جلسه هجدهم

برنامه زمان‌بندی جلسه هجدهم		
۱	آماده کردن کلاس	۵
۲	حل مسئله‌های مربوط به صفحه ۵۷	۱۵
۳	تدریس مبحث قرقره‌ها و جرثقیل‌های قرقره‌دار	۴۰
۴	گزارش تحقیق مربوط به جلسه گذشته	۳۰

حل مسئله‌های صفحه ۵۷

حل مسئله ۱:

$$F = \frac{P_{(kW)} \times ۹۵۵۵}{r \times n} = \frac{۲/۲ \times ۹۵۵۵}{۰/۱۸ \times ۲۸۲۰} = ۴۱/۴N$$

حل مسئله ۲:

$$P_۲ = P_۱ \times \eta_E \times \eta_M = ۳/۵ \times ۰/۹ \times ۰/۷$$

$$= ۲/۲۰۵kW$$

$$F = \frac{P_{kW} \times ۹۵۵۵}{r \times n} = \frac{۲/۲۰۵ \times ۹۵۵۵}{۰/۰۶ \times ۳۰۰۰} = ۱۱۷/۰۵N$$

بالابرهای ساده (ماشین‌های ساده)

□ اگر لازم باشد باری را به بالای ساختمانی ببریم.

□ اگر لازم باشد باری سنگین را که توانایی انجام آن‌را نداریم به ارتفاع بالاتری منتقل نماییم چه راه‌هایی را پیشنهاد می‌کنید که در زمان کم‌تر، بدون خطر و هزینه مناسب این کار را انجام داد.

□ یکی از ساده‌ترین راه‌ها استفاده از بالابرهای ساده می‌باشد. به‌طوری که با یک یا چند قرقره ساده و متحرک می‌توان با نیروی کم، اجسام سنگین را جا به جا نمود.

تعریف: بالابرهای ساده، وسایلی هستند که بدون تغییر در مقدار کار، انجام آن را آسان نموده و انسان را قادر می‌سازد تا با نیروی کم اجسام سنگین‌تری را به ارتفاع بالاتری منتقل نمایند. مانند : قرقره‌های ساده، جرثقیل‌های قرقره‌دار و ... .

قرقره‌ها: برای حمل بار به ارتفاع بالاتر می‌توان از قرقره‌ها استفاده کرد که به دو روش امکان‌پذیر است.

انواع قرقره‌ها
- قرقره‌های ثابت
- قرقره‌های متحرک

الف ــ قرقره‌های ثابت

مشخصات قرقره‌های ثابت:

۱ــ قرقره باید در بالاتر از محل انتقال بار ثابت شود.

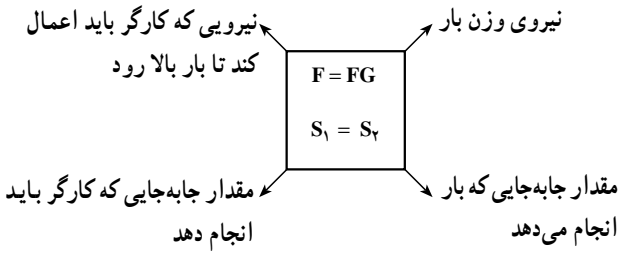
۲ــ در مقدار نیرو تغییری ایجاد نمی‌کنند (نیرو واردکننده با نیروی وزن جسم برابر است) چون یک طرف ریسمان نیروی بار و طرف دیگر نیروی واردکننده می‌باشد.

۳ــ مقدار جابه‌جایی بار با مقدار جابه‌جایی در جهت دیگر ریسمان یکسان است.

۴ــ برای بالا بردن بار باید طرف دیگر ریسمان را به سمت پایین بکشیم.

۵ــ احتمال سقوط برای کارگر مربوطه وجود ندارد چون در پایین ایستاده است.

روابط و علائم اختصاری:



نکته: در این حالت (یک قرقره ثابت) باید توجه داشت که قرقره را بسیار محکم نصب نمود، زیرا در محلی که قرقره در آن‌جا نصب شده است دو برابر وزن جسم نیرو وارد می‌شود. (نیروی وزن جسم و نیروی کارگر مربوطه)

مثال نمونه ۱: برای بالا بردن جسمی به وزن ۲۰۰ نیوتن به‌ارتفاع ۳ متر از یک قرقره ثابت استفاده نموده‌ایم ؛ محاسبه نمایید :

الف ــ حداقل نیرویی که باید به طرف دیگر ریسمان وارد نماییم؟

ب ــ چه مقدار ریسمان را باید بکشیم (جابه‌جا نماییم؟)

ج ــ به چه جهتی باید ریسمان کشیده شود؟

د ــ به نقطه‌ای که قرقره در آن‌جا نصب شده است چه نیرویی وارد می‌شود؟

جواب:

الف) $F = F_G \Rightarrow F = ۲۰۰(N)$

ب) $S_۱ = S_۲ \Rightarrow S_۱ = ۳(m)$

به طرف پایین ج

د) $N = ۲F_G = ۲(۲۰۰) = ۴۰۰(N)$

مثال نمونه ۲: برای بالا بردن تخته‌ای به ابعاد $(۲/۵m \times ۳۰cm \times ۱۰cm)$ و وزن مخصوص ۰/۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب، به ارتفاع ۲ متری از یک قرقره ثابت استفاده نموده‌ایم، محاسبه نمایید :

الف ــ حداقل نیرویی که باید به طرف دیگر ریسمان وارد نمود.

ب ــ چه مقدار باید ریسمان را کشید؟

ج ــ کار انجام شده به چه مقدار می‌باشد؟

جواب:

الف) $F = F_G = mg = \rho g = (۰/۶ \times ۱۰۰۰)$

$(۲/۵ \times ۰/۳۰ \times ۰/۱۰)(۱۰) = ۴۵۰(N)$

ب) $S_۱ = S_۲ = ۲(m)$

ج) $W = F.S = ۴۵۰ \times ۲ = ۹۰۰(j)$

ب ــ قرقره‌های متحرک

مشخصات قرقره‌های متحرک:

۱ــ قرقره همراه بار جابه‌جا می‌شود.

۲ــ یک طرف ریسمان باید ثابت شود.

۳ــ مقدار نیروی وارد شده کم‌تر از وزن جسم می‌باشد.

۴ــ جابه‌جایی ریسمان بیش‌تر از جابه‌جا شدن بار می‌باشد.

۵ــ جهت جابه‌جایی ریسمان به طرف بالا می‌باشد.

۶ــ احتمال سقوط کارگر وجود دارد.

روابط:

$$S_۲ = ۲S_۱$$
$$F = \frac{F_G}{۲}$$

نکته: نیرویی که باید برای جابه‌جایی بار وارد نمود حداقل برابر با نصف نیروی وزن جسم می‌باشد. زیرا نیم دیگر نیروی وزن جسم را به طرف دیگر ریسمان که ثابت شده تحمل می‌کند.

مثال نمونه ۳: دیسکی فلزی به شکل تاج دایره با مشخصات قطر خارجی ۶۰ سانتی‌متر، قطر داخلی ۲۰ سانتی‌متر، ضخامت ۲۰ میلی‌متر و چگالی ۵/۴ کیلوگرم بر دسی‌متر مکعب را قرار است با یک قرقره متحرک، ۳ متر بالا ببریم محاسبه نمایید :

الف ــ حداقل چند متر باید ریسمان را بکشیم؟

ب ــ حداقل چند نیوتن باید به طرف دیگر ریسمان نیرو وارد نمود؟

ج ــ کار انجام شده چند ژول خواهد بود؟

الف) $S_۲ = ۲S_۱ = ۲ \times (۳) = ۶m$

ب) $V = \frac{(D^۲ - d^۲)\pi.e}{۴} = \frac{(۰/۶^۲ - ۰/۲^۲)(\pi)(۰/۰۲)}{۴}$

$= ۰/۰۰۵m^۳$

ج) $F = \frac{۱}{۲}F_G = \frac{۱}{۲}(mg) = \frac{۱}{۲}(\rho g) =$

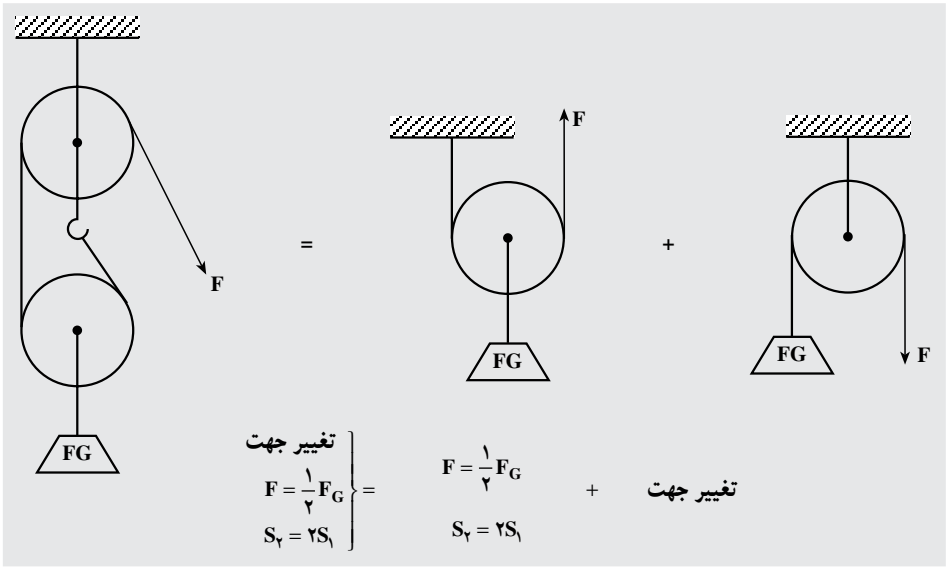
$\frac{۱}{۲}(۵/۴ \times ۱۰۰۰ \times ۰/۰۰۵ \times ۱۰) = ۱۳۵N$

$W = F.h = ۱۳۵ \times ۶ = ۸۱۰J$

جرثقیل‌های قرقره‌دار: جرثقیل‌های قرقره‌دار ماشین‌هایی هستند که از قرقره‌های ثابت و متحرک، به صورت مرکب استفاده می‌کنند و قادر خواهند بود، با نیروی کم بارهای سنگین را به ارتفاع بالاتری ببرند.

الف ــ یک قرقره ثابت و یک قرقره متحرک:

همان‌طور که گفته شد قرقره ثابت اثری روی مقدار بار و یا جابه‌جایی نمی‌گذارد، فقط جهت کشش را تغییر می‌دهد و قرقره متحرک مقدار بار را نصف و جابه‌جایی را دو برابر می‌کند، بنابراین ترکیب این دو باعث می‌شود که هم بار نصف شود و هم جهت کشش تغییر کند.



ب ــ چند قرقره ثابت و متحرک با تعداد مساوی: در این حالت می‌توان گفت بار به تعداد قرقره‌ها تقسیم می‌شود. مثلاً با دو جفت قرقره، نیروی کشش (F) یک چهارم وزن بار (F_G)، و با سه جفت قرقره نیروی کشش یک ششم نیروی وزن بار خواهد بود. بنابراین در حالت کلی روابط زیر قابل اجرا خواهد بود.

$$\boxed{F=\frac{1}{n}F_G} \qquad \boxed{S_2=nS_1}$$

n = تعداد کل قرقره‌ها (ثابت و متحرک)

مثال نمونه ۴: با سه جفت قرقره ثابت و متحرک قرار است جسمی به جرم ۱۲۰ کیلوگرم را ۲ متر بالا ببریم، محاسبه نمایید.

ــ حداقل نیرویی که باید وارد کنیم.

ــ حداقل جابه‌جایی که باید به ریسمان اعمال شود.

$$F=\frac{1}{n}F_G=\frac{1}{6}(120\times10)=200N$$

$$S_2=nS_1=6(2)=12(m)$$

ج ــ چند قرقره متحرک و یک قرقره ثابت: قرقره ثابت وظیفه تغییر جهت و قرقره‌های متحرک هر کدام وظیفه نصف کردن بارهای وارده را دارند، مثلاً به سه قرقره متحرک وزن بار سه مرتبه باید در ضریب ($\frac{1}{2}$) ضرب شود پس اگر تعداد کل قرقره‌ها را n در نظر بگیریم و بخواهیم قرقره ثابت را کنار بگذاریم، خواهیم داشت :

$$\boxed{\begin{aligned}&F=\frac{1}{2^{(n-1)}}.F_G\\&S_2=2^{(n-1)}.S_1\end{aligned}}$$

مثال نمونه ۵: از بالابری که دارای یک قرقره ثابت و سه قرقره متحرک می‌باشد، برای بالا بردن باری به جرم ۰/۵ تن استفاده نموده‌ایم، محاسبه نمایید : حداقل چه نیرویی باید وارد نمود و چقدر باید طناب را بکشیم تا بار مورد نظر یک متر بالا رود؟

$$F=\frac{1}{2^{(n-1)}}F_G=\frac{1}{2^{(4-1)}}(500\times10)=\frac{1}{8}(5000)$$

$$=625(N)$$

$$S_2=2^{(n-1)}.S_1=2^{4-1}.(1)=8(m)$$

مثال نمونه ۶: برای بالا بردن جسمی به جرم ۸۰۰ کیلوگرم فقط توانایی وارد نمودن نیرویی معادل ۵۰۰ نیوتن امکان‌پذیر است؟ اگر لازم باشد از یک قرقره ثابت و چند متحرک استفاده نماییم، چند قرقره نیاز داریم؟

$$F=\frac{1}{2^{(n-1)}}F_G\Rightarrow \quad 2^{(n-1)}=\frac{F_G}{F}$$

$$2^{n-1}=\frac{8000}{500}=16\Rightarrow 2^{n-1}=16=2^4\Rightarrow$$

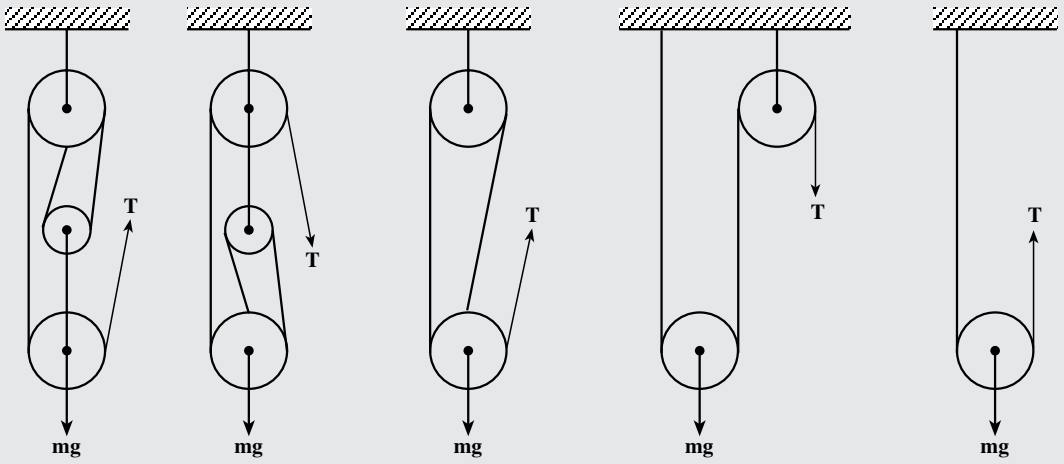
$$n-1=4\Rightarrow n=5$$

□ پس از اتمام درس و جوابگویی به سؤالات هنرجویان، از آن‌ها خواسته شود که نتایج تحقیقات جلسه گذشته را ارائه نمایند.

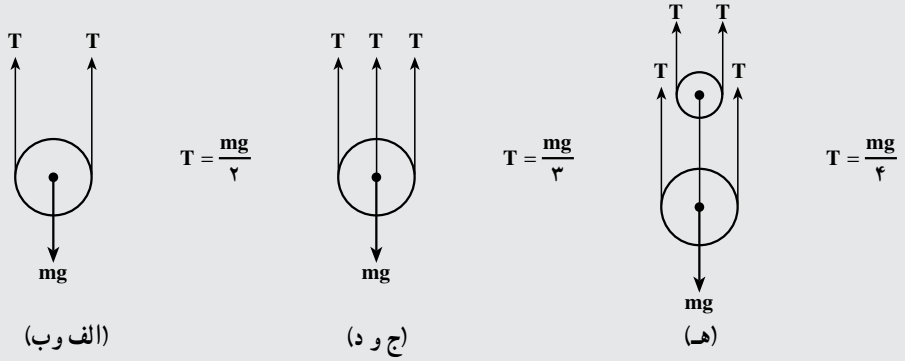
سپس یادآوری شود که سؤالات صفحات ۶۱ و ۶۲ را برای جلسه آینده حل نمایند.

مطالعه آزاد

* برای هر یک از وضعیت‌های شکل زیر، مقدار کشش در طناب را برحسب mg پیدا کنید.



توضیح: (از اصطکاک قرقره صرفنظر می‌شود) کشش در دو سر یک قطعه طناب یکسان است.



* باری به جرم m را با طناب و قرقره مطابق شکل نگه داشته‌اند. اگر $\beta = 20^\circ$ باشد :

الف ــ به سر آزاد طناب باید چقدر نیرو وارد کرد تا وزنه در تعادل بماند؟

ب ــ زاویه α در این حالت چقدر است؟

جواب:

$$\sum F_x = 0$$

$$2T\cos 70^\circ = T\cos\alpha$$

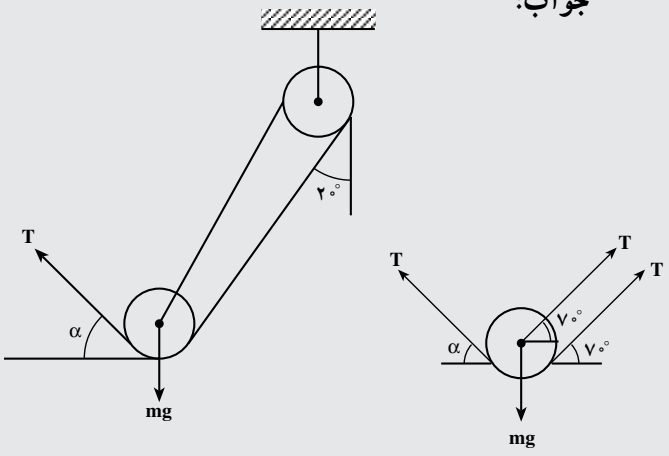
$$\cos\alpha = 2\cos 70 \Rightarrow \alpha = 46/8^\circ$$

$$\sum F_y = 0$$

$$T\sin\alpha + 2T\sin 70 = mg$$

$$T(\sin 46/8 + 2\sin 70) = mg$$

$$T = \frac{mg}{2/6}$$



الف) مقدار جابه‌جایی و نیروی لازم اگر از یک قرقره متحرک استفاده نشود.

ب) مقدار جابه‌جایی و نیروی لازم اگر از یک قرقره متحرک و یک قرقره ثابت استفاده شود.

چا کار انجام شده در هر دو مورد یاد شده.

۲ ـ برای بالا بردن باری به جرم یک تن فقط توانایی به کار بردن ۲۵۰۰ نیوتن نیرو وجود دارد. تعداد قرقره‌های مورد نیاز و نسبت جابه‌جایی $\frac{S_2}{S_1}$ را در این دو حالت به دست آورید.

الف) از چند قرقره ثابت و متحرک به طور مساوی استفاده شود.

ب) از یک قرقره ثابت و چند قرقره متحرک استفاده شود.

۳ـ برای بالا بردن باری به جرم ۱۲۰۰ کیلوگرم در ارتفاع ۵ متری، اگر از قرقره‌های ثابت و متحرک استفاده نشود، چه نیروی (F) و چه مقدار جابه‌جایی (S_1) لازم است؟ و اگر برای هرمتر جابه‌جایی (S_1) ۱۰ ثانیه وقت لازم باشد توان مکانیکی دستگاه را به دست آورید.

۴ ـ برای تعمیر الکتروموتور دستگاهی می‌خواهیم آن را از زمین بلند کنیم. اگر از بالابری که یک قرقره ثابت و سه قرقره متحرک دارد، استفاده نماییم، چه نیرویی باید به دستگاه وارد شود؟ (در صورتی که جرم الکتروموتور ۶۰ کیلوگرم باشد.)

۵ ـ در تمرین شماره ۲ اگر لازم باشد مقدار بار، ۳ متر بلند شود (S_1) و برای هر متر جابه‌جایی (S_1) ۲۰ ثانیه وقت لازم باشد، توان مکانیکی باربرها را در هر دو حالت حساب کنید.

۶ـ ۳ـ اصطکاک

هرگاه جسمی بر روی سطح جسم دیگری بلغزد هریک از دو سطح بریکدیگر نیروی وارد می‌کند که اولاً: این نیرو در امتداد سطح است. ثانیاً: مانع حرکت دو جسم بر روی یکدیگر می‌شود. این نیرو راخنوری اصطکاک می‌نامند؛ مثلاً اگر جسمی رویمیزی به طرف چپ به حرکت درآید نیروی اصطکاک وارد بر آن به طرف راست است. این نیرو (نیروی اصطکاک) مانع حرکت جسم می‌شود. حتی وقتی که جسم ساکن است ممکن است بر آن نیروی اصطکاکی وارد شود؛ مثلاً اگر جسم سنگینی را روی زمین با نیروی کمی در امتداد افقی بکشیم این نیرو برای به حرکت درآوردن جسم کافی نیست و جسم به حال سکون باقی می‌ماند. در این حال، حتماً نیروی مساوی و مخالف نیروی خارجی وارد بر جسم آن را خنثی کرده است. این نیروی اخیر همان نیروی اصطکاک در حال سکون است. به طور کلی تا هنگامی که نیروی وارد بر یک جسم کمتر

از نیروی اصطکاک باشد جسم به حرکت درنخواهد آمد. هرگاه نیروی وارد بر جسم بیشتر از نیروی اصطکاک باشد جسم به حرکت درمی‌آید و این نیروی اصطکاک را که با نیروی خارجی وارد بر جسم مقابله می‌کند «نیروی اصطکاک در حال حرکت یا اصطکاک جنبشی» نامند (شکل ۴۰ـ۳).

نیروی اصطکاک به این عوامل بستگی دارد:

۱ـ نیروی عمود بر سطح تماس؛

۲ـ صافی یا زبری سطح تماس؛

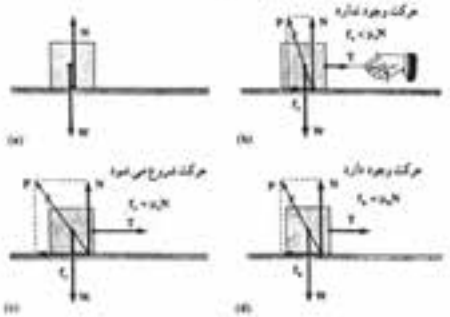
۳ـ جنس دو قطعه در سطح تماس؛

۴ـ استفاده یا عدم استفاده از موادی که باعث تقلیل اصطکاک می‌شود؛ مانند روغن و مانند آن.

● تفکر:

الف) نیروی اصطکاک در لحظه شروع به حرکت (اصطکاک در حال سکون) بیشتر از نیروی اصطکاک در حین حرکت (اصطکاک جنبشی) است.

ب) مقدار نیروی اصطکاک به اندازهٔ سطح تماس بستگی ندارد.



شکل ۴۰ـ۳ـ اندازه نیروی اصطکاک وقتی حرکت وجود نداشته باشد کوچکتر یا مساوی F_s و وقتی حرکت وجود داشته باشد برابر F_k است.

۱ـ ۶ـ ۳ـ انواع اصطکاک جنبشی:

اصطکاک لغزشی مانند اصطکاک بین لاستیک زمخت و آسفالت جرخ درانومبیل ـ حرکت جسم سطحی روی سطح افقی یا سطح شیب‌دار که همواره نیز بر دو نوع است اصطکاک در حال سکون و اصطکاک غلتشی مانند اصطکاک چرخ یا سطح تماس در وسایط نقلیه. اصطکاک در بلبرینگها و غیره.

الف) اصطکاک لغزشی

رابطه‌های اصطکاک لغزشی:

$f_s = \mu_s N$ $\qquad$ $f_k = \mu_k N$

علایم اختصاری:

f_s : نیروی اصطکاک در حال سکون

μ_s : ضریب اصطکاک در حال سکون

N : نیروی عکس‌العمل سطح بر جسم

f_k : نیروی اصطکاک در حال حرکت

μ_k : ضریب اصطکاک در حال حرکت

ضرایب اصطکاک μ_k و μ_s بستگی به اندازه‌های سطوح تماس نداشته هر دو ضریب به طور محسوس تابع نوع و جنس و ماهیت مواد، درجه صیقلی بودن سطوح، دما و غیره است. مقادیر آنها را با دقت بسیار زیاد حدود پنج درصد تقریب می‌توان محاسبه نمود.

جدول تقریبی مقادیر ضرایب اصطکاک در حال سکون برای سطوح مختلف اعم خشک در جدول (۱ـ۳) نوشته شده که مقادیر مربوط به ضریب اصطکاک جنبشی آنها حدود ۲۵ درصد کوچکتر است.

نام جسم	ضریب اصطکاک
فلز روی فلز	۰/۱۵ ـ ۰/۶۰
فلز روی چوب	۰/۲۰ ـ ۰/۶۰
فلز روی سنگ	۰/۳۰ ـ ۰/۷۰
فلز روی چرم	۰/۳۰ ـ ۰/۶۰
چوب روی چوب	۰/۲۵ ـ ۰/۵۰
چوب روی چرم	۰/۲۵ ـ ۰/۵۰
سنگ روی سنگ	۰/۴۰ ـ ۰/۷۰
خاک روی خاک	۰/۲۰ ـ ۰/۱۰۰
لاستیک روی سیمان	۰/۶۰ ـ ۰/۸۰

جدول ۱ـ ۳

مثال نمونه ۴۰: نیروی لازم برای جابه‌جا کردن دستگاهی را که نیروی وزن آن برابر $W = 8000\ N$ است به دست آورید؛ در صورتی که ضریب اصطکاک در حال سکون ۰/۵ درنظر گرفته شود.

$$N = W = 8000\ N$$

$$f_s = \mu_s \times N = 0/5 \times 8000 = 4000\ N$$

مثال نمونه ۴۱: قطعه‌ای مطابق شکل (۴۱ـ۳) روی سطح شیب‌داری قرار گرفته است. حساب کنید زاویه سطح شیب‌دار را برای لحظه‌ای که جسم بخواهد به سمت پایین به حرکت درآید (لحظه تعادل).

حل: در این حالت اگر جسم به سمت پایین حرکت کند، نیروی اصطکاک (f_s) به سمت بالا اثر کرده در لحظه تعادل این نیرو باید برابر مؤلفه نیروی وزن در امتداد سطح شیب‌دار (F) باشد (N مؤلفه قائم نیروی W)

$$F = f_s$$

$$f_s = \mu_s \times N$$

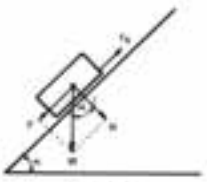
$$N = W \times \cos\alpha$$

$$F = W \times \sin\alpha$$

با جانشین کردن مقادیر محاسبه شده برای (F) و (f_s) خواهیم داشت:

$$W \times \sin\alpha = \mu_s \times W \cos\alpha \Rightarrow \mu = \frac{W \sin\alpha}{W \cos\alpha} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$$

$$\boxed{\mu = \tan\alpha}$$



شکل ۴۱ـ۳

از حل این مسأله نتیجه می‌گیریم که اگر ضریب اصطکاک دو قطعه روی هم، برابر با

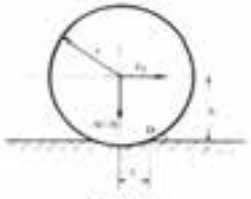
تازانت زاویه سطح شیب‌دار باشد جسم در حال تعادل است. اما هنگامی که تازانت زاویه سطح شیب‌دار کوچکتر از ضریب اصطکاک باشد، جسم در محل خود در حال سکون بوده و اگر تازانت زاویه سطح شیب‌دار بزرگتر از ضریب اصطکاک باشد جسم با یک شتاب تندشونده به سمت پایین به حرکت درمی‌آید.

بنابراین:

$\mu = \tan\theta$	تعادل
$\mu > \tan\theta$	سکون
$\mu < \tan\theta$	حرکت

ب) اصطکاک غلتشی: وقتی یک چرخ یا یک استوانه روی سطحی بغلتد چون جسم صلب مطلوب وجود ندارد چرخ یا سطح و یا هردو تغییر شکل می‌دهند. مقدار این تغییر شکلها به جنس چرخ و سطح اتکاء بستگی دارد.

نتیجه در شکل (۲۲ـ۳) مشاهده می‌شود برای ایجاد حرکت غلتشی یک چرخ روی سطح بایستی چرخ بتواند برجستگی حاصل از تغییر شکل را حتی نماید. برای محاسبه نیروی محرک لازم برای این کار نقطهٔ D (مرکز دوران) گشتاور گرفته، شرط تعادل را برای آن می‌نویسیم.



شکل ۲۲ـ۳

علایم اختصاری:

$\Sigma M_D = 0$	F_r : نیروی اصطکاک غلتشی بر حسب نیوتن
$F_r \times h - N \times l = 0$	h : طول بازوی گشتاور محرک برحسب cm
$F_r \times h = N \times l$	N : نیروی عمود بر سطح برحسب نیوتن
	l : طول بازوی گشتاور مقاوم بر حسب cm

چون در عمل اختلاف اندازه r و h بسیار ناچیز است می‌توان به جای h مقدار r را قرار

دارد:

$$F_r \times l = N \times r$$

حال اگر از این رابطه مقدار نیروی اصطکاک مورد نظر باشد می‌توان آن را بدین صورت به دست آورد:

$$F_r = \frac{l}{r} \times N$$

مقدار طول بازوی گشتاور مقاوم (l) به جنس چرخ و جنس سطح اتکا بستگی دارد که مقدار آن در این جا داده شده است.

چوب صنوبر روی چوب کاج $l = 0/08\,cm$

آهن ـ فولاد ریختگی ـ فولاد) روی فولاد $l = 0/05 \sim 0/1\,cm$

در بلبرینگها چون قطر آنها استاندارد است. در عمل به جای $\frac{l}{r}$ که در اصل ضریب اصطکاک غلتشی است معادل آن μ_r را قرار می‌دهند که مقدار آن با درنظر گرفتن سایر عوامل ۰/۰۰۳ ـ ۰/۰۰۱ درنظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، رابطهٔ یاد شده در بلبرینگها به این صورت خواهد بود:

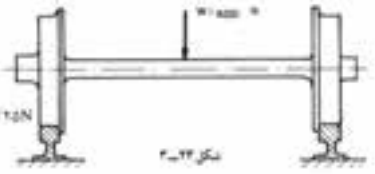
$$F_r = \mu_r \times N$$

مسأله نمونه ۱۰: نیروی لازم را برای به حرکت درآوردن یک واگن کشورِ چوب خشک‌کنی، مطابق شکل (۲۳ـ۳) حساب کنید؛ اگر نیروی وزن آن $W = 5000\,N$ و قطر چرخهای آن ۱۶ سانتیمتر و طول بازوی گشتاور مقاوم آن $l = 0/05$ سانتیمتر باشد.

$N = W = 5000\,N$

$F_r = \frac{l}{r} \times N$

$F_r = \frac{0/05}{8} \times 5000 = 31/25\,N$



شکل ۲۳ـ۳

مسأله نمونه ۱۱: لکوموتیو باری جهت انتقال گرده بیه از جنگل به کارخانه مطابق شکل (۲۴ـ۳) چه توانی باید داشته باشد تا نیروی وزن $W = 1MN$ را با سرعتی معادل ۷۲ کیلومتر در ساعت به حرکت درآورد؛ در صورتی که ضریب اصطکاک $\mu_r = 0/005$ و نیروی مقاومت باد

$F_w = 800\,N$ به حساب آید.

شکل ۲۴ـ۳ـ لکوموتیو حمل گرده بیه

حل:

$N = W = 1MN = 1000000\,N$

$F_r = N \times \mu_r = 1000000 \times 0/005 = 5000\,N$

$F = F_r + F_w = 5000 + 8000 = 13000\,N$

$V = \frac{72 \times 1000}{3600} = 20\,m/s$

$P = \frac{F \times V}{1000} = \frac{13000 \times 20}{1000} = 260\,kW$

تمرین

۱ـ مقدار نیروی لازم را برای به حرکت درآوردن دستگاه سرفک روی میز ماشین خراطی مطابق شکل (۲۵ـ۳) حساب کنید؛ اگر نیروی وزن آن $W = 200\,N$ و ضریب اصطکاک $\mu_r = 0/15$ باشد.

شکل ۲۵ـ۳

جلسه نوزدهم

برنامه زمان‌بندی جلسه نوزدهم		
۱	آماده نمودن کلاس	۵
۲	حل مسایل مربوط به مباحث قرقره‌ها	۲۰
۳	تدریس مطالب جدید شامل :	۶۰
	ـ تعریف و مفهوم اصطکاک	
	ـ انواع اصطکاک	
	ـ روابط اصطکاک	
	ـ مثال نمونه	
۴	تعیین تاریخ امتحان از فصل سوم برای دو هفته دیگر	۵

حل تمرین‌های صفحه ۶۱ و ۶۲

حل تمرین ۱:

الف) $S_۲ = ۲S_۱ \Rightarrow S_۲ = ۲\times ۸ = ۱۶\,m$

$$F = \frac{۱}{۲}F_G \Rightarrow F = \frac{۱}{۲}(۵۰۰\times ۱۰) = ۲۵۰۰N$$

ب) $S_۲ = ۲S_۱ \Rightarrow S_۲ = ۲\times ۸ = ۱۶\,m$

$$F = \frac{۱}{۲}F_G \Rightarrow F = \frac{۱}{۲}(۵۰۰\times ۱۰) = ۲۵۰۰N$$

ج) $W = F\times S = ۲۵۰۰\times ۱۶ = ۴۰۰۰۰J = ۴۰kJ$

حل تمرین۲:

الف) $F = \frac{۱}{n}(F_G) \Rightarrow n = \frac{F_G}{F} = \frac{۱۰۰۰\times ۱۰}{۲۵۰۰} \Rightarrow$

$n = ۴$

$$S_۲ = nS_۱ \Rightarrow n = \frac{S_۲}{S_۱} \Rightarrow \frac{S_۲}{S_۱} = ۴$$

ب) $F = \frac{۱}{۲^{n-۱}}(F_G) \Rightarrow ۲^{n-۱} = \frac{F_G}{F} = \frac{۱۰۰۰۰}{۲۵۰۰}$

$= ۴ \Rightarrow ۲^{n-۱} = ۲^۲ \Rightarrow n-۱ = ۲ \quad n = ۳$

$$S_۲ = ۲^{n-۱}(S_۱) \qquad ۲^{n-۱} = \frac{S_۲}{S_۱} \Rightarrow$$

$$۲^{۳-۱} = \frac{S_۲}{S_۱} \Rightarrow \frac{S_۲}{S_۱} = ۴$$

حل تمرین ۳:

$$F = \frac{F_G}{n} \Rightarrow F = \frac{۱۲۰۰۰}{۲} \Rightarrow F = ۶۰۰۰N$$

$$S_۲ = nS_۱ \Rightarrow S_۲ = ۲(۵) \Rightarrow S_۲ = ۱۰m$$

$$P = \frac{F.S}{t} = \frac{۶۰۰۰\times ۱۰}{۱۰\times ۱۰} = ۶۰۰Wat$$

حل تمرین ۴:

$$F = \frac{F_G}{۲^{n-۱}} = \frac{۶۰۰}{۲^۳} = \frac{۶۰۰}{۸} = ۷۵N$$

حل تمرین ۵:

$$S_۲ = nS_۱ \Rightarrow S_۲ = ۴(۳) = ۱۲m$$

$$P = \frac{F.S_۲}{t} = \frac{۲۵۰۰\times ۱۲}{۲۰\times ۱۲} = ۱۲۵Wat.$$

اصطکاک

از هنرجویان سؤال شود اصطکاک چیست؟

با توجه به جمع‌بندی پاسخ آن‌ها به‌طور خلاصه بیان می‌شود که هرگاه جسمی بر روی سطح دیگری بلغزد اصطکاک رخ داده است.

نیروی اصطکاک: بر اثر اصطکاک دو سطح با هم، هر یک از دو سطح بر یکدیگر نیرویی وارد می‌کنند که این نیرو را نیروی اصطکاک گویند.

ویژگی‌های نیروی اصطکاک

ـ این نیرو در امتداد سطح است.

ـ در حرکت دو جسم بر روی یکدیگر اثر می‌گذارد.

ـ جهت آن بر خلاف جهت حرکت می‌باشد.

ـ بزرگی آن در لحظه شروع حرکت بیش‌تر از بزرگی آن در حین حرکت می‌باشد.

عوامل مؤثر بر نیروی اصطکاک

ـ نیروی وزن اجسام بر یکدیگر (نیروی عمود بر سطح تماس)

ـ صافی یا زبری سطح تماس (درجه صیقلی بودن سطوح)

ـ جنس دو قطعه در سطح تماس (جنس و ماهیت مواد)

ـ استفاده یا عدم استفاده از موادی که باعث تقلیل اصطکاک می‌شود، مانند روغن و ...

ـ عوامل جانبی دیگر مانند دما و ...

بنابراین عوامل یاد شده بالا در مقدار نیروی اصطکاک مؤثرند، حال اگر سه عامل صافی و زبری سطح تماس، جنس دو قطعه و استفاده یا عدم استفاده از موادی که باعث تقلیل اصطکاک می‌شوند را با ضریبی به‌نام ضریب اصطکاک به میان آوریم، می‌توان گفت که نیروی اصطکاک بستگی به نیروی عمود بر سطح تماس و ضریب اصطکاک دارد.

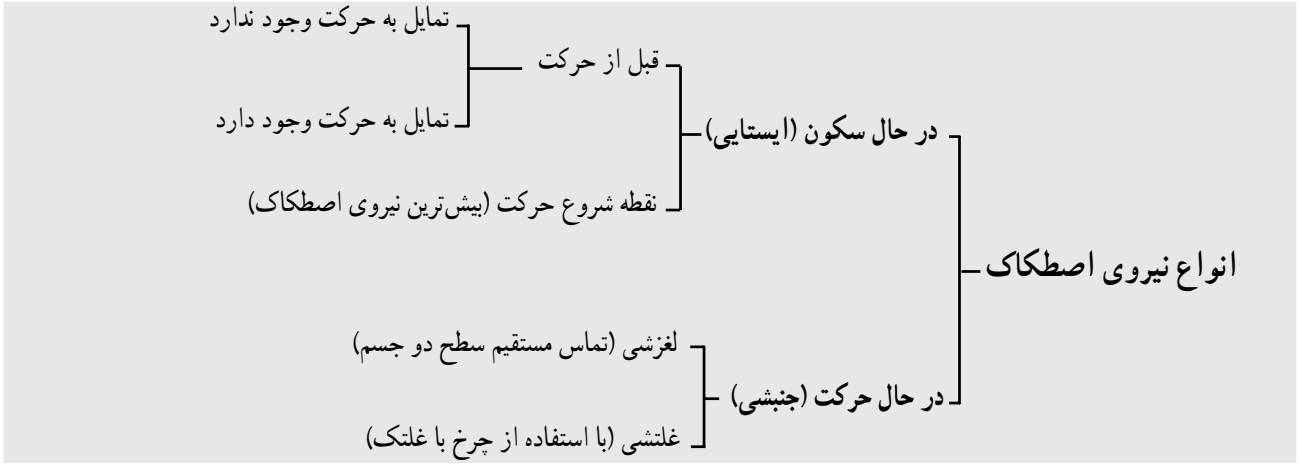
رابطه اصطکاک: با توجه به دو عامل اصلی (ضریب اصطکاک و نیروی عمود بر سطح تماس) می‌توان مقدار نیروی اصطکاک را از رابطه زیر به‌دست آورد :

f = نیروی اصطکاک

N = نیروی عمود بر سطح تماس

μ = ضریب اصطکاک

$$f = N.\mu$$



نیروی اصطکاک قبل از حرکت: در صورتی که جسم تمایل به حرکت نداشته باشد یعنی نیرویی برای حرکت جسم وجود نداشته باشد، پس نیروی اصطکاک هم صفر است.

و اما اگر جسم تمایل به حرکت داشته باشد ولی نیروی اصطکاک کوچک‌تر از $N.\mu$ باشد.

نیروی اصطکاک در لحظه شروع حرکت: زمانی است که نیروی اصطکاک به حداکثر خود برسد و توانایی مقاومت در برابر نیروهای وارد بر جسم را نداشته باشد، حرکت آغاز می‌شود که در این لحظه بیش‌ترین مقدار نیروی اصطکاک را داشته و به‌صورت زیر نمایش می‌دهیم.

$$f_S = N.\mu_S$$

نیروی اصطکاک لغزشی: زمانی که سطح جسمی روی سطحی دیگر در تماس بوده و حرکت شروع شده باشد بین دو سطح نیروی اصطکاک لغزشی وجود دارد و به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود.

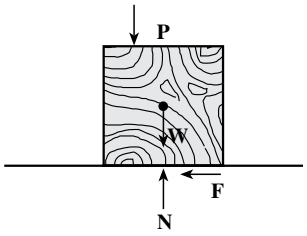
$$f_K = N.\mu_K$$

در مقایسه این دو می‌توان گفت :

$$f_S > f_K$$

نیروی اصطکاک غلتشی: زمانی که از چرخ یا غلتک برای حرکت استفاده کرده باشیم، نیروی اصطکاک حاصل را نیروی اصطکاک غلتشی گویند. در این حالت ضریب اصطکاک برابر با نسبت نیمی از عرض اثر چرخ روی سطح به شعاع چرخ که البته بستگی به جنس چرخ و سطح اتکاء دارد بنابراین رابطه نیروی اصطکاک غلتشی را می‌توان به صورت زیر نوشت :

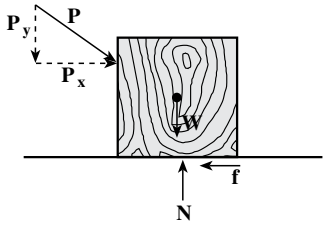
$$f_r = \frac{l}{r}.N = \mu_i N$$



تمایلی برای حرکت وجود ندارد

$$F = ۰$$

$$N = P + W$$

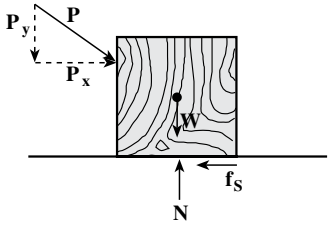


تمایلی برای حرکت وجود دارد ولی جسم همچنان ساکن است.

$$f = P_x$$

$$N = P_y + W$$

$$f \leq \mu_S . N$$

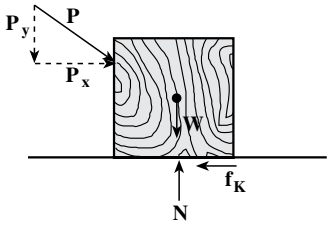


در لحظه شروع حرکت

$$f_S = P_x$$

$$N = P_y + W$$

$$f_S = \mu_S . N$$



در حال حرکت

$$f_K = P_x$$

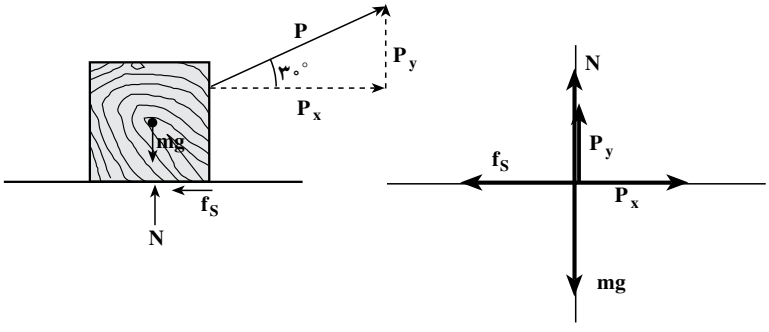
$$N = P_y + W$$

$$f_K = \mu_K . N$$

مثال نمونه ۱: جسمی به جرم ۵۰ کیلوگرم را که روی سطح افقی قرار دارد، قرار است با یک ریسمان کشیده و آن را جابه‌جا نماییم اگر زاویه ریسمان با افق ۳۰ درجه و ضریب اصطکاک ۰/۳۰ باشد، محاسبه نمایید :

الف ــ نیروی اصطکاک

ب ــ حداقل نیروی کششی که باید به ریسمان وارد نمود.



جواب:

$$P_x = P\cos ۳۰^\circ = \frac{\sqrt{۳}}{۲}P$$

$$P_y = P\sin ۳۰^\circ = \frac{۱}{۲}P$$

$$W = mg = ۵۰ \times ۱۰ = ۵۰۰N$$

$$W = N + P_y \Rightarrow N = W - P_y \Rightarrow N = ۵۰۰ - \frac{۱}{۲}P$$

$$f_S = N.\mu_S \Rightarrow f_S = (۵۰۰ - \frac{۱}{۲}P)(۰/۳۰) \qquad (۱)$$

$$f_S = P_x \Rightarrow f_S = P\cos ۳۰ = \frac{\sqrt{۳}}{۲}P \qquad (۲)$$

$$(۱) \text{ و } (۲) \Rightarrow \quad (۵۰۰ - \frac{۱}{۲}P)(۰/۳) = \frac{\sqrt{۳}}{۲}P \Rightarrow$$

$$۱۵۰ = ۰/۱۵P + ۰/۸۶۶P \Rightarrow P = ۱۴۷/۶N$$

$$f_S = ۱۲۷/۸N$$

مثال نمونه ۲: جسمی به جرم ۵۰ کیلوگرم را که روی سطح افقی قرار دارد، قرار است با یک نیرویی فشاری که نسبت به افق زاویه ۳۰ درجه می‌سازد به طرف جلو ببریم اگر ضریب اصطکاک ۰/۳ باشد، محاسبه نمایید :

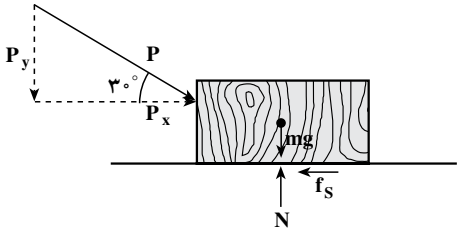
الف ــ نیروی اصطکاک

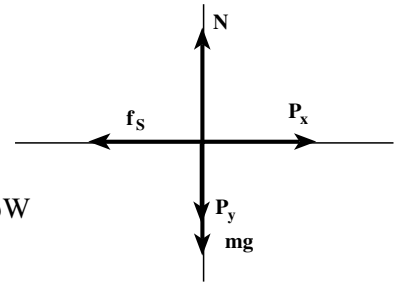
ب ــ حداقل نیروی فشاری که باید به جسم وارد نماییم.

$$P_x = P\cos ۳۰ = \frac{\sqrt{۳}}{۲}P$$

$$P_y = P\sin ۳۰ = \frac{۱}{۲}P$$

$$W = mg = ۵۰۰N$$





$$N = W + Py = ۵۰۰ + \frac{۱}{۲}P$$

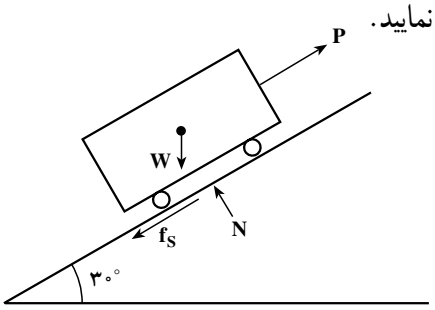
$$\left.\begin{aligned} f_S &= N.\mu_S = (۵۰۰ + \frac{۱}{۲}P)(۰/۳) \\ f_S &= P_x = \frac{\sqrt{۳}}{۲}P \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

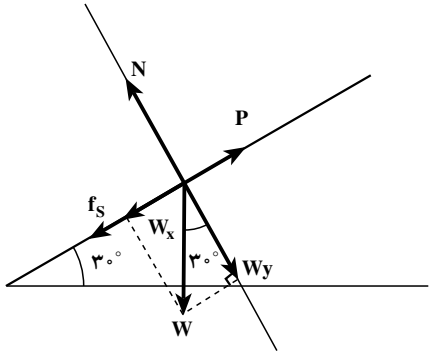
$$(۵۰۰ + \frac{۱}{۲}P)(۰/۳) = \frac{\sqrt{۳}}{۲}P$$

$$۱۵۰ = ۰/۸۶۶P - ۰/۱۵P \Rightarrow P = ۲۰۹/۵N$$

$$f_S = ۱۸۱/۴N$$

مثال نمونه ۳: مطابق شکل قرار است جسمی را روی سطح شیب‌داری به طرف بالا بکشیم اگر بزرگی نیروی $P = ۱۰۰۰N$ و ضریب اصطکاک ۰/۵ باشد حداکثر وزن بار را محاسبه نمایید.





جواب:

$$W_x = W\sin ۳۰^\circ = ۰/۵W$$

$$W_y = W\cos ۳۰^\circ = ۰/۸۶۶W$$

$$N = W_y = ۰/۸۶۶W$$

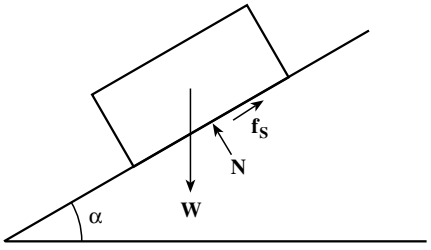
$$\left.\begin{aligned} f_S &= N.\mu_S = (۰/۸۶۶W)(۰/۰۵) = ۰/۰۴۳۳W \\ f_S + W &= P \Rightarrow f_S = P - W_x = ۱۰۰۰ - ۰/۵W \end{aligned}\right\} ۰/۰۴۳۳W = ۱۰۰۰ - ۰/۵W$$

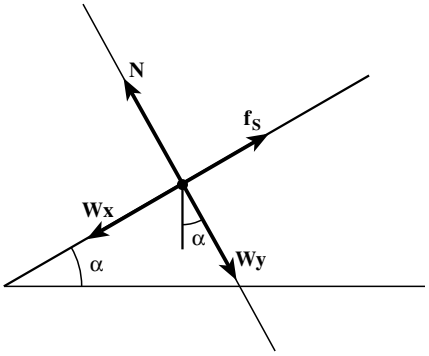
$$W = ۱۸۴۰/۶N$$

مثال نمونه ۴: جسمی را روی سطح با شیب متغیری قرار داده‌ایم. شیب را زیاد نموده و زمانی که به ۳۱ درجه می‌رسد. جسم به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند، ضریب اصطکاک آن جسم را با سطح شیب‌دار به‌دست آورید.

$$N = W_y = W\cos\alpha$$

$$\left.\begin{aligned} f_S &= W_x = W\sin\alpha \\ f_S &= \mu.N = \mu W\cos\alpha \end{aligned}\right\} \Rightarrow W\sin\alpha = \mu\ W\cos\alpha$$





$\mu = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha \quad \tan ۳۱ = ۰/۶$

$\mu = \tan\alpha$ لحظه شروع حرکت

نتیجه : $\mu > \tan\alpha$ سکون

$\mu < \tan\alpha$ حرکت

مطالب تکمیلی اصطکاک

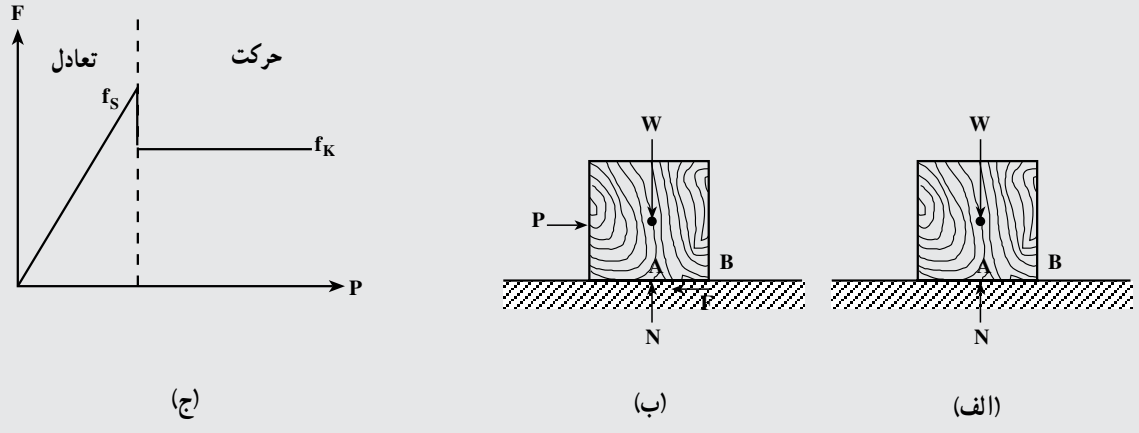
اگر سطوح بدون اصطکاک بودند، نیرویی که هر سطح بر سطح دیگر وارد می‌کرد عمود بر سطوح بود و دو سطح می‌توانستند آزادانه نسبت به یکدیگر حرکت کنند که در واقع چنین حالتی، یعنی سطح کاملاً صیقلی و بدون اصطکاک وجود ندارد. وقتی دو سطح در تماس‌اند، نیروهای مماسی که نیروهای اصطکاک نامیده می‌شوند به خوبی ظاهر می‌شوند. اگر بخواهند یک سطح را نسبت به سطح دیگر حرکت دهند، این نیروها پیوسته گسترش می‌یابند. البته نیروهای اصطکاک از نظر مقدار محدودند و در صورتی که نیروی کافی وارد کنیم نمی‌توانند از حرکت جلوگیری کنند. تمایز بین سطوح بدون اصطکاک و ناصاف در واقع یک چیز مقایسه‌ای است.

دو نوع اصطکاک وجود دارد : اصطکاک خشک، که بعضی اوقات آن را (اصطکاک کولنی) می‌نامند و اصطکاک سیالی، اصطکاک سیالی در میان لایه‌هایی از سیال که با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کنند پدید می‌آید. اصطکاک سیالی در مسئله‌های مربوط به جریان سیال در لوله‌ها و روزنه‌ها یا بررسی اجسامی که سیال‌های متحرک شناور هستند، اهمیت بسیار دارد. اصطکاک سیالی در تحلیل حرکت مکانیسم‌های روغن‌کاری شده هم نقش اساسی دارد. چنین مسئله‌هایی در مبحث مکانیک سیالات بررسی می‌شوند. در حال حاضر مطالعه خودمان را به‌اصطکاک خشک، یعنی به مسئله‌های مربوط به اجسام صلب در تماس با سطوح روغنکاری نشده محدود می‌کنیم.

در این فصل، تعادل اجسام صلب و سازه‌های مختلف را با فرض وجود اصطکاک خشک در سطوح تماس، تحلیل خواهیم کرد. سپس تعدادی از کاربردهای خاص مربوط به صنایع چوب را در نظر خواهیم گرفت. البته این مسایل می‌تواند مربوط به‌پیچ‌های دنده چهار گوش، یاتاقان‌های بوشی، یاتاقان‌های کف‌گرد، مقاومت غلتشی، حرکت شیئی روی سطح، اصطکاک تسمه و ... باشد.

قوانین اصطکاک خشک و ضرایب اصطکاک

قوانین اصطکاک خشک به کمک آزمایش زیر بهتر فهمیده می‌شوند. قطعه‌ای به وزن W، بر روی یک سطح تخت افقی قرار داده شده است.



الف ــ نیروهای وارد بر قطعه عبارت‌اند از وزن آن W و عکس‌العمل سطح. از آن‌جا که وزن فاقد مؤلفه افقی است، عکس‌العمل سطح هم مؤلفه افقی ندارد، بنابراین عکس‌العمل بر سطح عمود است که با N نشان داده شده است.

حالا فرض می‌کنیم که یک نیروی افقی P به قطعه وارد شود.

ب ــ اگر P کوچک باشد، قطعه حرکت نخواهد کرد، بنابراین باید نیروی افقی دیگری وجود داشته باشد که نیروی P را خنثی کند. این نیروی دیگر، نیروی اصطکاک ایستایی F است که در واقع برایند تعداد زیادی از نیروهای وارد بر سطح کل تماس میان قطعه و صفحه است. ماهیت این نیروها دقیقاً معلوم نیست، ولی به‌طورکلی فرض می‌شود که این نیروها از ناهمواری‌های سطوح تماس و تا حدودی از جاذبه مولکولی ناشی می‌شوند.

اگر نیروی P زیاد شود، نیروی اصطکاک F هم افزایش می‌یابد و همواره در جهت مخالفت P عمل می‌کند، تا این‌که مقدارش به مقدار معینی حداکثر f_S برسد.

ج ــ اگر P باز هم افزایش پیدا کند، نیروی اصطکاک نمی‌تواند بیش از این P را خنثی کند و قطعه شروع به لغزش می‌کند. به محض این‌که قطعه شروع به حرکت کند، مقدار F از f_S به مقدار کوچک‌تر f_K تنزل پیدا می‌کند، دلیلش آن است که وقتی دو سطح در تماس نسبت به یکدیگر در حرکت باشند، ناهمواری‌های‌شان کم‌تر برهم اثر می‌کنند. از این به بعد، جسم هم‌چنان می‌لغزد و رفته رفته سرعتش زیاد می‌شود و در حالی که نیروی اصطکاک که با f_K نشان داده می‌شود و آن را نیروی اصطکاک جنبشی می‌نامند تقریباً ثابت می‌ماند.

شواهد تجربی نشان می‌دهد که حداکثر مقدار نیروی اصطکاک ایستایی f_S متناسب با مؤلفه قائم عکس‌العمل سطح N است یعنی :

$$f_S = \mu_S N$$

که در آن μ_S مقدار ثابتی است که آن را ضریب اصطکاک ایستایی می‌نامند و به همین ترتیب مقدار نیروی اصطکاک جنبشی f_K را می‌توان به این صورت نوشت :

$$f_K = \mu_S N$$

که در آن μ_K مقدار ثابتی است که آن را ضریب اصطکاک جنبشی می‌نامند. ضرایب اصطکاک μ_S و μ_K مساحت به سطوح تماس بستگی ندارند، ولی هر دو شدیداً به ماهیت سطوح تماس وابسته‌اند. از آن‌جا که این ضریب‌ها به وضعیت دقیق سطوح همبستگی دارند، به ندرت می‌شود مقدار آن‌ها را با دقتی بیش از ۵ درصد به‌دست آورد. مقادیر تقریبی ضریب اصطکاک ایستایی برای سطوح خشک مختلف در جدولی در متن درس آمده است. مقادیر ضرایب اصطکاک جنبشی متناظر در حدود ۲۵ درصد کوچک‌تر خواهند بود.

از آن‌جا که ضرایب اصطکاک کمیت‌های بدون بعد هستند می‌توانیم مقادیر داده شده را با یکاهای SI و هم با یکاهای رایج آمریکا به‌کار ببریم.

با توجه به مطالبی که ذکر کردیم معلوم می‌شود که در هنگام تماس یک جسم صلب با یک سطح افقی ممکن است چهار حالت اتفاق بیفتد.

۱ــ نیروهای وارد بر جسم تمایل به حرکت دادن آن در امتداد سطح تماس ندارند. بنابراین نیروی اصطکاک وجود ندارد.

۲ــ نیروهای وارد بر جسم تمایل به حرکت دادن آن را امتداد سطح تماس دارند ولی به اندازه کافی بزرگ نیستند تا آن را به حرکت درآورند. نیروی اصطکاک F حاصل را می‌شود از حل معادله تعادل جسم به‌دست آورد. چون معلوم نیست که F به‌مقدار حداکثرش رسیده است یا نه، معادله $f_S = \mu_S N$ را نمی‌شود برای تعیین نیروی اصطکاک به‌کار برد.

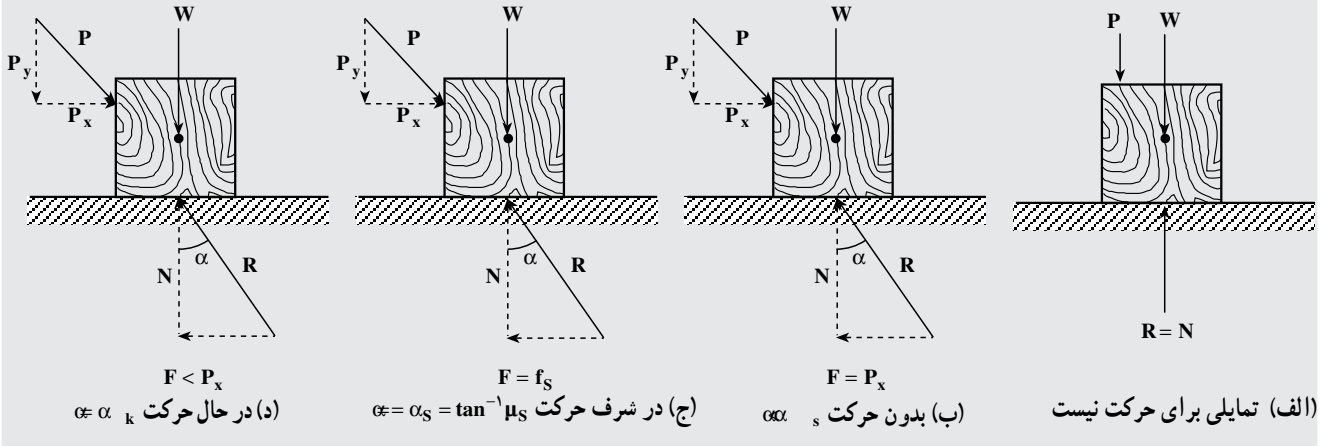
۳ــ نیروهای وارد چنان‌اند که جسم در آستانه لغزش است و می‌گوییم حرکت در شرف وقوع است. نیروی اصطکاک F به‌مقدار حداکثرش f_S رسیده است و همراه با نیروی قائم N، نیروهای اعمال شده را خنثی می‌کند. هم معادله‌های تعادل و هم معادله $f_S = \mu_S N$ را می‌شود به‌کار برد. هم‌چنین توجه می‌کنیم که نیروی اصطکاک جهتی خلاف جهت حرکت در شرف وقوع دارد.

۴ــ جسم تحت تأثیر نیروهای وارد می‌لغزد و دیگر نمی‌شود معادله‌های تعادل را به‌کار برد. با وجود این، F در این وضع برابر با F_K است و می‌شود معادله $f_K = \mu_K N$ را به‌کار برد. جهت f_K در خلاف جهت حرکت است.

زاویه‌های اصطکاک

بعضی وقت‌ها بهتر است که به جای نیروی قائم N و نیروی اصطکاک F برایندشان R را قرار بدهیم. قطعه‌ای را در نظر بگیرید به وزن W که روی سطحی افقی قرار گرفته است. اگر هیچ نیروی افقی به قطعه وارد نشود برآیند R تبدیل به نیروی قائم N می‌شود.

الف ــ اما اگر نیروی وارد شده P دارای مؤلفه‌های افقی P_x باشد که تمایل به حرکت دادن قطعه دارد، نیروی R مؤلفه‌ای، افقی مانند F خواهد داشت و در نتیجه زاویه معینی را با امتداد قائم تشکیل خواهد داد.



(الف) تمایلی برای حرکت نیست — (ب) بدون حرکت $\alpha \alpha_s$ — (ج) در شرف حرکت $\alpha = \alpha_S = \tan^{-1}\mu_S$ — (د) در حال حرکت $\alpha = \alpha_k$

ب ــ اگر P_x به اندازه‌ای افزایش یابد که حرکت در آستانه وقوع باشد، زاویه میان R و امتداد قائم بزرگ‌تر می‌شود و به یک مقدار حداکثر می‌رسد.

ج ــ این مقدار را زاویه اصطکاک ایستایی می‌نامند و اگر آن را با α_s نشان دهیم، با توجه به شکل (ج) می‌بینیم که :

$$\tan\alpha_s = \frac{f_S}{N} = \frac{\mu_S N}{N} = \mu_S$$

اگر حرکت واقعاً اتفاق بیفتد مقدار نیروی اصطکاک به f_K تنزل پیدا می‌کند، به همین ترتیب زاویه میان R و N به‌مقدار کم‌تر α_k می‌رسد که آن را زاویه اصطکاک جنبشی می‌نامند. با توجه به شکل (د) می‌نویسیم :

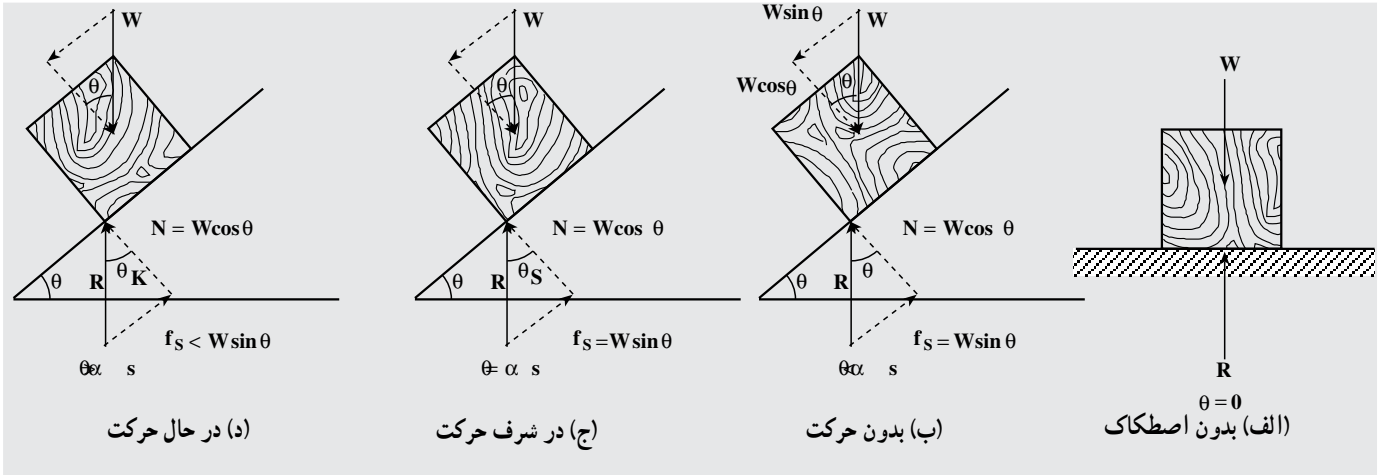
$$\tan\alpha_k = \frac{F_k}{N} = \frac{\mu_k N}{N} = \mu_k$$

با یک مثال دیگر نشان می‌دهیم که از زاویه اصطکاک می‌شود برای تحلیل بعضی از مسایل استفاده کرد. قطعه‌ای را در نظر بگیرید که بر روی تخته‌ای، قرار گرفته است که می‌شود آن را نسبت به افق به میزان دلخواه شیب داد و به قطعه به جز وزنش W و عکس‌العمل تخته R نیروی دیگری وارد نمی‌شود.

اگر تخته افقی باشد، نیروی R وارد از تخته به قطعه، بر تخته است و وزن W را خنثی می‌کند.

الف ــ اگر به تخته زاویه شیب کوچکی مانند θ بدهیم نیروی R به اندازه زاویه θ از حالت عمود بر تخته منحرف می‌شود و باز هم W را خنثی می‌کند.

ب ــ در این صورت R مؤلفه قائم مانند N به بزرگی $N = W\cos\theta$ در مؤلفه‌ای مماسی مانند F به بزرگی $F = W\sin\theta$ خواهد داشت.



(الف) بدون اصطکاک — (ب) بدون حرکت — (ج) در شرف حرکت — (د) در حال حرکت

ج ــ اگر زاویه شیب را باز هم افزایش بدهیم، طولی نمی‌کشد که حرکت در آستانه وقوع قرار می‌گیرد. در آن لحظه زاویه میان R و امتداد قائم به مقدار حداکثرش α_s می‌رسد.

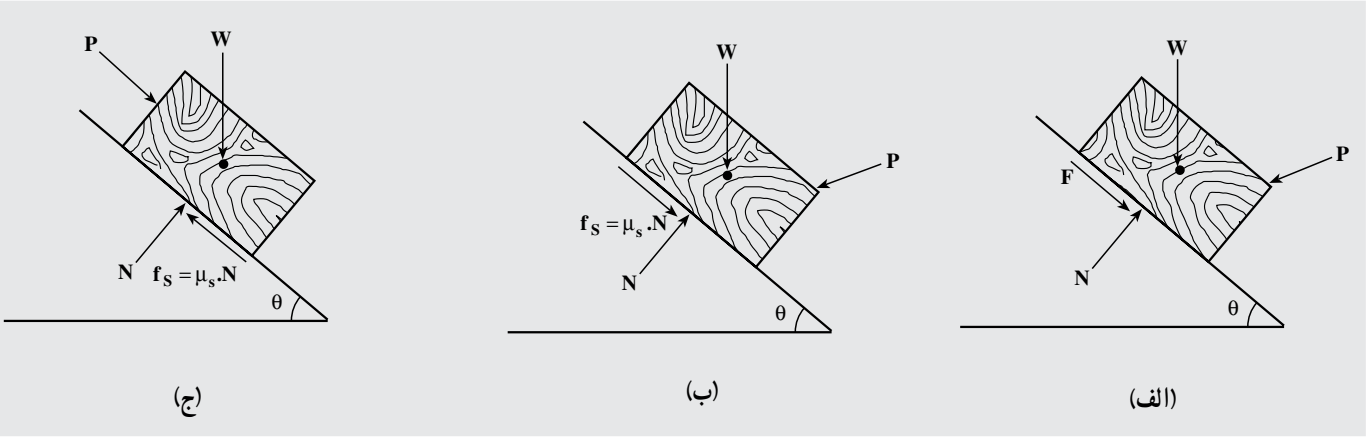
د ــ مقدار زاویه شیب متناظر با آستانه حرکت را زاویه قرار می‌نامند. واضح است که زاویه قرار برابر با زاویه اصطکاک ایستایی α_s است. اگر زاویه شیب θ باز هم افزایش پیدا می‌کند، حرکت شروع می‌شود و زاویه میان R و امتداد قائم به مقدار کم‌تر α_k کاهش می‌یابد.

دیگر عکس‌العمل R عمودی نیست و نیروهای وارد بر قطعه یکدیگر را خنثی نخواهند کرد.

مسئله‌های مربوط به اصطکاک خشک

اگر به جسم موردنظر بیش از سه نیرو وارد شده باشد (شامل عکس‌العمل‌ها در سطوح تماس)، نیروها را در دستگاه مختصات تجزیه نموده و مسئله را به کمک معادله‌های تعادل $\sum F_x = O$ و $\sum F_y = O$ حل خواهیم کرد. اگر به جسم موردنظر تنها سه نیرو وارد شده باشد، ممکن است با نشان دادن هر عکس‌العمل توسط تک نیروی R کار آسان‌تر شود و بتوان مسئله را با رسم مثلث نیرو حل کرد.

بیش‌تر مسئله‌های مربوط به اصطکاک در یکی از سه دسته زیر قرار می‌گیرند :در مسئله‌های دسته اول، همه نیروهای وارد معین‌اند و ضرایب اصطکاک نیز معلوم‌اند، باید تعیین کنیم که آیا جسم موردنظر در حال سکون باقی می‌ماند یا می‌لغزد. نیروی اصطکاک F لازمه حفظ تعادل، مجهول است (مقدارش برابر با $\mu_s N$ نیست) و می‌بایست همراه با نیروی عمودی N با رسم نمودار جسم آزاد و حل مسئله‌های تعادل تعیین شود (شکل پایین).



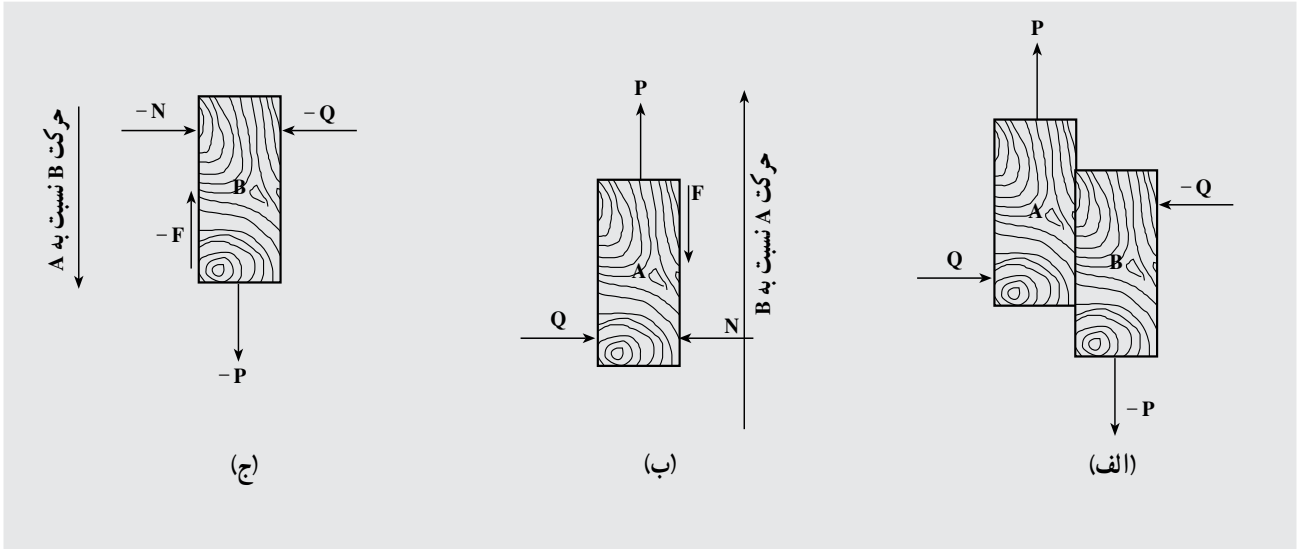
مقدار به‌دست آمده برای نیروی اصطکاک F را با مقدار حداکثر $f_S = \mu_S N$ مقایسه می‌کنیم.

اگر F کوچک‌تر از، یا برابر با f_S باشد، جسم در حال سکون باقی می‌ماند. اگر مقدار به‌دست آمده برای F بزرگ‌تر از f_S باشد، تعادل نمی‌تواند برقرار بماند و حرکت اتفاق می‌افتد، در این صورت مقدار واقعی نیروی اصطکاک برابر $F_k = \mu_k N$ است.

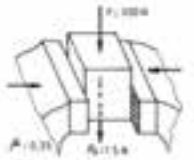
در مسئله‌های دسته دوم، همه نیروهای اعمال شده معین‌اند و می‌دانیم که حرکت در آستانه وقوع است، باید مقدار ضریب اصطکاک ایستایی را تعیین کنیم. در این‌جا مجدداً با رسم نمودار جسم آزاد و حل معادله‌های تعادل، نیروی اصطکاک و نیروی قائم را تعیین می‌کنیم (شکل ب) چون می‌دانیم که مقدار به‌دست آمده برای F، همان مقدار حداکثر f_S است، می‌توانیم ضریب اصطکاک را با نوشتن و حل معادله $f_S = \mu_S N$ به‌دست بیاوریم.

در مسئله‌های دسته سوم، ضریب اصطکاک ایستایی معین است و می‌دانیم که جسم در راستای معینی در آستانه حرکت است، باید بزرگی یا راستای یکی از نیروهای اعمال شده را تعیین کنیم. باید در نمودار جسم آزاد جهت نیروی اصطکاک را در خلاف جهت حرکت در آستانه وقوع و بزرگی آن را برابر با $f_S = \mu_S N$ نشان بدهیم (شکل ج). آن گاه ما می‌توانیم معادله‌های تعادل را بنویسیم و نیروی مطلوب را تعیین کنیم. چنان‌چه در بالا گفته شد، وقتی تنها سه نیرو در کار باشد ممکن است بهتر باشد که عکس‌العمل سطح تماس را با تک نیروی R نشان دهیم و مسئله را از طریق رسم مثلث نیروها حل کنیم.

وقتی دو جسم A و B در تماس‌اند (شکل پایین) نیروهای اصطکاک وارد از A به B و از B به A برابر و در جهت مخالف‌هم‌اند (قانون سوم نیوتن). موقع رسم نمودار جسم آزاد یکی از جسم‌ها، مهم است که نیروی اصطکاک مربوط را با جهت درست نشان بدهیم. بنابراین باید قاعده زیر را رعایت کنید : از دید ناظر واقع در B، جهت نیرو اصطکاک وارد بر A در خلاف جهت حرکت (یا حرکت در آستانه وقوع) A است (شکل ب). جهت نیروی اصطکاک وارد بر B به روش مشابهی تعیین می‌شود (شکل ج). توجه داشته باشید که حرکت A از دید ناظر واقع در B یک حرکت نسبی است. مثلاً اگر جسم A ساکن باشد و جسم B حرکت کند، جسم A نسبت به B یک حرکت نسبی خواهد داشت. همچنین اگر A و B هر دو در حال حرکت به طرف پایین باشند ولی سرعت B بیش‌تر از A باشد، از دید ناظر واقع در B به نظر می‌رسد که A دارد بالا می‌رود.



۲ـ قطعه کناری که نیروی وزن آن W = ۱۵۰N است به وسیله گیره‌ای مطابق شکل (۲۶ـ۳) محکم شده است. حساب کنید، نیروی وارد ازطرف فکهای گیره به سطح کنار را اگر نیروی عمودی وارد بر قطعه کار N ۳۰۰ و ضریب اصطکاک سطح $\mu_s = 0/25$ باشد.



شکل ۲۶ـ۳

۳ ـ برای ریخته گسترش الوار روی دستگاه کف رنده در صورتی که وزن الوار $W = 95N$، $\mu_s = 0/30$، $\mu_d = 0/22$ باشد، نیروهای لازم داده شده را محاسبه نمایید.

الف) مقدار نیروی لازم برای شروع حرکت؛

ب) مقدار نیروی لازم در حال حرکت قبل از رنده شدن؛

ج) مقدار نیروی لازم در حال رنده شدن؛ در صورتی که نیروی افقی معادل $F = 2N$ به الوار وارد نماید.

۴ ـ بعد از تولید تخته خرده چوب، برای مرتب چیده شدن آنها مطابق شکل (۲۷ـ۳) لازم است که صفحات روی هم کشیده شوند. اگر جرم یک ورق $m = 0/5kg$ و ضریب اصطکاک $\mu_s = 0/5$ باشد، نیروی لازم را برای کشیدن و جابه‌جا کردن یک ورق به دست آورید.

شکل ۲۷ـ۳ـ چیدن صفحات تخته خرده چوب

کار مکانیکی

الف) حداقل نیرویی که باعث شروع حرکت الوار روی صفحهٔ دستگاه می‌شود؛

ب) مقدار نیرویی که باعث خنثی شدن نیروی اصطکاک جنبشی می‌شود؛

ج) اگر در هنگام ورش الوار نیروی عمودی معادل ۱۰۰ نیوتن و نیروی افقی معادل ۸۰ نیوتن از طرف اره به الوار وارد شود، برای حرکت الوار روی دستگاه مقدار نیروی لازم را با سرعت ثابت به دست آورید.

۱۰ ـ نیرویی که به یک واگن حمل جنوب می‌توان وارد نمود، حدود ۷۰۰ نیوتن است. حساب کنید حداکثر باری را که به وسیله این واگن می‌توان حمل کرد؛ در صورتی که نیروی وزن خود واگن ۴۰۰ نیوتن و ضریب اصطکاک غلتشی $\mu_s = 0/025$ باشد.

سؤالات آزمون پایان فصل سوم

۱ـ کار مکانیکی را تعریف کنید.

۲ـ در کدام یک از این موارد کار انجام می‌گیرد:

الف) بلند کردن یک الوار بر روی دست.

ب) حرکت کردن در صورتی که الوار روی دست قرار دارد.

۳ـ یک ژول کار را تعریف کنید.

۴ـ صور مختلف انرژی را نام ببرید.

۵ ـ توان مکانیکی را تعریف کنید.

۶ـ منظور از راندمان دستگاه چیست؟

۷ ـ نیروی اصطکاک را تعریف نمایید.

۸ ـ منظور از نیروی اصطکاک در حال سکون چیست؟

۹ ـ نیروی اصطکاک جنبشی را تعریف کنید.

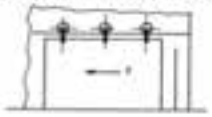
۱۰ ـ نیروی اصطکاک به چه عواملی بستگی دارد؟

۱۱ ـ تفاوت اصطکاک لغزشی را با اصطکاک غلتشی بنویسید.

تمرین

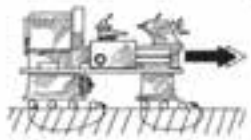
۱ـ ظرفیت بالابری ۵۴ کیلوژول است. اگر لازم باشد از این بالابر برای حمل صندوق روکش استفاده شود، درهر دفعه چند صندوق را می‌توان تا ارتفاع ۳ متری بالا برد؛ در صورتی که هر صندوق ۶۰۰ کیلوگرم جرم داشته باشد.

۵ ـ در انبساری به وسیله پلی‌رینگ مطابق شکل (۲۸ـ۳) حرکت می‌کند. نیروی لازم بار و بسته شدن آن را حساب کنید اگر نیروی وزن آن W = ۲۰۰۰N و ضریب اصطکاک $\mu_s = 0/005$ باشد.



شکل ۲۸ـ۳

۶ـ برای جابه‌جا کردن دستگاهی مطابق شکل (۲۹ـ۳) نیروی لازم آن را در دو حالت محاسبه کنید (اگر نیروی وزن آن W = ۸۰۰۰N باشد).



شکل ۲۹ـ۳

الف) اگر بخواهیم آن را روی کف کارگاه به حرکت درآوریم؛ در صورتی که ضریب اصطکاک آن $\mu_s = 0/15$ باشد.

ب) اگر برای همین منظور، زیر آن غلتکهایی به قطر d = ۱۲۰ میلیمتر قرار دهیم؛ در حالی که طول موثر گشتاور مقاوم l = ۰/۰۵ سانتیمتر باشد.

۷ ـ در باتفان‌بندی میله تراشیبی‌ای که نیرویی برابر F = ۲۰۰۰N بر آن وارد می‌آید، اگر از باتفان‌بندی لغزشی با ضریب اصطکاک $\mu_s = 0/1$ و یا از باتفان‌بندی غلتشی با ضریب اصطکاک $\mu_s = 0/002$ استفاده کنیم، نیروهای اصطکاک را با هم مقایسه کنید.

۸ـ صندوق مخصوص حمل قطعات چوبی با جرم ۷۵ کیلوگرم را روی کف افقی کارگاه با نیرویی معادل ۳۵۰ نیوتن به وسیله یک طناب که امتداد آن با راستای افقی زاویه ۳۰° می‌سازد، با سرعت ثابت کشیده می‌شود. ضریب اصطکاک بین کف کارگاه و صندوق را حساب کنید.

۹ ـ الواری به جرم ۴۰ کیلوگرم را می‌خواهیم به وسیله اره نواری برش بزنیم؛ در صورتی که ضرایب اصطکاک بین الوار و صفحه دستگاه به ترتیب $\mu_s = 0/35$ و $\mu_s = 0/15$ باشد، محاسبه کنید:

۲۰

۲ ـ قطاله زنجیرهای برای حمل گردنیه تا ارتفاع ۱/۵ متری موجود است. اگر زمان حمل ۳۰ تایه و مشخصات گردنیه با قطر ۷cm طول ۲/۱m و جرم وزه ۱۶۵۰ گرم و ساختمان متکعب باشد، توان موتور این قطاله را برحسب کیلووات و اسب بخار به دست آورید.

۳ ـ توان گرفته شده الکتروموتور دستگاهی $P_i = 8000W$ وراندمان آن $\eta_M = 0/85$ می‌باشد. اگر این توان به وسیله چرخ دنده‌ای با راندمان $\eta = 0/95$ منتقل شود، این موارد را حساب کنید:

الف) راندمان کل دستگاه؛

ب) توان محور متحرک.

۴ ـ دستگاه فرزی با قطر پولی ۱۰۰ میلیمتر موجود است. اگر دارای الکتروموتوری با این مشخصات باشد، نیروی محیطی آن را حساب کنید:

ـ تعداد دور موتور n = ۶۰۰۰ r/min

ـ توانی معادل $P_i = 3/5kW$

ـ راندمان الکتروموتور $\eta_M = 0/90$

ـ راندمان ماشینی $\eta_M = 0/75$

جلسه بیستم

برنامه زمان‌بندی جلسه بیستم		
۱	آمادگی کلاس	۵
۲	حل تمرین‌های صفحه‌های ۶۸ تا ۷۲	۸۰
۳	یادآوری : امتحان میان ترم از فصل سوم	۵

حل تمرین‌های صفحه‌های ۶۸ ، ۶۹ و ۷۰

حل تمرین ۱:

$f_S = N.\mu_S \Rightarrow \qquad f_S = ۲۰۰\times ۰/۱۵ = ۳۰N$

حل تمرین ۲:

$۲f_S = N.\mu_S \Rightarrow \qquad ۳۱۵ = N(۰/۲۵)$

$N = \frac{۳۱۵}{۰/۲۵} = ۱۲۶۰(N)$

حل تمرین ۳:

الف) $F = f_S = N.\mu_S \quad \Rightarrow F = ۴۵۰\times ۰/۳۰ = ۱۳۵(N)$

ب) $F = f_K = N.\mu_K \quad \Rightarrow F = ۴۵۰\times ۰/۲۲ = ۹۹(N)$

ج) $F = f_K + F_l \quad \Rightarrow F = ۹۹ + ۲۰ = ۱۱۹(N)$

حل تمرین ۴:

$F = f_S = N\times\mu_S = ۶۰\times ۱۰\times ۰/۵ = ۳۰۰N$

حل تمرین ۵:

$F = f_i = N\times\mu_i = ۴۰۰۰\times ۰/۰۰۵ = ۲۰N$

حل تمرین ۶:

الف) $F = f_S = N.\mu_S \quad ۸۰۰۰\times ۰/۵ = ۴۰۰۰N$

ب) $F = f_r = \frac{l}{r}\times N = \frac{۰/۰۵}{۶}\times ۸۰۰۰ = ۶۶/۷N$

حل مسئله ۷:

$f_S = N.\mu_S = ۲۰۰۰\times ۰/۱ = ۲۰۰N$

$f_r = N.\mu_r = ۲۰۰۰\times ۰/۰۰۲ = ۴N$

حل مسئله ۸:

$N = W - T\sin\alpha$

$f_S = T\cos\alpha \quad \Rightarrow \quad N.\mu = T\cos\alpha \Rightarrow$

$\mu = \frac{T\cos\alpha}{W - T\sin\alpha} \Rightarrow \quad \frac{۳۵۰\cos ۳۷^\circ}{۷۵۰ - ۳۵۰\sin ۳۷^\circ}$

$\mu = \frac{۲۸۰}{۵۴۰} \approx ۰/۵۲$

حل مسئله ۹:

الف) $F = f_S = N.\mu_S = ۶۰۰\times ۰/۳۵ = ۲۱۰N$

ب) $F = f_K = N.\mu_K = ۶۰۰\times ۰/۲۵ = ۱۵۰N$

ج) $F = F_x + (F_y + W)\mu = ۸۰ + (۱۰۰ + ۶۰۰)۰/۲۵ = ۲۵۵N$

حل مسئله ۱۰:

$F = f_s = (W_۱ + W_۲)\mu \Rightarrow$

$۷۰۰ = (۴۰۰ + W_۲)(۰/۰۲۵)$

$W_۲ = \frac{۷۰۰ - (۴۰۰\times ۰/۰۲۵)}{۰/۰۲۵} = ۲۷۶۰۰N$

پاسخ سؤالات آزمون پایان فصل سوم

پاسخ سؤال ۱: هرگاه به جسمی نیروی چنان وارد شود آن جسم بر اثر آن نیرو جابه‌جا شود، کار صورت گرفته است و مقدار کار انجام شده برابر است با حاصل‌ضرب نقطه‌ای بردار نیرو در بردار جابه‌جایی به‌شرط آن‌که هم راستا و هم‌جهت باشند.

پاسخ سؤال ۲:

الف ــ چون جهت وارد کردن نیرو جهت جابه‌جایی هر دو به‌طرف بالا بوده و جسم جابه‌جا شده است پس کار صورت گرفته است.

ب ــ چون جهت وارد کردن نیرو به طرف بالا و جهت حرکت کردن و جابه‌جا شدن به‌طرف جلو می‌باشد، کار مکانیکی صورت نمی‌گیرد.

پاسخ سؤال ۳: یک ژول مقدار کالری است که بتواند جسمی را که نیروی وزن آن برابر یک نیوتن می‌باشد به اندازه یک متر از زمین بلند کند.

پاسخ سؤال ۴: انرژی مکانیکی ــ انرژی حرارتی ــ انرژی الکتریکی

پاسخ سؤال ۵: مقدار کار انجام شده را در واحد زمان توان گویند.

پاسخ سؤال ۶: نسبت توان بازده را به توان گرفته شده راندمان یا ضریب بهره گویند.

پاسخ سؤال ۷: هرگاه جسمی بر روی سطح جسم دیگری بلغزد هر یک از دو سطح بر یکدیگر نیرویی وارد می‌کنند که اولاً : این نیرو در امتداد سطح است و ثانیاً : مانع حرکت دو جسم بر روی یکدیگر می‌شود این نیرو را نیروی اصطکاک می‌نامند.

پاسخ سؤال ۸: نیروی اصطکاک در لحظه شروع به‌حرکت را نیروی اصطکاک ایستایی یا در حال سکون گویند.

پاسخ سؤال ۹: نیروی اصطکاک در حین حرکت را نیروی اصطکاک جنبشی گویند.

پاسخ سؤال ۱۰: نیروی عمود بر سطح تماس، صافی یا زبری سطح تماس، جنس دو قطعه در سطح تماس و استفاده یا عدم استفاده از موادی که باعث تقلیل اصطکاک می‌شود.

پاسخ سؤال ۱۱: در اصطکاک لغزشی سطح دو جسم با هم تماس دارند ــ در اصطکاک غلتشی جسم توسط یک چرخ یا یک استوانه روی جسم دیگر حرکت می‌کند.

حل تمرین‌های صفحه ۷۱ و ۷۲

حل تمرین ۱:

$$W = F \times S \Rightarrow ۵۴۰۰۰ = (n \times ۶۰۰۰)۳$$

$$n = \frac{۵۴۰۰۰}{۱۸۰۰۰} = ۳ \text{ عدد}$$

حل تمرین ۲:

$$P = \frac{\rho.V.g.h}{t}$$

$$= \frac{(۰/۶۵ \times ۱۰۰۰)(۰/۳۵^۲ \times \pi \times ۲/۲)(۱۰)(۱/۵)}{۳۰}$$

$$= ۲۷۵(Wat)$$

$$P = ۲۷۵ \times \frac{۱/۳۶}{۱۰۰۰} = ۰/۳۷۴hp$$

حل تمرین ۳:

الف) $\eta = \eta_E \times \eta_M = ۰/۸۵ \times ۰/۷۵ \approx ۰/۶۴$

ب) $P_۲ = P_۱ \times \eta = ۸۰۰ \times ۰/۶۴ = ۵۱۲Wat$

حل تمرین ۴:

$$P_۲ = P_۱ \times \eta_E \times \eta_M = ۳/۵ \times ۰/۹ \times ۰/۷۵$$

$$= ۲/۳۶kWat$$

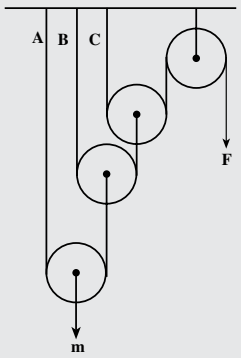
$$F = \frac{P \times ۹۵۵۵}{r \times n} = \frac{۲/۳۶ \times ۹۵۵۵}{۰/۰۵ \times ۶۰۰۰} = ۷۵/۲(N)$$

جلسه بیست و یکم
امتحان از فصل سوم

امتحان از فصل سوم محاسبات فنی (۲)

رشته صنایع چوب و کاغذ **زمان:**

نام و نام خانوادگی: **تاریخ:**

ردیف	توجه: $g=10$ $\pi=3$	نمره
۱	کار انجام شده یک بالا برای بالا بردن تخته‌هایی تا ارتفاع ۳ متری معادل ۱۸/۹ کیلوژول می‌باشد اگر ابعاد هر تخته ($2m \times 15cm \times 10cm$) و وزن مخصوص ۰/۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب باشد، همزمان چند تخته را می‌توان بالا برد؟	
۲	موتور پمپی در مدت ۵ دقیقه می‌تواند یک بشکه استوانه‌ای به ارتفاع یک متر و قطر نیم‌متر را از یک چاه به عمق ۴ متری پر از آب کند، اگر بشکه در ارتفاع ۳ متر از سطح زمین قرار گرفته باشد، توان بازده را محاسبه نمایید.	
۳	ماشینی از یک الکتروموتور و یک جعبه دنده تشکیل شده است، اگر توان گرفته شده الکتروموتور ۴/۱ اسب بخار، راندمان الکتروموتور ۰/۸ و توان بازده جعبه دنده ۱/۸ کیلووات باشد، محاسبه نمایید. الف) راندمان جعبه دنده ب) راندمان کل دستگاه	
۴	الکتروموتوری با مشخصات زیر مفروض است، نیروی کشش لازم در تسمه‌ای که به‌وسیله آن ایجاد می‌گردد را محاسبه نمایید. ۱ــ توان گرفته شده ۲/۷۲ اسب بخار ۲ــ بازده ۹۰ درصد ۳ــ تعداد دور ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۴ــ قطر چرخ تسمه ۲۰ سانتی‌متر	
۵	از بالابری مطابق شکل برای بالابردن باری به جرم ۱۶۰ کیلوگرم استفاده نموده‌ایم، اگر بار ۲/۵ متر بالا رود، محاسبه نمایید : الف) نیرویی که باید به ریسمان وارد نمود (F) ب) مقدار جابه‌جایی که ریسمان دارد (S_2) ج) مقدار نیروی کششی که به ریسمان‌های A و B و C ایجاد می‌شود. 	
۶	باری به جرم ۲۰۰ کیلوگرم را روی یک واگن به جرم ۲۰ کیلوگرم قرار داده و با یک نیرویی معادل ۱۰۰ نیوتن که با افق زاویه ۳۰ درجه می‌سازد می‌کشیم، محاسبه نمایید : الف) نیروی اصطکاک ب) ضریب اصطکاک	

پاسخنامه امتحان از فصل سوم محاسبات فنی (۲)
رشته صنایع چوب و کاغذ

۱

$V = ۲ \times ۰/۱۵ \times ۰/۱۰ = ۰/۰۳ m^۳$

$\rho = ۰/۷ \times ۱۰۰۰ = ۷۰۰ kg/m^۳$ $\quad F = \rho . V . g = ۰/۰۳ \times ۷۰۰ \times ۱۰ = ۲۱۰ N$

$W = nF \times S \Rightarrow ۱۸۹۰۰ = n(۲۱۰) \times ۳ \Rightarrow n = \frac{۱۸۹۰۰}{۶۳۰} = ۳۰$ عدد

۲

$V = r^۲ \pi h = (۰/۲۵)^۲ \pi (۱) = ۰/۱۹۶ m^۳$

$W = \rho V g H = (۱۰۰۰)(۰/۱۹۶)(۱۰)(۳+۴) = ۱۳۷۲۰ J$

$P = \frac{W}{t} = \frac{۱۳۷۲۰}{۵ \times ۶۰} = ۴۵/۷ Wat.$

۳

$P_{۱E} = ۴/۱ \times \frac{۱}{۱/۳۶} = ۳ kWat$

$P_{۲E} = \eta_E . P_{۱E} = ۰/۸ \times ۳ = ۲/۴ kWat$

$P_{۱M} = P_{۲E} = ۲/۴ kWat$ $\quad \eta_T = \eta_E . \eta_M = ۰/۸ \times ۰/۷۵ = ۰/۶$

$\eta_M = \frac{P_{۲M}}{P_{۱M}} = \frac{۱/۸}{۲/۴} = ۰/۷۵$

۴

$P_۲ = \eta . P_۱ = ۰/۹ \times ۲/۷۲ \times \frac{۱}{۱/۳۶} = ۱/۸ kWat$

$F = \frac{P_{kW} \times ۹۵۵۵}{r \times n} = \frac{۱/۸ \times ۹۵۵۵}{۰/۱ \times ۱۵۰۰} = ۱۱۴/۶۶ (N)$

۵

$F = \frac{F_G}{۲^{n-۱}} = \frac{۱۶۰۰}{۲^۳} = ۲۰۰ N$

$S_۲ = ۲^{n-۱} . S_۱ = ۲^۳ \times ۲/۵ = ۲۰ m$

$T_A = ۱۶۰۰ \times \frac{۱}{۲} = ۸۰۰ N$

$T_B = ۸۰۰ \times \frac{۱}{۲} = ۴۰۰ N$

$T_C = ۴۰۰ \times \frac{۱}{۲} = ۲۰۰ N$

۶

$N + F_y = W_۱ + W_۲$

$N + (۱۰۰ \sin ۳۰^\circ) = (۲۰۰ + ۲۰) \times ۱۰$

$N = ۲۲۰۰ - ۵۰ = ۲۱۵۰ (N)$

$f_S = F_x = ۱۰۰ \cos ۳۰ = ۸۶۶ (N)$

$f_S = N . \mu \Rightarrow ۸۶۶ = ۲۱۵۰ \mu$

$\mu = \frac{۸۶۶}{۲۱۵۰} = ۰/۴$