فصل هفتم

ماشین‌ها

فصل هفتم

ماشین‌ها

چرا از ماشین استفاده می‌کنیم؟

- ماشین‌ها به ما کمک می‌کنند تا کارها را آسان‌تر انجام دهیم.
- ما برای انجام هر کاری انرژی مصرف می‌کنیم.
- ماشین‌ها مقدار انرژی لازم برای انجام کار را کم‌تر نمی‌کنند، ولی با تغییر اندازه‌ی نیرو و جابه‌جایی، کار را ساده می‌کنند.
- برای مثال به کمک ماشین ما می‌توانیم با نیروی کمی جسمی سنگین را بلند کنیم.
- ماشین‌ها به روش‌های زیر کار ما را آسان‌تر می‌کنند:

۱- انتقال نیرو

۲- افزایش نیرو (یا کاهش نیرو)

۳- افزایش میزان جابه‌جایی[۱] (یا کاهش جابه‌جایی)

۴- تغییر جهت وارد شدن نیرو

۵- افزایش سرعت جسم (یا کاهش سرعت جسم)

یادآوری

کار:

- اگر به جسمی نیرویی وارد شود و جسم به دلیل وارد شدن آن نیرو حرکت کند و جابه‌جا شود، آن نیرو بر آن جسم کار انجام داده است:
- برای انجام کار انرژی مصرف می‌کنیم.
- اندازه‌ی کار طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{کار} = \text{نیرو} \times \text{جابه‌جایی} \quad , \quad \boxed{W = F \times d}$$

- در این رابطه نیرو بر حسب نیوتن (N) و جابه‌جایی بر حسب متر (m) است. در این صورت کار بر حسب ژول (J) به‌دست می‌آید.

یادآوری

توان:

- به مقدار کار انجام شده در واحد زمان، توان گفته می‌شود.
- سرعت انجام کار (سرعت مصرف انرژی) توان نام دارد.
- اگر دو نفر یک کار را انجام دهند و اولی آن کار را در یک ساعت و دیگری در دو ساعت انجام دهد، نفر اول کار را در زمان کم‌تری انجام داده است. در این حالت می‌گوییم نفر اول از نفر دوم توانمندتر است، یعنی توان او بیش‌تر است.
- اندازه‌ی توان را مانند رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آوریم:

$$\text{توان} = \frac{\text{کار انجام شده}}{\text{زمان}} \Rightarrow P = \frac{W}{t}$$

$$\text{توان} = \frac{\text{انرژی مصرف شده}}{\text{زمان}} \Rightarrow P = \frac{E}{t}$$

- در این رابطه، کار (انرژی) بر حسب ژول (J) و زمان بر حسب ثانیه (s) است. به این ترتیب، توان بر حسب وات (W) به‌دست می‌آید.

۱- به افزایش جابه‌جایی، افزایش مسافت اثر نیرو هم می‌گویند.

ماشین‌ها چه کار می‌کنند؟

- ما بر روی هر ماشین کار انجام می‌دهیم و ماشین هم برای ما کار انجام می‌دهد.
- کار ورودی کاری است که ما بر روی ماشین انجام می‌دهیم.
- کار خروجی کاری است که ماشین برای ما انجام می‌دهد.
- برای مثال هنگامی که دوچرخه‌سواری می‌کنیم، ما به پدال نیرو وارد می‌کنیم و آن را می‌چرخانیم. کار ورودی کاری است که ما بر روی پدال انجام می‌دهیم و باعث حرکت می‌شود.

- کار خروجی کاری است که دوچرخه هنگام حرکت انجام می‌دهد.
- طبق قانون پایستگی انرژی، اگر اتلاف انرژی وجود نداشته باشد، کار ما و کار ماشین با هم برابر است. یا می‌توان گفت کار ورودی و کار خروجی با هم برابر هستند. یعنی کار ما از بین نمی‌رود و یا ماشین به طور خودبه‌خود کار اضافه انجام نمی‌دهد:

کار خروجی = کار ورودی

- ممکن است مقداری از کار ورودی ما در اثر اصطکاک تلف شود. در این صورت کار خروجی ماشین کم‌تر از کار ورودی ما خواهد بود و طبق قانون پایستگی انرژی:

کار تلف شده + کار خروجی = کار ورودی

- به این رابطه «اصل کار» گفته می‌شود که شکلی از قانون پایستگی انرژی است.
- می‌بینید که اگر کار تلف شـــده نداشـــته باشیم (صفر باشد)، همان رابطه‌ی قبل به‌دســـت می‌آید، یعنی کار ورودی با کار خروجی برابر می‌شود.

ماشین‌های ساده و پیچیده

- هر ماشین از اجزای مختلفی درست شده است که در کنار هم قرار گرفته‌اند تا کار مشخصی را انجام دهند.
- برخی ماشین‌ها از یک یا دو قسمت تشکیل شده‌اند. به این ماشین‌ها «ساده» گفته می‌شود:

۱- اهرم ۲- چرخ و محور ۳- قرقره ۴- چرخ دنده ۵- سطح شیب‌دار ۶- گوه و پیچ

- ماشین‌های دیگر از تعدادی ماشین ساده در کنار هم قرار گرفته‌اند. به این ماشین‌ها «پیچیده» یا «مرکب» گفته می‌شود. هر چقدر ماشین از تعداد ماشین‌های ساده‌ی بیش‌تری تشکیل شده باشد، پیچیده‌تر است.

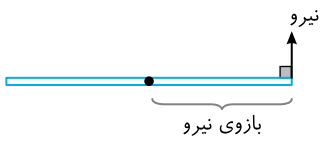
گشتاور نیرو

- گاهی وارد شدن نیرو به جسم می‌تواند باعث چرخش آن شود، مانند هنگامی که فرمان خودرو را می‌چرخانیم.
- اثر چرخانندگی یک نیرو را «گشتاور نیرو» می‌نامند.
- گشتاور نیرو به دو عامل «نیرو» و «بازو» (فاصله‌ی نیرو از تکیه‌گاه جسم) بستگی دارد.
- هر چه نیروی ما بیش‌تر باشد، گشتاور نیرو بیش‌تر است.

برای مثال هنگامی‌که در را به کمک هل دادن باز می‌کنیم، هر چقدر نیروی ما بیش‌تر باشد، در مقدار بیش‌تری دور محورش (همان لولا) می‌چرخد و باز می‌شود.

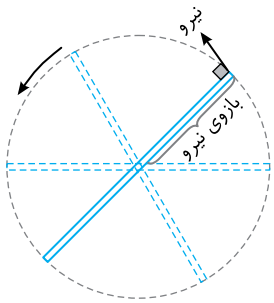
- هر چه بازوی نیرو بلندتر باشد، گشتاور نیرو بیش‌تر است.

برای مثال تکیه‌گاه در لولای آن اســـت که به چارچوب وصل اســـت. هر چقدر فاصله‌ی نیروی ما تا تکیه‌گاه (یعنی بازو) بیش‌تر باشد، در راحت‌تر باز می‌شود.



➢ در شـکل مقابل یک میله از وسط به دیوار لولا شده است و می‌تواند دور آن بچرخد. چنان‌چه نیرویی عمود بر میله به آن وصل شود، می‌تواند آن را بچرخاند.

➢ در این‌جا نیرویی عمودی روبه‌بالا به طرف راسـت میله وارد می‌شود . این کار باعث چرخش میله در خلاف جهت عقربه‌های ساعت (پادساعتگرد) می‌شود.



➢ در این حالت که نیرو عمود بر بازو اسـت، می‌توان اندازه‌ی گشـتاور را طبق رابطه‌ی زیر به‌دست آورد:

بازوی نیرو × نیرو = گشتاور نیرو

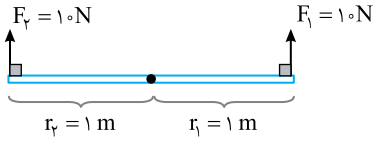
فاصله‌ی نقطه‌ی اثر نیرو تا تکیه‌گاه × نیرو = گشتاور نیرو

➢ فاصله‌ی نقطه‌ی اثر نیرو تا تکیه‌گاه (محور چرخش)، همان بازو اسـت. معمولاً بازو را با L نشان می‌دهند.

➢ در این رابطه نیرو بر حسب نیوتن (N)، فاصله بر حسب متر (m) و به این ترتیب گشتاور نیرو بر حسب نیوتن‌متر (N.m) به‌دست می‌آید.

➢ در بسیاری از ماشین‌ها (مانند اهرم) نیرو می‌خواهد بر جسم اثر چرخشی ایجاد کند. در این حالت می‌توانیم گشتاور نیرو را برای آن حساب کنیم.

➢ گاهی چند نیرو بر جسم وارد می‌شوند و همه‌ی آن‌ها گشتاور ایجاد می‌کنند. اگر جسم در اثر این گشتاورها نچرخد، در این صورت می‌گوییم جسم در تعادل چرخشی است.



➢ برای این که جسم در تعادل چرخشی باشد، باید گشتاورها اثر هم را خنثی کنند. مثلاً اگر یک گشتاور بخواهد جسم را در جهت ساعتگرد بچرخاند و دیگری بخواهد در جهت پادسـاعتگرد بچرخاند و هر دو گشـتاور هم‌اندازه باشـند، در این صورت اثر هم را خنثی می‌کنند و جسم نمی‌چرخد.

➢ در شکل بالا می‌بینید که گشتاور سمت راست و گشتاور سمت چپ با هم برابر هستند:

گشتاور راست $= F_1 \times r_1 = 10\,N \times 1\,m = 10\,Nm$

گشتاور چپ $= F_2 \times r_2 = 10\,N \times 1\,m = 10\,Nm$

اما گشـتاور راسـت می‌خواهد میله را در جهت پادسـاعتگرد بچرخاند و گشـتاور چپ می‌خواهد میله را در جهت ساعتگرد بچرخاند.

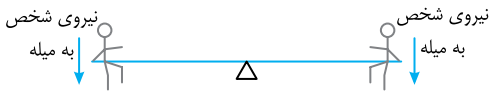
➢ بنابراین این دو گشتاور اثر هم را خنثی می‌کنند و جسم نمی‌چرخد. در این حالت جسم در تعادل چرخشی است.

➢ شبیه آن چه در مورد تعادل نیروها گفته شد، اگر جسم با **اندازه‌ی سرعت ثابت** بچرخد نیز در تعادل چرخشی است. یعنی اندازه‌ی سرعت آن هنگام چرخیدن، تغییر نکند.

اهرم

➢ اهرم وسیله‌ای است که از یک میله و یک تکیه‌گاه تشکیل شده است.

➢ بـه کمک اهـرم با وارد کردن نیرو به یک طرف میله‌ی آن، وزنه‌ای که در جای دیگری از میله قرار گرفته است را جابه‌جا می‌کنیم.



➢ هنگامی که یک نفر نیرویی رو به پایین به میله وارد می‌کند، میله در طرف دیگر به شخص نیرویی رو به بالا وارد می‌کند.

اما نیرویی برابر وزن شخص روبه‌پایین بر میله وارد می‌شود.

➢ هر نیرو یک گشتاور ایجاد می‌کند. مانند آن‌چه در قبل گفته شد، گشتاور نیروی سمت راست و نیروی سمت چپ در خلاف جهت هم خواهد بود (چون نیروها هم‌جهت هستند). به این ترتیب گشتاورها اثر هم را خنثی می‌کنند و الاکلنگ در تعادل چرخشی خواهد بود.

➢ بنابراین می‌توانیم این رابطه را بنویسیم:

اندازه‌ی گشتاور سمت راست = اندازه‌ی گشتاور سمت چپ

➢ در اهرم به نیرویی که به میله وارد می‌کنیم تا آن را بچرخانیم «نیروی محرک» گفته می‌شود. نیروی محرک را با E نشان می‌دهیم.

➢ به نیرویی که از طرف جسم به میله وارد می‌شود «نیروی مقاوم» گفته می‌شود. نیروی مقاوم را با R نشان می‌دهیم.

➢ به فاصله‌ی نیروی محرک تا تکیه‌گاه اهرم (که اهرم حول آن می‌چرخد) «بازوی محرک» گفته می‌شود و آن را با L_E نشان می‌دهیم.

➢ به فاصله‌ی نیروی مقاوم تا تکیه‌گاه اهرم «بازوی مقاوم» گفته می‌شود و آن را با L_R نشان می‌دهیم.

➢ حالا طبق رابطه‌ی تعادل گشتاور در اهرم می‌توانیم بنویسیم:

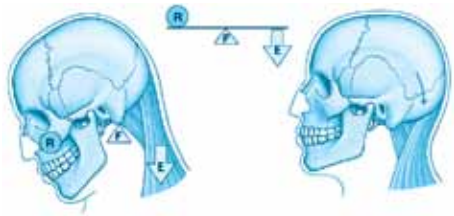
گشتاور نیروی محرک $= E \times L_E$

گشتاور نیروی مقاوم $= R \times L_R$

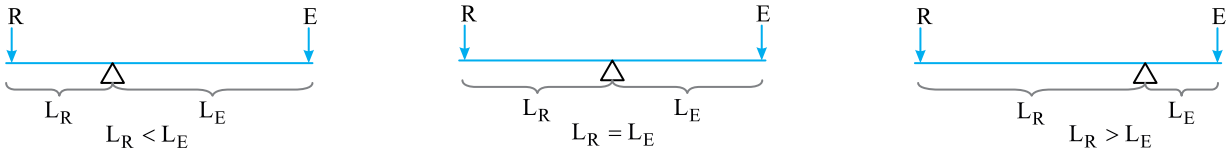
گشتاور محرک = گشتاور مقاوم $\Rightarrow E \times L_E = R \times L_R$

اهرم‌ها را براساس جای قرارگیری تکیه‌گاه و محل وارد شدن نیروها، به سه نوع تقسیم می‌کنند:

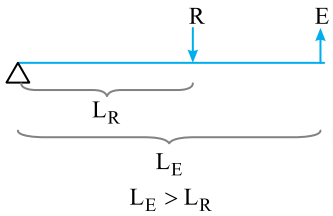
۱- اهرم نوع اول: در این نوع اهرم، تکیه‌گاه بین نیروی محرک و مقاوم قرار دارد.
مانند الاکلنگ، انبردست، دیلم و...

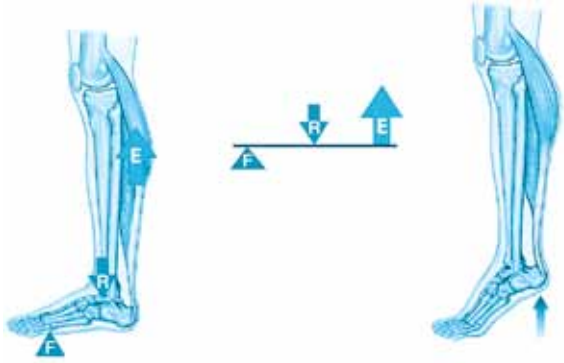


➢ حالت‌های مختلف اهرم نوع اول:

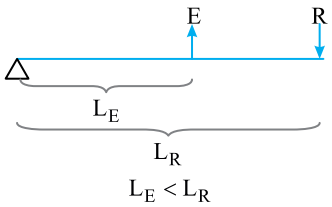


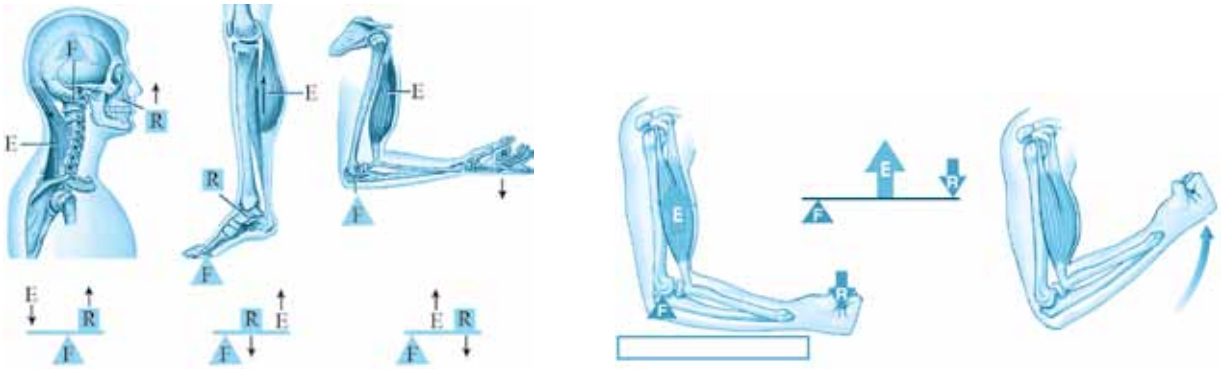
۲- اهرم نوع دوم: در این نوع اهرم، نیروی مقاوم بین تکیه‌گاه و نیروی محرک است.
مانند فرغون، در نوشابه بازکن، فندق‌شکن و...





۳- اهرم نوع سوم: در این نوع اهرم، نیروی محرک بین تکیه‌گاه و نیروی مقاوم است. مانند جاروی رفتگرها، ساعِد دست، انبر یخ‌گیر، راکت تنیس و ...





مزیت مکانیکی

- مزیت مکانیکی معیاری برای ما است تا ماشین‌ها را با هم مقایسه کنیم.
- یکی از کارهایی که ماشین برای ما می‌تواند انجام دهد این است که نیروی ما را افزایش دهد.
- افزایش نیرو یعنی این که می‌توانیم با نیروی کمی، وزنه‌ی سنگینی را بلند کنیم. ماشین نیروی ما را چند برابر می‌کند و با نیروی بیش‌تری به وزنه نیرو وارد می‌کند.

مزیت مکانیکی را بر همین اساس تعریف می‌کنند. مزیت مکانیکی نشان می‌دهد که نیروی ما برای جابه‌جایی جسم مقاوم، چند برابر شده است.

- رابطه‌ی مزیت مکانیکی مانند زیر است:

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک}} \Rightarrow A = \frac{R}{E}$$

- در این رابطه نیروها بر حسب نیوتن است و مزیت مکانیکی یک کمیت بدون واحد است و فقط یک عدد برای مقایسه‌ی ماشین‌ها می‌باشد.

بازده

- بازده معیار دیگری برای سنجش خوبی ماشین‌ها است.
- گاهی در ماشین مقداری از کار (یا انرژی) ورودی هدر می‌رود.
- در این حالت، مقدار کار (یا انرژی) خروجی کم‌تر از کار ورودی است.

کار تلف شده + کار مفید = کارکل یا کار تلف شده + کار خروجی = کار ورودی

- برای این که بدانیم چه نسبتی از کار ما به کار خروجی مفید تبدیل می‌شود، بازده را تعریف می‌کنیم:

$$\text{بازده} = \frac{\text{کار مفید}}{\text{کار کل}} \quad \text{یا} \quad \text{بازده} = \frac{\text{کار خروجی}}{\text{کار ورودی}}$$

- اگر اتلاف نداشته باشیم، کار مفید و کار کل با هم برابر هستند.

➢ رابطه‌های دیگری نیز می‌توان برای بازده نوشت:

$$\text{بازده}=\frac{\text{کار مفید}}{\text{کار کل}} \quad , \quad \text{بازده}=\frac{\text{توان مفید}}{\text{توان کل}} \quad , \quad \text{بازده}=\frac{\text{انرژی مفید}}{\text{انرژی کل}}$$

$$Ra=\frac{W_{\text{مفید}}}{W_{\text{کل}}} \quad , \quad Ra=\frac{P_{\text{مفید}}}{P_{\text{کل}}} \quad , \quad Ra=\frac{E_{\text{مفید}}}{E_{\text{کل}}}$$

➢ بازده را معمولاً به صورت کسری از ۱۰۰ بیان می‌کنند.

مثلاً اگر بگوییم بازده ٪۸۰ است، یعنی اگر کار کل ۱۰۰J باشد، ۸۰J آن به کار مفید تبدیل خواهد شد.

➢ در ماشین‌ها، رابطه‌ی بازده به صورت زیر تعریف می‌شود:

کار کل = کار ورودی = کار محرک

کار مفید = کار خروجی = کار مقاوم

$$\text{بازده}=\frac{\text{کار مقاوم}}{\text{کار محرک}} \Rightarrow Ra=\frac{W_R}{W_E} \Rightarrow \boxed{Ra=\frac{R\times L_R}{E\times L_E}}$$

➢ بازده کمیتی است که واحد ندارد.

➢ در ماشین‌ها، اگر بازده ٪۱۰۰ نباشد، فقط بر روی نیروها اثر می‌گذارد. یعنی در حالتی که بازده ٪۱۰۰ نیست، فقط مقدار نیروها نسبت به حالت ایده‌آل تغییر می‌کند.

➢ بازده بر روی بازوها و جابه‌جایی‌ها اثر ندارد. یعنی هم در حالت بازده ٪۱۰۰ و هم به غیر از آن مقدار جابه‌جایی یکسان است.

بیش‌تر بدانید

مزیت مکانیکی اهرم‌ها

طبق رابطه‌ی تعادل گشتاورها در اهرم، می‌توان رابطه‌ی دیگری برای مزیت مکانیکی به‌دست آورد:

$$R\times L_R=E\times E_L \Rightarrow \frac{R}{E}=\frac{L_E}{L_R}$$

$$A=\frac{R}{E} \Rightarrow A=\frac{L_E}{L_R}$$

➢ رابطه‌ی $A=\frac{R}{E}$ در هر حالتی کاربرد دارد. چه در حالتی که بازده ٪۱۰۰ باشد و چه در حالتی که نباشد.

➢ از آن‌جایی که رابطه‌ی $R\times L_R=E\times L_E$ فقط در حالتی درست است که بازده ٪۱۰۰ باشد، بنابراین رابطه‌ی $A=\frac{L_E}{L_R}$ در حالتی کاربرد دارد که بازده ٪۱۰۰ باشد.

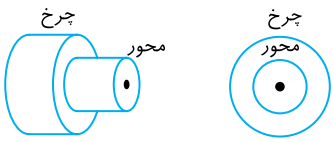
➢ بنابراین به رابطه‌ی $A=\frac{L_E}{L_R}$، مزیت مکانیکی ایده‌آل (آرمانی) و به رابطه‌ی $A=\frac{R}{E}$، مزیت مکانیکی واقعی گفته می‌شود.

بیش‌تر بدانید

رابطه‌ی بازده را می‌توان به شکل زیر نیز نوشت:

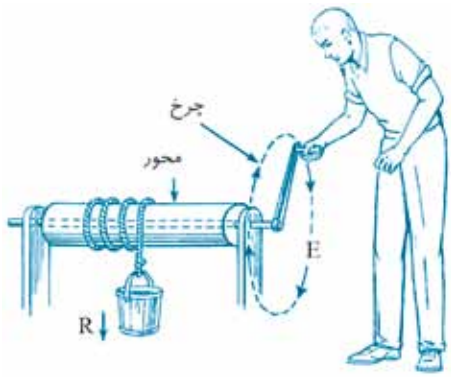
$$Ra=\frac{R\times L_R}{E\times L_E} \Rightarrow Ra=\frac{R}{E}\times\frac{L_R}{L_E} \Rightarrow Ra=\frac{\frac{R}{E}}{\frac{L_R}{L_E}} \Rightarrow \boxed{Ra=\frac{A_{\text{واقعی}}}{A_{\text{ایده‌آل}}}}$$

چرخ و محور

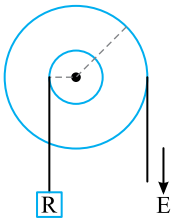


- چرخ و محور ماشـــینی اســـت که از دو استوانه‌ی چســـبیده به هم و هم محور درست شده است. به استوانه‌ی بزرگ‌تر «چرخ» و به استوانه‌ی کوچک‌تر «محور» گفته می‌شود.

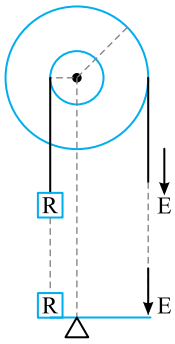
مانند فرمان خودرو، شیر فلکه‌ی آب، چرخ چاه و ...



- در چرخ و محورهای معمولی، نیروی محرک به چرخ و نیروی مقاوم به محور وارد می‌شود.



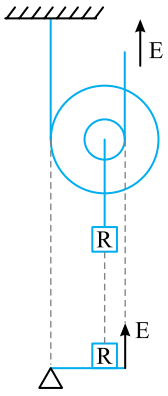
- هر چرخ و محور را می‌توان مانند یک اهرم در نظر گرفت.
- در این شـــکل می‌بینید که بازوی مقاوم، معادل با شـــعاع محور و بازوی محرک، معادل با شعاع چرخ است.
- به این ترتیب با شبیه‌سازی هر چرخ و محور به یک اهرم، مسأله‌های آن را حل می‌کنیم.



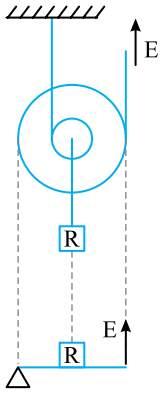
اهرم نوع اول

- چرخ و محور معمولی شبیه به اهرم نوع اول است.
- چرخ و محورهای غیر معمولی هم داریم که شبیه اهرم نوع دوم یا سوم هستند.
- رابطه‌ی مزیت مکانیکی، بازده و تعادل گشتاور در چرخ و محور مانند اهرم است.
- برای **چرخ و محور معمولی** می‌توان مزیت مکانیکی را به صورت زیر نیز نوشت:

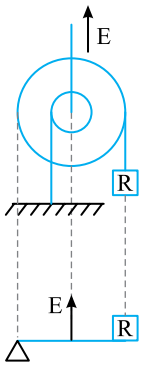
$$A=\frac{L_E}{L_R} \Rightarrow A=\frac{\text{شعاع چرخ}}{\text{شعاع محور}} \Rightarrow A=\frac{\text{محیط چرخ}}{\text{محیط محور}}$$



اهرم نوع دوم



اهرم نوع دوم



اهرم نوع سوم