فصل چهارم

نیرو

۱ــ۴ــ نیرو

نیرو عاملی است که باعث می‌شود، یک جسم ازحالت سکون شروع به حرکت کند، یا جسمی که در حال حرکت است متوقف شود، یا باعث می‌شود یک جسم سریع‌تر یا آهسته‌تر حرکت نموده، یا مسیر حرکت جسم تغییرکند. نیرو یا نیروهایی که باعث ایجاد حرکت یا تمایل به حرکت در جسم می‌شوند نیروهای محرک می‌باشند و بالعکس نیرو یا نیروهایی که مانع از حرکت یا تمایل به توقف جسم می‌شوند، نیروهای مقاوم خوانده می‌شوند. برای مثال اگر اتومبیلی روی یک جاده افقی در حال سکون باشد، حتی بدون استفاده از ترمزها نیز در همین وضعیت توقف باقی خواهد ماند. اگر اتومبیل روی جاده افقی در حال حرکت باشد، تنها نیروهای مقاوم در مقابل حرکت، اصطکاک و مقاومت هوا می‌باشد که برای جبران آن‌ها باید نیرویی مساوی و مخالف جهت آن‌ها به‌وسیله‌ی موتور فراهم شود تا اتومبیل بتواند به حرکت یکنواخت خود ادامه دهد. اگر نیروی اعمال شده به‌وسیله‌ی موتور (نیروی محرک) از مجموع نیروهای مقاوم در مقابل حرکت (در این‌جا نیروی اصطکاک + نیروی مقاومت هوا) بیشتر باشد، اتومبیل در جهت نیروی بیشتر به‌طور یکنواخت شتاب می‌گیرد. همین‌طور اگر ترمز به‌کار گرفته شود (نیروی مقاوم دیگر) چون در این حالت نیروی محرک اتومبیل کمتر از نیروهای مقاوم حرکت آن است، بنابراین سرعت اتومبیل تحت برآیند این نیروها که در جهت مخالف حرکت اثر می‌کند، کم می‌شود تا این که کاملاً به حالت توقف درآید.

واحد نیرو در سیستم SI نیوتن (N) بوده و عبارت است از نیرویی که بتواند به جسمی به جرم یک کیلوگرم شتابی برابر $1 m/s^2$ بدهد یا :

$$1N = 1kg \times 1 m/s^2$$

$$1N = 1kg\, m/s^2$$

واحد نیرو در سیستم M.K.S عملی کیلوگرم نیرو (kgf) و در سیستم انگلیسی پوند نیرو (lbf)

می‌باشد برای تبدیل واحدهای فوق به یکدیگر می‌توان از جدول پیوست استفاده کرد.

۲ــ۴ــ تعادل نیروها

هنگامی که چند نیرو بر یک جسم وارد می‌شوند برای تجزیه و تحلیل تأثیر نیروها روی جسم، سه نکته زیر را باید درنظر داشت :

۱ــ مقدار نیروها

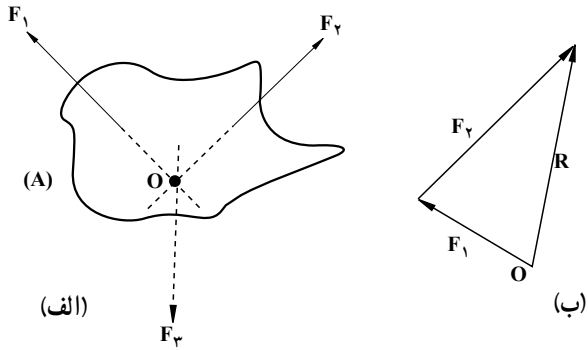
۲ــ نقطه‌ی اثر نیروها

۳ــ امتداد نیروها

با توجه به این که نیروها دارای مقدار، راستا و جهت می‌باشند، لذا کمیت‌های برداری بوده و باید آن‌ها را به‌صورت برداری با یکدیگر جمع نمود.

نکته دیگری که باید در مورد نیروهای وارد بر یک جسم ذکر نمود آن است که دو نیرو وقتی به حال تعادل قرار می‌گیرند که مقدار آن‌ها مساوی و جهت آن‌ها مخالف و هم‌راستا باشند. در شکل ۱ــ۴ــ الف نیروهای F_1 و F_2 دو نیروی وارد بر جسم ساکن A و هم‌صفحه هستند ولی هم راستا نمی‌باشند.

دو نیروی F_1 و F_2 جسم را از حالت سکون (تعادل) خارج می‌نمایند، حرکت جسم هم‌راستا و هم‌جهت با برآیند دو نیروی F_1 و F_2 یعنی R خواهد بود (شکل ۱ــ۴ــ ب). برای این‌که جسم



شکل ۱ــ۴ــ اثر دو نیرو بر جسم A

متوقف شود باید نیروی F_3 که مساوی، هم‌راستا و مخالف جهت نیروی R می‌باشد به جسم وارد شود. در واقع با اعمال نیروی F_3 اثر دو نیروی F_1 و F_2 خنثی شده و برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر شده است. به‌عبارت دیگر جمع‌برداری تمام نیروها صفر می‌شود. بیان ریاضی مطلب فوق به صورت زیر خواهد بود :

شرط تعادل $F = ۰$.

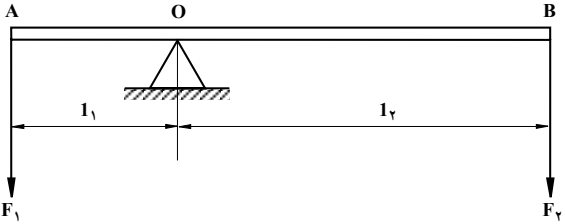
$$\Rightarrow \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ + \vec{F}_۳ = ۰ \quad \text{یا} \quad \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ = -\vec{F}_۳$$

یعنی بردار $F_۳$ مساوی حاصل جمع بردارهای $F_۱$ و $F_۲$ بوده اما در خلاف جهت برآیند آن‌ها اثر گذاشته است، بدین ترتیب جسم A در حال تعادل قرار گرفته است. چنین شرطی (شرط در حالت تعادل قرار داشتن یک جسم) باید در مورد گشتاورهای وارد بر آن نیز صادق باشد یعنی باید :

$M = ۰$.

۳ــ۴ــ گشتاور نیرو

لنگر یا گشتاور نیرو نسبت به یک نقطه انتخابی، مساوی است با حاصل‌ضرب نیرو در فاصله عمودی نقطه تا امتداد نیرو. میله AB را که روی تکیه‌گاه O قرار دارد در نظر بگیرید (شکل ۲ــ۴)، دو نیروی قائم بر راستای میله، و در دو انتهای آن اثر می‌دهیم. می‌خواهیم این میله را حول تکیه‌گاه O بچرخانیم. عواملی که در گشتن میله به دور تکیه‌گاه مؤثر می‌باشند عبارتند از نیروها و فاصله آن‌ها تا تکیه‌گاه O.



شکل ۲ــ۴ــ اثر نیروها بر میله AB که روی تکیه‌گاه O قرار گرفته است.

بدین ترتیب عوامل مؤثر در گشتن یک جسم به دور یک محور را گشتاور نیرو می‌نامند. با این تعاریف می‌توان نوشت :

گشتاور نیروی $F_۱$ حول نقطه O $= F_۱ \times l_۱$

گشتاور نیروی $F_۲$ حول نقطه O $= F_۲ \times l_۲$

به‌طور کلی داریم :

$$M = F \times l \qquad (۴ــ۱)$$

که در آن :

M = گشتاور نیروی F برحسب نیوتن متر (N.m)

F = نیروی وارده بر جسم بر حسب نیوتن (N)

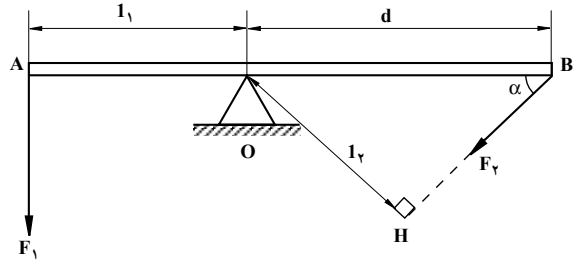
l = فاصله‌ی نیرو تا مرکز دوران برحسب متر (m)

واحد گشتاور در سیستم SI برحسب نیوتن متر (N.m) می‌باشد.

فاصله نیروها تا تکیه‌گاه را بازوی نیرو یا بازوی مؤثر می‌نامند. زمانی که این دو گشتاور باهم برابر باشند جسم در حال تعادل است : معادله تعادل به‌صورت زیر می‌باشد :

$$F_1 \times l_1 = F_2 \times l_2 \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

توجه: اگر یکی از نیروها بر امتداد میله‌ی AB عمود نباشد، در این حالت مقدار گشتاور نیرو عبارت است از اندازه نیرو ضرب در فاصله عمودی نیرو تا تکیه‌گاه (l_2) یعنی خطی که از تکیه‌گاه بر امتداد نیرو عمود شود (شکل ۳ــ۴).



شکل ۳ــ۴ــ نمایش فاصله عمودی نقطه O تا نیروی F_2 (l_2)

$$M_2 = F_2 \times l_2 = F_2 \times d \times \sin\alpha \qquad (۴ــ۲)$$

مثال: در شکل ۳ــ۴ چنانچه $F_1 = ۲۰N$ و $l_1 = ۱m$ و $d = ۱/۵m$ باشد مقدار نیروی متعادل‌کننده F_2 چه میزان باشد تا تیر حرکت نکند و در حالت تعادل بماند ($\alpha = ۳۰$).

حل: با توجه به روابط ۱ــ۴ و ۲ــ۴ به‌صورت زیر می‌توان F_2 را به‌دست آورد :

$$F_1 \times l_1 = F_2 \times l_2 \Rightarrow F_2 = F_1 \times \frac{l_1}{l_2} = F_1 \times \frac{l_1}{d\sin\alpha}$$

$$\Rightarrow F_2 = ۲۰N \times \frac{۱m}{۱/۵\sin ۳۰^\circ\ m} = ۲۶/۶N$$

اگر بخواهیم این مسئله را با توجه به شرط تعادل جسم یعنی $M = ۰$. حل کنیم صورت دیگر نگارش حل مسئله به این ترتیب خواهد بود :

$$M_o = 0 \Rightarrow -(M_1) + (M_2) = 0 \Rightarrow M_1 = M_2$$

$$\Rightarrow F_1 \times l_1 = F_2 \times l_2 \Rightarrow F_2 = \frac{F_1 \times l_1}{l_2} = \frac{20 \times 1}{d \sin\alpha} = 26/6 N$$

باید توجه داشت که علامت گشتاور با جهت چرخش نیرو مشخص می‌شود و دوران در جهت عقربه‌های ساعت با علامت مثبت و خلاف جهت عقربه‌های ساعت با علامت منفی نشان داده می‌شود. به عبارت دیگر M_1 گشتاور حاصل از نیروی F_1 با علامت منفی و M_2 گشتاور حاصل از نیروی F_2 با علامت مثبت می‌باشد.

۴ــ۴ــ گشتاور گردشی یا کوپل دورانی

اگر محوری، چرخی را بگرداند یا چرخی محوری را بچرخاند، بر هر دوی آن‌ها گشتاور گردشی وارد می‌شود و مقدار آن برابر است با نیروی مماسی[1] وارد بر محیط چرخ ضرب‌در فاصله عمودی نیرو از مرکز دوران.

گشتاور گردشی ممکن است به‌وسیله یک چرخ‌دنده، چرخ تسمه یا چرخ زنجیر به‌وجود آید. واحد گشتاور گردشی نیز نیوتن متر (N.m) است.

مثال: اگر گشتاور گردشی مطابق شکل ۴ــ۴ توسط چرخ‌دنده حاصل شده باشد مقدار آن روی محور چرخ‌ها به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

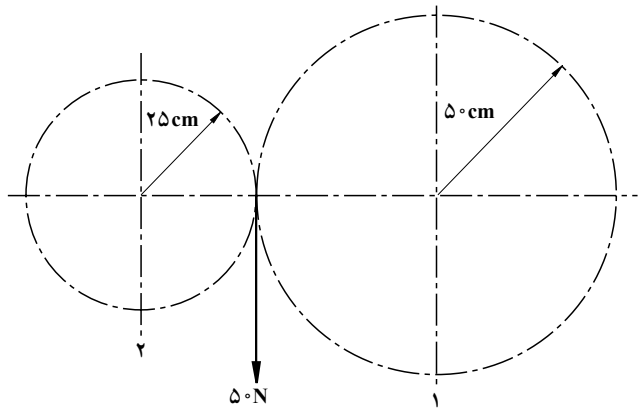
روی محور چرخ بزرگ‌تر (مخالف حرکت عقربه‌های ساعت)

$$M_1 = F \times r_1 = \frac{50 \times 50}{100} = 25 N.m$$

روی محور چرخ کوچک‌تر (موافق حرکت عقربه‌های ساعت)

$$M_2 = F \times r_2 = \frac{50 \times 25}{100} = 12/5 N.m$$

۱ــ منظور از نیروی مماسی، نیرویی است که بر محیط چرخ مماس بوده و امتداد آن تنها در یک نقطه دایره محیط را قطع می‌کند. در چنین حالتی نیرو در نقطه تماس بر شعاع چرخ عمود خواهد بود.



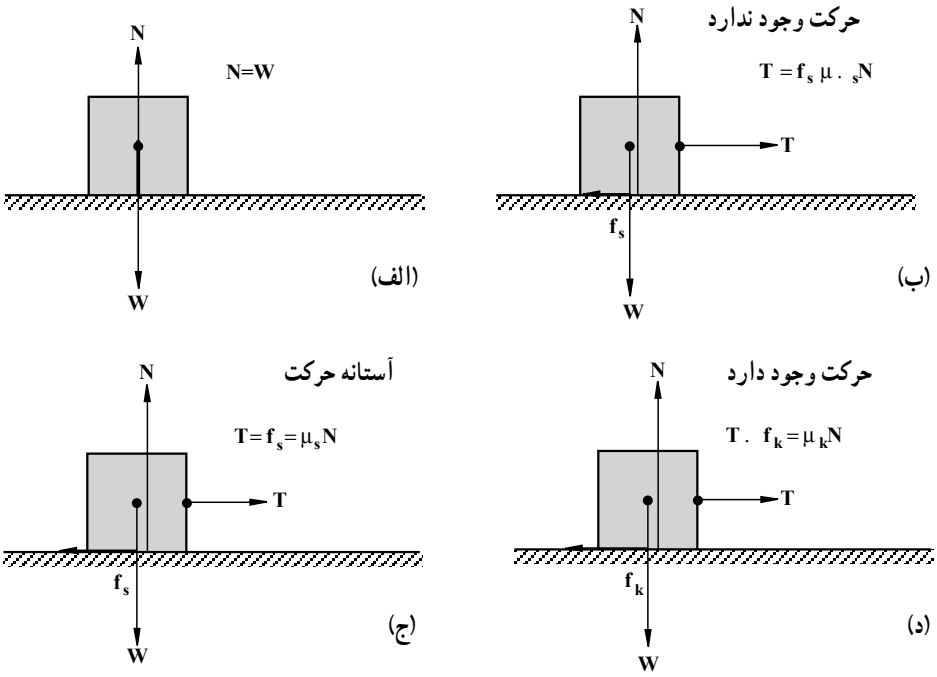
شکل ۴ــ۴ــ گشتاور گردش روی چرخ‌دنده

چنانچه نیروی مماسی بر محیط میله‌ای که یک سر آن به‌جایی گیر است وارد شود در این‌صورت گشتاور حاصل گشتاور پیچشی نامیده می‌شود.

۵ــ۴ــ نیروی اصطکاک

هرگاه جسمی روی سطح جسم دیگری بلغزد، هریک از دو سطح بر یکدیگر نیرویی وارد می‌کند که اولاً این نیرو در امتداد سطح است (شکل ۵ــ۴)، ثانیاً مانع حرکت دو جسم روی یکدیگر می‌شود. این نیرو را «نیروی اصطکاک» می‌نامند.

اگر جسم سنگین را روی زمین با نیروی کمی در امتداد افقی بکشیم، این نیرو برای به حرکت درآوردن جسم کافی نیست و جسم در حال سکون باقی می‌ماند. در این حال حتماً نیرویی مساوی و مخالف نیروی خارجی وارد بر جسم، آن را خنثی کرده است. این نیرو همان «نیروی اصطکاک در حال سکون» است. هرگاه نیروی وارد بر جسم بیشتر از نیروی اصطکاک در حال سکون باشد، جسم به حرکت درمی‌آید و در این حالت نیروی اصطکاکی را که با نیروی خارجی وارد بر جسم مقابله می‌کند «نیروی اصطکاک در حال حرکت» یا «اصطکاک جنبشی» می‌نامند (شکل ۵ــ۴).



شکل ۵ــ۴ــ نمایش اصطکاک در حال سکون و در حال حرکت

نیروی اصطکاک به عوامل زیر بستگی دارد :

۱ــ اندازه نیروی عمود بر سطح تماس

۲ــ صافی یا زبری سطح تماس

۳ــ جنس دو قطعه در سطح تماس

۱ــ۵ــ۴ــ انواع اصطکاک جنبشی: به‌طور کلی، اصطکاک جنبشی را می‌توان به دو دسته اصطکاک لغزشی و غلتشی تقسیم کرد. اصطکاک لغزشی مانند اصطکاک بین لنت ترمز و کاسه چرخ در تراکتور یا حرکت جسم روی سطح افق یا سطح شیب‌دار می‌باشد. این اصطکاک بر دو نوع است : اصطکاک در حال سکون و اصطکاک در حال حرکت. اصطکاک غلتشی مانند اصطکاک چرخ با سطح تماس در وسایل نقلیه یا تراکتور، اصطکاک در بلبرینگ‌ها و امثال آن می‌باشد.

انواع اصطکاک :
- لغزشی :
  - در حال سکون
  - در حال حرکت
- غلتشی

الف ــ اصطکاک لغزشی: در شکل ۵ــ۴ فرض کنید نیروی T به تدریج از صفر افزایش یابد. این نیرو یک نیروی عکس‌العمل اصطکاکی f_s را ایجاد کرده که در ابتدا مساوی و مخالف جهت T بوده، بنابراین هیچ‌گونه حرکتی اتفاق نمی‌افتد. اگر نیروی T زیادتر شود، به هرحال به مقداری خواهد رسید که با حداکثر f_s [1] برابر خواهد بود. این مقدار نیرو را که بیشترین حد f_s است نیروی اصطکاک در حال سکون یا نیروی اصطکاک آستانه حرکت می‌نامند. با افزایش نیروی T جسم در جهت نیروی T شروع به حرکت خواهد کرد. همین که جسم شروع به حرکت کرد به‌طور واضح درخواهیم یافت که نیروی لازم T برای حرکت جسم به‌طور یکنواخت در امتداد صفحه کمی کاهش می‌یابد زیرا اصطکاک در حال حرکت (f_k) معمولاً کمتر از اصطکاک درحال سکون (f_s) می‌باشد.

روابط اصطکاک لغزشی :

$$f_s = \mu_s . N \qquad (۴ــ۳)$$

$$f_k = \mu_k . N \qquad (۴ــ۴)$$

در این روابط داریم :

f_s = نیروی اصطکاک در حال سکون

μ_s = ضریب اصطکاک در حال سکون

f_k = نیروی اصطکاک در حال حرکت

μ_k = ضریب اصطکاک در حال حرکت

N = نیروی عکس‌العمل سطح بر جسم

ضرایب اصطکاک μ_s و μ_k بستگی به اندازه‌های سطوح تماس ندارد بلکه به‌طور محسوسی تابع نوع، جنس و ماهیت مواد، درجه صیقلی بودن سطوح، دما، رطوبت و غیره است. جدول ۱ــ۴ مقادیر تقریبی ضرایب اصطکاک در حال سکون برای سطوح مختلف اجسام خشک را نشان می‌دهد.

۱ــ حداکثر f_s متناسب با ضریب اصطکاک (μ_s) و نیروی عمود بر سطح (N) خواهد بود.

جدول ۱ــ۴

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

مثال: نیروی لازم برای جابه‌جا کردن دستگاهی که نیروی وزن آن $W = ۸۰۰۰N(۸۰۰ \text{ kgf}^{۱})$ است را به‌دست آورید. ضریب اصطکاک در حال سکون ۰/۵ در نظر گرفته شود.

$$N = W = ۸۰۰۰N$$

$$f_s = \mu_s . N = ۰/۵ \times ۸۰۰۰ = ۴۰۰۰N$$

مثال: قطعه‌ای مطابق شکل ۶ــ۴ روی سطح شیب‌دار قرار گرفته است. محاسبه کنید زاویه سطح شیب‌دار را برای لحظه‌ای که جسم بخواهد در اثر نیروی وزن خود به سمت پایین حرکت کند.

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

$$F = f_s$$

$$f_s = \mu_s \times N$$

تجزیه نیرو در سطح شیب‌دار $F = W \times \sin\alpha$ و $N = W \times \cos\alpha$

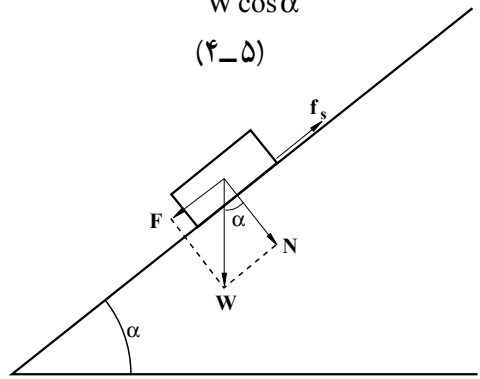
۱ــ $۱ \text{ kgf} = ۹/۸N$

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

$$F = \mu_s \times N$$

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

$$\boxed{\mu = tg\alpha} \qquad (۴_۵)$$



شکل ۶ــ۴ــ حرکت جسم روی سطح شیبدار

از حل این مسئله نتیجه می‌گیریم که اگر ضریب اصطکاک دو قطعه روی هم، برابر با تانژانت زاویه سطح شیب‌دار باشد جسم درحال 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 به سمت پایین به حرکت درمی‌آید. بنابراین می‌توان نوشت :

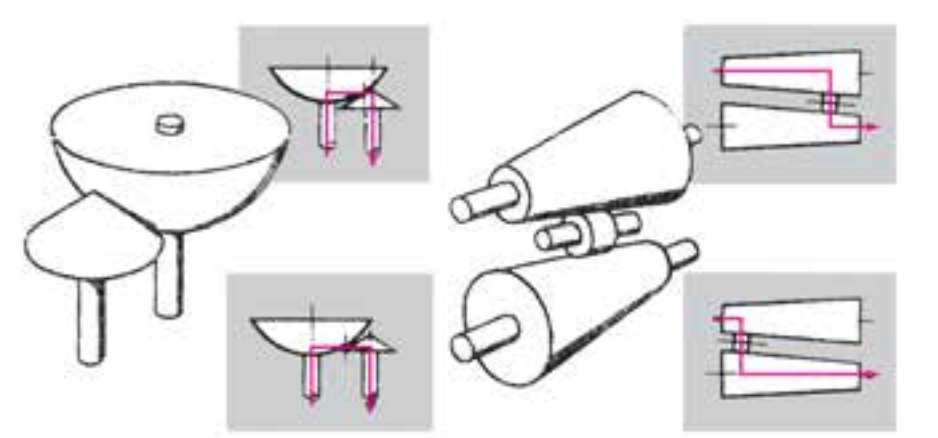
$\mu = tg\alpha$ حالت تعادل

$\mu \,.\, tg\alpha$ حالت سکون

$\mu \,.\, tg\alpha$ وضعیت حرکت

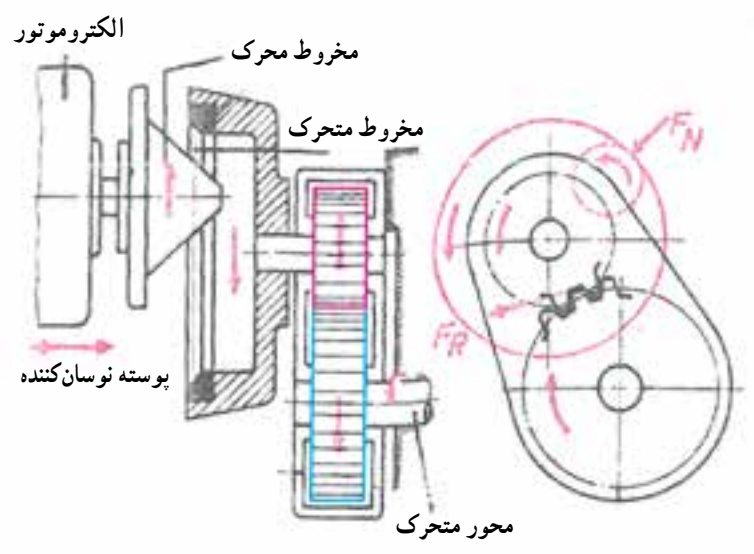
ب ــ اصطکاک غلتشی: از اصطکاک برای انتقال نیرو استفاده می‌شود. بعضی از کاربردهای آن عبارتند از :

۱ــ چرخ‌های اصطکاکی مخروطی: این وسایل ممکن است که از دو مخروط خارجی و یک استوانه منتقل کننده حرکت، یک مخروط و یک نیم‌کره و یا یک مخروط خارجی و یک مخروط داخلی (PK) تشکیل شده باشند.



الف ــ دو مخروط خارجی و استوانه‌ی منتقل‌کننده حرکت ب ــ یک مخروط و یک نیم کره

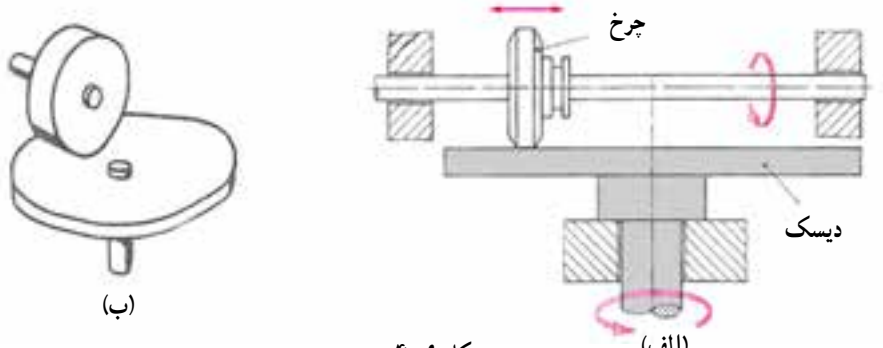
شکل ۷ــ۴



شکل ۸ــ۴

۲ــ چرخ‌های اصطکاکی بشقابی: ساده‌ترین فرم انتقال حرکت غیرپله‌ای به وسیله‌ی چرخ‌های اصطکاکی، استفاده از یک استوانه لغزانی است که با پیشانی یک دیسک در تماس می‌باشد. در این وسایل ممکن است که استوانه محرک بوده و یا متحرک واقع شود. اما به دلیل غیرموازی‌بودن حرکات، استهلاک آن‌ها زیاد و ضریب بهره این نوع دستگاه‌ها کم می‌باشد. در پاره‌ای از این‌گونه

دستگاه‌ها می‌توان با تغییر محل استوانه از یک سمت به سمت دیگر، علاوه بر تغییر سرعت دوران، جهت حرکت را نیز عوض کرد. وقتی یک چرخ یا یک استوانه روی سطحی بغلتد، چون در عمل جسم صلب کامل و مطلوب وجود ندارد، چرخ یا سطح یا هردو تغییر شکل می‌دهند. مقدار این تغییر شکل‌ها به جنس چرخ و نوع سطح اتکا بستگی دارد.



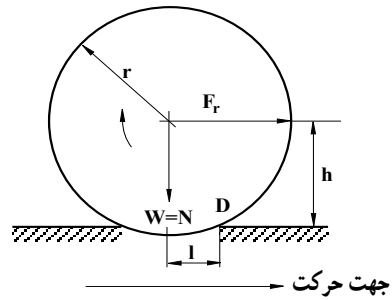
شکل ۹ــ۴

چنانچه در شکل ۱۰ــ۴ مشاهده می‌شود برای ایجاد حرکت غلتشی یک چرخ روی سطح، باید چرخ بتواند برجستگی حاصل از تغییر شکل را خنثی نماید. برای محاسبه نیروی محرک لازم برای این کار نسبت به نقطه D (مرکز دوران) گشتاور گرفته و شرط تعادل را برای آن می‌نویسیم :

$$M_D = 0 .$$

$$F_r \times h - N \times l = 0$$

$$F_r \times h = N \times l$$



شکل ۱۰ــ۴ــ اصطکاک غلتشی مؤثر روی یک چرخ

در این روابط داریم :

F_r = نیروی اصطکاک غلتشی برحسب نیوتن

h = طول مؤثر گشتاور محرک بر حسب سانتی‌متر

N = نیروی عمود بر سطح برحسب نیوتن

l = طول مؤثر گشتاور مقاوم برحسب سانتی‌متر

چون در عمل اختلاف اندازه r و h بسیار ناچیز است می‌توان به‌جای h مقدار r را قرار داد :

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

حال اگر از این رابطه مقدار نیروی اصطکاک غلتشی موردنظر باشد می‌توان آن را به‌صورت زیر به‌دست آورد :

$$F_r = \frac{l}{r} \times N \qquad (۴ــ۶)$$

مقدار طول مؤثر گشتاور مقاوم (l) به جنس چرخ و جنس سطح اتکا بستگی دارد.

نسبت $\frac{l}{r}$ در اصل همان ضریب اصطکاک غلتشی (μ_i) می‌باشد.

مثال: نیروی لازم برای به‌حرکت درآوردن یک تریلر مطابق شکل ۱۱ــ۴ را حساب کنید، اگر نیروی وزن وارد بر محور بارکش $W = ۱۰۰۰۰N$ و قطر چرخ‌های آن ۴۷/۵ سانتی‌متر و طول مؤثر گشتاور مقاوم آن $l = ۴$ سانتی‌متر باشد.

نیروی عمود بر سطح هر چرخ $N = \frac{W}{۲} = ۵۰۰۰N$

نیروی اصطکاک غلتشی هر چرخ $F_r = \frac{l}{r} \times N = \frac{۴}{۴۷/۵} \times ۵۰۰۰ = ۴۲۱/۰۵N$

نیروی اصطکاک غلتشی دو چرخ $F_r \times ۲ = ۴۲۱/۰۵ \times ۲ = ۸۴۱/۱N$

شکل ۱۱ــ۴ــ تریلر متصل به تراکتور دوچرخ (تیلر)

۶ــ۴ــ کار (یادآوری)

اگر جسمی تحت اثر نیرو جابه‌جا شود کار انجام شده است. اگر نیرو به جسم ساکن وارد شود و در آن حرکت ایجاد نکند، کاری صورت نمی‌گیرد. بنابه تعریف، کار برابر است با حاصل‌ضرب نیرو در فاصله جابه‌جایی نیرو.

$$W = F \times d \qquad (۴_۶)$$

در این فرمول داریم :

W = کار برحسب ژول (J)

F = نیرو برحسب نیوتن (N)

d = جابه‌جایی برحسب متر (m)

واحد کار در سیستم بین‌المللی SI، نیوتن متر (N.m) است که ژول (J) نامیده می‌شود. وقتی نیروی یک نیوتنی جسم را در راستای خود یک متر جابه‌جا کند یک ژول کار انجام شده است.

اگر راستای بردار نیرو با راستای بردار جابه‌جایی یکی نباشد (زاویه‌دار باشد) کار از رابطه ۴ــ۷ محاسبه می‌شود.

$$W = F \times d \cos. \qquad (۴_۷)$$

. زاویه بین راستای بردار نیرو و راستای جابه‌جایی

۴ــ۷ ــ انرژی (یادآوری)

انرژی به‌عنوان عامل انجام دهنده کار تعریف می‌شود و واحد آن ژول می‌باشد. انرژی می‌تواند به‌صورت‌های مختلف وجود داشته باشد مانند : انرژی حرارتی، انرژی الکتریکی و انرژی مکانیکی.

انواع انرژی مکانیکی: انرژی مکانیکی بر دو نوع است.

الف ــ انرژی پتانسیل یا نهانی ب ــ انرژی جنبشی

الف ــ انرژی پتانسیل: هر جسمی که در ارتفاعی قرار بگیرد دارای انرژی پتانسیل است پس انرژی پتانسیل به دو عامل، یکی ارتفاع جسم از زمین و دیگری وزن جسم مربوط است. اگر جسمی به جرم m کیلوگرم به‌طور عمودی تا ارتفاع h متر نسبت به سطح زمین بالا برده شود، نیروی لازم برای انجام چنین عملی برابر نیروی جاذبه زمین که بر جسم اثر می‌کند یعنی، وزن آن W = mg نیوتن خواهد بود. کار انجام شده برای بالا بردن جسم با استفاده از رابطه‌ی ۴ــ۶ برابر خواهد بود با :

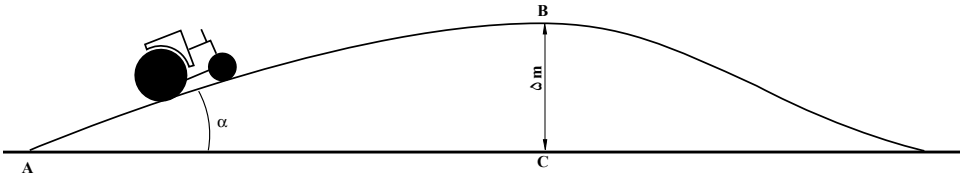
$$W_p = mgh \quad (J) \qquad (۴_۸)$$

این مقدار کار انجام شده به هدر نرفته و در جسم به‌صورت انرژی پتانسیل ذخیره شده است. بدین ترتیب فرمول انرژی پتانسیل به‌صورت زیر درمی‌آید :

$$E_p = W \times h \qquad (۴_۹)$$

که در آن E_p انرژی پتانسیل و W نیروی وزن جسم و h ارتفاع جسم از زمین است.

مثال: تراکتوری به جرم ۲۲۰۰ کیلوگرم مطابق شکل ۱۲ــ۴ روی تپه‌ای حرکت کرده و به نقطه B می‌رسد که ارتفاع آن نقطه از پای تپه (نقطه A) ۵ متر است. انرژی پتانسیل تراکتور را به‌خاطر موقعیتش از پای تپه محاسبه کنید.



شکل۱۲ــ۴

انرژی پتانسیل $E_p = W \times h = mgh$

$= ۲۲۰۰kg \times ۹/۸ m/s^۲ \times ۵ m = ۱۰۷۸۰۰ Nm = ۱۰۷۸۰۰ J = ۱۰۷/۸ kj$

ب ــ انرژی جنبشی: هر جسمی که در حال حرکت باشد یعنی سرعت داشته باشد، دارای انرژی جنبشی است. انرژی جنبشی به دو عامل بستگی دارد : **۱ــ** جرم جسم، **۲ــ** مجذور سرعت جسم. در فرمول انرژی جنبشی، ضریب تناسب عدد $\frac{۱}{۲}$ می‌باشد. بنابراین فرمول انرژی جنبشی به‌صورت زیر درمی‌آید :

$$E_C = \frac{۱}{۲} mv^۲ \qquad (۴ــ۱۰)$$

در این رابطه E_C انرژی جنبشی (J) و m جرم (kg) و v سرعت جسم $(\frac{m}{s})$ می‌باشد.

انرژی جنبشی اجسامی که حرکت دورانی دارند را نیز می‌توان با رابطه ۱۰ــ۴ محاسبه کرد.

مثال: اگر سرعت دورانی یک دروگر بشقابی ۳۰۰۰ دور بر دقیقه باشد و تیغه دروگر به جرم ۱۰۰ گرم بوده و در فاصله ۲۱۰ میلی‌متری از محور بشقاب قرار گرفته باشد (شکل۱۳ــ۴) برای محاسبه انرژی جنبشی این تیغه که یک جسم چرخان است به ترتیب زیر عمل می‌شود :

تیغه $E_C = \frac{۱}{۲} mv^۲$

در این رابطه جرم تیغه مشخص است اما سرعت محیطی تیغه باید تعیین شود. می‌دانیم که :

$$v = r. \quad (m/s) \quad \text{و} \quad = . \ \frac{۲\pi n}{۶۰} \ (rad/s)$$

$$= . \ \frac{۲ \times ۳/۱۴ \times ۳۰۰۰}{۶۰} = ۳۱۴ rad/s$$

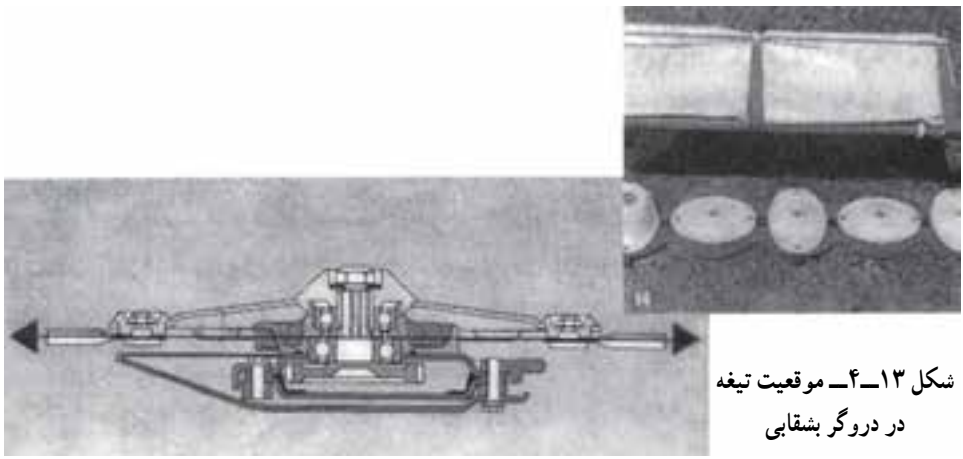
سرعت محیطی تیغه برابر خواهد بود با :

$r = ۲۱۰mm = ۰/۲۱m$

$v = ۰/۲۱ \times ۳۱۴ = ۶۵/۹۴ m/s$

بدین ترتیب انرژی جنبشی تیغه برابر خواهد شد با :

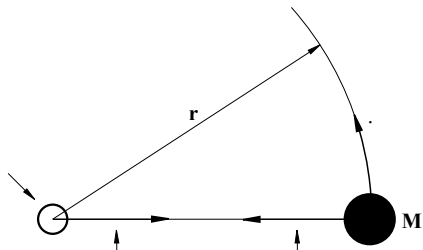
$$E_C = \frac{۱}{۲}mv^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۰/۱ \times (۶۵/۹۴)^۲ = ۲۱۷/۴j$$



شکل ۱۳ــ۴ــ موقعیت تیغه در دروگر بشقابی

۸ــ۴ــ نیروی گریز از مرکز

اگر جسمی را به انتهای ریسمان نازکی وصل کنیم سپس ریسمان و جسم متصل به آن را روی صفحه افقی، بچرخانیم، جسم یک نیروی کششی به طرف خارج از مرکز دوران، روی ریسمان اعمال خواهد کرد. این کشش شعاعی، نیروی گریز از مرکز نام داشته و عکس‌العمل آن، نیروی مایل به مرکز نامیده می‌شود.



نیروی مایل به مرکز به سمت داخل بر جسم اثر می‌کند $mr.^۲$ یا $\frac{mv^۲}{r}$

نیروی گریز از مرکز به سمت بیرون بر محور اثر می‌کند $mr.^۲$ یا $\frac{mv^۲}{r}$

شکل ۱۴ــ۴ــ نمایش نیروهای گریز از مرکز و مایل به مرکز در جسم متصل به ریسمان و در حال گردش حول محور آن

نیروی گریز از مرکز، از مقاومت جسم در مقابل تغییر در جهت حرکت ناشی شده و به‌وسیله نیروی مایل به مرکز نشان داده می‌شود بنابراین داریم :

$$F = \frac{mv^2}{r} = mr.^2 \qquad (۴\text{ــ}۱۱)$$

در شکل ۱۴ــ۴ اگر جسمی به جرم m در شعاع r به محور متصل باشد و محور با سرعت $(\frac{rad}{s})$. بچرخد، آن‌گاه نیرویی به سمت خارج بر یاتاقانی که محور داخل آن می‌چرخد، اثر می‌کند.

مثال: دروگر بشقابی شکل ۱۰ــ۴ را درنظر بگیرید چنانچه تیغه‌ی ۸۰ گرمی این بشقاب در فاصله ۲۱۰ میلی‌متری از مرکز آن با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه بگردد، نیروی گریز از مرکز وارد بر پین نگهدارنده تیغه را حساب کنید.

حل:

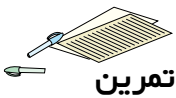
$$m = ۸۰gr = ۰/۰۸kg \quad و \quad r = ۲۱۰mm = ۰/۲۱m$$

$$n = ۳۰۰۰rpm \Rightarrow .= \frac{۲\pi n}{۶۰} = \frac{۲\times ۳/۱۴\times ۳۰۰۰}{۶۰} = ۳۱۴\,rad/s$$

$$\text{نیروی گریز از مرکز } F = mr.^2 = ۰/۰۸\times ۰/۲۱\times ۳۱۴^2 = ۱۶۵۶/۱۴N$$

بنابراین در حین کار مقدار ۱۶۵۶/۱۴ نیوتن نیرو به‌صورت برشی بر پین نگهدارنده تیغه در روی بشقاب وارد می‌شود.

در مثال فوق بررسی کنید با تغییر سرعت حرکت دورانی و جرم جسم نیروی وارد بر پین به چه نسبتی تغییر می‌کند.



تمرین

۱ــ نیروی مقاوم و نیروی محرک را تعریف کنید.

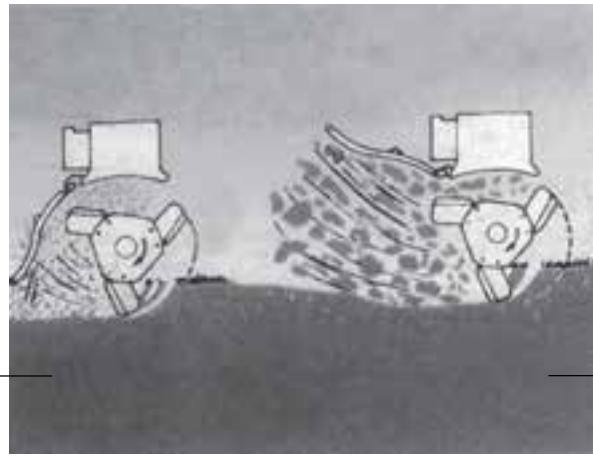
۲ــ مفهوم اصطکاک لغزشی و اصطکاک غلتشی را با رسم شکل بیان کنید.

۳ــ عوامل مؤثر بر نیروی اصطکاک را نام ببرید.

۴ــ یک خاک همزن دوار در عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک را خرد می‌کند محور تیغه‌ها با سرعت n = ۲۰۰ دور بر دقیقه می‌گردد و فاصله نوک تیغه تا مرکز محور دوران ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. مطلوب است :

الف ــ سرعت زاویه‌ای تیغه‌ها

ب ــ سرعت محیطی در نوک تیغه‌ها



شکل ۱۵ــ۴

۵ــ در مسئله ۶ اگر جرم تیغه‌ها ۱۰۰۰ گرم فرض شود و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از مرکز دوران اثر کند انرژی جنبشی هر تیغه را حساب کنید. مسئله را با n = ۳۰۰ و n = ۱۰۰ دور بر دقیقه حل کنید.

۶ ــ در یک آسیاب چکشی که با سرعت n = ۵۰۰ rpm می‌گردد اگر جرم تیغه‌ها ۲۰۰ گرم باشد نیروی گریز از مرکز وارد بر محور نگهدارنده تیغه‌ها (چکش‌ها) را حساب کنید. فاصله مرکز ثقل تیغه تا محور دوران ۲۰ cm است.