

## آزمایش شماره ۱

## اندازه‌گیری طول، جرم و تقعر (I)

فیزیک علم اندازه‌گیری یا به عبارتی علم تجربه‌های کمی است. ابزارهای اندازه‌گیری بسیاری با دقت بالا به منظور رفع نیازهای آزمایشگاه‌های فیزیک ساخته شده‌اند و همواره در حال توسعه می‌باشند. اندازه‌گیری طول و جرم در کار علمی از اهمیت بنیادی برخوردار است که در اغلب آزمایش‌ها اندازه‌گیری می‌گردد. بنابراین ما کار علمی در این آزمایشگاه را با اندازه‌گیری این کمیت‌ها با استفاده از ابزارهایی دقیق‌تر از ابزارهای روزمره آغاز می‌کنیم.

**هدف آزمایش:** آشنایی با اصول درجه‌بندی ورنیه و چگونگی بکارگیری کولیس و ریز سنج، اندازه‌گیری کمیت طول با این ابزارها، اندازه‌گیری تقعر و اندازه‌گیری جرم با ترازو.

## ورنیه

ورنیه به ما در خواندن دقیق‌تر تا کسری از درجه‌بندی ریز ابزار اندازه‌گیری کمک می‌کند. اصول این درجه‌بندی در سال ۱۶۳۱ توسط شخصی به نام ورنیه ابداع شد. درجه‌بندی ورنیه یک درجه‌بندی کمکی است که می‌تواند در مقابل مقیاس اصلی و ثابت وسیله اندازه‌گیری جابجا شود. درجه‌بندی ورنیه از نقطه نظر اندازه با درجه‌بندی مقیاس ثابت متفاوت است. بدین ترتیب که  $n$  درجه ورنیه مساوی با  $(n-1)$  درجه مقیاس ثابت است برای مثال اگر طول یک درجه ورنیه را با  $X$  و طول یک درجه خط‌کش ثابت را با  $Y$  نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$nX = (n-1)Y \rightarrow X = \frac{n-1}{n}Y$$

$n$  عددی صحیح است که دقت دستگاه را تعیین می‌کند. کوچکترین مقداری که توسط درجه‌بندی ورنیه خوانده می‌شود کمترین شمارش نام دارد و برابر است با تفاضل بین یک درجه خط‌کش ثابت و یک درجه ورنیه یعنی:

$$Y - X = Y - \frac{n-1}{n}Y = \frac{1}{n}Y$$

برای مثال یک ورنیه دارای ۱۰ درجه است به طوری که طول آن مطابق با ۹ درجه خط‌کش ثابت است. بنابراین هر درجه ورنیه به اندازه  $\frac{1}{10}$  از درجه خط‌کش ثابت کوچکتر است.

اکنون با فرض آنکه صفر ورنیه روبروی صفر خط‌کش ثابت قرار داشته باشد اولین شماره ورنیه از اولین شماره خط‌کش ثابت به اندازه  $\frac{1}{10}$  درجه، عقب است. در این حالت دومین شماره ورنیه به اندازه  $\frac{2}{10}$  از دومین شماره

خط‌کش ثابت و آخرین شماره ورنیه با اندازه  $\frac{10}{10}$  یا یک درجه از شماره خط‌کش ثابت فاصله گرفته است. بنابراین آخرین یا دهمین شماره ورنیه روبروی نهمین شماره خط‌کش ثابت واقع شده است.

حال اگر ورنیه به طرف راست حرکت داده شود تا اینکه ششمین درجه آن با ششمین درجه خط کش ثابت روبرو شود میزان جابجایی برابر  $\frac{1}{10} \times 6$  یا  $\frac{6}{10}$  درجه اصلی خواهد بود.

هر گاه جابجایی ورنیه بیش از چند درجه خط کش ثابت باشد، باز نحوه عمل با اندکی دقت به همان صورت خواهد بود. برای مثال صفر ورنیه به اندازه ۲ درجه خط کش ثابت و کسری از آن حرکت کرده است که با توجه به درجه منطبق شده ورنیه (درجه ششم) میزان جابجایی برابر مقدار زیر خواهد بود

$$\text{درجه اصلی } 2/6 = 0/6 + 2/0$$

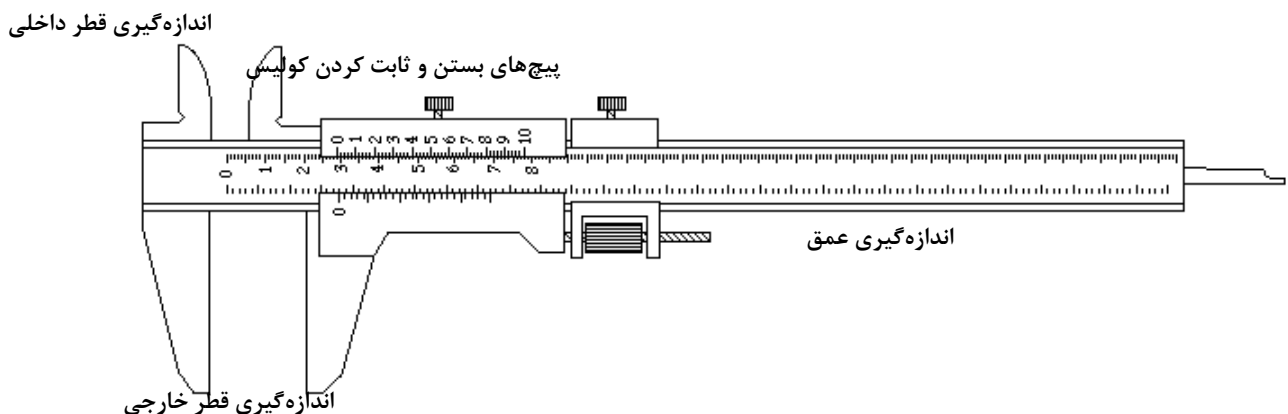
مقدار عدد  $n$  در اسباب‌های مختلف، متفاوت است. در هر حال اصول کلی ورنیه‌ها یکی است و کسی که اصول کار ورنیه را فرا گرفته باشد به آسانی می‌تواند از اسباب‌های مختلف استفاده نماید.

در هنگام استفاده از اسبابی که دارای ورنیه است اول باید کمترین شمارش آن را مشخص کرد. بعد برای اندازه‌گیری جابجایی باید ابتدا تعداد درجات خط کش ثابت را که قبل از صفر ورنیه قرار دارند قرائت کرد. سپس درجه‌ای از ورنیه که روبروی یکی از درجات خط کش ثابت قرار گرفته معین نموده در نهایت باید حاصلضرب کمترین شمارش در عدد خوانده شده ورنیه را بدست آورد و با عدد خوانده شده خط کش ثابت جمع کرد.

### کولیس

کولیس وسیله اندازه‌گیری طول است که دقیق‌تر از خط کش معمولی می‌باشد. دقت کولیس به چگونگی درجه‌بندی روی ورنیه بستگی دارد. کولیس از یک خط کش ثابت معمولی (مدرج بر حسب سانتیمتر و میلی‌متر) و یک قسمت متحرک (ورنیه) ساخته شده است. این وسیله (شکل ۱) دارای سه دهانه برای اندازه‌گیری می‌باشد که عبارتند از:

- ۱- دهانه بزرگ برای اندازه‌گیری ضخامت و قطرهای خارجی،
- ۲- دهانهٔ مربوط به اندازه‌گیری قطر داخلی و داخل شیارها،
- ۳- قسمت عمق سنج که برای درون سوراخ و اندازه‌گیری عمق بکار می‌رود.



شکل ۱- اجزای کولیس

وقتی ورنیه حرکت می کند تمام دهانه‌ها به یک اندازه باز می‌شوند. بعضی از کولیس‌ها ممکن است بر حسب چندین درجه‌بندی مدرج شوند مثلاً میلی‌متر و سانتیمتر و اینچ. طریقه خواندن کولیس در بخش ورنیه توضیح داده شد. شکل ۲ اساس کار کولیس را بطور شماتیک نشان می‌دهد.



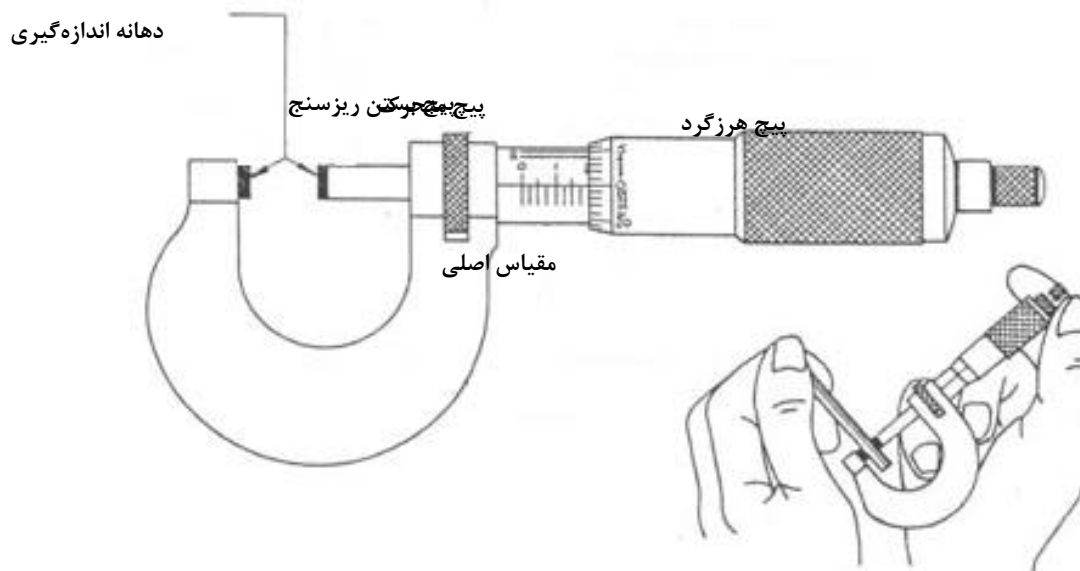
شکل ۲ - اساس کار کولیس

### ریزسنج

ریزسنج (میکرومتر) وسیله‌ای است که دقیق‌تر از کولیس بوده و معمولاً برای دقت‌های بالا بکار می‌رود. این وسیله از یک استوانه ثابت مدرج و یک استوانه متحرک مدرج که می‌تواند روی استوانه ثابت مدرج بچرخد و جابجا شود و یک کمان فلزی متصل به استوانه ثابت تشکیل شده است. گام ریزسنج عبارت است از جابجایی استوانه متحرک در طول استوانه ثابت به ازای هر دور چرخش و به نحوه طراحی و دقت دستگاه بستگی دارد. گام ریزسنج می‌تواند ۱ میلی‌متر یا ۱/۲ میلی‌متر باشد. هر گاه استوانه متحرک به ۵۰ قسمت تقسیم شده باشد با چرخاندن استوانه متحرک به اندازه دو دور کامل دهانه یک میلی‌متر جابجا می‌شود (گام ۱/۲ میلی‌متر) و در نتیجه ۱۰۰ قسمت از استوانه متحرک معادل ۱ میلی‌متر از استوانه ثابت (خط کش ثابت) می‌باشد. بنابراین دقت دستگاه ۱/۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

فرض کنید دهانه ریزسنج پس از چندین دور چرخش مقداری باز شده است، حال برای خواندن این مقدار تعداد میلی‌مترها را می‌توان از روی استوانه ثابت خوانده و با کسری از میلی‌متر که بر روی استوانه متحرک خوانده می‌شود جمع کرد و مقدار جابجایی را اندازه‌گیری نمود.

برای مثال اگر استوانه متحرک به اندازه ۵ دور کامل و کسری از دور چرخیده شود و گام ریزسنج برابر ۱/۲ میلی‌متر باشد، خواندن این عدد چنین است، ۵ دور معادل ۲٫۵ میلی‌متر می‌باشد و فرض کنید عددی که روی استوانه متحرک خوانده می‌شود ۳۵ است پس اندازه‌گیری مورد نظر  $2/0 + 50/35 = 2/85 \text{ mm}$  خواهد بود. شکل ۳ شماتیکی از ریزسنج و روش استفاده از آن را نشان می‌دهد.



شکل ۳- ریزسنج و اصول کار و نحوه استفاده از آن

### تقرسنج

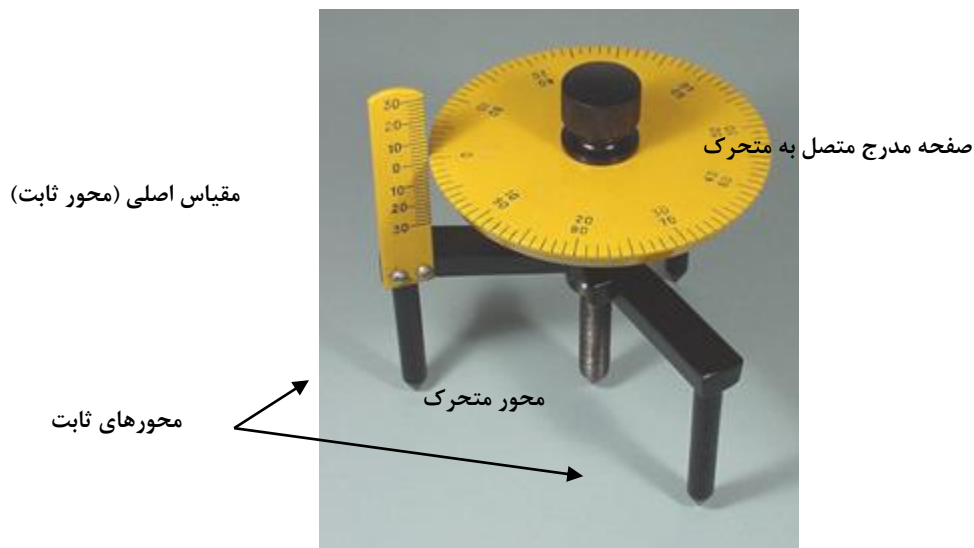
تقرسنج وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری دقیق تقعر یا تحدب سطوح کروی (شعاع کره) و یا ضخامت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار از یک سه‌پایه ثابت، یک محور مرکزی متحرک و یک خط‌کش عمودی ثابت ساخته شده است. نحوه کار محور متحرک مانند ریزسنج است. محور متحرک روی مهره اصلی که روی صفحه ثابت قرار دارد چرخیده و هر گام آن (دور کامل) برابر  $0/5$  میلی‌متر محور را جابجا می‌کند. یک صفحه که تا  $50$  درجه بندی شده همراه محور چرخیده و مقدار دقیق جابجایی را نشان می‌دهد. به ازای یک گام محور صفحه مدرج به اندازه یک دور خط‌کش عمودی جابجا می‌شود. در این صورت عدد روی خط‌کش اصلی تعداد دور کامل و عدد روی صفحه مدرج بقیه مقدار چرخش را نشان می‌دهد. در صورتی که تعداد درجه بندی روی صفحه  $50$  و هر گام محور  $0/5$  میلی‌متر باشد در این صورت کمترین مقدار قابل اندازه‌گیری  $0/01$  میلی‌متر خواهد بود.

برای اندازه‌گیری ضخامت جسم مورد نظر را روی صفحه صاف و افقی قرار داده به طوری که سه پایه ثابت تقرسنج نیز بر صفحه افقی مماس باشد. در این حالت انتهای محور متحرک را طور تنظیم می‌کنیم که بر سطح جسم مورد نظر مماس شود. عددی که روی تقرسنج خوانده می‌شود ضخامت جسم مورد نظر را بدست می‌دهد. شکل ۴ ساختار یک تقرسنج را نشان می‌دهد.

برای اندازه‌گیری تقعر (یا تحدب) سه پایه ثابت تقرسنج را روی جسم کروی قرار می‌دهیم. با چرخاندن محور متحرک، انتهای آن را بر سطح مورد نظر مماس می‌کنیم. در این وضعیت تقرسنج فاصله پایین‌ترین (یا بالاترین) نقطه سطح کروی مورد نظر را از صفحه سه پایه ثابت نشان می‌دهد. می‌توان نشان داد که شعاع سطح کروی مورد نظر (شعاع کره‌ای که سطح مورد نظر بخشی از آن است) عبارت است از :

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h}$$

که  $h$  مقدار خوانده شده از تقعرسنج و  $r$  فاصله محور متحرک و پایه‌های ثابت است.



شکل ۴- ساختار یک تقعرسنج

## مراحل انجام آزمایش

ابزار مورد نیاز

کولیس، ریزسنج، ترازوی اهرمی، تقعرسنج، پوسته استوانه‌ای فلزی، ورقه فلزی، ورقه پلکسی و شیشه ساعت برای آشنایی اولیه با روش انجام آزمایش به سایت آزمایشگاه مراجعه نموده و مراحل انجام آزمایش را در گزارش تصویری مشاهده نمایید. <http://physics.sharif.edu/genphyslabs1>

**احتیاط:** چون ریزسنج وسیله‌ای بسیار دقیق و حساس است باید مراقب بود که فشار دست در هنگام تماس میله ریزسنج با سطح جسمی (قطعه‌ای) که بعدی از آن در حال اندازه‌گیری است، بیش از حد اعمال نشود. بدین خاطر قسمتی عاج دار در انتهای ریزسنج تعبیه شده است تا فشار دست بیش از حد معین به قطعه وارد نشود. در صورت اعمال فشار بیشتر، قسمت عاج‌دار بصورت هرز چرخیده می‌شود و نیرویی را به قطعه وارد نمی‌نماید. در این هنگام صدایی از وسیله به گوش می‌رسد که نشان‌دهنده چرخش بیش از حد می‌باشد. از این رو باید مواظب بود تا هنگام کار با ریزسنج حتماً انتهای عاج‌دار آن را برای چرخاندن در دست گرفت.

**خطای صفر:** خط نشان صفر قسمت متحرک هر وسیله اندازه‌گیری در حالت عادی باید در مقابل خط صفر قسمت ثابت آن قرار گیرد. اگر این دو خط در مقابل هم نباشند، گفته می‌شود خطای صفر وجود دارد. در اکثر ابزارهای اندازه‌گیری، خطای صفر قابل رفع و تنظیم می‌باشد. در صورت رفع نشدن خطای صفر در ریزسنج

(کولیس)، اگر خط نشان صفر قسمت متحرک ریزسنج (کولیس) از خط نشان صفر قسمت ثابت گذشته و مقابل درجاتی از آن قرار گرفته باشد مقدار خطای صفر مثبت و در غیر این صورت منقی می‌باشد. در آزمایشگاه همیشه باید مقدار خطای صفر را از مقدار خوانده شده کم کرد. همچنین باید مقدار خطای صفر هر وسیله اندازه‌گیری غیر قابل تنظیم را دانست و آنرا در مقادیر خوانده شده دخالت داد و یا در مورد بعضی از وسایل که امکان تنظیم صفر آن وجود دارد صفر وسیله را قبل از استفاده تنظیم نمود.

۱- **تعیین خطای صفر**، ابتدا ۵ بار کولیس و سپس ۵ بار ریزسنج را باز و بسته کرده و خطای صفر آنها را در جدول (۱) یادداشت کنید. اکنون میانگین آنها را بدست آورده جدول (۱) را کامل کنید. در نوشتن تعداد ارقام با معنی در عدد میانگین دقت کنید.

**توجه:** شماره قطعات نمونه را که برای اندازه‌گیری در اختیار شما قرار دارد در جدول (۲) یادداشت کنید.

۲- **تعیین ضخامت یک ورقه**، ضخامت ورقه فلزی و ورقه پلکسی را با ریزسنج ده‌بار اندازه گرفته و مقدار خوانده شده را در جدول (۳) یادداشت کنید. سعی کنید اندازه‌گیری از جاهای مختلف نمونه باشد.

۳- **تعیین حجم یک قطعه**، طول، قطر خارجی و قطر داخلی نمونه استوانه‌ای شکل را به وسیله کولیس ده بار اندازه گرفته و مقدار خوانده شده را در جدول (۴) یادداشت کنید.

۴- **تعیین وزن یک قطعه**، جرم استوانه‌ای فلزی را ۵ بار با ترازویی که صفر آن تنظیم شده اندازه‌گیری کرده و در جدول (۵) یادداشت کنید.

۵- **تعیین تقعر شیشه ساعت**، برای اندازه‌گیری تقعر ابتدا سه پایه ثابت تقعرسنج را رو شیشه ساعت قرار داده با چرخاندن محور متحرک انتهای آن را بر سطح مورد نظر مماس می‌کنیم. در این وضعیت تقعرسنج فاصله بالاترین نقطه سطح شیشه ساعت از صفحه سه پایه ثابت ( $h$ ) را نشان می‌دهد.  $h$  (اختلاف ارتفاع محورهای ثابت و متحرک تقعرسنج) را ۱۰ بار اندازه‌گیری کرده و در جدول (۶) یادداشت کنید. فاصله محورهای ثابت و متحرک تقعرسنج ( $r$ ) را نیز ۱۰ بار اندازه‌گیری کرده و در جدول (۶) یادداشت کنید. لازم به ذکر است که می‌توان با استفاده از تقعرسنج ضخامت یک ورقه کوچک را نیز اندازه گرفت.

## خواسته‌ها

**توجه:** خواسته‌های زیر را با توجه به ترتیب مشخص شده در سایت (فرمت گزارش کار نمونه)، وارد گزارش کار کرده و پاسخ دهید (<http://physics.sharif.edu/~genphyslabs1/manual/sample.pdf>).

در تمام مراحل در نوشتن تعداد ارقام با معنی اعداد اندازه‌گیری شده و یا محاسبه شده دقت نمایید.

۱. تحلیل داده‌های جدول (۳): الف) مقادیر میانگین، انحراف معیار و نیز انحراف معیار میانگین مربوط به ضخامت هر دو ورقه را محاسبه کنید. ضخامت هر ورقه را به صورت  $d = \bar{d} \pm \alpha$  (که در آن  $\bar{d}$  و  $\alpha$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار میانگین می‌باشد) بنویسید. ب) چه خطاهایی در این مرحله وجود دارد؟ آیا خطاهای تصادفی در این اندازه‌گیری زیاد است؟ با زیاد کردن تعداد اندازه‌گیری‌ها انحراف معیار و انحراف معیار میانگین چگونه تغییر می‌کند؟

۲. تحلیل داده‌های جدول (۴): الف) میانگین، انحراف معیار و نیز انحراف معیار میانگین را برای قطر و طول پوسته‌ی استوانه‌ای را محاسبه کنید. هر یک از مقادیر قطر (خارجی و داخلی) و طول را به صورت  $X = \bar{X} \pm \alpha$  بیان کنید. ب) با استفاده از انحراف معیار میانگین مربوط به قطر داخلی و خارجی و طول استوانه به عنوان خطای آن کمیت‌ها، انحراف معیار میانگین حجم پوسته‌ی استوانه‌ای را محاسبه کنید و به صورت  $V = \bar{V} \pm \gamma$  بیان نمایید. ج) چه خطاهایی در این مرحله وجود دارد؟ آیا خطاهای تصادفی در این اندازه‌گیری زیاد است؟

۳. تحلیل داده‌های جدول (۵): میانگین، انحراف معیار و انحراف معیار میانگین جرم را بدست آورید. جرم را به صورت  $W = \bar{W} \pm \alpha$  بیان کنید.

۴. تحلیل داده‌های جدول (۶): میانگین، انحراف معیار و انحراف معیار میانگین مربوط به اختلاف ارتفاع محورهای ثابت و متحرک و فاصله محورهای ثابت و متحرک تقعرسنج را بدست آورده و آنها را به ترتیب به صورت  $h = \bar{h} \pm \mu$  و  $r = \bar{r} \pm \eta$  بیان کنید. شعاع سطح کروی مورد نظر را محاسبه کرده و به صورت  $R = \bar{R} \pm \sigma$  بیان کنید.

جدول‌های آزمایش شماره ۱  
اندازه‌گیری طول و جرم و تقعر

جدول ۱ - خطای صفر

مقدار خوانده شده برای صفر کولیس						= میانگین
مقدار خوانده شده برای صفر ریزسنج						= میانگین
مقدار خوانده شده برای صفر تقعرسنج						= میانگین

جدول ۲ - شماره نمونه‌ها

شماره	نمونه
	استوانه فلزی
	ورقه فلزی
	ورقه پلکسی

جدول شماره ۳ - اندازه‌گیری ضخامت ورقه‌ها

							ضخامت ورقه فلزی ( $x$ )
							ضخامت ورقه پلکسی ( $y$ )

جدول ۴ - اندازه‌گیری ابعاد نمونه استوانه‌ای

							قطر خارجی ( $a$ )
							قطر داخلی ( $y$ )
							طول ( $l$ )

جدول ۵ - جرم نمونه استوانه‌ای

							جرم استوانه ( $m$ )
--	--	--	--	--	--	--	---------------------

جدول ۶ - اندازه‌گیری تقعر

							فاصله محورهای ثابت و متحرک
							اختلاف ارتفاع محورهای ثابت و متحرک تقعرسنج