

مانتین‌ها

فصل ۱۰



چگونه می‌توانیم چیزی را که خیلی سنگین است حمل یا جابه‌جا کنیم؟ به نظر شما ایرانیان دوره باستان، چگونه قبل از اختراع ماشین‌های امروزی، توانسته‌اند قطعات سنگین تخت جمشید را روی هم قرار دهند؟ و یا امروزه چگونه ماهواره‌ها را به فضا پرتاب می‌کنند؟ پاسخ به این سؤالات، قطعاً استفاده از ماشین است. ماشین‌ها به ما اجازه انجام کارهای فراتر از انتظار را می‌دهند. جابه‌جایی میلیون‌ها لیتر نفت توسط یک کشتی، حفر تونل بین دو جزیره در زیر دریا، ساختن آسمان‌خراش‌هایی با ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر، ساخت پل‌های چند کیلومتری، پرتاب ماهواره‌ها و ... تنها بخش کوچکی از کارهایی است که به کمک ماشین‌ها صورت می‌گیرد. قدرت امروزی بشر از اختراعات و ساخت و طراحی هوشمندانه ماشین‌ها، نشأت گرفته است و به همین دلیل قدرت ما از اجدادمان بیشتر توسعه پیدا کرده است.

ماشین‌ها چه کار می‌کنند؟

تصور زندگی بدون ماشین، بسیار سخت است. ماشین‌ها در بیشتر کارهای روزانه ما نقش اساسی دارند و به ما کمک می‌کنند. هر ماشین برای منظور و کار مشخصی طراحی و ساخته شده است. برای درک بهتر این موضوع، خوب است در مورد ورودی و خروجی یک ماشین، فکر کنیم.

ورودی ماشین شامل همه آن چیزهایی است که انجام می‌دهیم تا ماشین کار کند و خروجی آن چیزی است که ماشین برای ما انجام می‌دهد. مثلاً در مورد دوچرخه، نیرویی که به پدال وارد می‌کنیم ورودی ماشین و خروجی آن حرکتی است که دوچرخه انجام می‌دهد (مانند سریع‌تر حرکت کردن یا از یک شیب بالا رفتن). ورودی یا خروجی ماشین‌ها ممکن است براساس نیرو، توان یا انرژی بررسی شوند.



شکل ۱: تصویری از دوچرخه و کار ورودی و خروجی آن. کار انجام شده توسط نیروی پا به انرژی حرکتی تبدیل می‌شود.

فکر کنید

شکل ۲ تصویر تعدادی از ماشین‌هایی که روزانه با آن‌ها سروکار داریم را نشان می‌دهد. در مورد نقش این ماشین‌ها در زندگی و تبدیل انرژی در آن‌ها گفت و گو کنید.

تصاویر: کشتی، هواپیما، قطار، اتوبوس، جاروبرقی، ماشین لباسشویی، ربات‌ها

شکل ۲: تصویر تعدادی از ماشین‌هایی که روزانه با آن‌ها سروکار داریم.

یک ماشین از تعدادی اجزای ساده درست شده است که همان‌طور که خواهیم دید به آن‌ها ماشین ساده گویند.



شکل ۳: تصویری از دوچرخه و اجزای آن که از اهرم، پیچ و مهره، چرخ و محور، چرخ و دنده... تشکیل شده است

این اجزا با هم در ارتباطند و یک هدف را دنبال می‌کنند. مثلاً در ساخت دوچرخه از ماشین‌های ساده‌ای مانند: اهرم، چرخ و محور، پیچ و مهره، چرخ‌دنده و... استفاده می‌شود تا بتواند کار نیروی ماهیچه‌ای ما را تبدیل به انرژی حرکتی (جنبشی) کند. دوچرخه به ما امکان حرکت سریع‌تر و جابه‌جایی بیشتر را می‌دهد.

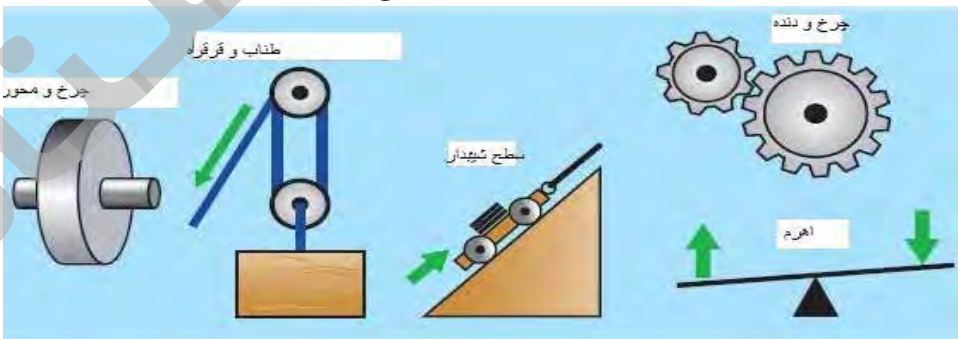
ماشین ساده

تولید و گسترش خودروها، هواپیماها، کشتی‌ها، ماهواره‌ها و سایر ماشین‌های مدرن با اختراع ماشین‌های ساده، صورت گرفته است. یک ماشین ساده مانند اهرم، وسیله‌ای مکانیکی است که کار ساده‌ای انجام می‌دهد. مثلاً با یک اهرم، شما می‌توانید یک جسم سنگین که وزن آن 1° برابر وزن خودتان است را حرکت دهید. شکل ۳ شخصی را نشان می‌دهد که با یک اهرم، جسم سنگینی را بلند می‌کند.



شکل ۴: یک نیروی کوچک ورودی می‌تواند یک نیروی بزرگ خروجی را ایجاد کند

در دوره ابتدایی با تعدادی از ماشین‌های ساده مانند اهرم‌ها، سطح شیب‌دار و قرقره به صورت مقدماتی آشنا شدیم. در این جا به بررسی دقیق‌تر برخی از انواع این ماشین‌ها می‌پردازیم.



شکل ۵: انواع ماشین‌های ساده

قبل از آنکه به بررسی ماشین‌های ساده بپردازیم، مفهوم گشتاور نیرو را که در تحلیل برخی ماشین‌ها به ما کمک می‌کند را بیان می‌کنیم.

گشتاور نیرو

یکی از اثرات نیرو، اثر چرخاندگی آن است. مثلاً شما با هل دادن یا کشیدن در، آن را باز و بسته می‌کنید. با وارد کردن نیرو به دسته آچار، پیچ را شل یا سفت می‌کنید. با وارد کردن نیرو به فرمان دوچرخه، آن را می‌چرخانید و دوچرخه را در جهتی که لازم است، هدایت می‌کنید.

شکل ۶: با وارد کردن نیرو به دسته آچار، پیچ می‌چرخد.



اثر چرخاندگی یک نیرو را گشتاور نیرو گویند. برای شناسایی عوامل موثر بر گشتاور نیرو، آزمایش زیر را انجام دهید.

آزمایش کنید

هدف: بررسی عوامل مؤثر بر گشتاور

نیرو

وسایل و مواد مورد نیاز: حلقه، تعدادی وزنه کوچک، خط‌کش، کفه متصل به قلاب

روش اجرا:

۱. خط‌کش را درون حلقه قرار داده و کفه را آویزان کنید.

۲. انتهای خط‌کش را با دست خود گرفته و به صورت افقی نگه دارید.

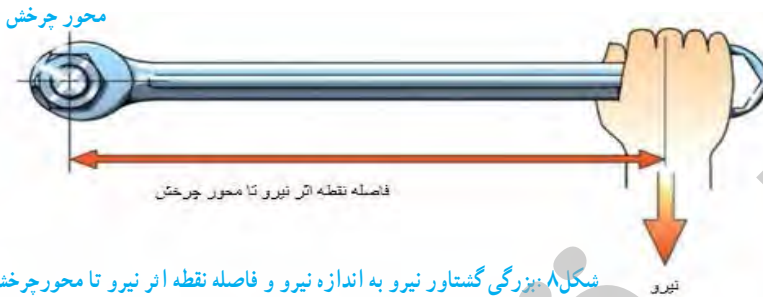
۳. در کفه، وزنه قرار داده و به تدریج وزنه‌ها را زیاد کنید.

۴. اکنون وزنه‌ها را ثابت نگه داشته و فاصله حلقه فلزی تا دست‌تان را کم و زیاد کنید.

از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

شکل ۷: تعیین عوامل مؤثر بر گشتاور نیرو

اثر چرخشی که دست‌تان احساس می‌کند و باید با آن مقابله کند تا خط‌کش را به صورت افقی نگه دارد، ناشی از گشتاور نیرویی است که وزنه‌ها ایجاد کرده‌اند. همان‌طور که از آزمایش متوجه شده‌اید، اندازه نیرو و فاصله نیرو (دست) تا محور چرخش در گشتاور نیرو، مؤثر است.



شکل ۸: بزرگی گشتاور نیرو به اندازه نیرو و فاصله نقطه اثر نیرو تا محور چرخش بستگی دارد

بزرگی گشتاور نیرو برابر با حاصل ضرب اندازه نیرو در فاصله محل اثر نیرو تا نقطه چرخش است.

فاصله نقطه اثر نیرو تا محور چرخش \times اندازه نیرو = اندازه گشتاور نیرو

با توجه به اینکه یکای نیرو نیوتون (N) و یکای فاصله متر (m) است، یکای گشتاور نیرو، نیوتون متر (Nm) است.

خود را بیازمایید

توضیح دهید چرا با آچار بلندتر، مهره محکم‌تر می‌توان آسان‌تر باز کرد؟

اکنون که با گشتاور نیرو آشنا شدیم، می‌توانیم درک بهتری از اساس کار برخی از ماشین‌های ساده به دست آوریم.

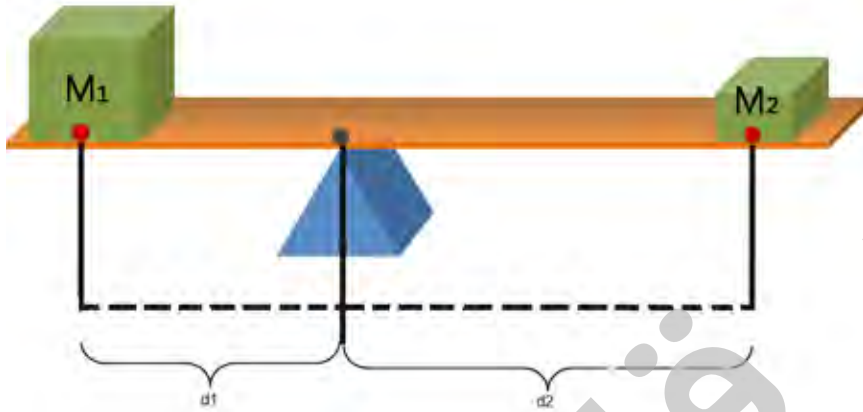
اهرم

اهرم‌ها به شکل‌های مختلفی وجود دارند. ساده‌ترین شکل اهرم، الاکلنگ است که در وسط میله آن، یک تکیه‌گاه قرار دارد. وقتی به یک طرف الاکلنگ نیرویی به سمت پایین وارد می‌شود، آن سمت به طرف پایین و سمت مقابل به طرف بالا حرکت می‌کند. می‌توان فاصله دو جسم از تکیه‌گاه اهرم را چنان تنظیم کرد که اهرم در حالت تعادل قرار گیرد. در این حالت، اثر چرخشی که هر یک از نیروها



شکل ۹: اثر چرخشی وزن پسر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت و دختر خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت است

ایجاد می‌کنند، همدیگر را خنثی می‌کنند. به عبارت دیگر، در حالت تعادل، اندازه گشتاور نیرویی که هر یک از نیروها نسبت به تکیه‌گاه ایجاد می‌کنند، باهم برابر و جهت چرخششان مخالف هم است.



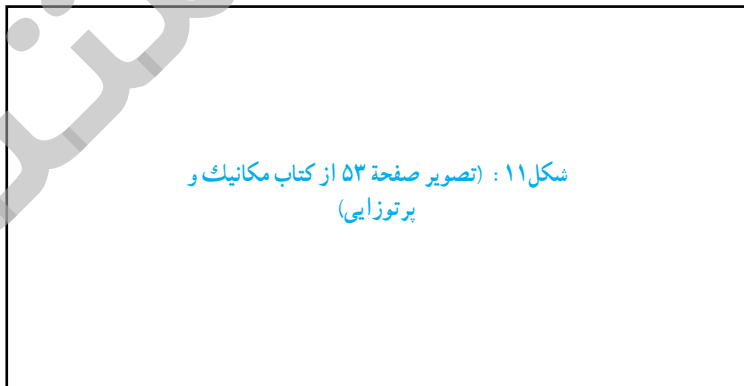
شکل ۱۰: وزنه ۱ می‌خواهد اهرم را پاد ساعتگرد بچرخاند و وزنه ۲ ساعتگرد

در شکل ۱۰، گشتاور نیروی F_1 که از رابطه $F_1 \times d_1$ به دست می‌آید، می‌خواهد اهرم را به صورت پاد ساعتگرد بچرخاند و گشتاور نیروی ناشی از F_2 که از رابطه $F_2 \times d_2$ به دست می‌آید، می‌خواهد اهرم را به صورت ساعتگرد (در جهت حرکت عقربه‌های ساعت) بچرخاند. در حالت تعادل، گشتاور نیروی ساعتگرد با گشتاور نیروی پاد ساعتگرد هم اندازه است:

گشتاور نیروی پاد ساعتگرد = گشتاور نیروی ساعتگرد

$$d_1 \times F_1 = d_2 \times F_2$$

مثلاً در شکل ۱۱ گشتاور نیروی ناشی از وزن پدر با گشتاور نیروی ناشی از وزن بچه، هم اندازه است. اما گشتاور ناشی از وزن پدر به صورت پاد ساعتگرد و گشتاور ناشی از وزن بچه به صورت ساعتگرد است و به همین دلیل آنها در تعادل‌اند.



شکل ۱۱: (تصویر صفحه ۵۳ از کتاب مکانیک و پرتو زایی)

شکل ۱۲: شکل اهرم که در آن بازوی محرك، نیروی محرك، بازوی مقاوم و نیروی مقاوم نشان داده شده است.

مزیت مکانیکی

از اهرم‌ها استفاده‌های زیادی می‌شود. مثلاً برای بلند کردن یا جابه‌جایی یک جسم سنگین توسط یک نیروی نسبتاً کوچک، می‌توان از اهرم استفاده کرد. در شکل (۱۲) نیرویی که ما وارد می‌کنیم تا جسم را بلند کنیم نیروی محرک (F_1) و وزن جسم بزرگ را نیروی مقاوم (F_2)، فاصله نقطه اثر نیروی محرک تا تکیه‌گاه را بازوی محرک (d_1) و فاصله نقطه اثر نیروی مقاوم تا تکیه‌گاه را بازوی مقاوم (d_2) می‌نامیم. دیدیم در حالت تعادل، هر چه بازوی محرک بیشتر باشد، برای جابه‌جایی نیروی مقاوم، به نیروی محرک کمتری نیاز داریم. مثلاً اگر بازوی محرک، ۴ برابر بازوی مقاوم باشد، نیروی محرک لازم برای جابه‌جایی وزنه (نیروی مقاوم) با استفاده از رابطه ... نیروی مقاوم است. به طور کلی، مزیت مکانیکی یک ماشین در حالت تعادل، به صورت نسبت اندازه نیروی مقاوم به اندازه نیروی محرک، تعریف می‌شود:

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{اندازه نیروی مقاوم}}{\text{اندازه نیروی محرک}}$$

مثلاً اگر در یک ماشین، مزیت مکانیکی ۲ باشد، یعنی نیروی مقاوم ۲ برابر نیروی محرک است یا به عبارت دیگر با نیروی محرکی برابر با نیروی مقاوم می‌توان جسم را جابه‌جا کرد.

مثال: در یک اهرم، طول بازوی محرک، ۳ برابر طول بازوی مقاوم است. مزیت مکانیکی این اهرم، چه قدر است؟

پاسخ:

$$\frac{d_1}{d_2} = 3 \Rightarrow d_1 = 3d_2$$

$$d_1 \times F_1 = d_2 \times F_2 \Rightarrow 3d_2 \times F_1 = d_2 \times F_2 \Rightarrow$$

$$3F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = 3 \Rightarrow \text{مزیت مکانیکی} = 3$$

فعالیت

نشان دهید در اهرم‌ها و در شرایط تعادل، مزیت مکانیکی از رابطه زیر نیز به دست می‌آید.

$$\text{مزیت اهرم مکانیکی} = \frac{\text{طول بازوی محرک}}{\text{طول بازوی مقاوم}}$$

اهرم‌ها در خیلی از ماشین‌های معمولی، دیده می‌شوند. اهرم‌ها را می‌توان برحسب محل قرار گرفتن تکیه‌گاه، نیروی محرک و نیروی مقاوم به سه دسته، تقسیم‌بندی کرد:



شکل ۱۳: بر اساس محل قرار گرفتن تکیه‌گاه می‌توان اهرم‌ها را به سه دسته تقسیم‌بندی کرد.

قرقره‌ها: با طناب و قرقره نیز می‌توان ماشین ساده ساخت. با استفاده از چنین ماشینی می‌توان اجسام سنگین را بلند کرد. (شکل ۱۴)



شکل ۱۴: با ترکیب مناسب قرقره‌ها می‌توان با نیرویی نسبتاً کوچک جسم سنگینی را جابه‌جا کرد.

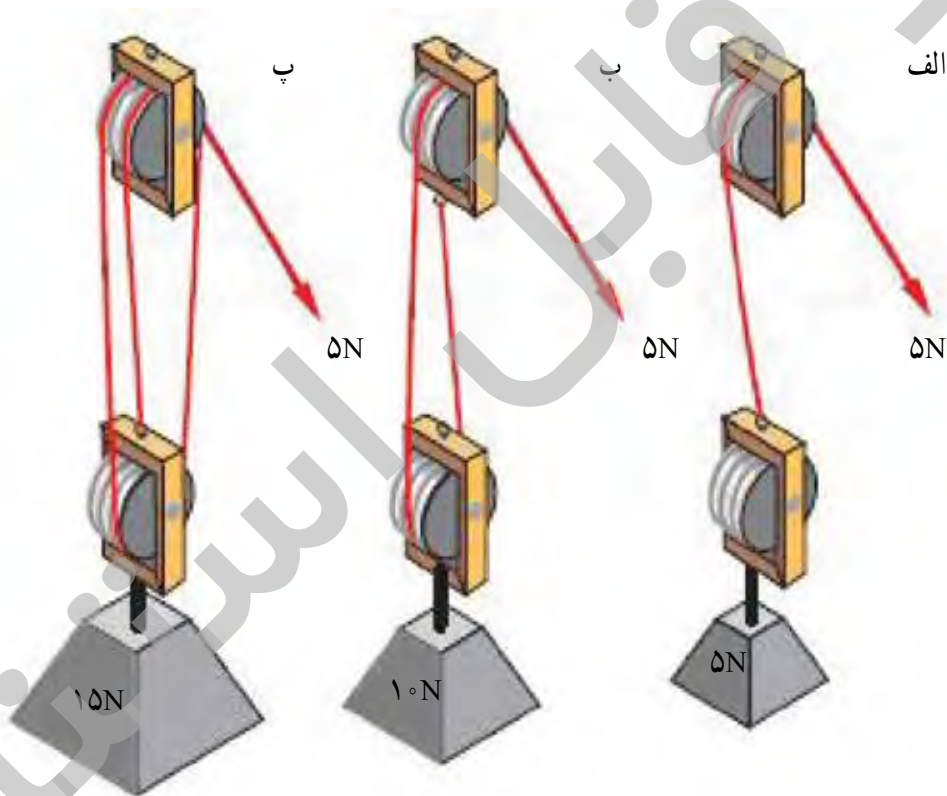
در شکل ۱۵ دو نحوه اصلی استفاده از قرقره را مشاهده می‌کنید.

(شکل از سوم راهنمایی صفحه ۷۰)

شکل ۱۵: شکل قرقره ثابت و قرقره متحرک (شکل از سوم راهنمایی صفحه ۷۰)

وقتی یک طرف طنابی که انتهای آن به دیواری بسته است را با نیروی 5 N می کشیم، در تمام طول طناب، نیروی کشش 5 N برقرار می شود. یعنی نیروی کشش طناب در طول آن، ثابت است. مثلاً در شکل الف، برای بلند کردن سطلی که وزن آن 40 N نیوتون است، کافی است با نیروی محرک 40 N نیوتون طناب را بکشیم. اما در شکل ب برای بلند کردن سطل 40 N باید نیروی محرک 20 N را وارد کنیم.

شکل ۱۶، سه ترکیب متفاوت از به هم بستن طناب و قرقره را نشان می دهد. در شکل الف برای بلند کردن وزنه 5 N نیوتونی (نیروی مقاوم) نیروی محرک 5 N لازم است. در شکل ب با نیروی محرک 5 N می توان وزنه 10 N نیوتونی (نیروی مقاوم) را بلند کرد. در شکل پ با نیروی محرک 5 N می توان وزنه 15 N نیوتونی (نیروی مقاوم) را بلند کرد.



شکل ۱۶: بر اساس ترکیب قرقره ها با یک نیروی محرک ثابت نیروی مقاوم متفاوتی را می توان بلند کرد.

خود را بیازمایید

با توجه به تعریف مزیت مکانیکی، جدول زیر را که در مورد مزیت مکانیکی شکل ۱۶ است، کامل کنید.

شکل (الف)	شکل (ب)	شکل (پ)	
N۵	N۵	N۵	اندازه نیروی محرک
N۵	N۱۵	اندازه نیروی مقاوم
.....	۲	مزیت مکانیکی

در شکل پ دیدیم برای جابه‌جایی یک جسم سنگین N۱۵ از نیروی کوچک‌تر N۵ استفاده کردیم. یعنی توسط ترکیبی از قرقره‌ها و طناب توانستیم به کمک یک نیروی کم، جسم سنگینی را به سمت بالا جابه‌جا کنیم. اما در این فرایند، جابه‌جایی طناب ۳ برابر جابه‌جایی وزنه سنگین است. یعنی با صرف نظر کردن از اصطکاک، اندازه کار نیروی محرک با اندازه کار نیروی مقاوم برابر است. به عبارت دیگر برای بلند کردن وزنه N۱۵ به اندازه m۱ باید طناب با نیروی N۵ به اندازه m۳ کشیده شود (باید هر یک از شاخه‌های طناب m۱ جابه‌جا شود). بنابراین براساس قانون پایستگی انرژی و با صرف نظر کردن از اصطکاک، می‌توانیم بنویسیم:

$$\text{اندازه کار نیروی مقاوم} = \text{اندازه کار نیروی محرک}$$

مثال: در شکل (ب) اگر طناب توسط شخص به اندازه $m/۴$ کشیده شود:

الف) کار نیروی محرک چند ژول می‌شود؟

ب) جابه‌جایی وزنه چقدر خواهد بود؟

پاسخ:

$$\text{اندازه کار نیروی مقاوم} = \text{اندازه کار نیروی محرک}$$

$$\text{جابه‌جایی} \times \text{نیروی مقاوم} = J۲$$

$$\text{جابه‌جایی} \times N۱۰ = J۲$$

$$\text{متر } ۰/۲ = \text{جابه‌جایی}$$

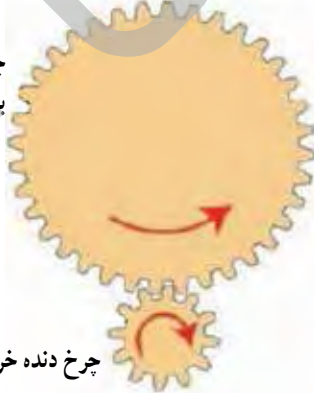
یعنی وزنه (نیروی مقاوم) به اندازه نصف جابه‌جایی نیروی محرک، جابه‌جا شده است.

جمع آوری اطلاعات

در مورد نقش قرقه‌ها در زندگی اطلاعاتی را به همراه تصویر، جمع‌آوری کنید و آن را در کلاس گزارش دهید.

چرخنده‌ها: در اغلب ماشینهایی که می‌چرخند از چرخنده استفاده میشود. ماشینی مانند یک دریل کوچک در سرعتهای بالا به نیروی کمی احتیاج دارد و ماشینهای دیگری مانند چرخهای بزرگ (پره‌دار) پشت کشتیهای بخار، به نیروی زیادی در سرعتهای کم، احتیاج دارد. از چرخ دنده‌ها می‌توان برای تغییر سرعت، تغییر گشتاور و یا تغییر جهت نیروی یک منبع توان استفاده کرد. مثلاً در خودروها چرخنده‌ها با تغییر سرعت چرخشی سبب تغییر سرعت خودرو می‌شوند. چگونگی کارکرد چرخنده‌ها به تعداد دندانه‌های آن، بستگی دارد. مثلاً در چرخنده‌های نشان داده شده در شکل ۱۷، چرخنده بزرگ‌تر دارای ۳۶ دنده و دومی دارای ۱۲ دنده است. این چرخنده‌ها با هم تماس دارند و با فرض آنکه روی هم نمی‌لغزند (سُر نمی‌خورند)، وقتی چرخنده بزرگ به اندازه یک دنده می‌چرخد، چرخنده کوچک نیز یک دنده می‌چرخد. پس وقتی چرخ بزرگ که دارای ۳۶ دنده است یک دور کامل می‌چرخد، چرخ کوچک که دارای ۱۲ دنده است، ۳ دور می‌چرخد (دور = $\frac{36}{12}$). بدیهی است اگر چرخنده کوچک سبب چرخش چرخنده بزرگ شود، به ازای هر سه بار چرخیدن، چرخنده بزرگ یکبار می‌چرخد. این تبدیل در صنعت کاربردهای فراوانی دارد.

چرخ دنده ورودی
با ۳۶ دنده



چرخ دنده خروجی با ۱۲ دنده

شکل ۱۷: به ازای هر بار چرخش چرخ دنده بزرگ چرخ دنده کوچک سه بار می‌چرخد

جمع آوری اطلاعات

در مورد انواع چرخ دنده‌ها و کارکرد آنها اطلاعاتی را به همراه تصویر جمع‌آوری کرده و آن را به کلاس گزارش دهید.

سطح شیبدار : فرض کنید می‌خواهیم اسباب کشی کنیم. می‌دانیم که جابه‌جا کردن وسایل سنگین مانند یخچال و گذاشتن آن‌ها داخل کامیون حمل بار، بسیار سخت است؛ زیرا برای این کار باید نیرویی هم اندازه با وزن یخچال-رو به بالا-به آن وارد کنیم. به نظر شما ساده‌ترین روش برای انجام این کار چیست؟ شکل ۱۸ نشان می‌دهد که چگونه می‌توانیم برای جابه‌جا کردن اجسام سنگین از سطح شیبدار استفاده کنیم. سطح شیبدار یک ماشین ساده است که از قدیم از آن استفاده می‌شده است. سطح شیبدار با افزایش مسافت طی شده و کاهش نیرو به ما کمک میکند. به عبارت دقیق‌تر، سطح شیبدار به ما کمک میکند تا با نیروی کمتر اما در مسافتی



شکل ۱۸: استفاده از سطح شیبدار جابه‌جایی جسم‌های سنگی را آسان می‌کند.

طولانی‌تر، جسم سنگین را به سمت بالا حرکت دهیم. وقتی از سطح شیبدار استفاده می‌کنیم، نیروی ورودی کاهش پیدا میکند؛ اما مسافتی که باید طی شود تا جسم بالا برده شود، افزایش پیدا میکند. به عنوان مثال اگر فردی با ویلچر بخواهد به اندازه ۱ m بالا برود، می‌تواند از یک سطح شیبدار ۱۰ متری استفاده کند. بنابراین در این حالت نیروی لازم برای بالا رفتن $\frac{1}{10}$ برابر میشود. یعنی نیروی محرک لازم $\frac{1}{10}$ نیروی مقاوم که وزن ویلچر سوار است، میشود. با استفاده از تعریف مزیت مکانیکی، مزیت این سطح شیبدار برابر است با:

$$10 = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک}} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{مزیت مکانیکی}}$$

(شکل ماشین‌های حمل خودرو و رمپ آنها و حالتی که ماشین در حال بالا رفتن است+رمپی که یک ویلچران، بالا می‌رود)

شکل ۱۹:

چرا در مناطق کوهستانی، جاده‌ها را به صورت شیب‌دار می‌سازند؟

(تصویر از جاده چالوس)

پیچها: پیچها یک نوع ماشین ساده هستند که حرکت چرخشی را تبدیل به حرکت خطی (مستقیم) میکنند. یعنی وقتی پیچی را با پیچگشتی میچرخانیم، پیچ بهطور مستقیم وارد دیوار یا تخته میشود. پیچ، مانند یک سطح شیب‌دار، عمل میکند که به دور یک میله، پیچیده شده است. در پیچ نیز مسافت طی شده در گردش خیلی بیشتر از مقدار نفوذ پیچ در جسم است. شکل ۲۱ به ما کمک میکند تا عملکرد پیچ را بهتر بشناسیم.

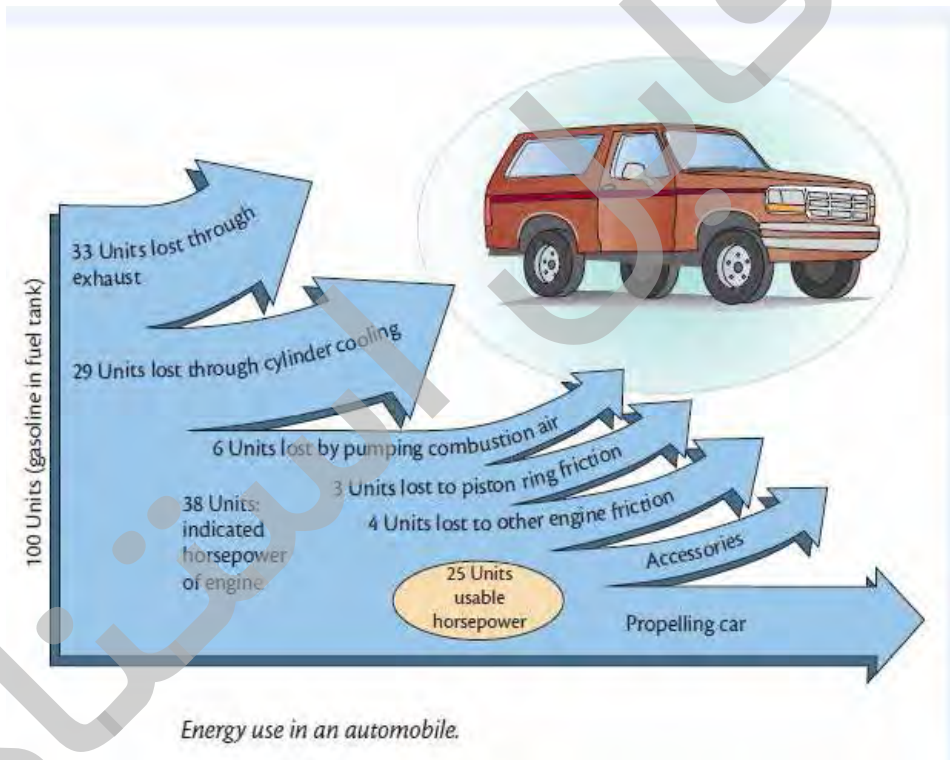


شکل ۲۱: با چرخش یک دور از پیچ، پیچ به اندازه یک گام به صورت مستقیم جلو یا عقب می‌رود.

شکل ۲۰: پیچ را می‌توان سطح شیب‌داری فرض کرد که به دور میله پیچیده شده است.

بازده : هر دستگاهی تنها بخشی از انرژی یا کار ورودی را به کار یا انرژی موردنظر ما تبدیل می‌کند و بخش دیگری از کار یا انرژی، به صورت انرژیهای ناخواسته تبدیل میشود. مثلاً لامپ‌رشتهای،

بخش کمی از انرژی الکتریکی را به نور (حدود ۱۵ درصد) تبدیل میکند و بقیه آن به صورت گرما به محیط داده میشود. معمولاً بازده (راندمان) یک ماشین به صورت درصد، بیان میشود. بازده یک ماشین کامل، ۱۰۰ درصد است. این بدان معناست که کار خروجی مورد نظر ما با کار ورودی ماشین دقیقاً برابر است. یعنی در این ماشین، هیچ انرژیای در اثر اصطکاک یا عوامل دیگر، تلف نمیشود. اما در عمل، همواره قسمتی از کار یا انرژی ورودی در اثر اصطکاک یا عوامل دیگر، به صورت ناخواسته تلف میشود. وقتی میگوییم بازده یک ماشین، ۶۰ درصد است یعنی به ازای هر ۱۰۰ کار ورودی، ۶۰ آن به کار خروجی موردنظر ما تبدیل میشود و ۴۰ آن به شکلهای ناخواسته درمیآید.



شکل ۲۲: در یک خودرو تنها ۲۵ درصد از انرژی ورودی به تبدیل به انرژی مورد نظر ما شده است.