فصل ۹ ماشین‌ها

چگونه می‌توانیم جسمی راکه خیلی سنگین است، حمل یا جابه‌جا کنیم؟ به نظر شما ایرانیان دورهٔ باستان، چگونه توانسته‌اند قطعات سنگین تخت جمشید را روی هم قرار دهند؟ یا امروزه چگونه ماهواره‌ها را به فضا پرتاب می‌کنند؟ پاسخ این سؤالات، قطعاً استفاده از ماشین است. ماشین‌ها به ما اجازهٔ انجام کارهای فراتر از انتظار را می‌دهند. بلندکردن خودرو به وسیلهٔ جک، 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. بشر به کمک اختراع و طراحی هوشمندانهٔ ماشین‌ها توانایی انجام کار خود را بسیار افزایش داده است. انسان‌های اولیه از جابه‌جا کردن تخته سنگ‌های بزرگ یا تنه‌های درخت عاجز بودند در حالی که امروزه با استفاده از ماشین‌ها می‌توانیم سازه‌های عظیم و بسیار سنگین را جابه‌جا کنیم.

ماشین‌ها چگونه به ما کمک می‌کنند؟

تصور زندگی بدون ماشین، بسیار سخت است. ماشین‌ها در بیشتر کارهای روزانهٔ 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 دربارهٔ ورودی و خروجی یک ماشین، فکر کنیم. ورودی ماشین شامل همهٔ آن چیزهایی است که انجام می‌دهیم تا ماشین کار کند وخروجی آن چیزی است که ماشین برای ما انجام می‌دهد. مثلاً برای حرکت دوچرخه، نیرویی که به پدال وارد می‌کنیم، ورودی ماشین وخروجی 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، گشتاور نیرو، توان یا انرژی بررسی شوند.

شکل۱ــ کار انجام شده توسط نیروی پا به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود.

فکر کنید

شکل۲ تصویر تعدادی از ماشین‌هایی را که روزانه با آنها سروکار داریم نشان می‌دهد. در مورد ورودی و خروجی این ماشین‌ها در زندگی و تبدیل انرژی در آنها گفت‌وگو کنید.

شکل۲ــ تعدادی از ماشین‌هایی که روزانه با آنها سروکار داریم.

هر ماشینی می‌تواند از اجزای ساده‌تری به نام ماشین ساده تشکیل شده باشد. این اجزا با هم در ارتباط‌اند 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 پا را تبدیل به انرژی جنبشی کند. دوچرخه به ما امکان حرکت سریع‌تر و جابه‌جایی بیشتری را می‌دهد.

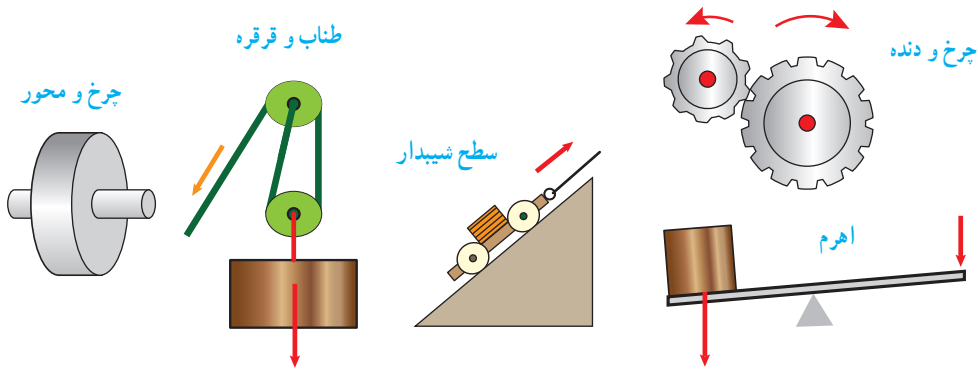
شکل۳ ــ دوچرخه از اجزا یا ماشین‌های ساده‌تری مانند : اهرم، پیچ‌ومهره، چرخ و محور، چرخ و دنده و...تشکیل شده است.

ماشین ساده

تولید خودرو، هواپیما، کشتی، ماهواره و دیگر ماشین‌های پیچیده با اختراع ماشین‌های ساده، صورت گرفته است. یک ماشین ساده مانند اهرم، وسیله‌ای مکانیکی است که به کمک آن می‌توان فعالیت‌های مشکل را به سادگی انجام داد. مثلاً با یک اهرم، شما می‌توانید یک جسم سنگین را که وزن آن چند برابر وزن خودتان است، حرکت دهید (شکل ۴).

شکل۴ ــ مرد با وارد کردن نیروی کوچکی بر دستهٔ اهرم می‌تواند جسم سنگینی را بلند کند.

در دورهٔ ابتدایی با ماشین‌های ساده‌ای مانند اهرم‌ها،سطح شیب‌دار و قرقره به صورت مقدماتی آشنا شدیم. در اینجا به بررسی دقیق‌تر برخی از انواع این ماشین‌ها می‌پردازیم.



شکل۵ ــ برخی از انواع ماشین‌های ساده

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

گشتاور نیرو

در علوم سال‌های پیش اثر نیرو بر یک جسم را بررسی کردیم، یکی دیگر از اثرهای نیرو، اثر چرخانندگی آن است. مثلاً برای باز و بسته کردن در اتاق، به آن نیرو وارد می‌کنید و در حول لولایش می‌چرخد. با وارد کردن نیرو به دستهٔ 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.

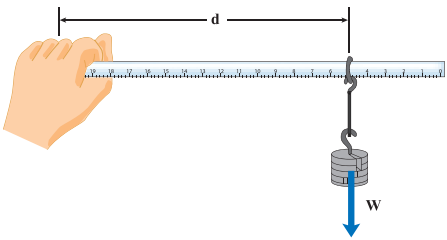
شکل۶ــ با وارد کردن نیرو به دسته آچار، پیچ می‌چرخد.

اثر چرخانندگی یک نیرو را **گشتاور نیرو** می‌گوییم. برای شناسایی عوامل مؤثر بر گشتاور نیرو،آزمایش زیر را انجام دهید.

آزمایش کنید

هدف : بررسی عوامل مؤثر بر گشتاور نیرو

وسایل و مواد لازم : حلقه، تعدادی وزنهٔ کوچک شکاف‌دار، خط‌کش، وزنه‌گیر



روش اجرا :

۱ــ خط‌کش را درون حلقه قرار دهید و وزنه‌گیر را آویزان کنید.

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

۳ــ در وزنه‌گیر، وزنه قرار دهید و به تدریج وزنه‌ها را زیاد کنید.

۴ــ اکنون وزنه‌ها را ثابت نگه دارید و فاصلهٔ حلقهٔ فلزی تا دستتان را کم و زیاد کنید.

از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

تأثیر چرخشی که دستتان احساس می‌کند و باید با آن مقابله کند تا خط‌کش را به صورت افقی نگه دارد، ناشی ازگشتاور نیرویی است که وزنه‌ها ایجاد کرده‌اند. همان طور که از آزمایش پی برده‌اید، اندازهٔ نیرو و فاصلهٔ نیرو تا محور چرخش در گشتاور نیرو، مؤثر است.

شکل ۷ ــ بزرگی گشتاور نیرو به اندازهٔ نیرو و فاصلهٔ نقطه اثر نیرو تا محورچرخش بستگی دارد.

بزرگی گشتاور نیرو برابر با حاصل ضرب اندازهٔ نیرو در فاصلهٔ محل اثر نیرو تا محور چرخش است.

(۱) اندازهٔ نیرو × فاصلهٔ نقطه اثر نیرو تا محور چرخش = اندازهٔ گشتاور نیرو

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

خود را بیازمایید

توضیح دهید چرا با آچار بلندتر، مهرهٔ محکم را می‌توان آسان‌تر باز کرد؟

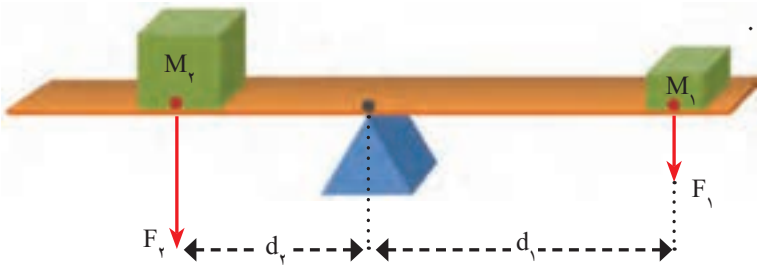
اکنون که با گشتاور نیرو آشنا شدیم، می‌توانیم درک بهتری از اساس کار برخی از ماشین‌های ساده به‌دست آوریم.

اهرم

اهرم‌ها به شکل‌های مختلفی وجود دارند. ساده‌ترین شکل اهرم، الاکلنگ است که در وسط میلهٔ 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.

شکل ۸ ــ در حالت تعادل گشتاور ناشی از وزن پسرها، هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگرانند.

می‌توان فاصلهٔ دو جسم از تکیه‌گاه اهرم را چنان تنظیم کرد که اهرم در حالت تعادل قرار گیرد. در این حالت، اثر چرخشی هر یک از نیروها یکدیگر را خنثی می‌کنند. به عبارت دیگر، در حالت تعادل، اندازهٔ گشتاور نیرویی که هر یک از نیروها نسبت به تکیه‌گاه ایجاد می‌کنند، باهم برابر و جهت چرخششان مخالف یکدیگر است.



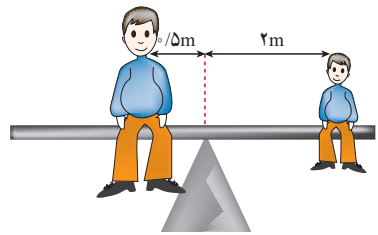
شکل ۹ ــ گشتاور ناشی از وزنهٔ (۱) می‌خواهد اهرم را ساعتگرد بچرخاند وگشتاور ناشی از وزنهٔ (۲) پاد ساعتگرد

در شکل ۹، گشتاور نیروی F_1 که از رابطهٔ $d_1 \times F_1$ به دست می‌آید، می‌خواهد اهرم را به صورت ساعتگرد (در جهت حرکت عقربه‌های ساعت) بچرخاند و گشتاور نیروی ناشی از F_2 که از رابطهٔ $d_2 \times F_2$ به دست می‌آید، می‌خواهد اهرم را به صورت پاد ساعتگرد (در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت) بچرخاند. در حالت تعادل، گشتاور نیروی ساعت‌گرد با گشتاور نیروی پادساعتگرد هم اندازه است :

گشتاور نیروی پاد ساعتگرد=گشتاور نیروی ساعتگرد

$$d_1 \times F_1 = d_2 \times F_2 \qquad (۲)$$

مثلاً در شکل ۱۰ گشتاور نیروی ناشی از وزن پدر با گشتاور نیروی ناشی از وزن پسر، هم‌اندازه است، اما گشتاور ناشی از وزن پدر به صورت پادساعتگرد و گشتاور ناشی از وزن پسر به‌صورت ساعتگرد است و به همین دلیل آنها در تعادل‌اند.

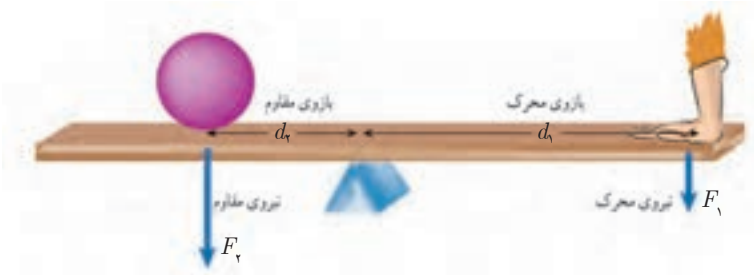


شکل ۱۰ــ اندازهٔ گشتاور پادساعتگرد پدر برابر با اندازهٔ گشتاور ساعتگرد پسر است.

مزیت مکانیکی

دیدیم برای بلندکردن یک جسم سنگین توسط یک نیروی کوچک، می‌توان از اهرم استفاده کرد. در شکل (۱۱) نیرویی که ما وارد می‌کنیم تا جسم را بلند کنیم، نیروی محرک (F_1) و وزن جسم بزرگ را نیروی مقاوم (F_2)، فاصلهٔ نقطه اثر نیروی محرک تا تکیه‌گاه را بازوی محرک (d_1)و فاصلهٔ نقطه اثر نیروی مقاوم تا تکیه‌گاه را بازوی مقاوم (d_2) می‌نامیم. در حالت تعادل، هر چه بازوی محرک بزرگ‌تر باشد، برای جابه‌جا کردن جسم سنگین، به نیروی محرک کمتری نیاز داریم. مثلاً اگر بازوی محرک، ۴ برابر بازوی مقاوم باشد، نیروی محرک لازم برای جابه‌جایی وزنه (نیروی مقاوم)$\frac{۱}{۴}$ نیروی مقاوم است. به طور کلی، مزیت مکانیکی یک ماشین در حالت تعادل، به صورت نسبت اندازهٔ نیروی مقاوم به اندازهٔ نیروی محرک، تعریف می‌شود :

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{اندازهٔ نیروی مقاوم}}{\text{اندازهٔ نیروی محرک}} \qquad (۳)$$



شکل ۱۱ ــ شکل اهرم که در آن بازوی محرک، نیروی محرک، بازوی مقاوم ونیروی مقاوم نشان داده شده است.

مثلاً اگر مزیت مکانیکی یک ماشین ۵ و نیروی مقاوم ۱۰۰۰N باشد می‌توان با نیروی محرک ۲۰۰N نیروی مقاوم ۱۰۰۰N را جابه جا کرد.

مثال : اگر در شکل ۱۱، مزیت مکانیکی اهرم ۲ و اندازهٔ وزنه (نیروی مقاوم) ۱۵۰N باشد، اندازهٔ نیروی محرک چقدر باشد تا دستگاه در حالت تعادل باقی بماند؟

پاسخ :

$F_1 = ?$ نیروی محرک ، ۱۵۰N = نیروی مقاوم ، ۲ = مزیت مکانیکی

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{اندازهٔ نیروی مقاوم}}{\text{اندازهٔ نیروی محرک}} \rightarrow 2 = \frac{150\ \text{N}}{F_1} \rightarrow F_1 = \frac{150\ \text{N}}{2} = 75\text{N}$$

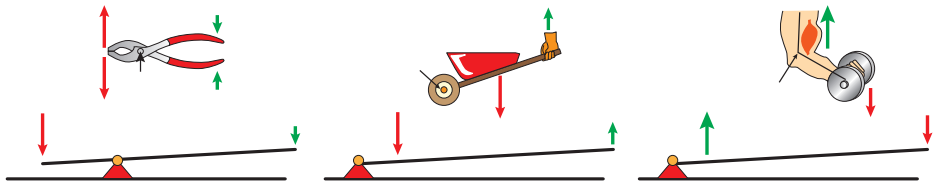
فعالیت

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

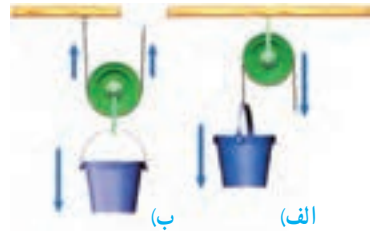
$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{بازوی محرک}}{\text{بازوی مقاوم}}$$

فعالیت

اهرم‌ها در بسیاری از ماشین‌های معمولی، دیده می‌شوند. اهرم‌ها را می‌توان برحسب محل قرار گرفتن تکیه‌گاه، نیروی محرک و نیروی مقاوم بررسی کرد. در هر یک از شکل‌های زیر تکیه‌گاه، محل وارد کردن نیروی محرک و نیروی مقاوم را نشان دهید. از وزن اهرم‌ها صرف‌نظر می‌شود.

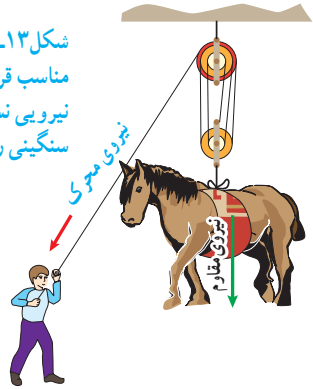


قرقره‌ها : با طناب و قرقره نیز می‌توان ماشین ساده ساخت. با استفاده از چنین ماشینی می‌توان اجسام سنگین را بلند کرد (شکل ۱۳). هر قرقره محوری دارد که حول آن می‌تواند آزادانه بچرخد. در شکل ۱۲، دو روش اصلی استفاده از قرقره را مشاهده می‌کنید.



الف) ب)

شکل ۱۲ــ قرقرهٔ ثابت و قرقرهٔ متحرک

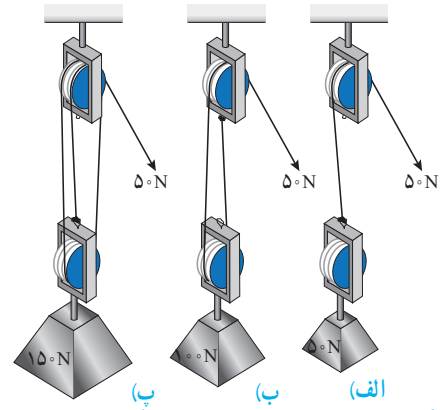


شکل ۱۳ــ با ترکیب مناسب قرقره‌ها می‌توان با نیرویی نسبتاً کوچک جسم سنگینی را جابه‌جا کرد.

فعالیت

به کمک یک قرقرهٔ ثابت، یک قرقرهٔ متحرک، یک وزنهٔ معین و یک نیروسنج دربارهٔ مزیت مکانیکی قرقره‌های ثابت و متحرک شکل ۱۲ تحقیق کنید.

وقتی یک طرفِ طناب سبکی را که انتهای آن به دیواری بسته شده‌است، با نیروی ۵N می‌کشیم، در تمام طول طناب، نیروی کشش ۵N برقرار می‌شود. یعنی نیروی کشش طناب در طول آن، ثابت است. مثلاً در شکل الف، برای بلند کردن سطلی به وزن ۴۰ نیوتون، کافی است با نیروی محرک ۴۰ نیوتون طناب را بکشیم، اما در شکل ب برای بلند کردن سطل ۴۰نیوتونی باید نیروی محرک ۲۰N را وارد کنیم. شکل۱۴، سه ترکیب متفاوت از به هم بستن طناب و قرقره را نشان می‌دهد. در شکل الف برای بلندکردن وزنهٔ ۵۰ نیوتونی (نیروی مقاوم) نیروی محرک ۵۰N لازم است. در شکل ب با نیروی محرک ۵۰N می‌توان وزنهٔ ۱۰۰ نیوتونی (نیروی مقاوم) را بلند کرد. در شکل پ با نیروی محرک ۵۰N می‌توان وزنهٔ ۱۵۰ نیوتونی (نیروی مقاوم) را بلند کرد.



شکل ۱۴ ــ بر اساس ترکیب قرقره‌ها با یک نیروی محرک ثابت نیروی مقاوم متفاوتی را می‌توان بلند کرد.

خود را بیازمایید

با توجه به تعریف مزیت مکانیکی، جدول زیر را دربارهٔ مزیت مکانیکی ماشین‌های شکل ۱۴، کامل کنید.

	شکل (الف)	شکل (ب)	شکل(پ)
اندازهٔ نیروی محرک	۵۰N	۵۰N	۵۰N
اندازهٔ نیروی مقاوم	۵۰N	.....	۱۵۰N
مزیت مکانیکی	.....	۲	.....

در شکل پ برای جابه‌جایی جسم سنگین ۱۵۰N از نیروی کوچک‌تر ۵۰N استفاده کردیم. یعنی با ترکیبی از قرقره‌ها و طناب توانستیم به کمک یک نیروی کوچک، جسم سنگینی را به سمت بالا جابه‌جا کنیم. اما در این فرایند،جابه‌جایی طناب، ۳ برابر جابه‌جایی وزنهٔ سنگین است. یعنی اندازهٔ کار نیروی محرک با اندازهٔ کار نیروی مقاوم برابر است (البته با صرف نظر کردن از اصطکاک). به عبارت دیگر برای آنکه وزنهٔ ۱۵۰ نیوتونی را به اندازهٔ ۱m بالا ببریم باید طناب را با نیروی ۵۰N به اندازهٔ ۳m بکشیم (هر یک از سه طناب متصل به وزنه ۱m جابه‌جا می‌شود). بنابراین براساس قانون پایستگی انرژی و با صرف نظر کردن از اصطکاک، می‌توانیم بنویسیم :

اندازهٔ کار نیروی مقاوم= اندازهٔ کار نیروی محرک (۴)

مثال : در شکل ۱۴ ــ ب، اگر طناب توسط شخص به اندازهٔ ۰/۴m کشیده شود : الف) کار نیروی محرک چند ژول می‌شود؟ ب) جابه‌جایی وزنه چقدر خواهد بود؟

پاسخ : الف) اندازهٔ کار نیروی محرک = نیروی محرک × جابه‌جایی = ۵۰N × ۰/۴m = ۲۰J

ب) اندازهٔ کار نیروی محرک = اندازهٔ کار نیروی مقاوم

۲۰J = نیروی مقاوم × جابه‌جایی

۲۰J = ۱۰۰N × جابه‌جایی

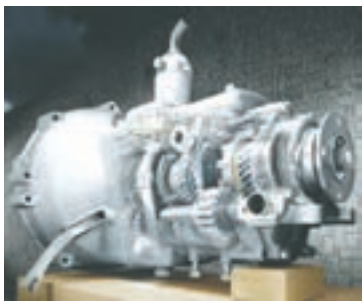
جابه‌جایی = ۰/۲ متر

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

جمع‌آوری اطلاعات

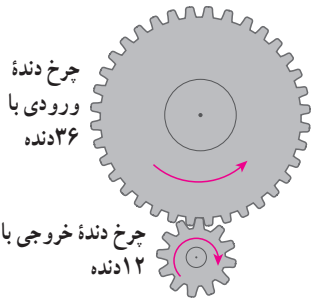
دربارهٔ نقش قرقره‌ها در زندگی اطلاعاتی را به همراه تصویر، جمع‌آوری کنید و آن را در کلاس گزارش دهید.

چرخ‌دنده‌ها : در اغلب ماشین‌هایی که می‌چرخند از چرخ‌دنده 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 دارند.



شکل ۱۵ ــ ترکیب پیچیده‌ای از چرخ‌دنده در جعبه‌دنده خودرو

چگونگی کارکرد چرخ‌دنده‌ها به تعداد دندانه‌های آن، بستگی دارد. مثلاً در دندانه‌های نشان داده شده در شکل۱۶، چرخ‌دندهٔ بزرگ‌تر دارای ۳۶ دنده و دومی دارای ۱۲ دنده است. این چرخ‌دنده‌ها با هم تماس دارند و با فرض آنکه روی هم نمی‌لغزند (سُر نمی‌خورند)، وقتی چرخ‌دندهٔ بزرگ به اندازهٔ یک دنده می‌چرخد، چرخ‌دندهٔ 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 (دور۳= $\frac{\text{۳۶دنده}}{\text{۱۲دنده}}$). بدیهی است اگر چرخ‌دندهٔ کوچک سبب چرخش چرخ‌دندهٔ بزرگ شود، به‌ازای هر سه بار چرخیدن آن، چرخ‌دندهٔ بزرگ یک‌بار می‌چرخد. یعنی سرعت چرخش چرخ دندهٔ کوچک بیشتر از سرعت چرخش چرخ دندهٔ بزرگ است.



شکل۱۶ ــ به ازای هر بار چرخش چرخ دندهٔ بزرگ چرخ دندهٔ کوچک سه بار می‌چرخد.

این تبدیل‌ها در صنعت کاربردهای فراوانی دارد. از چرخ‌دنده‌ها می‌توان برای تغییر سرعت چرخش، تغییر گشتاور یا تغییر جهت نیرو استفاده کرد؛ مثلاً در خودروها چرخ‌دنده‌ها با تغییر سرعت چرخشی سبب تغییر سرعت خودرو می‌شوند.

جمع‌آوری اطلاعات

دربارهٔ انواع چرخ‌دنده‌ها و کارکرد آنها اطلاعاتی را به همراه تصویر جمع‌آوری کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.

سطح شیبدار : فرض کنید می‌خواهیم اسباب‌کشی کنیم. می‌دانیم که جابه‌جا کردن وسایل سنگین مانند یخچال و گذاشتن آنها داخل کامیون حمل بار، بسیار سخت است؛ زیرا برای این کار باید حداقل نیرویی هم‌اندازه با وزن یخچال ــ رو به بالاــ به آن وارد کنیم. به نظر شما ساده‌ترین روش برای انجام این کار چیست؟ شکل ۱۷ 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.

شکل ۱۷ ــ استفاده از سطح شیبدار جابه‌جایی جسم‌های سنگین را آسان‌تر می‌کند.

سطح شیبدار به ما کمک می‌کند تا با نیروی کمتر؛ اما در مسافتی طولانی‌تر، جسم سنگین را به سمت بالا حرکت دهیم. وقتی از سطح شیبدار استفاده می‌کنیم، نیروی محرک، کاهش پیدا می‌کند؛ اما مسافتی که باید طی شود تا جسم بالا برده شود، افزایش پیدا می‌کند. به‌عنوان مثال اگر فردی با صندلی چرخ‌دار بخواهد به اندازهٔ ۱m بالا برود، می‌تواند از یک سطح شیبدار ۱۰ متری استفاده کند. بنابراین در این حالت نیروی لازم برای بالا رفتن $\frac{۱}{۱۰}$ برابر می‌شود (البته با صرف‌نظر کردن از اصطکاک). یعنی نیروی محرک لازم $\frac{۱}{۱۰}$ نیروی مقاوم که وزن فرد و صندلی چرخ‌دار است، می‌شود؛ با استفاده از تعریف مزیت مکانیکی، مزیت این سطح شیبدار برابر است با :

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک}} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\frac{۱}{۱۰}\text{ نیروی مقاوم}} = ۱۰$$

فکر کنید

چرا در مناطق کوهستانی، قسمتی از جاده‌ها را به‌صورت پیچ‌های شیبدار می‌سازند؟