



# اندازه‌گیری دقیق و کنترل کیفیت

(جزوه تکمیلی)

دانشکده مهندسی صنایع

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

این متن به منظور تکمیل برخی مطالب جزوه اندازه گیری دقیق رشته مهندسی صنایع تهیه گردیده است .  
امیدوارم در آینده مطالب تکمیلی تر ، که برای دانشجویان مفید باشد به متن حاضر اضافه گردد.

به امید موفقیت

محمد نوروزی

دانشکده مهندسی صنایع-دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## 1 - سنجه‌های بلوکی

سنجه‌های بلوکی برای اندازه‌گیری های بسیار دقیق استفاده می‌شود. وسایل ساده‌ای که در کار اندازه‌گیری استفاده می‌شوند از جنسهای فولاد، تنگستن، سرامیک و آلومینیوم ساخته می‌شود زیرا اکثر قطعات صنعتی از این جنس‌ها هستند و جهت حذف خطاهای شرایط محیطی ناشی از تفاوت جنس قطعات و ابزار اندازه‌گیری از سنجه‌های هم جنس برای اندازه‌گیری استفاده می‌گردد. البته رایج ترین سنجه‌های بلوکی ، از جنس فولاد می‌باشد .

دقیق ترین سنجه‌ها در آزمایشگاه‌های کالیبراسیون استفاده می‌شود و از زمان تولید تا زمان مصرف باید در شرایط خاص نگهداری شود. سنجه‌های بلوکی شش وجه دارند . دو وجه کاملا صیقلی (اصطلاحا آینه‌ای) و چهار وجه غیر صیقلی و بعضا زبر ، که در اندازه‌گیری ها از این وجوه صیقلی استفاده می‌گردد که اصطلاحا به آنها سطوح مرجع گفته می‌شود. سنجه‌های بلوکی از نظر سیستم اندازه‌گیری به دو نوع میلیمتری و اینچی تقسیم می‌گردند .

می‌توان سطوح مرجع سنجه‌های بلوکی میلیمتری را به این نحوه نیز تشخیص داد :

**اندازه‌های اسمی کوچکتر از شش میلیمتر :** همان وجهی که عدد اندازه اسمی درج گردیده .

**اندازه‌های اسمی بزرگتر مساوی شش میلیمتر :** وجهی که عدد اندازه اسمی درج گردیده را مقابل خود بگیرد وجوه چپ و راست سنجه وجوه مرجع هستند.

سنجه‌های بلوکی از نظر شکل ظاهری به دو صورت مکعب مستطیل و با سطح مقطع مستطیلی و سطح مقطع مربعی وجود دارند که سنجه‌های مربعی در وسطشان سوراخی تعبیه شده است تا برای چسباندن سنجه‌های بلوکی بتوان از پیچ و مهره استفاده نمود .

### 1-1- درجه بندی سنجه‌های بلوکی

از نظر میزان دقت می‌توان سنجه‌های بلوکی را در چهار گرید درجه بندی نمود :

- گرید آزمایشگاهی یا گرید 00
- گرید AA یا گرید 0
- گرید A+ یا گرید I
- گرید A یا گرید II یا گرید کارگاهی

در جدول زیر میزان خطای مجاز هر یک از گریدها ذکر گردیده که نحوه بدست آوردن این خطاها نیز در ادامه ذکر خواهد شد.

- گرید آزمایشگاهی یا گرید 00

خطای صافی سطح	خطای توازی	خطای طول	اندازه اسمی
معادل با تختی کوارتز	0.00003	$\pm 0.00003$	تا 25 میلی متر
	0.00003	$\pm 0.00005$	بین 25 تا 50 میلیمتر
	0.00003	$\pm 0.00008$	بین 50 تا 75 میلیمتر
	0.00003	$\pm 0.00010$	بین 75 تا 100 میلیمتر

- گرید AA یا گرید 0

خطای صافی سطح	خطای توازی	خطای طول	اندازه اسمی
0.000003 تا 0.000008	0.00005	$\pm 0.00005$	تا 25 میلی متر
	0.00005	$\pm 0.0001$	بین 25 تا 50 میلیمتر
	0.00005	$\pm 0.00013$	بین 50 تا 75 میلیمتر
	0.00005	$\pm 0.00015$	بین 75 تا 100 میلیمتر

- گرید A+ یا گرید I

خطای صافی سطح	خطای توازی	خطای طول	اندازه اسمی
0.000015 تا 0.000020	0.00008	$+0.00010$ $-0.00005$	تا 25 میلی متر
	0.00008	$+0.00015$ $-0.00010$	بین 25 تا 50 میلیمتر
	0.00008	$+0.00025$ $-0.0015$	بین 50 تا 75 میلیمتر
	0.00008	$+0.00030$ $-0.00015$	بین 75 تا 100 میلیمتر

- گرید A یا گرید II یا گرید کارگاهی

خطای صافی سطح	خطای توازی	خطای طول	اندازه اسمی
0.00002	0.00008	+0.00015 -0.00005	تا 25 میلی متر
	0.00008	+0.00030 -0.00010	بین 25 تا 50 میلیمتر
	0.00008	+0.00045 -0.0015	بین 50 تا 75 میلیمتر
	0.00008	+0.00055 -0.00020	بین 75 تا 100 میلیمتر

در یکی از سه حالت زیر باید سنج‌ها کالیبره شوند :

- بازرسی چشمی نشان دهنده سایش غیر نرمال روی سطح سنج‌ها باشد .
- چسباندن سنج‌ها روی هم مشکل باشد.
- هنگامی که تعداد قطعات رد شده افزایش یابد.

معمولا گرید 00 هر سال چهار بار و گرید 0 سالی دو بار باید کالیبره شوند و این کار در مقایسه با استانداردهای مادر انجام می‌شود و به صورت پرودیک بوده و نباید بیش از یک سال طول بکشد .

## 1-2- کاربرد سنج‌ها

سنج‌ها عمدتا دارای کار بردهای زیر می‌باشند :

- در اندازه‌گیری های بیش از 5 اینچ معمولا از سنج‌ها استفاده می‌شود .
- عمدتا در اندازه‌گیری های مقایسه‌ای استفاده می‌شود .
- برای کالیبراسیون دستگاه‌ها از سنج‌ها استفاده می‌شود .
- تنظیم کمپراتور ، ساعت و امثال آن
- تنظیم ماشین آلات
- اندازه‌گیری طول
- شابلون برو - نرو

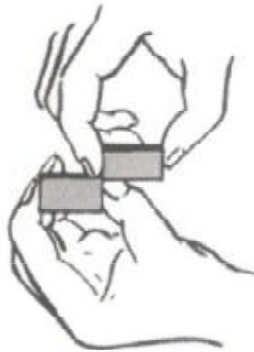
### 1-3- چسبیدن سنجها

اگر دو سطح کاملا تخت و صاف با هم در ارتباط قرار بگیرند ، به هم می چسبند ، لذا سنجها را می توان به هم متصل کرد البته بین آنها یک فریم (لایه ای) از هوا قرار می گیرد که این فاصله در حدود 0.025 میکرومتر است . هر چه سطوح صاف تر باشند فریم هوایی بین دو سطح از بین رفته و این به دلیل جاذبه بین مولکولی می باشد هر چند که دلیل اصلی آن کاملا مشخص نیست . دقت داشته باشید که نباید به مدت طولانی سنجها به هم چسبیده باقی بمانند .

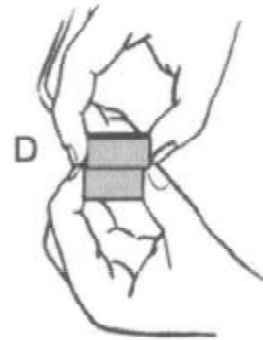
#### نحوه چسباندن سنجها :

A مطمئن شوید که سطوح سنجها تمیز است.

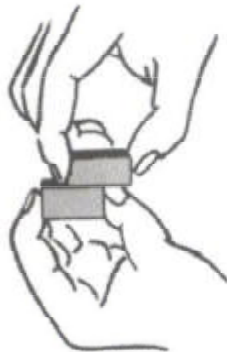
B برای شروع، سطوح سنجها را در حدود چند میلیمتر روی هم بیندازید.



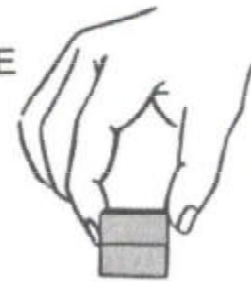
D اکنون بلوکها به هم خواهند چسبید.



C درحالی که آرامی دو بلوک را به هم فشار می دهید، آن دو را روی هم بلغزانید.



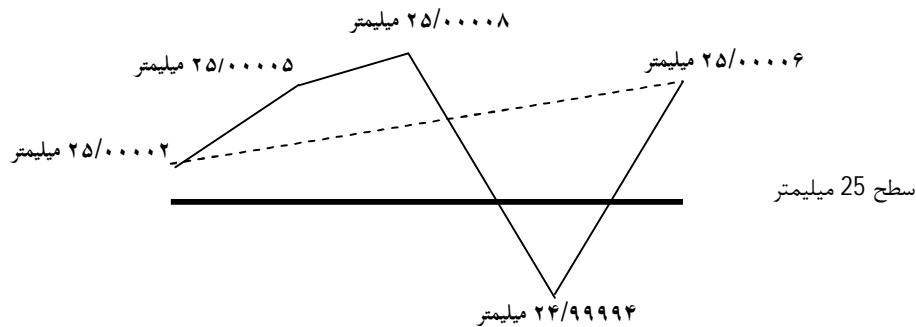
E آرامی بلوکها را بلغزانید تا اینکه سطوح سنجها کاملاً با همدیگر جفت شوند.





چون فاصله نقاط از هم برابر است سایر نقاط نیز با اندازه‌های مشخص از رابطه  $\frac{\text{مقدار نهایی} - \text{مقدار اولیه}}{-1 \text{ تعداد نقاط}}$  کاهش می‌یابند .

در این مثال  $\frac{0-4}{5-1} = -1$  یعنی اختلاف نقاط از نقطه اولیه 1- می‌باشد. (ستون حذف شیب)



قدم سوم : محاسبه اعوجاج قسمت بالایی سنجه

در هر ردیف ستون حذف مقدار اولیه را با ستون حذف شیب جمع می‌کنیم . مقدار بیشینه این ستون منهای مقدار کمینه این ستون ، مقدار اعوجاج یا خطای صافی سطح قسمت بالایی سنجه می‌باشد. ( $F_{Top}$ )

قدم چهارم : محاسبه اعوجاج قسمت زیرین سنجه

تمامی مراحل قبل را برای اندازه‌های قسمت زیرین سنجه (Bottom) انجام می‌دهیم. که مقدار  $F_{Bottom}$  بدست می‌آید.

قدم پنجم : محاسبه خطای صافی سطح سنجه

مقدار بیشینه  $F_{Top}$  و  $F_{Bottom}$  میزان خطای صافی سطح سنجه بلوکی خواهد بود .

به مثال حل شده زیر توجه نمائید:

ابتدا اعوجاج سطح بالایی سنجه را محاسبه می‌کنیم :

نقاط	مقدار خوانده شده Top	حذف مقدار اولیه
0	25/00002	25/00002 - 25/00002 = +0/00000
1	25/00005	25/00005 - 25/00002 = +0/00003
2	25/00008	25/00008 - 25/00002 = +0/00006
3	24/99994	24/99994 - 25/00002 = - 0/00008
4	25/00006	25/00006 - 25/00002 = +0/00004

حذف شیب :

$$\frac{\text{مقدار اولیه} - \text{مقدار نهایی}}{\text{تعداد نقاط} - 1} = \frac{0.00000 - 0.00004}{5 - 1} = -0.00001$$

نقاط	مقدار خوانده شده Top	حذف مقدار اولیه	حذف شیب
0	25/00002	+0/00000	-0/00000
1	25/00005	+0/00003	-0/00001
2	25/00008	+0/00006	-0/00002
3	24/99994	-0/00008	-0/00003
4	25/00006	+0/00004	-0/00004

خطای صافی سطح قسمت بالایی سنجه :

نقاط	مقدار خوانده شده Top	حذف مقدار اولیه	حذف شیب	اعوجاج
0	25/00002	+0/00000	-0/00000	+0/00000 + (-0/00000) = +0/00000
1	25/00005	+0/00003	-0/00001	+0/00003 + (-0/00001) = +0/00002
2	25/00008	+0/00006	-0/00002	+0/00006 + (-0/00002) = +0/00004
3	24/99994	-0/00008	-0/00003	-0/00008 + (-0/00003) = -0/00011
4	25/00006	+0/00004	-0/00004	+0/00004 + (-0/00004) = +0/00000

$$F_{Top} = Max - Min = +0.00004 - (-0.00011) = +0.00015 mm$$

حال خطای صافی سطح قسمت زیرین سنجه را محاسبه می کنیم :

نقاط	مقدار خوانده شده Bottom	حذف مقدار اولیه
0	25/00003	25/00003 - 25/00003 = +0/00000
1	25/00001	25/00001 - 25/00003 = -0/00002
2	24/99998	24/99998 - 25/00003 = - 0/00005
3	25/00006	25/00006 - 25/00003 = +0/00003
4	25/00009	25/00009 - 25/00003 = +0/00006

حذف شیب :

$$\frac{\text{مقدار اولیه} - \text{مقدار نهایی}}{\text{تعداد نقاط} - 1} = \frac{0.00000 - 0.00006}{5 - 1} = -0.000015$$

نقاط	مقدار خوانده شده Bottom	حذف مقدار اولیه	حذف شیب
0	25/00003	+0/00000	-0/00000
1	25/00001	-0/00002	-0/000015
2	24/99998	-0/00005	-0/00003
3	25/00006	+0/00003	-0/000045
4	25/00009	+0/00006	-0/00006

محاسبه خطای صافی سطح :

نقاط	مقدار خوانده شده Bottom	حذف مقدار اولیه	حذف شیب	اعوجاج
0	25/00003	+0/00000	-0/00000	+0/00000 + (-0/00000) = +0/00000
1	25/00001	-0/00002	-0/000015	-0/00002 + (-0/000015) = -0/000035
2	24/99998	-0/00005	-0/00003	-0/00005 + (-0/00003) = -0/00008
3	25/00006	+0/00003	-0/000045	+0/00003 + (-0/000045) = -0/000015
4	25/00009	+0/00006	-0/00006	+0/00006 + (-0/00006) = +0/00000

$$F_{Bottom} = Max - Min = +0.00000 - (-0.00008) = +0.00008 \text{ mm}$$

حال خطای صافی سطح کل سنجه را بدست می‌آوریم :

$$F = \text{Max} \{F_{Bottom}, F_{Top}\} = \text{Max} \{0.00008, 0.00015\} = 0.00015 \text{ mm}$$

1-4-2- طریقه محاسبه خطای توازی یا خطای *Paralelism* (P)

ابتدا در اندازه‌های خوانده شده قسمت بالای سنجه ، فاصله بیشترین مقدار و کمترین مقدار خوانده شده را بدست می‌آوریم سپس این کار را برای قسمت زیرین سنجه تکرار می‌نماییم.

با توجه به مثال فوق داریم :

نقاط	مقدار خوانده شده Top	مقدار خوانده شده Bottom
0	25/00002	25/00003
1	25/00005	25/00001
2	25/00008	24/99998
3	24/99994	25/00006
4	25/00006	25/00008

$$P_{Top} = \text{Max} - \text{Min} = 25.00008 - 24.99994 = 0.00014$$

$$P_{Bottom} = \text{Max} - \text{Min} = 25.00008 - 24.99998 = 0.00010$$

نهایتاً بین این دو مقدار ، مقدار بیشینه ، میزان خطای توازی سنجه خواهد بود .

$$P = \text{Max} \{P_{Bottom}, P_{Top}\} = \text{Max} \{0.00010, 0.00014\} = 0.00014 \text{ mm}$$

### 1-4-3- طریقه محاسبه خطای طول یا خطای (L) Length

برای بدست آوردن این خطا ، ابتدا اختلاف اندازه اسمی را از کمترین مقدار خوانده شده در تمامی مقادیر را بدست می آوریم .  
با توجه به مثال فوق داریم :

نقاط	مقدار خوانده شده Top	مقدار خوانده شده Bottom
0	25/00002	25/00003
1	25/00005	25/00001
2	25/00008	24/99998
3	24/99994	25/00006
4	25/00006	25/00008

$$L_1 = 25/00000 - 24/99994 = + 0/00006$$

سپس اختلاف اندازه اسمی را از بیشترین مقدار خوانده شده در تمامی مقادیر را بدست می آوریم .

$$L_2 = 25/00000 - 25/00008 = - 0/00008$$

نهایتاً بین دو مقدار  $L_1$  و  $L_2$  بیشترین مقدار را بدون در نظر گرفتن علامت منفی یا مثبت آنها به عنوان خطای  $L$  بیان می کنیم . لازم به ذکر است که در بیان خطای  $L$  باید علامت + یا - ذکر گردد.

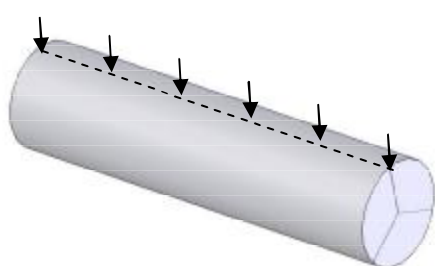
$$L = \text{Max} \{L_1, L_2\} = \text{Max} \{+ 0.00006, -0.00008\} = -0.00008 \text{ mm}$$

بدون در نظر گرفتن علامت

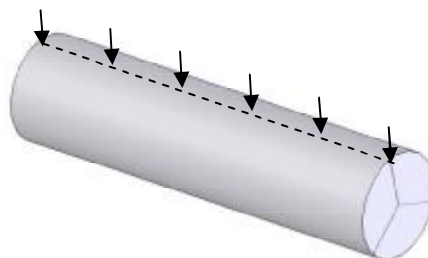
علامت بیان می گردد

## 5-1- نحوه محاسبه خطاهای سنجه‌های استوانه‌ای :

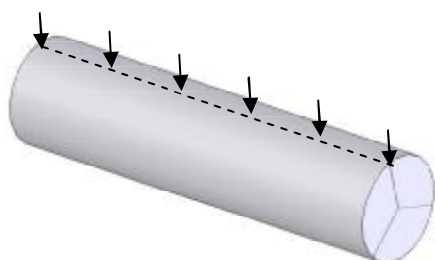
سنجه‌های استوانه‌ای پنج مشخصه مهم دارند که می‌بایست خطاهای مربوط به این مشخصه‌ها محاسبه گردد. به این منظور قطر سنجه استوانه‌ای را با کمک کمپراتورها در نقاط مختلف، در فواصل مساوی، در یک راستا اندازه‌گیری می‌کنند (اندازه‌های زاویه صفر درجه) سپس سنجه را به اندازه 60 درجه چرخانده و همین کار را برای زاویه 60 درجه تکرار می‌کنند (اندازه‌های زاویه 60 درجه) سپس سنجه را دوباره به اندازه 60 درجه‌ی دیگر چرخانده و همین کار را برای زاویه 120 درجه تکرار می‌کنند (اندازه‌های زاویه 120 درجه).



1- در زاویه صفر درجه در چند نقطه با فواصل مساوی قطر استوانه اندازه‌گیری می‌شود.



۲- استوانه را 60 درجه چرخانده در زاویه 60 درجه در چند نقطه با فواصل مساوی قطر استوانه اندازه‌گیری می‌شود.



3- استوانه را 60 درجه دیگر چرخانده و در زاویه 120 درجه در چند نقطه با فواصل مساوی قطر استوانه اندازه‌گیری می‌شود.

اندازه اسمی قطر استوانه 5 میلی‌متر است			
	زاویه 0	زاویه 60	زاویه 120
مقطع 0	5/00001	4/99998	4/99998
مقطع 1	5/00011	5/00001	5/00003
مقطع 2	4/99994	4/99997	5/00002
مقطع 3	5/00002	4/99999	5/00001
مقطع 4	4/99996	5/00002	5/00004
مقطع 5	5/00002	4/99991	5/00000

با توجه به پنج مشخصه سنجه استوانه‌ای و در نظر گرفتن اندازه‌های خوانده شده به محاسبه میزان خطای هر مشخصه می‌پردازیم که در ذیل به شرح هریک خواهیم پرداخت.

### 1-5-1 - خطای دایروی بودن Out of Roundness

تمامی سطح مقاطع استوانه باید دایروی باشند. (بیضوی و یا هر شکل دیگری غیر از دایره نباشند) محاسبه این خطا به این صورت است که در هر سطح مقطعی ماگزیمم قطرهای خوانده شده را منهای می نیمم قطرهای خوانده شده کرده و نهایتا بیشینه این مقادیر خطای R خواهد بود:  
طبق مثال داریم:

اندازه اسمی قطر استوانه 5 میلیمتر است				خطای R
سطح مقاطع	زاویه 0	زاویه 60	زاویه 120	
مقطع 0	5/00001	4/99998	4/99998	$R_0 = Max - Min = 5.00001 - 4.99998 = 0.00003$
مقطع 1	5/00011	5/00001	5/00003	$R_1 = Max - Min = 5.00011 - 5.00001 = 0.00010$
مقطع 2	4/99994	4/99997	5/00002	$R_2 = Max - Min = 5.00002 - 4.99994 = 0.00008$
مقطع 3	5/00002	4/99999	5/00001	$R_3 = Max - Min = 5.00002 - 4.99999 = 0.00003$
مقطع 4	4/99996	5/00002	5/00004	$R_4 = Max - Min = 5.00004 - 4.99996 = 0.00008$
مقطع 5	5/00002	4/99991	5/00000	$R_5 = Max - Min = 5.00002 - 4.99991 = 0.00011$

$$R = \text{Max}\{R_0, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5\} = 0.00011 \text{ mm}$$

### 2-5-1 Out of Uniformity

باید شعاع همه مقاطع دایره ای با هم برابر باشد. برای محاسبه این خطا در بین کلیه اندازه های خوانده شده مقدار اختلاف کمترین قطر خوانده شده از بیشترین قطر خوانده شده خطای U خواهد بود:  
طبق مثال داریم:

سطح مقاطع	زاویه 0	زاویه 60	زاویه 120
مقطع 0	5/00001	4/99998	4/99998
مقطع 1	5/00011	5/00001	5/00003
مقطع 2	4/99994	4/99997	5/00002
مقطع 3	5/00002	4/99999	5/00001
مقطع 4	4/99996	5/00002	5/00004
مقطع 5	5/00002	4/99991	5/00000

$$U = \text{Max}D_{i,j} - \text{Min}D_{i,j} = 5.00011 - 4.99991 = 0.00020$$

### Out of Straightness -3-5-1

باید خط واصل بین مراکز مقاطع دایره‌ای بر روی یک خط مستقیم باشد. برای محاسبه این خطا برای هر زاویه‌ی 0 و 60 و 120 درجه مانند روشی که خطای F را برای سنجه‌های بلوکی بدست آوردیم، خطای S را برای سنجه استوانه‌ای بدست آورده، نهایتاً بین سه مقدار S بیشترین مقدار را انتخاب می‌نماییم. طبق مثال داریم:

زاویه 120	زاویه 60	زاویه 0	سطح مقاطع
4/99998	4/99998	5/00001	مقطع 0
5/00003	5/00001	5/00011	مقطع 1
5/00002	4/99997	4/99994	مقطع 2
5/00001	4/99999	5/00002	مقطع 3
5/00004	5/00002	4/99996	مقطع 4
5/00000	4/99991	5/00002	مقطع 5

ابتدا خطای S زاویه صفر درجه را محاسبه می‌کنیم:

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 0	حذف مقدار اولیه
مقطع 0	5/00001	5/00001 - 5/00001 = +0/00000
مقطع 1	5/00011	5/00011 - 5/00001 = +0/00010
مقطع 2	4/99994	4/99994 - 5/00001 = -0/00007
مقطع 3	5/00002	5/00002 - 5/00001 = +0/00001
مقطع 4	4/99996	4/99996 - 5/00001 = - 0/00005
مقطع 5	5/00002	5/00002 - 5/00001 = +0/00001

حذف شیب:

$$\frac{\text{مقدار اولیه} - \text{مقدار نهایی}}{\text{تعداد نقاط} - 1} = \frac{0.00000 - 0.00001}{6 - 1} = -0.000002$$

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 0	حذف مقدار اولیه	حذف شیب
مقطع 0	5/00001	+0/00000	-0/00000
مقطع 1	5/00011	+0/00010	-0/000002
مقطع 2	4/99994	-0/00007	-0/000004
مقطع 3	5/00002	+0/00001	-0/000006
مقطع 4	4/99996	-0/00005	-0/000008
مقطع 5	5/00002	+0/00001	-0/000010

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 0	حذف مقدار اولیه	حذف شیب	خطای $S_0$
مقطع 0	5/00001	+0/00000	-0/00000	+0/00000+(-0/00000)= +0/00000
مقطع 1	5/00011	+0/00010	-0/000002	+0/000010+(-0/000002)= +0/000008
مقطع 2	4/99994	-0/00007	-0/000004	-0/000007+(-0/000004)= +0/000074
مقطع 3	5/00002	+0/00001	-0/000006	+0/000001+(-0/000006)= -0/000004
مقطع 4	4/99996	-0/00005	-0/000008	-0/000005+(-0/000008)= -0/000058
مقطع 5	5/00002	+0/00001	-0/000010	+0/000001+(-0/000010)= +0/000000

$$S_0 = Max - Min = +0.000074 - (-0.000058) = +0.000132 \text{ mm}$$

حال خطای S زاویه 60 درجه را محاسبه می کنیم :

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 60	حذف مقدار اولیه
مقطع 0	4/99998	4/99998 - 4/99998= +0/00000
مقطع 1	5/00001	5/00001 - 4/99998= +0/00003
مقطع 2	4/99997	4/99997 - 4/99998= -0/00001
مقطع 3	4/99999	4/99999 - 4/99998= +0/00001
مقطع 4	5/00002	5/00002 - 4/99998= + 0/00004

مقطع 5	4/99991	4/99991 - 4/99998 = -0/00007
--------	---------	------------------------------

حذف شیب :

$$\frac{\text{مقدار اولیه} - \text{مقدار نهایی}}{\text{تعداد نقاط} - 1} = \frac{0.00000 - (-0.00007)}{6 - 1} = +0.000014$$

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 60	حذف مقدار اولیه	حذف شیب
مقطع 0	4/99998	+0/00000	+0/00000
مقطع 1	5/00001	+0/00003	+0/000014
مقطع 2	4/99997	-0/00001	+0/000028
مقطع 3	4/99999	+0/00001	+0/000042
مقطع 4	5/00002	+0/00004	+0/000056
مقطع 5	4/99991	-0/00007	+0/000070

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 60	حذف مقدار اولیه	حذف شیب	خطای $S_{60}$
مقطع 0	4/99998	+0/00000	+0/00000	+0/00000+(+0/00000)=+0/00000
مقطع 1	5/00001	+0/00003	+0/000014	+0/000003+(+0/000014)=+0/000044
مقطع 2	4/99997	-0/00001	+0/000028	-0/00001+(+0/000028)=+0/000018
مقطع 3	4/99999	+0/00001	+0/000042	+0/00001+(+0/000042)=+0/000052
مقطع 4	5/00002	+0/00004	+0/000056	+0/00004+(+0/000056)=+0/000096
مقطع 5	4/99991	-0/00007	+0/000070	-0/00007+(+0/000070)=+0/000000

$$S_{60} = \text{Max} - \text{Min} = +0.000096 - (-0.000052) = +0.000148 \text{ mm}$$

و سپس خطای S زاویه 120 درجه را محاسبه می کنیم :

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 120	حذف مقدار اولیه
مقطع 0	4/99998	4/99998 - 4/99998 = +0/00000
مقطع 1	5/00003	5/00003 - 4/99998 = +0/00005
مقطع 2	5/00002	5/00002 - 4/99998 = +0/00004
مقطع 3	5/00001	5/00001 - 4/99998 = +0/00003
مقطع 4	5/00004	5/00004 - 4/99998 = + 0/00006
مقطع 5	5/00000	5/00000 - 4/99998 = +0/00002

حذف شیب :

$$\frac{\text{مقدار اولیه} - \text{مقدار نهایی}}{\text{تعداد نقاط} - 1} = \frac{0.00000 - 0.00002}{6 - 1} = -0.000004$$

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 120	حذف مقدار اولیه	حذف شیب
مقطع 0	5/00001	+0/00000	-0/00000
مقطع 1	5/00011	+0/00005	-0/000004
مقطع 2	4/99994	+0/00004	-0/000008
مقطع 3	5/00002	+0/00003	-0/000012
مقطع 4	4/99996	+0/00006	-0/000016
مقطع 5	5/00002	+0/00002	-0/000020

نقاط	مقدار خوانده شده زاویه 120	حذف مقدار اولیه	حذف شیب	خطای $S_{120}$
مقطع 0	5/00001	+0/00000	-0/00000	+0/00000+(-0/00000)=+0/00000
مقطع 1	5/00011	+0/00005	-0/000004	+0/000050+(-0/000004)=+0/000046
مقطع 2	4/99994	+0/00004	-0/000008	+0/00004+(-0/000008)=+0/000032
مقطع 3	5/00002	+0/00003	-0/000012	+0/00003+(-0/000012)=+0/000018
مقطع 4	4/99996	+0/00006	-0/000016	+0/00006+(-0/000016)=+0/000044
مقطع 5	5/00002	+0/00002	-0/000020	+0/00002+(-0/00002)=+0/00000

$$S_{120} = Max - Min = +0.000046 - (+0.00000) = +0.000046 \text{ mm}$$

و نهایتاً خطای S کلی سنجه استوانه‌ای برابر است با :

$$S = Max\{S_0, S_{60}, S_{120}\} = Max\{0.000132, 0.000148, 0.000046\} = 0.000148 \text{ mm}$$

#### Out of Squareness -4-5-1

خط مستقیم واصل بین مراکز مقاطع دایره ای بر سطح مقطع عمود باشد.  
نحوه محاسبه این خطا کاملاً متفاوت با روشهای فوق می باشد .



ابتدا سنجه استوانه‌ای را به انتهای " پین شکل " دستگاه چسبانده و مقدار اندازه را از روی وسیله اندازه‌گیری مانند ساعت بسیار دقیق می‌خوانند ( $Sq_1$ ) سپس سنجه را 180 درجه چرخانده و دوباره به پین چسبانده و اندازه را می‌خوانند ( $Sq_2$ ) نهایتاً خطای Sq از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$Sq = \frac{Sq_1 - Sq_2}{2L}$$

### 1-5-5- Diameter Error خطای قطری

میزان اختلاف قطر سنجه استوانه‌ای از اندازه اسمی آن. برای بدست آوردن این خطا، ابتدا اختلاف اندازه اسمی را از کمترین مقدار خوانده شده در تمامی مقادیر را بدست می‌آوریم. با توجه به مثال فوق داریم:

اندازه اسمی قطر استوانه 5 میلیمتر است			
	زاویه 0	زاویه 60	زاویه 120
مقطع 0	5/00001	4/99998	4/99998
مقطع 1	5/00011	5/00001	5/00003
مقطع 2	4/99994	4/99997	5/00002
مقطع 3	5/00002	4/99999	5/00001
مقطع 4	4/99996	5/00002	5/00004
مقطع 5	5/00002	4/99991	5/00000

$$D1 = 5/00000 - 4/99991 = +0/00009$$

اندازه اسمی - مینیمم مقادیر - اندازه اسمی =

سپس اختلاف اندازه اسمی را از بیشترین مقدار خوانده شده در تمامی مقادیر را بدست می‌آوریم.

$$D2 = 5/00000 - 5/00011 = -0/00011$$

اندازه اسمی - ماکزیمم مقادیر - اندازه اسمی =

نهایتاً بین دو مقدار  $D1$  و  $D2$  بیشترین مقدار را بدون در نظر گرفتن علامت منفی یا مثبت آنها به عنوان خطای  $L$  بیان می‌کنیم. لازم به ذکر است که در بیان خطای  $L$  باید علامت + یا - ذکر گردد.

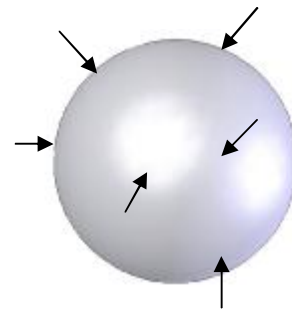
$$D = \text{Max}\{D_1, D_2\} = \text{Max}\{+0.00009, -0.00011\} = +0.00011 \text{ mm}$$

علامت بیان می‌گردد بدون در نظر گرفتن علامت

### 1-6-6- نحوه محاسبه خطاهای سنجه‌های کروی (گلوله‌ها) :

سنجه‌های کروی دارای دو خطا می‌باشند. سنجه کروی را در دستگاه کمپراتور قرار داده و در جهات مختلف قطر آن را اندازه می‌گیرند.

اندازه اسمی قطر سنجه کروی 10 میلیمتر است	
نقاط	اندازه خوانده شده
نقطه 0	10/00001
نقطه 1	10/00010
نقطه 2	9/99994
نقطه 3	10/00002
نقطه 4	9/99996
نقطه 5	10/00002



### 1-6-6-1- خطای کروی بودن Out of Spheres :

باید سنجه کروی به شکل کره‌ی دایروی باشد نه کره‌ی بیضوی. برای محاسبه این خطا در بین کلیه اندازه‌های خوانده شده مقدار اختلاف کمترین قطر خوانده شده از بیشترین قطر خوانده شده خطای Sp خواهد بود : طبق مثال داریم:

$$Sp = \text{Max}\{D_i\} - \text{Min}\{D_i\} = 10.00010 - 9.99994 = 0.00016$$

### 1-6-6-2- خطای قطری Diameter Error

میزان اختلاف قطر سنجه کروی از اندازه اسمی آن. برای بدست آوردن این خطا، ابتدا اختلاف اندازه اسمی را از کمترین مقدار خوانده شده در تمامی مقادیر را بدست می‌آوریم.

با توجه به مثال فوق داریم :

اندازه اسمی قطر سنجه کروی 10 میلیمتر است	
نقاط	اندازه خوانده شده
نقطه 0	10/00001
نقطه 1	10/00010
نقطه 2	9/99994
نقطه 3	10/00002
نقطه 4	9/99996
نقطه 5	10/00002

$$D1 = 10/00000 - 9/99994 = + 0/00006$$

= مینیمم مقادیر - اندازه اسمی

سپس اختلاف اندازه اسمی را از بیشترین مقدار خوانده شده در تمامی مقادیر را بدست می آوریم .

$$D2 = 10/00000 - 10/00010 = - 0/00010$$

= ماگزیمم مقادیر - اندازه اسمی

نهایتا بین دو مقدار  $D1$  و  $D2$  بیشترین مقدار را بدون در نظر گرفتن علامت منفی یا مثبت آنها به عنوان خطای  $L$  بیان می کنیم . لازم به ذکر است که در بیان خطای  $L$  باید علامت + یا - ذکر گردد.

$$D = \text{Max} \{D_1, D_2\} = \text{Max} \{+ 0.00006, -0.00010\} = -0.00010 \text{ mm}$$

بدون در نظر گرفتن علامت

علامت بیان می گردد