

### کار مکانیکی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود:

- ۱- کار مکانیکی را تعریف کند؛
- ۲- کار مکانیکی را محاسبه نماید؛
- ۳- توان مکانیکی ماشین‌آلات را محاسبه کند؛
- ۴- راندمان را تعریف نماید؛
- ۵- راندمان ماشین‌آلات را محاسبه کند؛
- ۶- رابطه توان را با گشتاور نیروی محیطی تعیین کند؛
- ۷- محاسبات مربوط به باربرهای ساده (ماشین‌های ساده) را انجام دهد؛
- ۸- اصطکاک را تعریف کند؛
- ۹- انواع اصطکاک را بیان کند؛
- ۱۰- اصطکاک لغزشی را محاسبه نماید؛
- ۱۱- اصطکاک غلتشی را محاسبه کند.

زمان تدریس: ۱۲ ساعت

### مقدمه

در گفتگوهای روزانه کلمه‌ی «کار» تقریباً به یک نوع فعالیت بدنی یا فکری نسبت داده می‌شود، اما در دانش فیزیک - مکانیک، کار معنای ویژه‌ای دارد و هنگامی انجام می‌گیرد که نیرویی سبب حرکت جسمی شود.

آیا تاکنون به شخصی که الواری را رنده می‌کند، نگاه کرده‌اید؟ حال به این پرسش‌ها فکر کنید: - چه نیرویی باید به الوار وارد شود تا الوار روی صفحه‌ی دستگاه به حرکت درآید و از نظر

علم فیزیک چه عملی انجام می‌شود؟

- برای به حرکت درآوردن تویی دستگاه چه انرژی مصرف شده و از کجا پدید می‌آید؟
- آیا مرکز مبدل انرژی یا الکتروموتور، توانایی انجام این کار را تا آخرین مرحله خواهد داشت؟
- آیا این دستگاه مبدل انرژی بازده یا راندمان مطلوبی دارد و یا از نظر اقتصادی به صرفه است؟
- در هنگام تبدیل انرژی چه مقداری از توان دستگاه صرف اصطکاک و یا دیگر مقاومت‌ها می‌شود؟

- آیا اصطکاک همیشه باعث کاهش توان دستگاه می‌شود؟ آیا اصطکاک همیشه عمل منفی انجام می‌دهد؟

پیش از آن که به بررسی این پرسش‌ها و پاسخ دادن به آن‌ها بپردازید باید مطمئن شوید که مفهوم فیزیکی کلمات کار، توان، راندمان و اصطکاک را به درستی می‌دانید. شما هنرجویان در سال‌های پیش با این کلمات به گونه‌ای ساده و ابتدایی آشنا شدید، اما این فصل را با دیدی که جنبه علمی، فنی و کاربردی بیشتری دارد دنبال خواهید کرد.

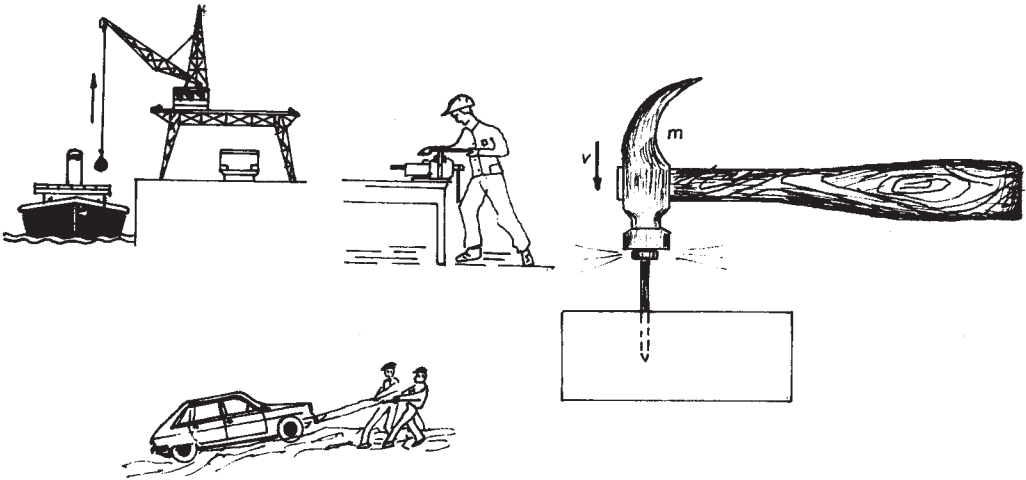
## ۳- کار مکانیکی

### ۱-۳- تعریف کار مکانیکی

در صورتی که نیرویی بر جسمی وارد شود و آن جسم به حرکت درآید می‌گوییم «کار» انجام گرفته است. مثلاً وقتی که تخته‌ای را از روی زمین برمی‌داریم و آن را بالا می‌بریم تا روی میز کار بگذاریم نیروی مساوی و مخالف جهت نیروی جاذبه زمین بر آن وارد می‌سازیم و آنگاه می‌توانیم جابه‌جا کردن آن تخته، «انرژی» مصرف کرده‌ایم و کاری انجام داده‌ایم، اما هنگامی که تلاش می‌کنیم تا گرده بینه بزرگی را جابه‌جا کنیم و موفق نمی‌شویم، گرچه انرژی مصرف می‌کنیم، اما کاری انجام نمی‌دهیم؛ بنابراین کار وقتی انجام می‌شود که نیرویی سبب جابه‌جا شدن نقطه‌ی اثر خود شود؛ بنابراین، توجه به این امر، مهم است که اگر نیرویی نتواند نقطه‌ی اثر خود را جابه‌جا کند کار صورت نمی‌گیرد.

اغلب، برای انجام دادن کار باید بر یک نیروی مقاوم غلبه کرد. این نیروی مقاوم ممکن است، نیروی جاذبه هنگام بالا بردن یک وزنه باشد یا نیروی اصطکاک هنگام کشیدن یا راندن یک جسم

بر روی یک سطح یا نیروهای چسبندگی و پیوستگی بین مولکول‌ها هنگام جدا کردن دو جسم از یکدیگر باشد؛ همچنین اعمالی مانند شکستن و پاره کردن، سوهان زدن، اره کردن یک جسم و نظایر آن.



شکل ۱-۳- اشکال مختلف کار

۱-۳-۱- محاسبه کار مکانیکی: بنا بر آنچه گفته شد، دو عامل در اندازه‌ی کار مؤثر است: یکی نیرو و دیگری اندازه‌ی جابه‌جایی نقطه اثر نیرو و بنا به تعریف، کار برابر است با حاصل ضرب نیرو در اندازه‌ی جابه‌جایی نقطه‌ی اثر نیرو در راستایی که نیرو اثر می‌کند.

تغییر مکان . نیرو = کار مکانیکی

$$W = F \cdot S$$

$$1Nm = 1J$$

علایم اختصاری:

F: نیرو بر حسب نیوتن

S: تغییر مکان بر حسب متر

W: کار بر حسب نیوتن متر (ژول)

یک ژول مقدار کاری است که بتواند جسمی را که نیروی وزن آن برابر یک نیوتن می باشد به اندازه‌ی یک متر از زمین بلند کند.

عامل به وجود آورنده‌ی کار را «انرژی» گویند که به صورت‌های مختلف یافت می شود، یعنی:

الف) انرژی مکانیکی؛

ب) انرژی حرارتی؛

ج) انرژی الکتریکی.

واحد سنجش انرژی حرارتی و مکانیکی ژول (J) و یا کیلوژول (kJ) است. برای سنجش

کار الکتریکی از واحد سنجش وات ثانیه (Ws) یا کیلو وات ساعت (kWh) استفاده می کنیم.

چون انرژی‌های موجود در طبیعت به یکدیگر تبدیل می گردند، از این رو واحدهای انرژی را

به نحوی انتخاب می کنند که در عمل معادل یکدیگر باشند تا بتوان به سهولت آن‌ها را باهم مقایسه کرد.

$$1Nm = 1J = 1Ws$$

$$1kWh = 3600000Nm = 3600kJ$$

چون در بعضی از وسایل حرارتی واحد کالری و یا کیلو کالری به کار می برند، از این رو از یک

ضریب تبدیل استفاده می کنیم.

$$1J = 0.24cal$$

$$1cal = 4.2J$$

مثال نمونه: کار انجام شده با یک جرثقیل برای بالا بردن تخته‌های بریده شده تا ارتفاع ۴ متری

معادل ۶۴kJ است. اگر هر تخته ۱۶۰ نیوتن وزن داشته باشد هر بار جرثقیل چند تخته را می تواند

جابه‌جا نماید؟

جواب:

$$W = F \cdot S \quad F = \frac{W}{S}$$

$$F = \frac{64000 \text{ J}}{4 \text{ m}} \quad F = 16000 \text{ N}$$

عدد  $n = 16000 \cdot 160 = 100$  تعداد تخته‌ها

## تمرین

- ۱- برای انتقال یک دستگاه ارّه تا فاصله‌ی ۲ متری، نیروی افقی معادل  $25^\circ$  نیوتن لازم است. محاسبه کنید چند ژول کار انجام گرفته است؟
- ۲- برای جابه‌جایی پمپ باد در سطح کارگاه به وسیله طنابی که با سطح افق زاویه‌ی  $45^\circ$  دارد،  $5^\circ$  نیوتن نیرو لازم است. پس از  $1^\circ$  متر جابه‌جایی چقدر کار انجام شده است؟
- ۳- حداکثر کار انجام شده یک لیفتراک مطابق شکل ۲-۳ برای بالا بردن پالت‌های روکش تا ارتفاع  $15^\circ$  سانتی‌متری معادل  $25000 \text{ J}$  می‌باشد، اگر جرم هر پالت روکش  $800$  کیلوگرم باشد، لیفتراک هر بار چند پالت را می‌تواند جابه‌جا کند؟



شکل ۲-۳- لیفتراک

## ۲-۳- توان مکانیکی

اغلب لازم می‌شود که علاوه بر تعیین کار انجام شده، بدانیم کار در چه زمانی انجام گرفته است؛ بنابراین، مقدار کار انجام شده را در واحد زمان «توان» گویند.

برای تعیین توان متوسط یک دستگاه یا یک ماشین کافی است کاری را که دستگاه انجام می‌دهد بر زمان انجام آن تقسیم کنیم:

$$P = \frac{W}{T}$$

روابط:

$$W = F \cdot S$$

$$V = \frac{S}{T}$$

$$P = F \cdot V$$

### علائم اختصاری:

P : توان متوسط دستگاه بر حسب وات

W : کار انجام شده بر حسب ژول

T : زمان بر حسب ثانیه

F : نیروی وارد بر جسم بر حسب نیوتن

V : سرعت بر حسب متر بر ثانیه

واحد توان از روابط فوق بر حسب Nm/s به دست می‌آید که در دستگاه بین‌المللی واحدها «وات» است و با علامت اختصاری W نمایش داده می‌شود. (یک وات برابر یک ژول کار است که در مدت یک ثانیه انجام گرفته است.)

$$\begin{aligned} 1 \text{ Nm/s} &= 1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} \\ 1 \text{ J/s} &= 0.24 \text{ cal/s} \end{aligned}$$

برای سنجش توان مکانیکی قبلاً از واحد دیگری به نام «اسب بخار» ( $P_S$ ) استفاده می‌شد که امروزه متداول نیست، بلکه توان مکانیکی را بر حسب وات و یا کیلووات می‌سنجند و برای تبدیل کیلووات به اسب بخار و برعکس، از این ضرایب تبدیل می‌توان استفاده کرد:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kW} &= 1.36 P_S \\ 1 P_S &= 0.736 \text{ kW} \end{aligned}$$

مثال نمونه «۱»: توان موتور پمپی که ۲۰۰ کیلوگرم آب را در ۱۰ ثانیه به ارتفاع ۶ متر بالا می‌برد (به ازای  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ) بر حسب کیلووات چنین حساب می‌شود:

$$F = 200 \text{ kgf} = 200 \cdot 9.8 \text{ N} = 1960 \text{ N}$$

$$W = F \cdot S$$

$$W = 1960 \cdot 6 = 11760 \text{ J}$$

$$P = \frac{W}{T} \quad P = \frac{11760}{10} = 1176 \text{ W} = 1.176 \text{ kW}$$

مثال نمونه «۲»: یک موتور مکنده در هر دقیقه یک متر مکعب خرده چوب (چیپس) مطابق شکل ۳-۳ تا ارتفاع ۱۲ متری به درون سیلوی ذخیره انتقال می‌دهد. اگر جرم هر متر مکعب چیپس ۲۰۰ کیلوگرم باشد، توان موتور فوق را بر حسب نیوتن متر بر ثانیه، کیلووات و اسب بخار حساب کنید:

$$m = 200 \text{ kg}$$

$$F = 200 \cdot 10 = 2000 \text{ N}$$

$$P = \frac{F \cdot S}{t} = \frac{2000 \cdot 12}{1.60} = 400 \text{ Nm/s}$$

$$1 \text{ Nm/s} = 1 \text{ W}$$

$$P_{\text{KW}} = \frac{400}{1000} = 0.4 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Ps}} = 0.4 \cdot 1.36 = 0.544 \text{ Ps}$$



شکل ۳-۳- خرده چوب (چیپس) دپوشده

- ۱- در یک دستگاه اگر تعداد دوران چرخ تسمه  $n = 720 \text{ 1/min}$  و قطر چرخ تسمه  $d = 20 \text{ cm}$  و نیروی کشش تسمه  $F = 360 \text{ N}$  باشد توان انتقالی را حساب کنید.
- ۲- موتور پمپی در مدت  $10^\circ$  ثانیه  $200$  لیتر آب<sup>۱</sup> را  $10^\circ$  متر بالا می‌برد، توان موتور پمپ را بر حسب قوه اسب بخار به دست آورید.
- ۳- گرده بینه‌ای با قطر متوسط  $65$  سانتی متر و به طول  $7$  متر و جرم ویژه  $6^\circ / \text{گرم بر سانتی متر مکعب}$  با یک جرثقیل  $10^\circ$  متر بالا برده می‌شود، این موارد را محاسبه کنید:  
الف) کار انجام شده،  
ب) توان مصرفی (در صورتی که زمان بالا بردن گرده بینه یک دقیقه باشد).
- ۴- تخته‌ای را به ابعاد  $50 \text{ mm} \cdot 20 \text{ cm} \cdot 2/1 \text{ m}$  از روی زمین بلند کرده روی صفحه ماشین رنده قرار می‌دهیم. اگر جرم ویژه این گونه  $65^\circ / \text{گرم بر سانتی متر مکعب}$  و زمان انجام کار  $10^\circ$  ثانیه و ارتفاع دستگاه  $70^\circ$  سانتی متر باشد، کار انجام شده و توان مصرفی چقدر است؟
- ۵- کار مکانیکی و توان انجام شده دستگاه جرثقیل را مطابق شکل ۴-۳ محاسبه کنید؛ در صورتی که:



- جرم متوسط هر گرده بینه  $80$  کیلوگرم؛
- ارتفاع حمل  $2/5$  متر؛
- زمان انجام کار  $40^\circ$  ثانیه است.

شکل ۴-۳- جرثقیل حمل گرده بینه

$$1 - \text{جگالی آب } \text{Kg/m}^3 = 1000.$$

$$2 - p = \frac{m}{V}$$



### ۳-۳- راندمان

در ماشین‌های مبدل انرژی و یا در وسایل انتقال حرکت، مقداری از توان گرفته شده صرف برطرف کردن عواملی مثل اصطکاک، مقاومت الکتریکی و غیره می‌شود یا بخشی از آن تبدیل به حرارت می‌گردد و بقیه را به صورت توان بازده - که آن را «توان مفید» نیز می‌گویند - پس می‌دهند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- افزایشده، کاهنده

بنابراین در کلیه این گونه وسایل، توان بازده کمتر از توان گرفته شده است و نسبت توان بازده را به توان گرفته شده «راندمان» یا «ضریب بهره» گویند.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

علایم اختصاری:

۱. راندمان یا ضریب بهره

$P_1$ : توان گرفته شده

$P_2$ : توان بازده (توان مفید)

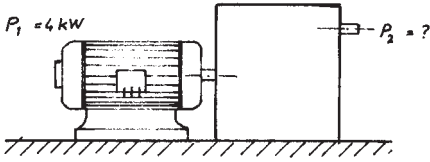
در این رابطه می‌توان مقدار توان را بر حسب هریک از واحدهای توان مکانیکی، توان الکتریکی و حرارتی قرار داد، اما باید توجه داشت که واحد هر دو از یک جنس باشد.

مسئله نمونه «۱»: راندمان الکتروموتوری را حساب کنید که توان گرفته شده آن از شبکه برق

معادل  $P_1 = 4\text{kW}$  و توان بازده آن  $P_2 = 3\text{kW}$  باشد.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{3}{4} = 0.75 = 75\%$$

مسئله نمونه «۲»: در دستگاه انتقال حرکت شکل ۳-۶ که از یک الکتروموتور و یک جعبه‌دنده



جعبه دنده  $\eta_2 = 0/8$  الکتروموتور  $\eta_1 = 0/75$

شکل ۳-۶ - دستگاه انتقال حرکت

تشکیل شده است این موارد را حساب کنید :

الف) توان بازده موتور،

ب) توان بازده جعبه دنده،

ج) راندمان کل دستگاه.

$$\eta \cdot M = \frac{P_{2M}}{P_{1M}} \quad \text{الف)}$$

$$P_{2M} = \eta \cdot M \cdot P_{1M} = 0/75 \cdot 4 = 3 \text{ kW}$$

$$\text{ب) } P_{2M} = P_{1G}$$

$$\eta \cdot G = \frac{P_{2G}}{P_{1G}} \quad P_{2G} = \eta \cdot G \cdot P_{1G} = 0/8 \cdot 3 = 2/4 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{2G}}{P_{1M}} = \frac{2/4}{4} = 0/60$$

یا

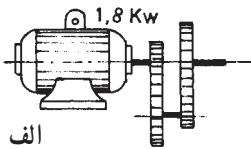
$$\eta = \eta_M \cdot \eta_G = 0/75 \cdot 0/8 = 0/60$$

بنابراین، راندمان کل یک دستگاه برابر حاصلضرب راندمان‌های موجود در آن است.

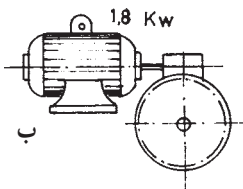
$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots$$

و از رابطه  $\frac{P_2}{P_1} = \eta$  نتیجه می‌گیریم که راندمان هر دستگاهی همیشه کوچکتر از یک است، و هر دستگاهی

که راندمان آن به عدد یک نزدیکتر باشد از نظر اقتصادی باصرفه‌تر است.



الف



ب

شکل ۳-۷

### تمرین

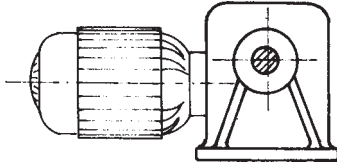
۱- توان الکتروموتورهای مطابق شکل ۳-۷، ۱/۸، ۳

کیلووات است. حساب کنید توان بازده محور متحرک هر یک

را در صورتی که راندمان چرخ دنده ساده ۰/۹۵ = و راندمان

حلزون و چرخ حلزون ۰/۶۵ = باشد.

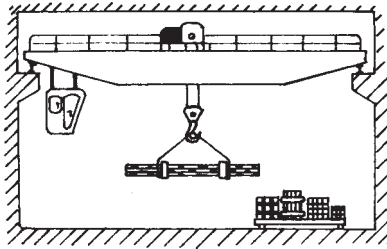
۲- توان گرفته شده الکتروموتور دستگاهی مطابق شکل ۳-۸،  $P_E = 0.91$  کیلووات و راندمان آن  $\eta = 0.90$  می باشد. اگر این توان از طریق حلزون و چرخ حلزونی با راندمان  $\eta = 0.80$  منتقل شود، این موارد را حساب کنید.



شکل ۳-۸

الف) راندمان کل دستگاه،  
ب) توان محور متحرک.

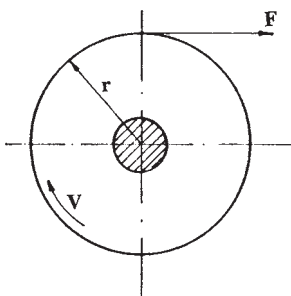
۳- نیروی موجود در قلاب جرثقیلی مطابق شکل ۳-۹  $F = 0.5MN$  بوده و سرعت حرکت بار  $V = 3/3 \frac{m}{min}$  و راندمان جرثقیل  $\eta = 0.80$  می باشد. توان لازم را بر حسب کیلووات حساب کنید.



شکل ۳-۹

### ۳-۴- تعیین نیروی محیطی و رابطه توان با گشتاور

در بعضی از موارد لازم می شود که با داشتن توان، گشتاور انتقال پذیر دستگاه محاسبه شود یا آن که با داشتن تعداد دوران و نیروی محیطی و توان بخواهیم قطر چرخ تسمه و یا چرخ دنده و یا قطر محوری را محاسبه کنیم (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰

رابطه موجود بین عوامل یاد شده بدین شرح محاسبه می شود:

علایم اختصاری:

$F$ : نیروی محیطی بر حسب نیوتن

$r$ : شعاع چرخ یا محور بر حسب متر

$M$ : گشتاور چرخ یا محور بر حسب نیوتن متر.

$n$ : تعداد دوران چرخ یا محور بر حسب دور در هر دقیقه.

V: سرعت محیطی چرخ یا محور بر حسب متر بر ثانیه.

$$P = F \cdot V$$

رابطه توان بر حسب نیرو و سرعت برابر است با:

اگر در این فرمول به جای سرعت محیطی مقدار آن را قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$V = \frac{2 \cdot r \cdot n}{60}$$

$$P = F \cdot V \quad P = F \cdot \frac{2 \cdot r \cdot n}{60} \quad P = \frac{F \cdot r \cdot n}{1} \cdot \frac{2 \cdot \cdot}{60}$$

$$P = \frac{F \cdot r \cdot n}{1} \cdot \frac{1}{9555}$$

$$P = \frac{F \cdot r \cdot n}{9555} \text{ Nm/s یا W}$$

$$P_{(KW)} = \frac{F \cdot r \cdot n}{9555}$$

توان بر حسب کیلووات برابر است با

اگر در رابطه یادشده به جای F . r مقدار آن، یعنی گشتاور را قرار دهیم خواهیم داشت:

$$P_{(KW)} = \frac{M \cdot n}{9555}$$

$$M = F \cdot r = 9555 \frac{P_{(KW)}}{n}$$

مسئله نمونه: الکتروموتور دستگاهی که توان بازده آن ۵ کیلووات است دارای تعداد دوران

$n = 1440 \text{ } \frac{1}{\text{min}}$  است. حساب کنید: اولاً، گشتاوری را که به وسیله آن می‌توان منتقل کرد؛

ثانیاً، اگر نیروی کشش لازم در تسمه‌ای که به وسیله الکتروموتور می‌گردد  $F = 331/7 \text{ N}$  باشد قطر

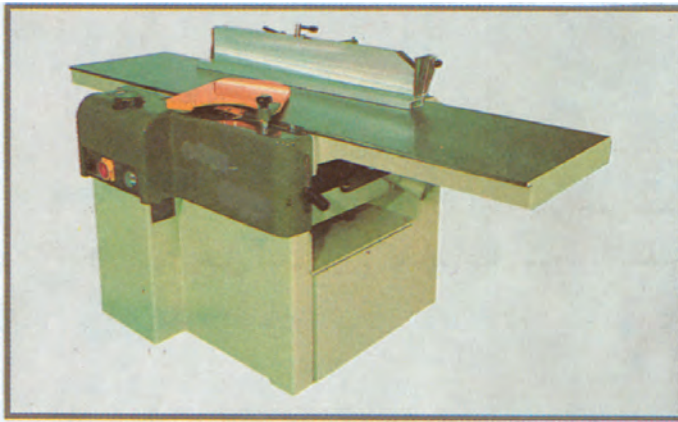
چرخ تسمه آن را حساب کنید.

$$M = \frac{P_{(KW)} \cdot 9555}{n} = \frac{5 \cdot 9555}{1440} = 331/7 \text{ Nm}$$

$$M = F \cdot r \quad r = \frac{M}{F} = \frac{331/7}{331/7} = 0/1 \text{ m}$$

$$d = 2 \cdot r = 2 \cdot 0/1 = 0/2 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

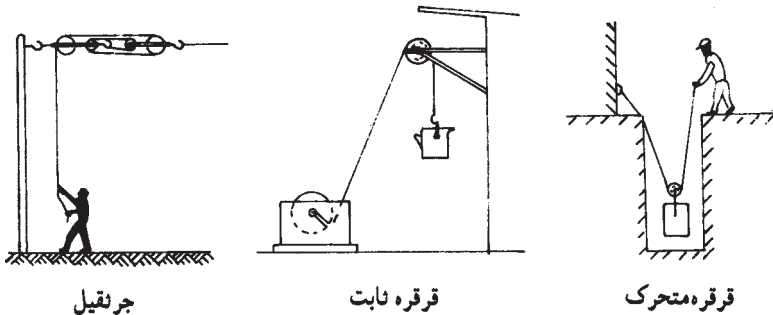
- ۱- یک اره مجموعه‌ای به قطر  $D = 360\text{mm}$  به وسیله الکتروموتوری که توان بازده آن  $2/2$  کیلووات و تعداد دوران آن  $2820$  دور در هر دقیقه است، کار می‌کند، نیروی محیطی اره را حساب کنید.
- ۲- الکتروموتور ماشین کفرندی، مطابق شکل ۱۱-۳ با  $3000$  دور در هر دقیقه، توانی معادل  $P_1 = 3/5\text{kW}$  از شبکه برق می‌گیرد، اگر راندمان الکتروموتور  $\eta = 0/90$  و راندمان ماشین  $\eta = 0/7$  باشد، نیروی محیطی را حساب کنید اگر قطر پولی  $d = 120\text{mm}$  باشد.



شکل ۱۱-۳- ماشین کفرند

### ۵-۳- بالابرهاى ساده (ماشین‌های ساده)

تعریف: ماشین‌های ساده، وسایلی هستند که بدون تغییر در مقدار کار، انجام آن را آسان نموده انسان را قادر می‌سازد با نیروی کم، اجسام سنگین‌تری را جابه‌جا نماید؛ مانند: قرقره‌ها، جرثقیل‌ها و غیره (شکل ۱۲-۳).

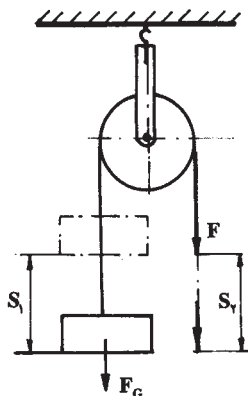


شکل ۱۲-۳- انواع بالابرهاى ساده

۱- ۵- ۳- قرقه‌ها: برای حمل بار از قرقه‌ها به دو روش می‌توان استفاده کرد؛  
 الف) قرقه‌های ثابت: این نوع قرقه‌ها در مقدار نیرو تغییری ایجاد نکرده فقط جهت نیرو را  
 عوض می‌کنند (شکل ۱۳-۳).

$$S_F = S_1$$

$$F = F_G$$



شکل ۱۳-۳

علایم اختصاری:

$S_1$  : مقدار جابه‌جایی بار (جابه‌جایی حمل شونده)

$S_F$  : مقدار جابه‌جایی که باید انجام داد (جابه‌جایی حمل کننده)

$F$  : نیروی حمل کننده (نیروی که باید اعمال شود تا بار جابه‌جا شود)

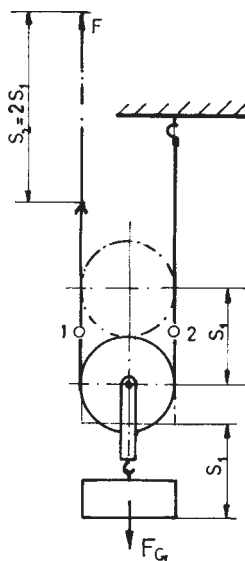
$F_G$  : وزن نیروی بار

ب) قرقه‌های متحرک: این قرقه‌ها همراه بار تغییر مکان پیدا کرده در مقدار نیرو تغییری ایجاد

می‌کنند (شکل ۱۴-۳).

$$S_F = 2S_1$$

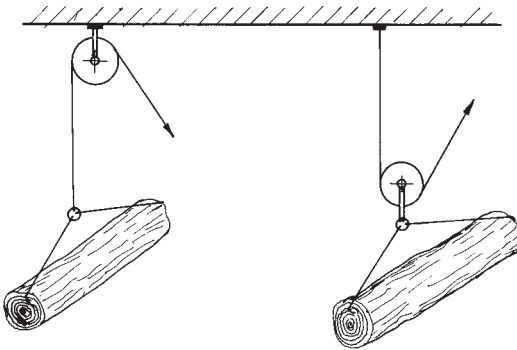
$$F = \frac{F_G}{2}$$



شکل ۱۴-۳

مسأله نمونه: یک الوار به وزن  $F_G = 1200\text{ N}$  را می‌خواهیم به اندازه  $8^\circ$  سانتی‌متر از زمین بلند کرده روی دستگاه اره رام قرار دهیم. نیروی لازم و مقدار تغییر مکان زنجیر را در این دو مورد حساب کنید (شکل ۱۵-۳).

- الف) اگر از قرقره ثابت استفاده شود.  
 ب) اگر از قرقره متحرک استفاده شود.



شکل ۱۵-۳- قرقره ساده و متحرک

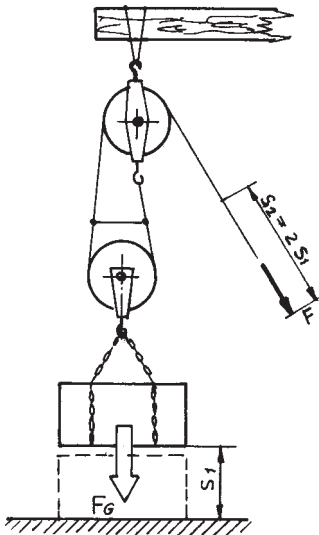
حل:

الف)  $F = F_G = 1200\text{ N}$  و  $S_2 = S_1 = 8\text{ cm}$

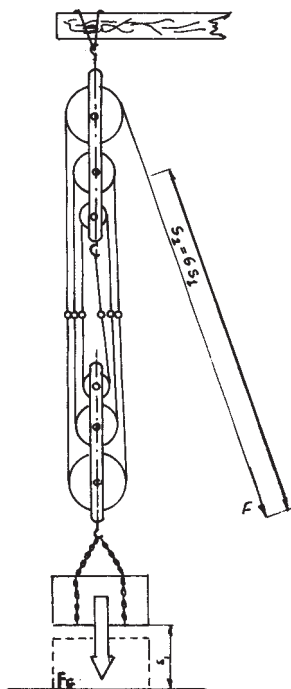
ب)  $F = \frac{F_G}{2} = \frac{1200}{2} = 600\text{ N}$  و  $S_2 = 2S_1$ .  $S_2 = 2 \cdot 8 = 16\text{ cm}$

۲-۵-۳- جرتقیل‌های قرقره‌دار: برای این که بتوان

با نیروی کم بارهای بسیار سنگینی را بلند کرد، از جرتقیل‌های مرکبی - که در ساختمان آن‌ها تعدادی قرقره ثابت و متحرک به کار رفته است - استفاده می‌گردد (شکل ۱۶-۳).



شکل ۱۶-۳



دو حالت کلی برای این نوع جرثقیل‌ها وجود دارد :  
الف) چند قرقره ثابت و متحرک با تعداد مساوی (شکل ۳-۱۷)،

$$S_2 = n S_1$$

$$F = \frac{F_G}{n}$$

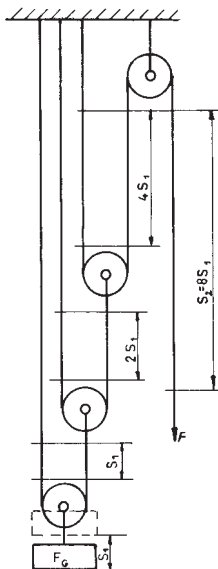
$n =$  تعداد کل قرقره‌ها (ثابت و متحرک)

شکل ۳-۱۷- چند قرقره ثابت و متحرک با تعداد مساوی

ب) چند قرقره متحرک و یک قرقره ثابت (شکل ۳-۱۸).

$$S_2 = 2^{(n-1)} \cdot S_1$$

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



شکل ۳-۱۸- چند قرقره متحرک و یک قرقره ثابت



مثال ۱: برای شکل ۱۷-۳ محاسبه نمایید، اگر یک بار ۳۰۰ کیلوگرمی را بخواهیم ۲ متر بالا ببریم، الف) حداقل چه نیرویی را باید وارد نماییم. ب) چقدر ریسمان را باید بکشیم.

$$\text{الف) } F = \frac{F_G}{n} \quad F = \frac{3000}{6} = 500 \text{ N}$$

$$\text{ب) } S_2 = nS_1 \quad S_2 = 6(2) = 12 \text{ m}$$

مثال ۲: اگر یک بار ۳۰۰ کیلوگرمی را بخواهیم با استفاده از سیستم شکل ۱۸-۳، ۲ متر بالا ببریم الف) حداقل چه نیرویی را باید وارد نماییم؟ ب) چقدر ریسمان را باید بکشیم؟

$$\text{الف) } F = \frac{F_G}{2^{n-1}} \quad F = \frac{3000}{8} = 375 \text{ N}$$

$$\text{ب) } S_2 = 2^{(n-1)} \cdot S_1 \quad S_2 = 8(2) = 16 \text{ m}$$

## تمرین

۱- خرابایی از جنس LVL مطابق شکل ۱۹-۳ به جرم ۵۰۰ kg را باید تا ارتفاع ۸ متری از زمین بلند کنیم. حال، این موارد را حساب کنید:



شکل ۱۹-۳

- الف) مقدار جابه‌جایی و نیروی لازم اگر از یک قرقره متحرک استفاده شود.  
 ب) مقدار جابه‌جایی و نیروی لازم اگر از یک قرقره متحرک و یک قرقره ثابت استفاده شود.  
 ج) کار انجام شده در هر دو مورد یاد شده.  
 ۲- برای بالا بردن باری به جرم یک تن فقط توانایی به کار بردن ۲۵۰ 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.

۳- برای بالا بردن باری به جرم  $1200$  کیلوگرم در ارتفاع  $5$  متری، اگر از چهار جفت قرقره ثابت و متحرک استفاده شود، چه نیروی ( $F$ ) و چه مقدار جابه‌جایی ( $S_2$ ) لازم است؟ و اگر برای هر متر جابه‌جایی ( $S_2$ )  $10$  ثانیه وقت لازم باشد توان مکانیکی دستگاه را به دست آورید.

۴- برای تعمیر الکتروموتور دستگاهی می‌خواهیم آن را از زمین بلند کنیم. اگر از بالا بری که یک قرقره ثابت و سه قرقره متحرک دارد، استفاده نماییم، چه نیروی باید به دستگاه وارد شود؟ (در صورتی که جرم الکتروموتور  $60$  کیلوگرم باشد.)

۵- در تمرین شماره  $2$  اگر لازم باشد مقدار بار،  $3$  متر بلند شود ( $S_1$ ) و برای هر متر جابه‌جایی ( $S_2$ )  $20$  ثانیه وقت لازم باشد، توان مکانیکی باربرها را در هر دو حالت حساب کنید.

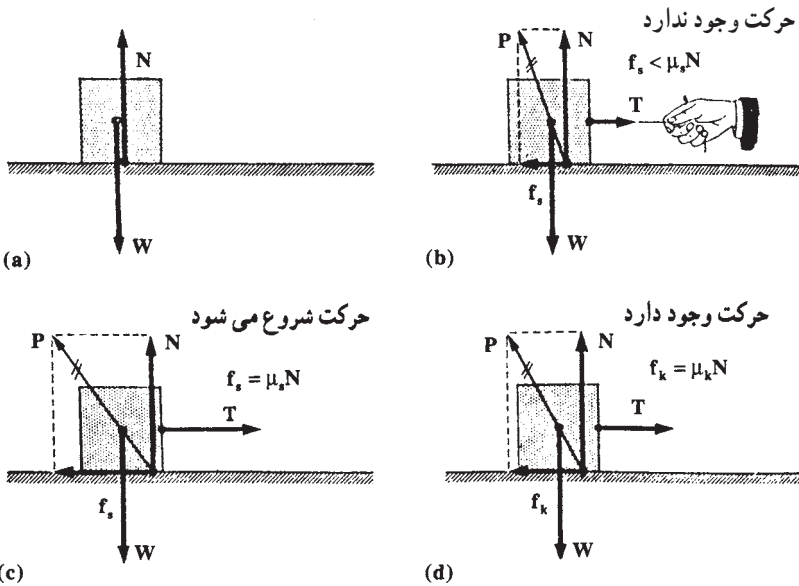
## ۶-۳- اصطکاک

هرگاه جسمی بر روی سطح جسم دیگری بلغزد هر یک از دو سطح بر یکدیگر نیرویی وارد می‌کند که اولاً: این نیرو در امتداد سطح است، ثانیاً: مانع حرکت دو جسم بر روی یکدیگر می‌شود. این نیرو را «نیروی اصطکاک» می‌نامند؛ مثلاً اگر جسمی بر روی میزی 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 اصطکاک 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 نیرویی 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 در نخواهد آمد. هرگاه نیروی وارد بر جسم بیشتر از نیروی اصطکاک باشد جسم به حرکت درمی‌آید و در این حالت نیروی اصطکاک را که با نیروی خارجی وارد بر جسم مقابله می‌کند «نیروی اصطکاک در حال حرکت یا اصطکاک جنبشی» نامند (شکل ۲-۳).

نیروی اصطکاک به این عوامل بستگی دارد :

- ۱- نیروی عمود بر سطح تماس؛
  - ۲- صافی یا زبری سطح تماس؛
  - ۳- جنس دو قطعه در سطح تماس؛
  - ۴- استفاده یا عدم استفاده از موادی که باعث تقلیل اصطکاک می‌شود؛ مثل روغن و مانند آن.
- \* تذکر:

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 اندازه‌ی سطح تماس بستگی ندارد.



شکل ۲۰-۳- اندازه نیروی اصطکاک وقتی حرکت وجود نداشته باشد کوچکتر یا مساوی  $\mu_s \cdot N$  و وقتی حرکت وجود داشته باشد برابر  $\mu_k \cdot N$  است.

۱-۶-۳- انواع اصطکاک جنبشی: اصطکاک لغزشی مانند اصطکاک بین لنت ترمز و کاسه چرخ در اتومبیل - حرکت جسم سطحی روی سطح افق یا سطح شیب‌دار که خود نیز بر دو نوع است اصطکاک در حال سکون و اصطکاک غلتشی مانند اصطکاک چرخ با سطح تماس در وسایط نقلیه، اصطکاک در بلبرینگ‌ها و غیره.  
 الف) اصطکاک لغزشی

رابطه‌های اصطکاک لغزشی :

$$f_s = \cdot s \cdot N$$

$$f_K = \cdot K \cdot N$$

علایم اختصاری:

$f_s$  : نیروی اصطکاک در حال سکون

$\cdot s$  : ضریب اصطکاک در حال سکون

$N$  : نیروی عکس‌العمل سطح بر جسم

$f_K$  : نیروی اصطکاک در حال حرکت

$\cdot K$  : ضریب اصطکاک در حال حرکت

ضرایب اصطکاک  $\cdot s$  و  $\cdot K$  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 اجسام خشک در جدول ۳-۱ نوشته شده که مقادیر مربوط به ضریب اصطکاک جنبشی آن‌ها حدود ۲۵ درصد کوچکتر است.

جدول ۳-۱

ضریب اصطکاک	نام جسم
۰/۱۵-۰/۶۰	فلز روی فلز
۰/۲۰-۰/۶۰	فلز روی چوب
۰/۳۰-۰/۷۰	فلز روی سنگ
۰/۳۰-۰/۶۰	فلز روی چرم
۰/۲۵-۰/۵۰	چوب روی چوب
۰/۲۵-۰/۵۰	چوب روی چرم
۰/۴۰-۰/۷۰	سنگ روی سنگ
۰/۲۰-۱/۰۰	خاک روی خاک
۰/۶۰-۰/۹۰	لاستیک روی سیمان

مثال نمونه «۱»: نیروی لازم برای جابه‌جا کردن دستگاهی را که نیروی وزن آن برابر  $W = ۸۰۰۰\text{N}$  است به دست آورید؛ در صورتی که ضریب اصطکاک در حال سکون  $۰/۵$  در نظر گرفته شود.

$$N = W = 8000 \text{ N}$$

$$f_s = \mu_s \cdot N = 0.5 \cdot 8000 = 4000 \text{ N}$$

مثال نمونه «۲»: قطعه‌ای مطابق شکل ۳-۲۱ 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  $W$ )

$$F = f_s$$

$$f_s = \mu_s \cdot N$$

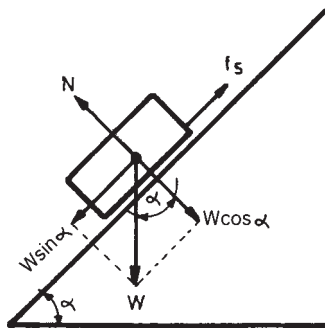
$$N = W \cdot \cos \alpha$$

$$F = W \cdot \sin \alpha$$

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

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

$$\mu_s = \tan \alpha$$



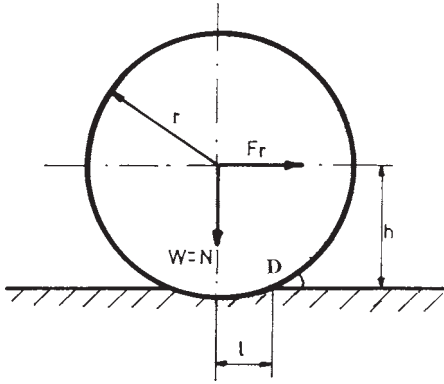
شکل ۳-۲۱

از حل این مسأله نتیجه می‌گیریم که اگر ضریب اصطکاک دو قطعه روی هم، برابر با تانژانت زاویه سطح شیب‌دار باشد جسم در حال تعادل است، اما هنگامی که تانژانت زاویه سطح شیب‌دار کوچکتر از ضریب اصطکاک باشد، جسم در محل خود در حال سکون بوده و اگر تانژانت زاویه سطح شیب‌دار بزرگتر از ضریب اصطکاک باشد جسم با یک شتاب تندشونده به سمت پایین به حرکت درمی‌آید.

بنابراین :

= . tan .	تعادل
.. tan .	سکون
.. tan .	حرکت

ب) اصطکاک غلتشی: وقتی یک چرخ یا یک استوانه روی سطحی بغلتد چون جسم صلب مطلوب وجود ندارد چرخ یا سطح و یا هر دو تغییر شکل می دهند. مقدار این تغییر شکل ها به جنس چرخ و سطح اتکاء بستگی دارد.



شکل ۳-۲۲

چنانچه در شکل (۳-۲۲) مشاهده می شود برای ایجاد حرکت غلتشی یک چرخ روی سطح بایستی چرخ بتواند برجستگی حاصل از تغییر شکل را خنثی نماید. برای محاسبه نیروی محرک لازم برای این کار نقطه D (مرکز دوران) گشتاور گرفته، شرط تعادل را برای آن می نویسیم.

### علایم اختصاری:

$$M_D = 0$$

$$F_r \cdot h \cdot N \cdot l = 0$$

$$F_r \cdot h = N \cdot l$$

$F_r$ : نیروی اصطکاک غلتشی بر حسب نیوتن

$h$ : طول مؤثر گشتاور محرک بر حسب cm

$N$ : نیروی عمود بر سطح بر حسب نیوتن

$l$ : طول مؤثر گشتاور مقاوم بر حسب cm

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

داد :

$$F_r \cdot r = N \cdot l$$

حال اگر از این رابطه مقدار نیروی اصطکاک مورد نظر باشد، می توان آن را بدین صورت به

دست آورد :

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

مقدار طول مؤثر گشتاور مقاوم (l) به جنس چرخ و جنس سطح اتکاء بستگی دارد که مقدار آن

در این جا داده شده است.

$$l = 0.08 \text{ cm}$$

چوب صنوبر روی چوب کاج

$$l = 0.05 \cdot 0.1 \text{ cm}$$

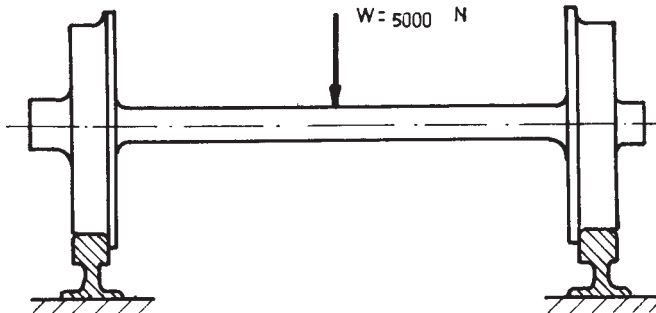
(چدن - فولاد ریختگی - فولاد) روی فولاد

در بلبرینگ‌ها چون قطر آن‌ها استاندارد است، در عمل به جای  $\frac{l}{r}$  که در اصل ضریب اصطکاک غلتشی است معادل آن  $i$  را قرار می‌دهند که مقدار آن با در نظر گرفتن سایر عوامل  $0.001 \cdot 0.003$  در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، رابطه یاد شده در بلبرینگ‌ها به این صورت خواهد بود:

$$F_r = i \cdot N$$

مسئله نمونه «۱»: نیروی لازم را برای به حرکت درآوردن یک واگن کوره چوب خشک کنی، مطابق شکل ۳-۲۳ حساب کنید؛ اگر نیروی وزن آن  $W = 5000 \text{ N}$  و قطر چرخ‌های آن ۱۶ سانتی متر و طول مؤثر گشتاور مقاوم آن  $l = 0.05$  سانتی متر باشد،

$$N = W = 5000 \text{ N}$$



شکل ۳-۲۳

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

$$F_r = \frac{0.05}{8} \cdot 5000 = 3125 \text{ N}$$

مسئله نمونه «۲»: لکوموتیو باری جهت انتقال گرده بینه از جنگل به کارخانه مطابق شکل ۳-۲۴ چه توانی باید داشته باشد تا نیروی وزن  $W = 1 \text{ MN}$  را با سرعتی معادل ۷۲ کیلومتر در ساعت به حرکت درآورد؛ در صورتی که ضریب اصطکاک  $i = 0.005$  و نیروی مقاومت باد  $F_w = 8000 \text{ N}$  به حساب آید.



شکل ۲۴-۳- لکوموتیو حمل گرده بینه

حل:

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

$$F_r = N \cdot \mu = 1000000 \cdot 0.005 = 5000 \cdot N$$

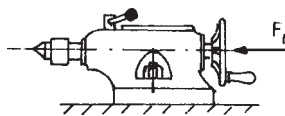
$$F = F_r + F_w = 5000 \cdot 8000 = 13000 \cdot N$$

$$V = \frac{72 \cdot 1000}{3600} = 20 \text{ m/s}$$

$$P = \frac{F \cdot V}{1000} = \frac{13000 \cdot 20}{1000} = 260 \text{ kW}$$

### تمرین

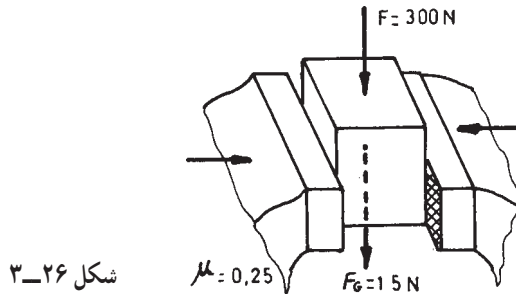
۱- مقدار نیروی لازم را برای به حرکت درآوردن دستگاه مرغک روی میز ماشین خراطی مطابق شکل ۲۵-۳ حساب کنید، اگر نیروی وزن آن  $W = 200 \cdot N$  و ضریب اصطکاک  $\mu = 0.15$  باشد.



شکل ۲۵-۳



۲- قطعه کاری که نیروی وزن آن  $W = 15\text{ N}$  است به وسیله گیره‌ای مطابق شکل ۳-۲۶ محکم شده است. حساب کنید، نیروی وارد از طرف فک‌های گیره به سطح کار را اگر نیروی عمودی وارد بر قطعه کار  $300\text{ N}$  و ضریب اصطکاک سطح  $0.25 = \mu$  باشد.



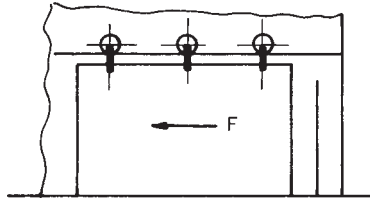
۳- برای رنده کردن الواری روی دستگاه کفرند در صورتی که وزن الوار  $W = 450\text{ N}$ ،  $\mu_s = 0.3$ ،  $\mu_k = 0.22$  باشد، نیروهای لازم داده شده را محاسبه نمایید.  
 الف) مقدار نیروی لازم برای شروع حرکت؛  
 ب) مقدار نیروی لازم در حال حرکت قبل از رنده شدن؛  
 ج) مقدار نیروی لازم در حال رنده شدن؛ در صورتی که تیغه نیرویی افقی معادل  $F = 20\text{ N}$  به الوار وارد نماید.

۴- بعد از تولید تخته خرده چوب، برای مرتب چیده شدن آن‌ها مطابق شکل ۳-۲۷ لازم است که صفحات روی هم کشیده شوند. اگر جرم یک ورق  $m = 6\text{ kg}$  و ضریب اصطکاک  $\mu_s = 0.5$  باشد، نیروی لازم را برای کشیدن و جابه‌جا کردن یک ورق به دست آورید.



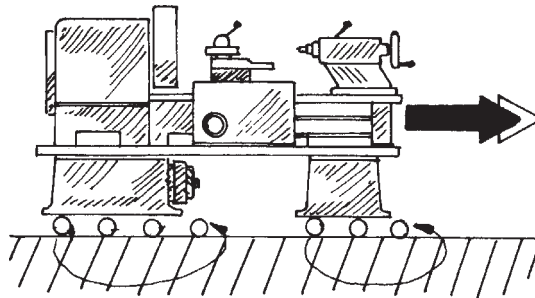
شکل ۳-۲۷- چیدن صفحات تخته خرده چوب

۵- درب انباری به وسیله بلبرینگ مطابق شکل ۳-۲۸ حرکت می‌کند. نیروی لازم باز و بسته شدن آن را حساب کنید اگر نیروی وزن آن  $W = 4000\text{N}$  و ضریب اصطکاک  $\mu = 0.05$  باشد.



شکل ۳-۲۸

۶- برای جابه‌جا کردن دستگاهی مطابق شکل ۳-۲۹ نیروی لازم آن را در دو حالت محاسبه کنید (اگر نیروی وزن آن  $W = 8000\text{N}$  باشد):



شکل ۳-۲۹

الف) اگر بخواهیم آن را روی کف کارگاه به حرکت درآوریم؛ در صورتی که ضریب اصطکاک آن  $\mu = 0.05$  باشد.

ب) اگر برای همین منظور، زیر آن غلتک‌هایی به قطر  $d = 120$  میلی‌متر قرار دهیم؛ در حالی که طول مؤثر گشتاور مقاوم  $I = 0.05$  سانتی‌متر باشد.

۷- در یاتاقان بندی میله ترانس‌میسونی که نیرویی برابر  $F = 2000\text{N}$  بر آن وارد می‌آید، اگر از یاتاقان بندی لغزشی با ضریب اصطکاک  $\mu = 0.1$  و یا از یاتاقان بندی غلتشی با ضریب اصطکاک  $\mu = 0.02$  استفاده کنیم، نیروهای اصطکاک را با هم مقایسه کنید.

۸- صندوق مخصوص حمل قطعات چوبی با جرم ۷۵ کیلوگرم را روی کف افقی کارگاه

بانیریوی معادل  $35^\circ$  نیوتن به وسیله یک طناب که امتداد آن با راستای افقی زاویه  $37^\circ$  می‌سازد با سرعت ثابت کشیده می‌شود. ضریب اصطکاک بین کف کارگاه و صندوق را حساب کنید.

۹- الواری به جرم  $6^\circ$  کیلوگرم را می‌خواهیم به وسیله اره نواری برش بزنیم؛ در صورتی که ضرایب اصطکاک بین الوار و صفحه دستگاه به ترتیب  $s = 0/35$  و  $k = 0/25$  باشد، محاسبه کنید:

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

ب) مقدار نیرویی که باعث خشی نمودن نیروی اصطکاک جنبشی می‌شود؛

ج) اگر در هنگام برش الوار نیرویی عمودی معادل  $10^\circ$  نیوتن و نیرویی افقی معادل  $8^\circ$  نیوتن از طرف اره به الوار وارد شود، برای حرکت الوار روی دستگاه مقدار نیروی لازم را با سرعت ثابت به دست آورید.

۱۰- نیرویی که به یک واگن حمل چوب می‌توان وارد نمود حدود  $70^\circ$  نیوتن است. حساب

کنید حداکثر باری را که به وسیله این واگن می‌توان حمل کرد؛ در صورتی که نیروی وزن خود واگن  $40^\circ$  نیوتن و ضریب اصطکاک غلتشی  $F_i = 0/25$  باشد.

## سوالات آزمون پایان فصل سوم

- ۱- کار مکانیکی را تعریف کنید.
- ۲- 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.
- ۳- یک ژول کار را تعریف کنید.
- ۴- صور مختلف انرژی را نام ببرید.
- ۵- توان مکانیکی را تعریف کنید.
- ۶- منظور از راندمان دستگاه چیست؟
- ۷- نیروی اصطکاک را تعریف نمایید.
- ۸- منظور از نیروی اصطکاک در حال سکون چیست؟
- ۹- نیروی اصطکاک جنبشی را تعریف کنید.
- ۱۰- نیروی اصطکاک به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۱۱- تفاوت اصطکاک لغزشی را با اصطکاک غلشی بنویسید.

## تمرین

- ۱- ظرفیت بالابری ۵۴ کیلوژول است. اگر لازم باشد از این بالابر برای حمل صندوق روکش استفاده شود، در هر دفعه چند صندوق را می‌توان تا ارتفاع ۳ متری بالا برد؛ در صورتی که هر صندوق ۶۰۰ کیلوگرم جرم داشته باشد.
- ۲- نقاله‌ی زنجیره‌ای برای حمل گرده‌بینه تا ارتفاع ۱/۵ متری موجود است. اگر زمان حمل ۳۰ ثانیه و مشخصات گرده‌بینه با قطر ۷۰cm طول ۲/۲m و جرم ویژه ۶۵/۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد، توان موتور این نقاله را برحسب کیلووات و اسب بخار به دست آورید.
- ۳- توان گرفته شده الکتروموتور دستگاهی  $P_1 = 800\text{W}$  و راندمان آن  $\eta = 0.85$  می‌باشد، اگر این توان به وسیله چرخ دنده‌ای با راندمان  $\eta = 0.75$  منتقل شود، این موارد را حساب کنید:  
الف) راندمان کل دستگاه؛  
ب) توان محور متحرک.

۴- دستگاه فرزی با قطر بولی ۱۰۰ میلی متر موجود است، اگر دارای الکتروموتوری با این مشخصات باشد، نیروی محیطی آن را حساب کنید:

- تعداد دور موتور  $6000 \text{ I/min}$

- توانی معادل  $P_1 = 3/5 \text{ kW}$

- راندمان الکتروموتور  $\eta_E = 0/90$

- راندمان ماشینی  $\eta_M = 0/75$