


Fig. 15 The effect of angular step on the rounding factor

شکل 15 تأثیر گام زاویه‌ای روی ضریب گردی شکل

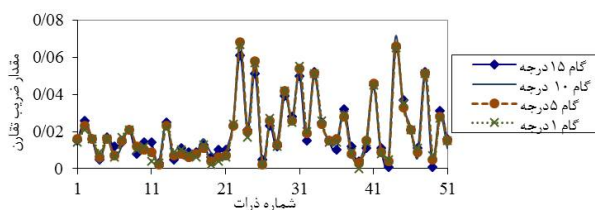


Fig. 16 The effect of angular step on the asymmetry factor

شکل 16 تأثیر گام زاویه‌ای روی ضریب تقارن شکل

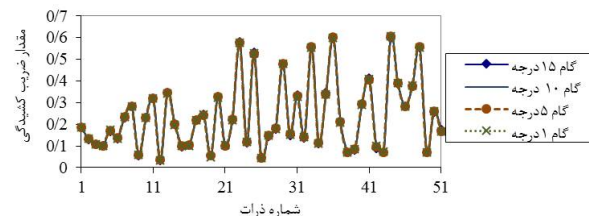


Fig. 17 The effect of angular step on the elongation factor

شکل 17 تأثیر گام زاویه‌ای روی ضریب کشیدگی شکل

جدول 5 میانگین پارامترهای شکل شناسی ذرات شن و ماسه

Table 5 The mean values of shape factor descriptors

| تعداد ذره | گردی | تقارن | کشیدگی | مثلثی | مربعی |
|-----------|------|-------|--------|-------|-------|
| 51 | 2/19 | 0/020 | 0/238 | 0/087 | 0/066 |

8- نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از روش بدیع ماشین بینایی، کنترل ابعادی ذرات شن و ماسه‌ی مورد استفاده در بتن انجام گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده، اندازه‌گیری ابعادی دانه‌های شن با میانگین خطای 0/91 درصد امکان‌پذیر می‌باشد. همچنین، با استفاده از توصیفگرهای سری فوریه، خواص مورفولوژیکی دانه‌های شن از قبیل کشیدگی و گوشه‌دار بودن استخراج شده است. با توجه به اهمیت ویژگی‌های ابعادی و مورفولوژیکی دانه در کیفیت نهایی اختلاط بتن، لذا پیشنهاد می‌شود این دو پارامتر مهم بصورت هم‌زمان در استاندارد ملی ایران گنجانده شود. با این عمل کیفیت بتن تولیدی از نظر خواص مکانیکی مثل مقاومت برشی بهبود خواهد یافت.

9- مراجع

- [1] S. J. Blott, K. Pye, Particle shape: a review and new methods of characterization and classification. *Sedimentology*, Vol. 55, No.1, pp. 31-63, 2008.
- [2] P. J. Barrett, The shape of rock particles, a critical review. *Sedimentology*, Vol. 27, No. 3, pp. 291-303, 1980.
- [3] E. T. Bowman, K. Soga, T. W. Drummond, *Particle shape characterisation using Fourier analysis*, University of Cambridge, Department of Engineering, 2000.
- [4] G. Rittenhouse, A visual method of estimating two-dimensional sphericity, *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 13, No. 2, pp. 79-81, 1943.
- [5] H. Wadell, Volume, shape, and roundness of rock particles, *The Journal of Geology*, Vol. 40, No. 5, pp. 443-451, 1932.
- [6] H. Heywood, Particle shape coefficients, *J. Imperial College Chemical Society*, Vol. 8, pp. 25-33, 1954.
- [7] F. Podczec, a shape factor to assess the shape of particles using image analysis, *Powder technology*, Vol. 93, No. 1, pp. 47-53, 1997.
- [8] L. E. Vallejo, Fractal analysis of granular materials, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, Vol. 8, No. 32, pp. 371A, 1995.
- [9] D. Su, W. M. Yan, Quantification of angularity of general-shape particles by using Fourier series and a gradient-based approach, *Construction and Building Materials*, Vol. 161, pp. 547-554, 2018.
- [10] W. E. Full, R. Ehrlich, *Fourier Shape Analysis—A Multivariate Pattern Recognition Approach*, CRC Press, 2018.
- [11] W. Yuan, K. S. Chin, M. Hua, G. Dong, C. Wang,

مشاهده می‌شود که ذرات شن بررسی شده در این مقاله به مقدار استاندارد موجود نزدیک می‌باشد. بنابراین با توجه به ضریب اطمینان و اهمیت کاربرد شن و ماسه استفاده از این مخلوط مورد بررسی، رد و یا پذیرفته می‌شود. در شکل 20 حداکثر درصد عبوری از الک‌های استاندارد با اندازه ذرات شن مورد نظر مقایسه شده است.

جدول 6 الزامات در نظر گرفته شده برای دانه‌های درشت بتن

| اندازه الک به میلی‌متر | درصد عبور کرده |
|------------------------|----------------|
| 2/36 | - |
| 4/75 | 5 – 0 |
| 9/5 | - |
| 12/5 | 30 – 10 |
| 19 | - |
| 25 | 70 – 35 |
| 37/5 | - |
| 50 | 100 – 95 |
| بیشتر از 50 | 100 |

جدول 7 درصد و تعداد ذرات عبوری از هر الک

| انواع الک‌ها | درصد عبوری | تعداد ذره | اندازه الک (میلی‌متر) |
|---------------|------------|-----------|-----------------------|
| الک‌های ریز | 0 | 0 | 0/15 |
| | 0 | 0 | 0/3 |
| | 0 | 0 | 0/6 |
| | 0 | 0 | 1/18 |
| الک‌های متوسط | 4 | 2 | 9/5 |
| | 22 | 11 | 12/5 |
| | 41 | 21 | 19 |
| الک‌های درشت | 59 | 30 | 25 |
| | 94 | 48 | 37/5 |
| | 100 | 51 | 50 |
| | 100 | 51 | بزرگتر از 50 |

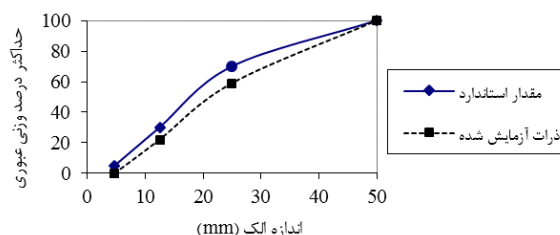


Fig. 20 The particle size deviation from the standard value

شکل 20 میزان انحراف اندازه ذرات از مقدار استاندارد

- Industrial Research of Iran, Iran, 2003. (In Persian).
- [17] ISIRI, *Aggregates - Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates - Test Method*, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Iran, 2015. (In Persian).
- [18] Kh. Khalil, S. M. Emam, Sand Shape Classification using Fourier Series and Image Processing Technique, *In 5th International Conference of Image Processing & Machine Vision*, The university of Tabriz, Tabriz, 2009. (In Persian).
- [19] P. L. Rosin, J. Žunić, Measuring squareness and orientation of shapes, *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol. 39, No. 1, pp. 13-27. 2011.
- [20] Kh. Khalil, S. Khatibi, S. M. Emam, Improving the Accuracy of Laser Scanning using Dithering Technique and Simultaneous Laser and Camera Calibration, *Journal of the Mechanical Engineering*, The university of Tarbiat Modares, Vol. 13, No. 2, pp. 79-92, 2013. (In Persian).
- [21] http://www.digital-caliper.co.uk/product_info.php?products_id=292
- [22] <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/372916P-01/nivisionconcepts/thresholding/>
- Shape classification of wear particles by image boundary analysis using machine learning algorithms, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 72, pp. 346-358, 2016.
- [12] N. Das, *Modeling three-dimensional shape of sand grains using discrete element method*, ProQuest, 2007.
- [13] T. T. Le, D. Miclet, P. Heritier, E. Piron, A. Chateauneuf, M. Berducat, Morphology characterization of irregular particles using image analysis. Application to solid inorganic fertilizers, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 147, pp.146-157, 2018.
- [14] J. Rodellar, S. Alférez, A. Acevedo, A. Molina, A. Merino, Image processing and machine learning in the morphological analysis of blood cells, *International journal of laboratory hematology*, Vol. 40, pp. 46-53, 2018.
- [15] M. W. Clark, Quantitative shape analysis: a review, *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, Vol. 13, No. 4, pp. 303-320, 1981.
- [16] ISIRI, *Concrete aggregates – Specifications (Standard No. 302)*, Institute of Standards and