

باسمه تعالی

شماره دانشجویی: ۸۷۱۰۵۸۳۵

نام و نام خانوادگی: احسان عماد مروستی

رشته: مهندسی کامپیوتر

زیر گروه: C

آزمایش شماره: ۳

عنوان آزمایش: اصطکاک

هدف: مطالعه ی قوانین حاکم بر نیروی اصطکاک و اندازه گیری ضریب اصطکاک بین دو سطح با

روش های مختلف

وسایل مورد نیاز: سطح شیب دار با زاویه ی شیب قابل تنظیم، بره ی فلزی با جنس سطوح مختلف، منبع تغذیه ، جاوزنه ای، وزنه های کوچک و بزرگ

نظریه:

نیروی اصطکاک یکی از نیروهای الکترومغناطیس است که در سطح تماس دو جسم جامد عمل می کند و گاهی اوقات موجب جلوگیری از حرکت آن جسم می شود و گاهی به حرکت کمک می کند. (راه رفتن) آزمایش ها نشان می دهد که اگر یک جسم به جرم M را روی یک سطح قرار دهیم و نیروی F را به آن وارد کنیم و نیروی اصطکاک (که در این حالت در جهت مخالف F به جسم وارد می شود) اندازه بگیریم، این نیرو تا جایی که جسم روی سطح ثابت است مسلماً برابر F خواهد بود و از جایی به بعد که جسم شروع به حرکت به مقدار تقریباً ثابتی

می رسد. این نقطه ی شروع حرکت، آستانه ی حرکت نام دارد و مقدار F در آن لحظه برابر $N \cdot \mu_s$ است که N نیروی نرمال یا عمودی سطح نام دارد و نیرویی است که دو جسم در جهت عمود بر سطح تماس به یکدیگر وارد می کنند. μ_s در این رابطه ضریب اصطکاک ایستایی دو جسم نام دارد و فاقد یکاست و به جنس سطح دو جسم بستگی دارد.

آزمایش ها نشان می دهند که نیروی اصطکاک بعد از شروع شدن حرکت از رابطه ی $N \cdot \mu_k$ به دست می آید که μ_k ضریب اصطکاک جنبشی دو جسم است و به جنس سطح دو جسم بستگی دارد. همچنین $\mu_k < \mu_s$. باید به این نکته توجه کرد که ضریب اصطکاک مستقل از سرعت حرکت دو جسم نسبت به هم یا مساحت سطح تماس بین آن دو است و تنها به جنس سطح تماس وابسته است.

روند انجام آزمایش

برای شناخت نیروی اصطکاک با توجه به مطالبی که در قسمت قبل گفته شد، باید ضرایب اصطکاک را بدست آورد؛ یعنی همان کاری که ما در این آزمایش به دنبال آن هستیم. این آزمایش از ۴ قسمت برای بدست آوردن ضرایب اصطکاک تشکیل شده است.

۱) بدست آوردن ضریب اصطکاک جنبشی

با تغییر بار روی بره (m) ، آنقدر وزنه به نخ آویزان از قرقره آویزان می کنیم تا با زدن ضربه ای به سطح، بره شروع به حرکت با سرعت ثابت کند. در این حالت روابط زیر را داریم:

$$T - (M + m).g.\mu_k = (M + m).a = 0$$

$$\Rightarrow T = m.g.\mu_k + M.g.\mu_k$$

که در آن T نیروی کشش نخ یا وزن اضافه شده به آن طرف قرقره است. پس اگر ما نمودار T بر حسب m را رسم کنیم، می توانیم از روی شیب آن، ضریب اصطکاک جنبشی را محاسبه کنیم.

۲) اندازه گیری ضریب اصطکاک از طریق شیب دادن سطح

زاویه θ را آنقدر زیاد می کنیم تا با زدن ضربه ای به سطح، جرم M شروع به حرکت با سرعت ثابت کند. در این حالت روابط زیر را داریم:

$$\begin{aligned} a = 0 &\Rightarrow F_s = M \cdot g \cdot \sin \theta \\ F_s = N \cdot \mu_k &= M \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \mu_k \\ \Rightarrow M \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \mu_k &= M \cdot g \cdot \sin \theta \\ \Rightarrow \mu_k &= \tan \theta \end{aligned}$$

پس با اندازه گیری زاویه θ می توان ضریب اصطکاک جنبشی را محاسبه کرد. برای اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی:

زاویه θ را آنقدر زیاد می کنیم تا جرم M شروع به حرکت با سرعت ثابت کند (بدون زدن ضربه). در این حالت روابط زیر را داریم:

$$\begin{aligned} a = 0 &\Rightarrow F_s = M \cdot g \cdot \sin \theta \\ F_s = N \cdot \mu_s &= M \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \mu_s \\ \Rightarrow M \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \mu_s &= M \cdot g \cdot \sin \theta \\ \Rightarrow \mu_s &= \tan \theta \end{aligned}$$

پس با اندازه گیری زاویه θ می توان ضریب اصطکاک ایستایی را محاسبه کرد.

۳) بررسی تغییر نیروی اصطکاک با تغییر مساحت سطح تماس

آزمایش قبل را برای سطح با مساحت کمتر و سطح مساحت بیشتر تکرار می کنیم و در هر حالت ضریب اصطکاک را محاسبه می کنیم تا ببینیم آیا به سطح تماس دو جسم وابسته هست یا نه.

۴) اندازه گیری ضریب اصطکاک از طریق تغییر شیب سطح

برای اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی:

ابتدا مانند آزمایش ۱، به نخ آنقدر وزنه اضافه می کنیم تا با زدن ضربه ای، جرم M با سرعت ثابت شروع به حرکت کند. زاویه سطح شیب دار را آنقدر زیاد می کنیم تا جرم M با زدن ضربه ای با سرعت ثابت در خلاف جهت (به سمت پایین سطح شیب دار) شروع به حرکت کند.

برای اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی:

ابتدا مانند آزمایش ۱، به نخ آنقدر وزنه اضافه می کنیم تا جرم M با سرعت ثابت شروع به حرکت کند. زاویه سطح شیب دار را آنقدر زیاد می کنیم تا جرم M با سرعت ثابت در خلاف جهت (به سمت پایین سطح شیب دار) شروع به حرکت کند.

در این حالت ها روابط زیر را داریم: (به دلیل مشابه بودن روابط، منظور از μ در روابط، μ_k یا μ_s است).

همان طور که دیده می شود:

$$\begin{aligned} T &= M \cdot g \cdot \mu \\ T + M \cdot g \cdot \mu \cdot \cos \theta &= M \cdot g \cdot \sin \theta \\ \Rightarrow \mu &= \frac{M \cdot g \cdot \sin \theta - T}{M \cdot g \cdot \cos \theta} \end{aligned}$$

جداول

جدول ۱ - اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی (نیروها بر حسب نیوتون هستند)

1000	800	600	400	200	وزنه های اضافه شده به بره
2.85	2.47	2.20	1.64	1.25	نیروی اصطکاک سطح و سطح روکش دار
2.82	2.38	1.97	1.52	1.10	نیروی اصطکاک سطح بره و چوب
جرم مکعب با ترازو		294.9 g			

جدول ۲ - اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی (زاویه ها بر حسب درجه هستند)

بره و سطح چوبی			بره و سطح روکش دار			
θ_k	11	12	10	11	10	
θ_s	18	16	16	14	15	

جدول ۳ - بررسی اثر تغییر مساحت تماس بر اصطکاک (زاویه ها بر حسب درجه هستند)

سطح وسیع بره و چوب			سطح با مساحت کمتر بره و چوب			
θ_k	10	10	9	10	10	
θ_s	15	16	14	14	15	

جدول ۴ - اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی

با استفاده از تغییر شیب سطح حرکت وزنه ها به سمت بالا

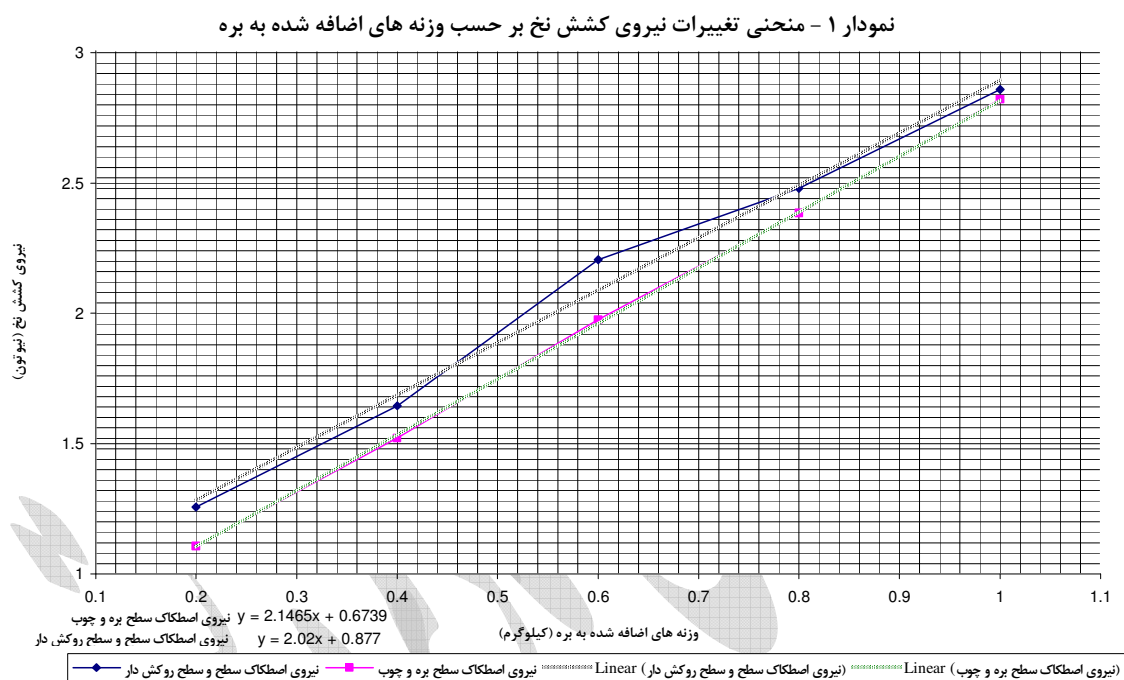
(نیروها بر حسب نیوتون و زاویه ها بر حسب درجه هستند).

بره و چوب			
21	20	20	θ_k
0.92	0.96	0.87	کشش
23	24	22	θ_s
1.00	1.00	1.05	کشش

خواسته ها

خواسته ی ۱

(الف)



همان طور که دیده می شود در حالت سطح بره و چوب:

$$T = (M + m).g.\mu_k$$

$$T = m.g.\mu_k + M.g.\mu_k$$

که در آن M جرم بره، m جرم بار روی بره و T نیروی کشش نخ است. پس شیب نمودار T - m (که در بالا رسم شده است، برابر $g.\mu_k$ است.

در حالت سطح بره و چوب، بدست آمده که $T = 2.1465m + 0.6739$ پس:

$$\mu_k = \frac{2.1465}{g} = 0.21903$$

در حالت سطح و سطح روکش دار، بدست آمده که $T = 0.002m + 0.877$ پس:

$$\mu_k = \frac{2.02}{g} = 0.206$$

(ب)

همان طور که گفته شد: $T = m.g.\mu_k + M.g.\mu_k$ پس عرض از مبدأ نمودار برابر $M.g.\mu_k$ است. از طرفی عرض از مبدأ دو نمودار را می دانیم، پس از برابر قرار دادن این دو مقدار، M به دست خواهد آمد. در حالت سطح بره و چوب:

$$M_{c_1} \cdot g \cdot \mu_k = 0.6739$$

$$\Rightarrow M_{c_1} \times 2.1465 = 0.6739$$

$$\Rightarrow M_{c_1} = 0.3140 \text{ Kg}$$

در حالت سطح و سطح روکش دار:

$$M_{c_2} \cdot g \cdot \mu_k = 0.877$$

$$\Rightarrow M_{c_2} \times 2.02 = 0.877$$

$$\Rightarrow M_{c_2} = 0.434 \text{ Kg}$$

پس:

$$M_{c_1} = 0.3140 \text{ Kg}$$

$$M_{c_2} = 0.434 \text{ Kg}$$

$$M_c = \frac{M_{c_1} + M_{c_2}}{2} = 0.388 \text{ Kg} = 388 \text{ g}$$

(ج)

خطای نسبی برابر است با:

$$\frac{|M_c - M|}{M} = \frac{388 - 294.9}{294.9} = 0.32$$

خواسته ی ۲

جدول ۲ - اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی (زاویه ها بر حسب درجه هستند)

بره و سطح روکش دار			بره و سطح چوبی			
10	10	11	10	12	11	θ_k
15	15	14	16	16	18	θ_s

برای بره و سطح چوبی:

$$\theta_{k_{avg}} = 11 \Rightarrow \mu_k = \tan \theta_k = 0.194$$

$$\theta_{s_{avg}} = 17 \Rightarrow \mu_s = \tan \theta_s = 0.306$$

برای سطح و سطح روکش دار:

$$\theta_{k_{avg}} = 10 \Rightarrow \mu_k = \tan \theta_k = 0.176$$

$$\theta_{s_{avg}} = 15 \Rightarrow \mu_s = \tan \theta_s = 0.268$$

با توجه به مقادیر به دست آمده، ضریب اصطکاک برای بره و سطح چوبی بیشتر از بره و سطح روکش دار است، که این هم ناشی از صاف تر و صیقلی تر بودن سطح چوب روکش دار است.

خواسته ی ۳

جدول ۳ - بررسی اثر تغییر مساحت تماس بر اصطکاک (زاویه ها بر حسب درجه هستند)

سطح وسیع بره و چوب			سطح با مساحت کمتر بره و چوب			
θ_k	10	10	9	10	10	
θ_s	15	16	14	14	15	

برای سطح وسیع بره و چوب:

$$\theta_{k_{avg}} = 10 \Rightarrow \mu_k = \tan \theta_k = 0.176$$

$$\theta_{s_{avg}} = 15 \Rightarrow \mu_s = \tan \theta_s = 0.268$$

برای سطح با مساحت کمتر:

$$\theta_{k_{avg}} = 10 \Rightarrow \mu_k = \tan \theta_k = 0.176$$

$$\theta_{s_{avg}} = 14 \Rightarrow \mu_s = \tan \theta_s = 0.250$$

که همان طور که دیده می شود، این دو مقدار با تقریب خوبی با هم برابر هستند. انتظار این امر هم می رفت؛ چون

می دانیم ضریب اصطکاک ربطی به سطح تماس دو جسم ندارد. اختلاف کمی هم که وجود دارد به خاطر تغییر شکل دو جسم در فشارهای مختلف است، یعنی جسم در فشار بیشتر (سطح تماس کمتر) تغییر شکل می دهد و دیگر جسم قبلی نیست و این امر باعث تغییر اندک ضریب اصطکاک می شود.

خواسته ی ۴

همان طور که دیده می شود:

$$T = M.g.\mu$$

$$T + M.g.\mu.\cos \theta = M.g.\sin \theta$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{M.g.\sin \theta - T}{M.g.\cos \theta}$$

که در آن M جرم وزنه است که در آزمایش اول قسمت ب، مقدار میانگین g 388 را برای آن بدست آوردیم.

جدول ۴ - اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی
با استفاده از تغییر شیب سطح حرکت وزنه ها به سمت بالا
(نیروها بر حسب نیوتون و زاویه ها بر حسب درجه هستند).

بره و چوب			
21	20	20	θ_k
0.92	0.96	0.87	کشش
23	24	22	θ_s
1.00	1.00	1.05	کشش

$$\theta_{k_{avg}} = 20$$

$$T_{k_{avg}} = 0.921$$

$$\theta_{s_{avg}} = 23$$

$$T_{s_{avg}} = 1.022$$

و:

$$\mu_k = \frac{0.388 \times 9.8 \times 0.34 - 0.921}{0.388 \times 9.8 \times 0.94} = \frac{1.3 - 0.921}{3.6} = 0.11$$

$$\mu_s = \frac{0.388 \times 9.8 \times 0.39 - 1.022}{0.388 \times 9.8 \times 0.92} = \frac{1.5 - 1.022}{3.5} = 0.13$$

سوالات

(۱) چرا ترمز ناگهانی اتوموبیل بر روی سطح آسفالت خیس عاقلانه نیست؟

ابتدا به قوانین زیر برای حرکت چرخ روی سطح با اصطکاک توجه کنید. اگر چرخ با سرعت زاویه ای ω و شعاع r با سرعت v حرکت کند، در صورتی که $v = r\omega$ باشد، بدون لغزیدن حرکت می کند و در غیر اینصورت روی زمین می لغزد. وقتی ω تغییر کند، ممکن است حالات زیر (در مورد حرکت تند شونده یا کند شونده) پیش بیاید:

۱. $m.r.\ddot{\omega} < f_{s\max}$ ، نیروی اصطکاک ایستایی به چرخ وارد می شود که باعث می شود چرخ در هر لحظه

بدون لغزیدن، از رابطه ی $v = r\omega$ پیروی کند.

۲. $m.r.\ddot{\omega} \geq f_{s\max}$ ، نیروی اصطکاک جنبشی به چرخ وارد می شود (چرخ روی زمین می لغزد یا به اصطلاح

سر می خورد) و این نیرو باعث می شود v به مقدار $r\omega$ برسد.

وقتی ما ناگهان ترمز می کنیم، چرخ ها را قفل می کنیم و ناگهان ω را صفر می کنیم، پس $\ddot{\omega}$ خیلی زیاد می شود و $m.r.\ddot{\omega} \geq f_{s\max}$ (چرخ روی زمین سر می خورد). ولی اگر کم کم ترمز کنیم به طوری که چرخ ها روی زمین سر نخورد، نیروی اصطکاک ایستایی به چرخ وارد می شود، چون ماکسیمم نیروی اصطکاک ایستایی از نیروی اصطکاک جنبشی بیشتر است، می توانیم با کم کم ترمز کردن نیروی متوقف کننده ی بیشتری به ماشین وارد کنیم تا ناگهان ترمز کردن. پس چه بر روی آسفالت خیس و چه بر روی سطح آسفالت غیر خیس، ناگهان ترمز کردن معقول نیست.

(۲) آیا نیروی اصطکاک ایستایی ثابت است؟

خیر. تا موقعی که جسم ثابت است و هنوز شروع به حرکت نکرده، نیروی اصطکاک برابر نیروی است که ما به جسم وارد می کنیم و مقدار ماکسیمم آن برابر $N.\mu_s$ است.

(۳) یک خط کش یک متری را روی دو انگشت خود نگه دارید به طوری که یک انگشت در ۱۰ سانتیمتری و انگشت دیگر در ۷۰ سانتیمتری از ابتداء آن قرار بگیرد. سعی کنید دو انگشت خود را به تدریج به یکدیگر نزدیک کنید. آزمایش را در حالتی که انگشت ها در نقاط مختلف خط کش باشند تکرار کنید و نتیجه را شرح دهید.

در این حالت وزن خط کش متناسب با فاصله ی انگشتان از وسط خط کش، بین آنها تقسیم می شود به طوری که انگشت چپی که در فاصله ی ۱۰ سانتیمتر از ابتدای خط کش قرار دارد، ۰.۴ و انگشت دیگر ۰.۶ وزن خط کش را تحمل می کنند. پس نیروی عمودی سطح برای انگشت چپی کمتر است و نیروی ماکسیمم اصطکاک ایستایی برای آن کمتر است. پس با اعمال نیروی مساوی به دو انگشت از طرف دست، انگشت چپی زودتر شروع به حرکت می کند. تا جایی که تقریباً دو انگشت نسبت به مرکز قرینه شوند.

با حرکت انگشت چپی، نیروی عمودی سطح آن هم بیشتر می شود و نیروی اصطکاک جنبشی افزایش می یابد؛ از طرفی نیروی عمودی سطح انگشت راستی کم می شود و نیروی ماکسیمم اصطکاک ایستایی آن کم می شود. تا به جایی می رسیم که انگشت چپی ساکن می ماند و انگشت راستی شروع به حرکت می کند.

کمی بعد انگشت راستی می ایستد و انگشت چپی شروع به حرکت می کند و این روند ادامه پیدا می کند تا دو انگشت تقریباً در وسط خط کش به هم می رسند. در حالت های مختلف قرارگیری انگشت ها روی خط کش هم اتفاق مشابهی می افتد و دو انگشت تقریباً در وسط خط کش به هم می رسند.

۴) چرا برای بدست آوردن ضریب اصطکاک جنبشی در آزمایش ها گفته شده است چند ضربه ی کوچک به سطح بزنید ولی در اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی نباید این کار را بکنید؟

با زدن چند ضربه ی کوچک به سطح، جسم کمی روی سطح حرکت می کند و بعد از آن نیروی اصطکاک جنبشی به آن وارد می شود، حال اگر نیرویی که ما به آن وارد کردیم به اندازه ی نیروی اصطکاک جنبشی باشد، جسم با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می دهد؛ همان چیزی که ما در آزمایش به آن توجه کردیم. ولی برای اصطکاک ایستایی، می دانیم اگر نیرویی که وارد می کنیم را زیاد کنیم، بعد از رسیدن به ماکسیمم نیروی اصطکاک، جسم شروع به حرکت می کند و برای این شروع، نیازی به زدن ضربه و قرار دادن جسم در حالت حرکت نداریم.

