بسم الله الرحمن الرحیم

# راهنمای کاربری

# اصطکاک با سطح شیبدار

## فیزیک دانشگاهی

### سخنی با مشتری

مشتری گرامی : از اینکه شرکت صنایع آموزشی را برای تجهیز آزمایشگاه خود انتخاب کرده‌اید سپاسگزاریم .
امید است ارائه این مجموعه بتواند در دستیابی به اهداف آموزشی شما کاربر گرامی موثر باشد .
خواهشمند است با ارائه نظرات خود از طریق روابط عمومی شرکت ، در راستای نیل به اهداف آموزشی و بالا بردن کیفیت محصولات ما را یاری فرمایید .

صنایع آموزشی

ناشر : شرکت صنایع آموزشی (متعلق به صندوق ذخیره فرهنگیان)
نوبت چاپ و انتشار : نیمه دوم ۹۴
آماده سازی و نظارت بر چاپ : محمد رضا ابوالقاسمی
نشانی : تهران ، جاده مخصوص کرج ، بعد از کیلومتر ۷ ، بزرگراه آزادگان (به طرف جنوب) ، خیابان دهم (قبل از پمپ بنزین) ، بلوار دکتر عبیدی ، خیابان شهید جلال
صندوق پستی : ۳۷۹ - ۱۳۴۴۵
تلفن واحد فروش : ۸-۴۴۵۴۵۲۹۵ (۰۲۱)
دور نگار : ۴۴۵۴۵۲۹۴ (۰۲۱)
روابط عمومی : ۴۴۵۴۵۴۸۵ (۰۲۱)
سایت اینترنتی : www.eei-co.com
پست الکترونیکی : sales@eei-co.com

((کلیه حقوق تالیف و انتشار برای شرکت صنایع آموزشی محفوظ است))

## فهرست مطالب


| | |
|---|---|
| **مقدمه** | ۴ |
| **۱ - فصل یکم : معرفی و شرح اصول استفاده از محصول** | |
| ۱ - ۱ - فهرست اقلام | ۵ |
| ۱ - ۲ - روش ارزیابی سالم بودن قطعات | ۷ |
| ۱ - ۳ - خدمات پس از فروش | ۸ |
| **۲ - فصل دوم : شرح کاربرد محصول در فرآیند آموزش** | |
| ۲ - ۱ - اصطکاک | ۸ |
| ۲ - ۲ - شرح آزمایش | ۱۶ |

**مقدمه**

تولید دانش و تبدیل آن به فناوری نمادی از رشد یافتگی کشورها است و لازمه قرار گرفتن در مسیر پیشرفت آموزش اصولی و یادگیری اساسی است. ارزیابی یک سیستم آموزشی با توانایی درک، تجزیه و تحلیل و کاربرد آموخته ها تخمین زده می شود. آموزش پویا با استفاده از وسایل آزمایشگاهی امکان پذیر می شود و منجر به تثبیت و کارآمدی یادگیری می شود.

در این راستا شرکت صنایع آموزشی با بهره گیری کارگروه های تخصصی و استفاده از تجربه اساتید دانشگاه و نویسندگان کتاب های درسی مجموعه کاملی از تجهیزات آزمایشگاهی را ارائه داده است. این مجموعه ها براساس مطالب درسی کتاب های جامع آموزش فیزیک دانشگاهی و منطبق با سرفصل های آموزشی وزارت علوم تحقیقات و فناوری طراحی و ساخته شده است.

دپارتمان فیزیک شرکت صنایع آموزشی با هدف آموزش کامل و اساسی مفاهیم علم فیزیک و با همکاری تیمی از اساتید و کارشناسان به طراحی، تحقیق و ساخت تجهیزات آزمایشگاهی فیزیک متوسطه و دانشگاهی می پردازد. تحقیق، طراحی و ساخت مجموعه آزمایش های "اصطکاک با سطح شیبدار" را، واحد دپارتمان فیزیک دانشگاهی به عهده داشته است.

از اساتید و کاربران گرامی خواهشمندیم تجارب خود را در رابطه با بهینه سازی تجهیزات و دستورکار مجموعه با شرکت صنایع آموزشی- دپارتمان فیزیک مطرح کنند و یا به سایت شرکت صنایع آموزشی مراجعه نمایند. در پایان از سایر همکارانی که در ساخت و تولید تجهیزات و دیگر امور همراه گروه بودند، قدردانی می کنیم.

## فصل یک : معرفی و شرح اصول استفاده از محصول

### ۱-۱- فهرست اقلام

دستگاه سطح شیبدار شامل:

۱-۱- صفحه تخت با چهار پیچ تنظیم

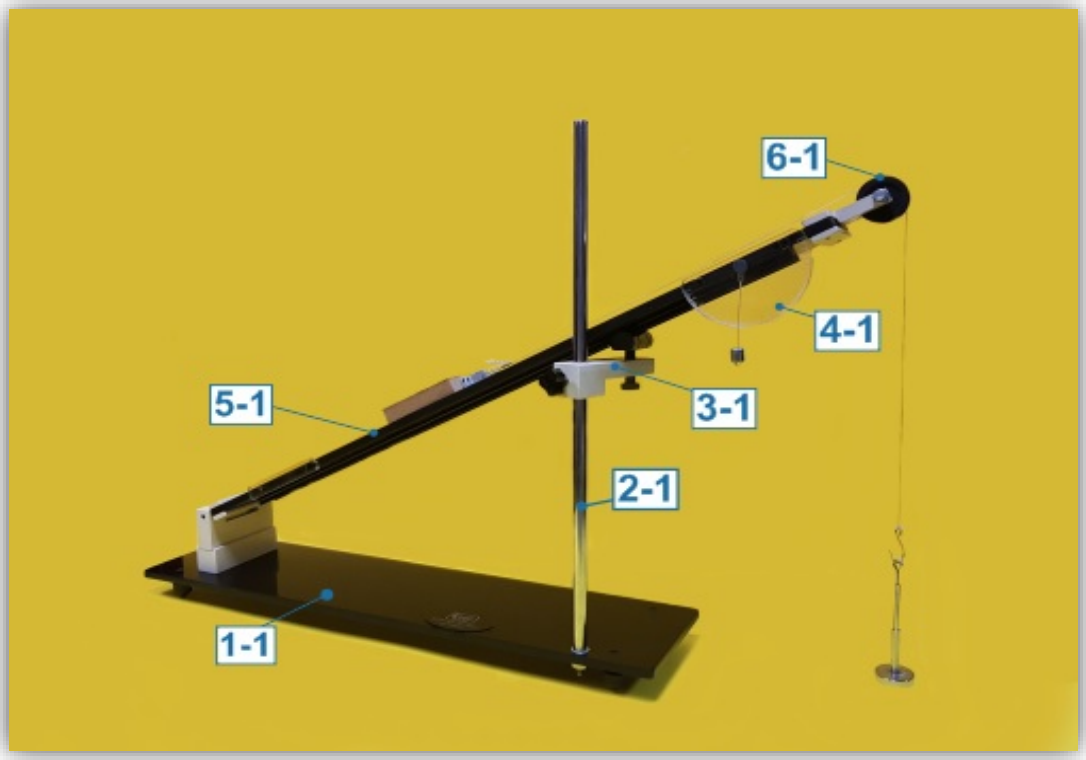
۱-۲- میله ۱ عدد

۱-۳- دستگاه تنظیم دقیق

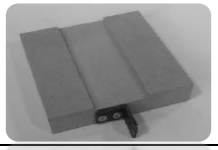
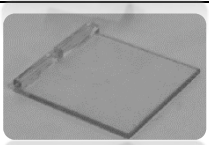
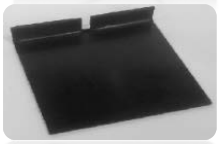
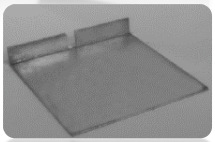
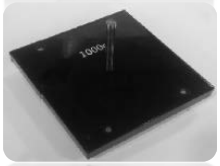
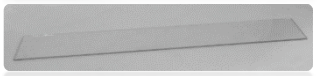
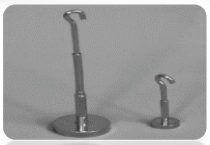
۱-۴- نقاله و شاقول

۱-۵- سطح قابل تنظیم

۱-۶- قرقره با نگهدارنده



## تجهیزات اصلی مجموعه

| ردیف | نام | تعداد | تصویر |
|---|---|---|---|
| ۱ | لغزنده چوبی قلاب دار | ۱ عدد |  |
| ۲ | کفی شیشه ای | ۱ عدد |  |
| ۳ | کفی پلاستیکی | ۱ عدد |  |
| ۴ | کفی آلومینیومی | ۱ عدد |  |
| ۵ | وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی با میله و پایه ها | ۱ عدد |  |
| ۶ | وزنه مستطیلی ۵۰۰ گرمی | ۱ عدد | |
| ۷ | صفحه تخت چوبی | ۱ عدد | |
| ۸ | صفحه تخت شیشه ای | ۱ عدد |  |
| ۹ | صفحه تخت پلاستیکی | ۱ عدد | |
| ۱۰ | صفحه تخت آلومینیومی | ۱ عدد | |
| ۱۱ | نگهدارنده وزنه (قلاب وزنه ۱۰ و ۵۰ گرمی) | ۱ عدد |  |
| ۱۲ | نخ و حلقه S | مقداری نخ و ۲ عدد حلقه S | |

## تجهیزات جانبی مجموعه

برای انجام آزمایش علاوه بر وسایل بالا دستگاه ها و وسایل زیرلازم است و درصورت درخواست مشتری ارسال می گردد.

| ردیف | نام | تعداد | تصویر |
|---|---|---|---|
| ۱ | جعبه وزنه (۵، ۱۰، ۲۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ گرمی) | ۱ عدد | |
| ۲ | ترازوی سه اهرمی با دقت ۰,۱ | ۱ عدد | |
| ۳ | تراز | ۱ عدد | |

### ۲-۱- روش ارزیابی سالم بودن قطعات

در ادامه روش ارزیابی و شیوه کار با دستگاه ها آمده است. درصورت هرگونه اشکال در نحوه عملکرد دستگاه ها با شرکت صنایع آموزشی تماس بگیرید.

- **راه اندازی و شیوه کار با ترازوی سه اهرمی:** درصورتیکه ترازو را برای اولین بار است که از جعبه خارج می کنید، ابتدا قطعه پلاستیکی را از زیر ترازو بردارید تا دستگاه آزاد شود. جسمی که میخواهید جرم آن را تعیین کنید در کفه ترازو قرار دهید و شاخص های متحرک روی خطوط مدرج را آنقدر جابه جا کنید که شاخص ثابت، عدد صفر را نمایش دهد. جرم جسم از جمع اعداد روی خطوط به دست می آید. با آویزان کردن وزنه های ۲۵۰ گرمی تا یک کیلو گرمی می توانید جرم اجسام سنگین تر را نیز اندازه گیری کنید.

- **شیوه کار با تراز:** تراز را روی سطح قرار دهید و زاویه را تغییر دهید تا حلقه ای از مایع را در وسط محفظه محتوی مایع ببینید در این شرایط سطح بصورت افقی تراز شده است.

**ایمنی**

- دستگاه را در جایی قرار دهید که هنگام و پس از پایین آمدن وزنه ها از روی سطح آسیبی به افراد و سطوح اطراف نرسد. هنگام حرکت وزنه ها روی سطح شیبدار احتیاط کنید.

**۳-۱- خدمات پس از فروش**

شرکت صنایع آموزشی به منظور رفع نیاز ها و مشکلات و نیز ارتقاء سطح رضایت مندی مشتریان محترم، خدمات پس از فروش برای محصولات خود را به شرح زیر ارائه می دهد:

- تامین قطعات و پشتیبانی پس از فروش به مدت پنج سال

- تضمین کیفیت و کارایی محصول به مدت یک سال (پس از مدت ضمانت در صورت بروز نقص درمحصول هزینه تعمیریا تعویض دریافت می شود).

- در صورت بروز هرگونه مشکل در به کارگیری محصول می توانید با واحد خدمات پس از فروش این شرکت تماس بگیرید.

**فصل دوم : شرح کاربرد محصول در فرایند آموزش**

**۲-۱- اصطکاک**

**مفاهیم قابل بررسی در مجموعه آزمایش اصطکاک:**

**- بررسی رابطه نیروی اصطکاک با بزرگی نیروی عمود بر سطح، بزرگی سطح تماس و جنس مواد در تماس**

**- تعیین ضریب اصطکاک ایستایی و لغزشی**

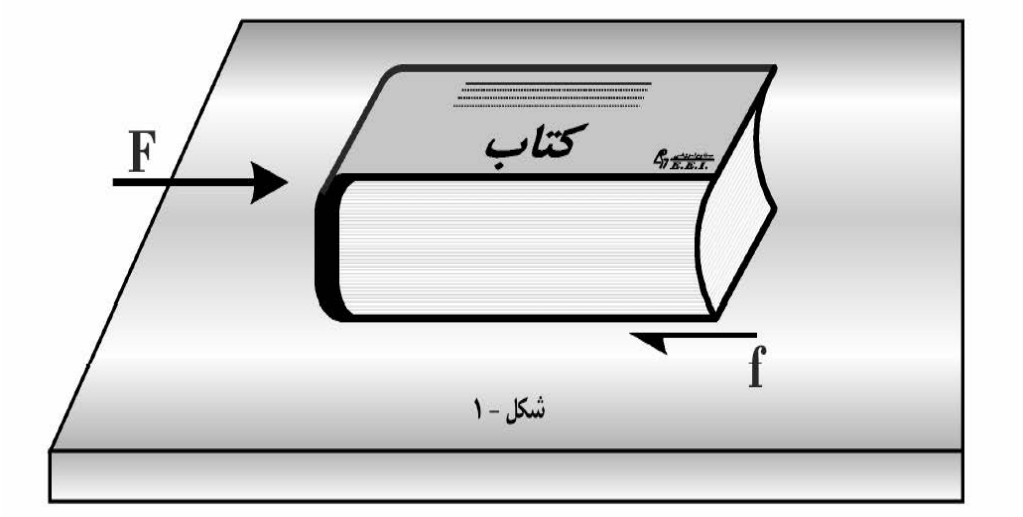
**- بررسی رابطه ضریب اصطکاک با زاویه سطح شیبدار**

**مواردی که برای انجام آزمایش باید درنظر داشته باشید:**

- هنگام انجام آزمایش توجه داشته باشیدکه نخ حتماً از روی قرقره عبور کرده باشد و روی پیچ ها یا اطراف وسیله قرار نگرفته باشد.

- پس از قراردادن لغزنده، وزنه های مربعی و مستطیلی روی سطح شیبدار و پیش از شروع به انجام آزمایش اجازه دهید حدود سی ثانیه روی سطح بمانند و سپس انجام آزمایش را شروع کنید. این کار برای درگیرشدن سطوح در تماس با هم ضرورت دارد.
- هنگام انجام آزمایش و برای هرچندبار توجه داشته باشید سطوح و لغزنده را همواره در یک جهت قرار دهید.

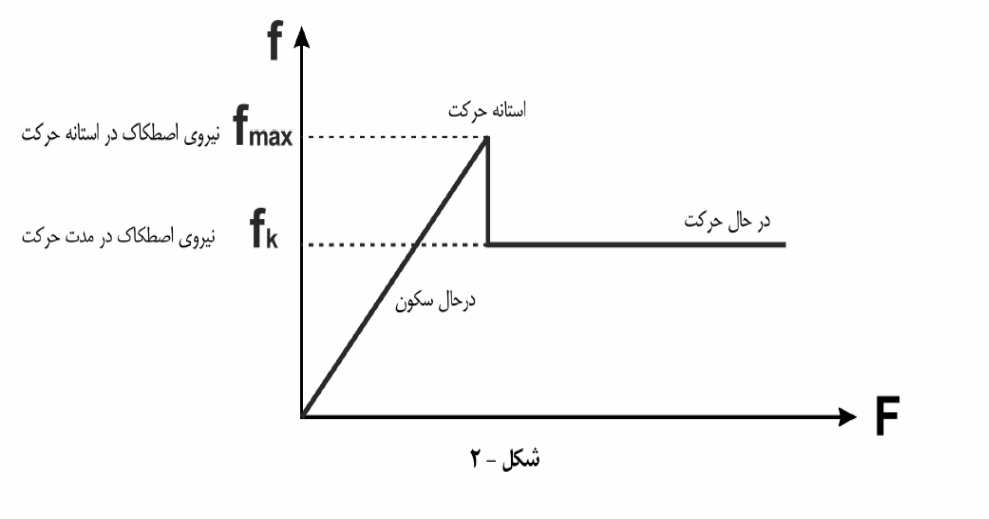
**تئوری :**جسمی شبیه یک کتاب را روی میز بگذارید، مطابق شکل ۱در راستای افق (موازی سطح میز) با یک انگشت و به آرامی به آن نیرو $(F)$ وارد کنید. اگر نیرویی که اعمال می کنیدکم باشد، جسم ساکن می ماند. دلیل ساکن بودن جسم این است که میز نیروی اصطکاکی $(f)$ برجسم وارد می کند. بزرگی این نیرو با بزرگی نیرویی که شما با انگشت بر جسم وارد می کنید برابر است. درنتیجه برآیند نیروهایی که بر جسم وارد می شود صفر است و جسم ساکن می ماند.



شکل - ۱

اگر نیرویی را که برجسم وارد می کنید بیشتر کنید زمانی فرا می رسد که جسم شروع به حرکت می کند. در این حالت نیز نیروی اصطکاک بر جسم وارد می شود ولی این بار بزرگی نیرویی که شما بر جسم وارد می کنید از بزرگی نیروی اصطکاک بیشتر است. اگرجسمی به جرم $m$ با سرعت اولیه $v_0$ روی یک سطح افقی و طویل سر داده شود، توقف جسم به این معنی است که در مدت حرکت، جسم تحت اثر شتاب متوسط $\bar{a}$ قرار داشته است و جهت شتاب در خلاف جهت سرعت بوده است. می دانیم وقتی بر جسم شتاب وارد می شود که نیرویی بر آن اعمال شود بنابراین نتیجه می گیریم بر جسم نیرویی از طرف سطح وارد می شود.

در واقع اگر جسمی بر روی یک سطح کشیده شود هریک از آن ها نیرویی بردیگری وارد می کند، این نیرو را نیروی اصطکاک می گویند. نیروی اصطکاکی که هر جسم بر جسم دیگر وارد می کند درخلاف جهت آن جسم نسبت به دیگری است. نیروی اصطکاک با حرکت مخالفت می کند. بررسی حرکت یک جسم بر روی میز با استفاده از نمودار شکل ۲ آسان تر می شود.



شکل - ۲

نیرویی را که شما با انگشت بر جسم اعمال می کنید F و نیروی اصطکاکی را که میز بر جسم وارد می کند f می نامیم. در نمودار نیروی اصطکاک (f) را با نیرویی که شما با انگشت به جسم وارد می کنید (F) مقایسه می شود.

هنگامی که بزرگی نیروی F کوچک است نیروی f آن را خنثی می کند. هرچه بر مقدار نیروی F می افزایید نیروی اصطکاک f نیز بزرگتر می شود تا بتواند آن را خنثی کند. به عبارت دیگر تغییرات نیروی F با تغییرات نیروی f هماهنگ است. نکته قابل توجه این است که شما می توانید نیروی F را تا هر مقداری که می خواهید افزایش دهید، ولی نیروی اصطکاک نمی تواند از یک مقدار بیشینه که آن را با $f_{max}$ نشان می دهیم بزرگتر شود. اگر نیروی F از مقدار $f_{max}$ بزرگتر شود، نیروی F بر نیروی اصطکاک غلبه می کند و جسم به حرکت درمی آید.

مطلب قابل توجه دوم این است که به محض حرکت جسم بر روی میز نیرویی برای ادامه حرکت جسم بر روی میز لازم است، نیرویی است که بزرگی آن کمتر از $f_{max}$ است.

اگر این بیان را آزمایش کنید متوجه خواهید شد همین که جسم شروع به حرکت کرد، برای حفظ حرکت آن نیروی کمتری لازم است. همانطوریکه در نمودار دیده می شود به محض حرکت جسم بر روی سطح نیروی اصطکاک از مقدار $f_{max}$ کمتر می شود. نیروی اصطکاکی را که در مدت حرکت جسم از طرف سطح بر جسم وارد می شود نیروی اصطکاک جنبشی (لغزشی یا دینامیکی) نامیده می شود و با $f_k$ نمایش داده می شود.

با انجام آزمایش ها به این نتیجه میرسیم که:

۱- نیروی اصطکاک همواره در جهت مخالف حرکت لغزشی بر جسم وارد می شود.

۲- نیروی اصطکاک مماس بر سطح لغزش و در خلاف جهت نیرویی است که می خواهد جسم را به حرکت درآورد.

۳- تا هنگامی که نیروی عامل حرکت از مقدار معینی بیشتر نشود جسم نمی لغزد. برای لغزیدن نیروی عامل حرکت $(F)$ باید از بیشینه نیروی اصطکاک $f_{max}$ بزرگتر شود.

۴- بلافاصله پس از لغزیدن جسم نیروی کمتری برای حفظ حرکت جسم لازم است.

۵- در صورتی که سرعت جسم زیاد نباشد، نیروی اصطکاک جنبشی $f_k$ در اغلب موارد تقریبا مستقل از بزرگی جسم است.

۶- نیروهای $f_{max}$ و $f_k$ از مساحت سطح تماس بین دو جسم مستقل است.

۷- نیروهای $f_{max}$ و $f_k$ با نیروی عمود بر سطح متناسب است.

اصطکاک در زندگی روزمره اهمیت بسیاری دارد اگر نیروی اصطکاک به تنهایی عمل کند، هر محور در حال دوران متوقف می شود. اصطکاک باعث فرسوده وکندشدن حرکت قسمتهای متحرک می شود. مهندسان برای کاهش دادن نیروی اصطکاک تلاش می کنند. با نگاهی دیگر به اصطکاک، متوجه می شویم که بدون نیروی اصطکاک نمی توانیم راه برویم و نمی توانیم مدادی را دست بگیریم. حمل و نقل وسایل بدون چرخ و وسایل چرخ دار در غیاب اصطکاک امکان ندارد.

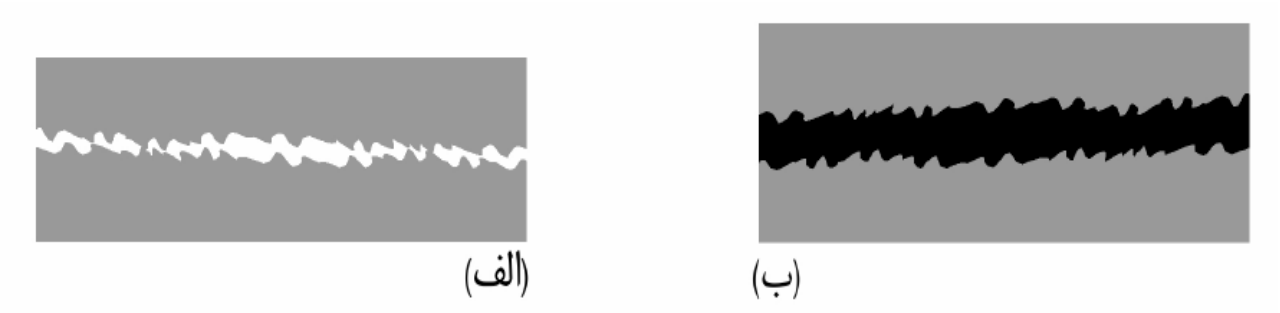
**ماهیت میکروسکوپیک نیروی اصطکاک**

هر سطحی در زیر میکروسکوپ قوی ناهموار به نظر می رسد. اگر دو سطح روی هم قرار گیرند شیارها و ناهمواری های موجود بر روی سطح باعث دشواری لغزیدن آن دو سطح نسبت به دیگری می شود. (شکل ۳- الف)

دو سطح درحال تماس، کم و بیش درهم قفل می شوند. با توجه به ویژگی فوق بخشی از ماهیت اصطکاک قابل درک است. وقتی که دو سطح در مقابل هم درحرکت هستند فرصت کافی برای درگیری ناهمواری ها وجود ندارد و فقط بالاترین نقاط ناهمواری ها با هم در تماس هستند و فقط این نقاط در مقابل حرکت مقاومت می کنند. به همین دلیل است که نیروی اصطکاک در مقابل حرکت جسم در حال لغزش از نیروی اصطکاک قبل از شروع حرکت کمتر است. روغن کاری سطوح نیروی اصطکاک را شدیداً کاهش می دهد. (شکل ۳- ب)

لایه نازکی از روغن در بین سطوح وجود دارد. این لایه ی روغن از ساییدن ناهمواری های دو سطح جلوگیری می کند. چنانچه نیروی عمود بر سطح بیشتر شود دو سطح به شدت به سوی هم فشرده می شوند و سطوح ناهموار به مقدار بیشتری با هم تماس پیدا می کنند. به عبارت دیگر برجستگی ها و چاله های ناشی از ناهمواری ها کاملاً با هم درگیر می شوند و دو سطح به حالت محکم تری در هم قفل می شوند. توجه کنید که نیروی عمود بر سطح همان نیرویی است که از طرف سطح اتکا در راستای عمود بر جسم لغزنده اعمال می گردد.

برای جسمی که روی یک میز افقی به حالت سکون قرار دارد یا روی آن می لغزد، بزرگی نیروی عمود بر سطح با وزن جسم برابر است.




**( شکل-۳ )**

**ضریب اصطکاک**

آزمایش ها نشان می دهند که $f_{max}$ و $f_k$ هر دو با نیروی عمود بر سطح $N$ متناسب است. اگر در شکل ۱ جسم مشابه دیگری را روی جسم اول قرار دهیم، نیروی عمود بر سطح دو برابر می شود ودر اثر دو برابر شدن نیروی $N$ نیروهای اصطکاک $f_{max}$ و $f_k$ نیز دو برابر می شود. چنانچه جسم مشابه سومی را بر روی دو جسم قبلی قرار دهیم نیروی عمود بر سطح سه برابر می شود و در نتیجه نیروی اصطکاک $f_{max}$ و $f_k$ نیز سه برابر می شود. بنابراین می توان نوشت:

$$f_{max} \propto N \qquad (1)$$

$$f_k \propto N \qquad (2)$$

برای تبدیل تناسب به یک رابطه تساوی از ثابت تناسب استفاده می کنیم. اگر این ثابت تناسب را با $\mu$ نمایش دهیم، رابطه های زیر را می توانیم بنویسیم:

$$f_{max} = \mu_s N \qquad (3)$$

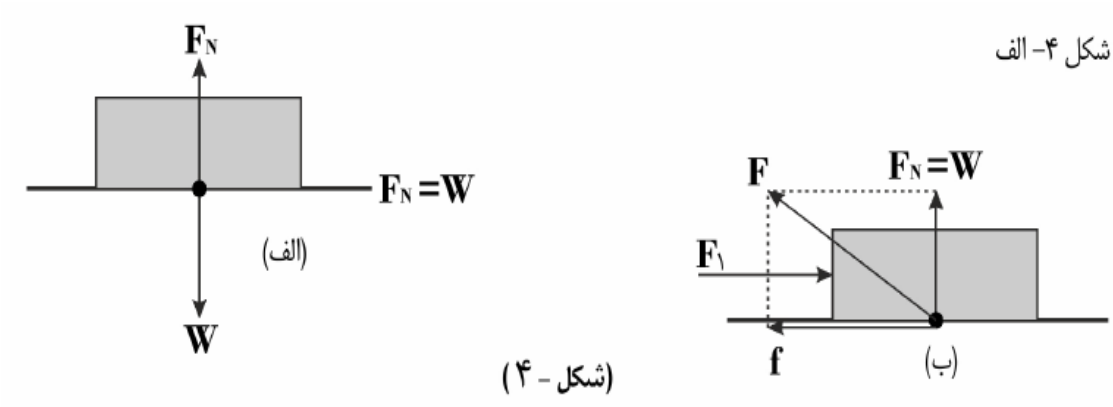
$$f_k = \mu_k N \qquad (4)$$

$\mu_s$ ضریب اصطکاک ایستایی است و مربوط به حالتی است که جسم ساکن درآستانه حرکت قرار می گیرد. نیروی اصطکاک در این حالت را نیروی اصطکاک ایستایی می نامیم و با $f_s$ نمایش می دهیم. $\mu_k$ ضریب اصطکاک جنبشی ( لغزشی یا دینامیکی) است و مربوط به حالتی است که جسم روی سطح در حال حرکت یکنواخت با سرعت ثابت است. ضریب اصطکاک چند ماده در جدول ۱ آورده شده است.

توجه داشته باشید نیرویی که یک سطح بر جسم ساکن جدول ۱ واقع در روی آن وارد می کند با نیروی وزن جسم برابر است.

| سطوح در حال تماس | $\mu_k$ | $\mu_s$ |
|---|---|---|
| چرخ لاستیکی بر روی بتون خشک | ۰/۷ – ۰/۹ | ۱/۰ |
| چرخ لاستیکی بر روی بتون تر | ۰/۵ – ۰/۷ | ۰/۸ |
| فلز بر روی فلز روغنکاری شده | ۰/۰۷ | ۰/۱ |
| چوب صاف بر روی برف | ۰/۰۵ | ۰/۰۷ |
| چوب بر روی چوب | ۰/۳ | ۰/۵ |
| فولاد بر روی تفلون | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ |
| فولاد بر روی فولاد ( سخت ) | ۰/۴۳ | ۰/۷۸ |
| فولاد بر روی فولاد ( نرم ) | ۰/۵۷ | ۰/۷۴ |
| سرب بر روی فولاد | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ |
| مس بر روی فولاد ( نرم ) | ۰/۳۶ | ۰/۵۳ |
| نیکل بر روی نیکل | ۰/۵۳ | ۱/۱۰ |
| چدن بر روی چدن | ۰/۱۵ | ۱/۱۰ |
| تفلون بر روی تفلون(یا بر روی فولاد) | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ |

**جدول ۱- ضریب اصطکاک**




(شکل - ۴)

اگر بر جسم نیروی $F_1$ در راستای افق وارد شود، نیرویی که سطح بر جسم وارد می کند نیروی $F$ است. توجه کنید که بزرگی این نیرو از نیروی وزن جسم بزرگتر است. به نحوی که مولفه افقی این نیرو با نیروی اصطکاک و مولفه قائم آن با نیروی وزن جسم برابر است. به عبارت دیگر در این حالت برآیند نیروهایی که سطح زیرین بر جسم وارد می کند با جمع

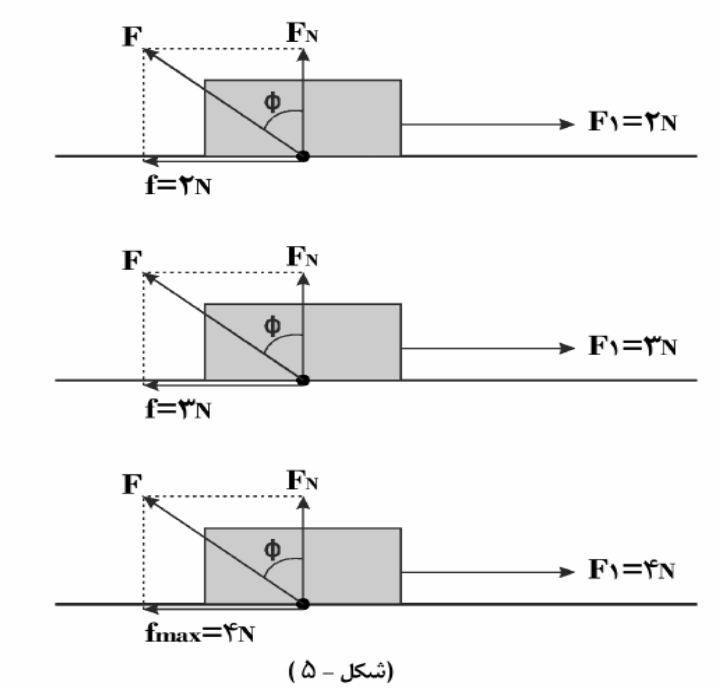
برداری دو نیروی اصطکاک و نیروی وزن جسم برابر است (رابطه ۵) در نتیجه هرچه $F_1$ بزرگتر شود $F$ بزرگتر می شود و $N$ تغییر نمی کند .

$$\vec{F} = \vec{N} + \vec{f} = \vec{W} + \vec{f} \qquad (5)$$

و در آستانه حرکت رابطه ۶ برقرار است

$$\vec{F} = \vec{N} + \vec{f}_{max} = \vec{W} + \vec{f}_s \qquad (6)$$

درهرحال بین نیروی اصطکاک و نیروی عمود بر سطح رابطه های ۳ و ۴ برقرار است.



(شکل - ۵ )

**بستگی زاویه سطح شیبدار با ضریب اصطکاک**

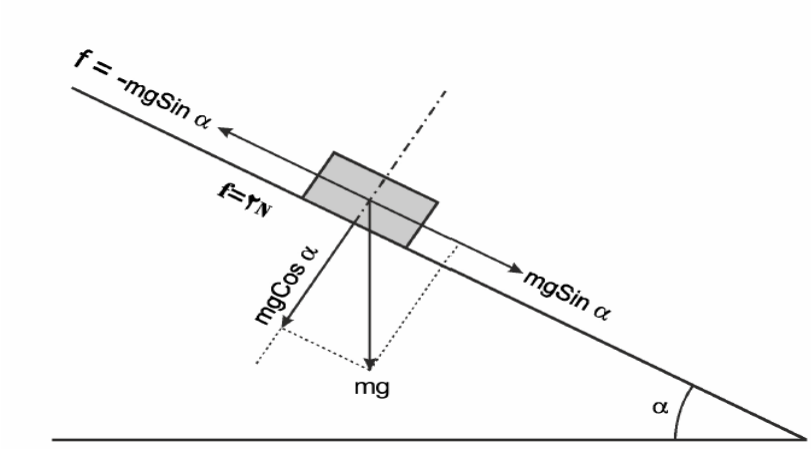
فرض می کنیم جسمی به جرم $m$ بر روی سطح شیبداری که زاویه آن با سطح افق $\alpha$ است با سرعت یکنواخت به طرف پایین می لغزد. بدیهی است وقتی لغزنده به صورت یکنواخت بر روی سطح شیبدار می لغزد که نیروی اصطکاک جنبشی با $mg\sin\alpha$ برابر می شود. از طرفی دیگر نیروی عمود بر سطح $mg\cos\alpha$ است. با توجه به مطالب بالا رابطه های زیر را می توان نوشت(شکل ۶) :

$$N = mg\cos\alpha$$

$$f = mg\sin\alpha$$

$$f = \mu_k N$$

$$mg\sin\alpha = \mu_k mg\cos\alpha \rightarrow \mu_k = \tan\alpha$$



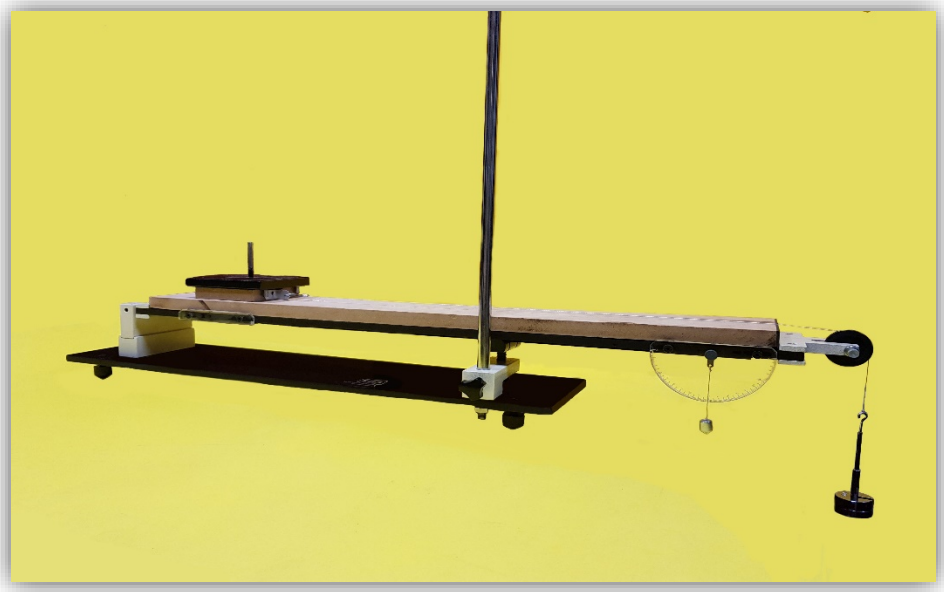

**( شکل-۶)**

## ۲-۲- شرح آزمایش

### آزمایش ۱: بررسی رابطه بین نیروی اصطکاک و نیروی عمود بر سطح

در این آزمایش می خواهیم رابطه بین نیروی اصطکاک ایستایی $f_s$ و نیروی عمود بر سطح $N$ را به دست آوریم.

- دستگاه را مطابق شکل ۷ آماده کنید.
- صفحه تخت مستطیلی شکل چوبی را روی سطح قابل تنظیم قرار دهید.
- با استفاده از پیچ های تنظیم زیر دستگاه و زیر سطح شیبدار صفحه قابل تنظیم دستگاه را در حالت افقی تنظیم کنید.
- توجه کنید که نخ شاقول درست از مقابل خط صفر نقاله عبور کند. برای تنظیم دقیق و نهایی از پیچ شماره ۲ استفاده کنید.
- جرم لغزنده چوبی را تعیین کنید و آن را $m_1$ بنامید، لغزنده چوبی را بر روی سطح تراز شده دستگاه قرار دهید. حلقه S شکل متصل به نخ را بر قلاب لغزنده چوبی ببندید و آن را وسط صفحه تراز شده چوبی قرار دهید.
- قرقره دستگاه را تنظیم کنید و دیگر حلقه S شکل متصل به نخ را از شیار قرقره عبور دهید.
- وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی $(m_2)$ و میله متصل به آن را روی لغزنده چوبی قرار دهید.
- نگهدارنده وزنه ۵۰ گرمی $(m_3)$ را به سر دیگر نخ آویزان کنید.
- در این مرحله آنقدر وزنه به نگهدارنده اضافه کنید تا لغزنده حرکت کند. جرم وزنه ها را $m_4$ بنامید.
- در این آزمایش نیروی عمود بر سطح را از رابطه $N = (m_1 + m_2)g$ و نیروی اصطکاک را از رابطه $f_s = (m_3 + m_4)g$ به دست آورید.



**(شکل- ۷)**

وزنه مستطیلی ۵۰۰ گرمی را بر روی میله وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی اضافه کنید و مجموع وزنه مستطیل ۱۰۰۰ گرمی و وزنه مستطیلی ۵۰۰ گرمی را $m_4$ بنامید. آزمایش را تکرار کنید. F و N را تعیین کنید.

- برای هر مرحله سه بار آزمایش انجام داده و میانگین نتایج اندازه گیری را در جدول ۲ ثبت کنید.

| $N = (m_1 + m_2)g$ | $f_s = (m_3 + m_4)g$ | جرم وزنه های شیاردار اضافه شده روی وزنه نگهدارنده $m_4$ | جرم وزنه های اضافه شده روی لغزنده چوبی $m_2$ | ردیف | جرم نگهدارنده وزنه $m_3$ | جرم لغزنده چوبی $m_1$ | جنس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ۱ | | | چوب روی چوب با بزرگترین سطح تماس |
| | | | | ۲ | | | |

جدول ۲- بررسی وابستگی نیروی اصطکاک به نیروی عمود بر سطح

## آزمایش ۲: بررسی رابطه بین نیروی اصطکاک و بزرگی سطح تماس

در این مرحله می خواهیم اثر بزرگی سطح تماس را بررسی کنیم.

- به لغزنده چوبی توجه کنید.

- یک سطح لغزنده کاملا تخت است و سطح دیگر آن شیار بزرگی دارد. وقتی سطح کاملا تخت بر روی سطح ترازشده قرار می گیرد سطح تماس لغزنده بزرگترین است.
- در آزمایش های قبل بزرگترین سطح لغزنده بر روی سطح تخت و ترازشده دستگاه قرار دادیم.
- در این مرحله لغزنده چوبی را برگردانید و سطح شیاردار آن را بر روی سطح تخت و ترازشده دستگاه قرار دهید.
- جرم لغزنده چوبی را تعیین کنید و آن را $m_1$ بنامید، لغزنده چوبی را بر روی سطح ترازشده دستگاه قرار دهید. حلقه S شکل متصل به نخ را بر قلاب لغزنده چوبی ببندید و آن را وسط صفحه ترازشده چوبی قرار دهید.
- وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی $(m_2)$ و میله متصل به آن را روی لغزنده چوبی قرار دهید.
- نگهدارنده وزنه ۵۰ گرمی $(m_3)$ را به سر دیگر نخ آویزان کنید.
- در این مرحله آنقدر وزنه به نگهدارنده اضافه کنید تا لغزنده حرکت کند. جرم وزنه ها را $m_4$ بنامید.
- هرآزمایش را سه بار تکرار کرده و میانگین نتایج را در جدول ۳ ثبت کنید.

| جنس | جرم لغزنده چوبی $m_1$ | جرم نگهدارنده وزنه $m_3$ | ردیف | جرم وزنه های اضافه شده روی لغزنده چوبی $m_2$ | جرم وزنه های شیاردار اضافه شده روی وزنه نگهدارنده $m_4$ | $f_s = (m_3 + m_4)g$ | $N = (m_1 + m_2)g$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چوب روی چوب با سطح شیار دار | | | ۱ | | | | |
| | | | ۲ | | | | |

جدول ۳- بررسی عدم وابستگی نیروی اصطکاک به بزرگی سطح تماس

## آزمایش ۳: بررسی رابطه بین نیروی اصطکاک و جنس سطوح در تماس

- صفحه چوبی تخت را بر روی سطح تخت و ترازشده دستگاه قرار دهید.
- جرم لغزنده چوبی را با کف هم اندازه بگیرید و مجموعه آن ها را $m_1$ بنامید، لغزنده چوبی را بر روی سطح ترازشده دستگاه قرار دهید.
- حلقه S شکل متصل به نخ را بر قلاب لغزنده چوبی ببندید و آن را وسط صفحه ترازشده چوبی قرار دهید.

- قرقره دستگاه را تنظیم کنید و دیگر حلقه S شکل متصل به نخ را از شیار قرقره عبور دهید.
- لغزنده چوبی را بر روی صفحه تخت چوبی قرار دهید و وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی $(m_2)$ و میله متصل به آن را روی لغزنده چوبی قرار دهید.
- نگهدارنده وزنه ۵۰ گرمی $(m_3)$ را به سر دیگر نخ آویزان کنید.
- در این مرحله آنقدر وزنه به نگهدارنده اضافه کنید تا لغزنده حرکت کند. جرم وزنه ها را $m_4$ بنامید.
- آزمایش را سه بار انجام دهید و دو تا از نزدیک ترین داده ها را در جدول یادداشت کنید.
- ازکفی ها (از جنس شیشه، پلاستیک و آلومینیوم) ولغزنده چوبی استفاده کنید و از رابطه $N = (m_1 + m_2)g$ و نیروی اصطکاک را از رابطه $f_s = (m_3 + m_4)g$ به دست آورید.
- نتایج اندازه گیری را در جدول ۴ ثبت کنید. با توجه به مقادیر به دست آمده درباره نتایج حاصل از آزمایش بحث کنید.

| جنس | ردیف | جرم لغزنده چوبی و کفی $m_1$ | مجموع جرم وزنه های شیاردار اضافه شده روی وزنه نگهدارنده $m_4$ | $f_s = (m_3 + m_4)g$ | $N = (m_1 + m_2)g$ |
|---|---|---|---|---|---|
| چوب روی چوب | ۱ | | | | |
| | ۲ | | | | |
| شیشه روی چوب | ۳ | | | | |
| | ۴ | | | | |
| پلاستیک روی چوب | ۵ | | | | |
| | ۶ | | | | |

جدول ۴- نیروی رابطه اصطکاک ایستایی با جنس سطوح در حال تماس

**آزمایش ۴: تعیین ضریب اصطکاک ایستایی چند ماده مختلف**

در این آزمایش ضریب اصطکاک ایستایی چوب بر روی چوب را اندازه می گیریم.

- جرم لغزنده چوبی را تعیین کنید و آن را $m_1$ بنامید، لغزنده چوبی را بر روی سطح ترازشده دستگاه قرار دهید. حلقه S شکل متصل به نخ را بر قلاب لغزنده چوبی ببندید و آن را وسط صفحه ترازشده چوبی قرار دهید.
- قرقره دستگاه را تنظیم کنید و دیگر حلقه S شکل متصل به نخ را از شیار قرقره عبور دهید.
- وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی $(m_2)$ و میله متصل به آن را روی لغزنده چوبی قرار دهید.
- نگهدارنده وزنه ۵۰ گرمی $(m_3)$ را به سر دیگر نخ آویزان کنید.
- مقداری از وزنه هایی که در جعبه قرار دارند به نگهدارنده وزنه اضافه کنید. این عمل را آنقدر ادامه دهید تا لغزنده حرکت کند. به حرکت لغزنده بر روی صفحه چوبی توجه کنید. پس از آغاز حرکت، لغزنده حرکت تندشونده دار
- نیروی اصطکاک ایستایی $f_s = (m_3 + m_4)g$ را تعیین کنید.
- از صفحات تخت و کفی ها (از جنس شیشه، پلاستیک و آلومینیوم) و لغزنده چوبی استفاده کنید و ضریب اصطکاک ایستایی برای شیشه، پلاستیک و آلومینیوم را تعیین کنید.
- آزمایش را سه بار انجام دهید و دو تا از نزدیک ترین داده ها را در جدول یادداشت کنید.
- با استفاده از نیروی اصطکاک ایستایی $(f_s)$ و نیروی عمود بر سطح $N = (m_1 + m_2)g$ ضریب اصطکاک ایستایی را به دست آورید.
- نتایج حاصل از آزمایش را در جدول ۵ ثبت کنید.

| جنس | ردیف | جرم لغزنده چوبی/یاکفی باچوبی $m_1$ | مجموع جرم وزنه های شیاردار اضافه شده روی وزنه نگهدارنده $m_4$ | $f_s = (m_3 + m_4)g$ | $N = (m_1 + m_2)g$ | $\frac{f_s}{N}$ | $\mu_s$متوسط |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چوب روی چوب | ۱ | | | | | | |
| | ۲ | | | | | | |
| شیشه روی شیشه | ۳ | | | | | | |
| | ۴ | | | | | | |
| پلاستیک روی پلاستیک | ۵ | | | | | | |
| | ۶ | | | | | | |
| آلومینیوم روی آلومینیوم | ۷ | | | | | | |
| | ۸ | | | | | | |

جدول ۵- تعیین ضریب اصطکاک ایستایی چند ماده مختلف

**آزمایش ۵: ضریب اصطکاک جنبشی چند ماده مختلف**

در این آزمایش می خواهیم ضریب اصطکاک جنبشی را اندازه بگیریم. توجه داشته باشید که تعیین ضریب اصطکاک جنبشی دقت و فرصت بیشتری نیاز دارد.برای انجام این مرحله، دستگاه را مطابق شکل ۷ آماده کنید و با استفاده از پیچ های ۱ و ۲ صفحه قابل تنظیم دستگاه را کاملا به حالت افقی درآورید. صفحه تخت مستطیلی شکل چوبی را روی سطح قابل تنظیم قرار دهید.

- برای اطمینان از افقی بودن سطح قابل تنظیم، دستگاه تراز را در قسمت های مختلف در راستای x و y قرار دهید.
- جرم لغزنده چوبی را تعیین کنید و آن را $m_1$ بنامید، لغزنده چوبی را بر روی سطح تراز شده دستگاه قرار دهید.
- حلقه S شکل متصل به نخ را بر قلاب لغزنده چوبی ببندید و آن را وسط صفحه تراز شده چوبی قرار دهید.
- قرقره دستگاه را تنظیم کنید و دیگر حلقه S شکل متصل به نخ را از شیار قرقره عبور دهید.
- وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی $(m_2)$ و میله متصل به آن را روی لغزنده چوبی قرار دهید.

- نگهدارنده وزنه ۵۰ گرمی $(m_3)$ را به سر دیگر نخ آویزان کنید.
- لغزنده را وسط صفحه تراز شده بگذارید.
- با هربار اضافه کردن وزنه، ضربات قائمی بر صفحه تراز شده وارد کنید. این عمل را آنقدر ادامه دهید تا لغزنده بر روی دستگاه به حرکت درآید. پس از به حرکت در آمدن لغزنده، عمل ضربه زدن را به صورت یکنواخت ادامه دهید. توجه داشته باشید که حرکت بر روی سطح افق یکنواخت باشد.در این حالت جرم وزنه های موجود بر روی نگهدارنده را تعیین کنید و آن را $m_3$ بنامید.
- نیروی اصطکاک جنبشی $fk = (m_2 + m_3)g$ را به دست آورید.
- نیروی عمود بر سطح $N = (m_1 + m_2)g$ را به دست آورید.
- از صفحات تخت و کفی ها (از جنس شیشه، پلاستیک و آلومینیوم) و لغزنده چوبی استفاده کنید و ضریب اصطکاک جنبشی برای شیشه، پلاستیک و آلومینیوم را تعیین کنید.
- ضریب اصطکاک جنبشی $\mu_k = \frac{fk}{N}$ را تعیین کنید.
- آزمایش را پنج بار تکرار کنید و سه تا از نزدیک ترین اعداد را در جدول ۶ یادداشت کنید

| جنس | ردیف | جرم لغزنده چوبی و کفی یا چوبی | مجموع جرم وزنه های شیاردار اضافه شده روی وزنه نگهدارنده $m_4$ | $fk = (m_3 + m_4)g$ | $N = (m_1 + m_2)g$ | $\frac{f_k}{N}$ | $\mu_k$متوسط |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چوب روی چوب | ۱ | | | | | | |
| | ۲ | | | | | | |
| | ۳ | | | | | | |
| شیشه روی شیشه | ۴ | | | | | | |
| | ۵ | | | | | | |
| | ۶ | | | | | | |
| پلاستیک روی پلاستیک | ۷ | | | | | | |
| | ۸ | | | | | | |
| | ۹ | | | | | | |
| | ۱۰ | | | | | | |
| | ۱۱ | | | | | | |

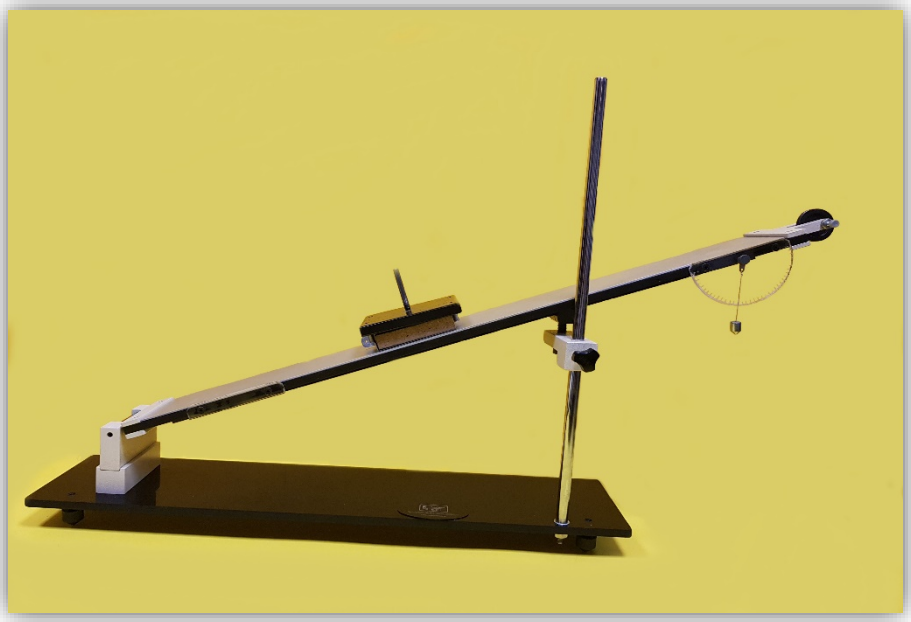
جدول ۶- تعیین ضریب اصطکاک چند ماده مختلف

**آزمایش ۶: بررسی ضریب اصطکاک با تانژانت**

**زاویه سطح شیبدار**

در این مرحله می خواهیم رابطه بین تانژانت زاویه سطح شیبدار را با ضریب اصطکاک بررسی کنیم. برای این انجام آزمایش به مشارکت دو نفر (یک نفر برای زیاد کردن زاویه شیب سطح و نفر دیگر برای وارد کردن ضربه ها و خواندن زاویه) نیاز داریم. دستگاه را در جایی قرار دهید که پس از پایین آمدن وزنه ها روی سطح آسیبی به افراد و سطوح اطراف نرسد. هنگام انجام آزمایش و برای هرچندبار توجه داشته باشید سطوح و لغزنده را همواره در یک جهت قرار دهید. همچنین لغزنده را وسط صفحه قرار دهید. ضربه ها را در فاصله ۱۰ سانتیمتری از لغزنده وارد کنید.

- صفحه تخت مستطیلی چوبی را روی سطح قابل تنظیم قرار دهید.
- جرم لغزنده چوبی $m$ را تعیین کنید و آن را بر روی سطح ترازشده دستگاه قرار دهید.
- وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی $(m_2)$ و میله متصل به آن را روی لغزنده چوبی قرار دهید.
- مانند شکل ۸، ضمن زیاد کردن زاویه شیب، نفر دیگر مرتبا ضربه های آرامی بر روی سطح وارد کند. اضافه کردن شیب سطح را آنقدر ادامه دهید تا لغزنده به صورت یکنواخت بر روی سطح شیبدار حرکت کند.



(شکل-۸ )

- وقتی لغزنده بر روی سطح شیبدار به طرف پایین لغزید، زاویه شروع به لغزش را با استفاده از نقاله و شاقول روی دستگاه بخوانید.

- زاویه شیب دستگاه را $\alpha$ بنامید.
- $\tan\alpha$ را به دست آورید.
- هر آزمایش را چهاربار تکرار کنید و سه نتیجه نزدیکتر به هم را در جدول یادداشت کنید.
- مقدار به دست آمده را با $\mu_k$ به دست آمده از آزمایش ۵ مقایسه کنید.
- آزمایش را برای شیشه، پلاستیک و آلومینیوم تکرار کنید.
- نتایج حاصل از انجام آزمایش را در جدول ۷ ثبت کنید .
- این آزمایش را برای سطوح تماس با جنس های مختلف نیز می توانید انجام دهید.

| ردیف | جنس | $m$ | $\alpha$ | $tan\,\alpha$ | $\mu_k$ | توضیحات | $\mu_k$متوسط |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | لغزنده چوبی+وزنه مستطیل ۱۰۰۰ گرمی و سطح چوبی | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ۲ | لغزنده چوبی+وزنه مربعی و مستطیلی ۵۰۰+۱۰۰۰ گرمی و سطح چوبی | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ۳ | لغزنده چوبی با کفی شیشه ای+وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی و سطح شیشه ای | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ۴ | لغزنده چوبی با کفی شیشه ای+وزنه مربعی و مستطیلی ۵۰۰+۱۰۰۰ گرمی و سطح چوبی | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ۵ | لغزنده چوبی با کفی پلاستیکی+وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی و سطح پلاستیکی | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ۶ | لغزنده چوبی با کفی پلاستیکی+وزنه مربعی و مستطیلی ۵۰۰+۱۰۰۰۰ گرمی و سطح پلاستیکی | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ۷ | لغزنده چوبی باکفی آلومینیومی+وزنه مربعی ۱۰۰۰ گرمی و سطح آلومینیومی | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ۸ | لغزنده چوبی با کفی آلومینیومی+وزنه مربعی و مستطیلی ۵۰۰+۱۰۰۰ گرمی و سطح آلومینیومی | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**جدول ۷- تعیین $\tan\alpha$ برای مواد مختلف**