



# کار، انرژی و توان



خانم زهرا نعمتی، نخستین بانوی ایرانی برنده نشان طلا از مسابقات جهانی پارالمپیک (۲۰۱۶ لندن و ۲۰۱۲ ریو). به نظر شما این قهرمان جهان، چقدر انرژی صرف کشیدن کمان می‌کند؟ مقدار این انرژی و تندی تیری را که از کمان رها می‌شود چگونه می‌توان حساب کرد؟

انرژی مهم‌ترین مفهومی است که در سرتاسر فیزیک و علوم و مهندسی با آن سروکار داریم. انرژی این امکان را فراهم می‌کند تا تمامی فعالیت‌های روزمره خود را انجام دهید. بخواهد و استراحت کنید؛ مشاهده کنید و بیندیشید؛ برخیزید و طرحی نو در اندازید! انرژی همچنین توان لازم را برای به حرکت درآوردن موتور خودروها، کشتی‌ها و هواپیماها فراهم می‌کند.

در علوم سال هفتم دیدیم که انرژی شکل‌های متفاوتی دارد و در همه چیز و همه جا وجود دارد. انرژی می‌تواند از شکلی به شکل دیگر تبدیل شود و در حین این فرایند، مقدار کل آن پایسته می‌ماند. همچنین دیدیم که با انجام کار می‌توان انرژی را از جسمی به جسم دیگر منتقل کرد. در این فصل پس از آشنایی با انرژی جنبشی و کار انجام شده توسط نیروهای ثابت، به قضیه کار- انرژی جنبشی خواهیم پرداخت. در ادامه فصل، رابطه بین کار و انرژی پتانسیل و پایستگی انرژی مکانیکی را بررسی می‌کنیم. سرانجام با توان، به عنوان کمیتی برای بیان آهنگ انجام کار آشنا می‌شویم.

## ۱-۳ انرژی جنبشی

در علوم سال هفتم دیدید هر چیزی که حرکت کند، انرژی دارد و انرژی وابسته به حرکت یک جسم را انرژی حرکتی یا انرژی جنبشی نامیدیم (شکل ۱-۳). همچنین دیدید هر چه جسمی تندتر حرکت کند، انرژی جنبشی پیشتری دارد و هنگامی که جسم ساکن باشد، انرژی جنبشی آن صفر است. برای جسمی به مقدار  $m$  که با تندی  $v$  حرکت می‌کند، انرژی جنبشی از رابطه زیر به دست می‌آید:

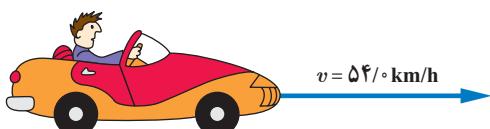
$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1-3)$$



شکل ۱-۳ جسم در حال حرکت، انرژی جنبشی دارد.

یکاهای SI جرم و تندی به ترتیب کیلوگرم (kg) و متر بر ثانیه (m/s) است. بنابراین، یکای SI انرژی جنبشی (و هر نوع دیگری از انرژی)  $\text{kg m}^2/\text{s}^2$  است که به افتخار جیمز ژول، فیزیکدان انگلیسی، ژول (J) نامیده می‌شود. انرژی جنبشی کمیتی نرده‌ای و همواره مثبت است؛ این کمیت تنها به جرم و تندی جسم بستگی دارد و به جهت حرکت جسم وابسته نیست.

## مثال ۱-۳



جرم خودرویی به همراه راننده اش  $84\text{ kg}$  است. این خودرو با تندی  $54\text{ km/h}$  در حرکت است، انرژی جنبشی آن چند ژول است؟

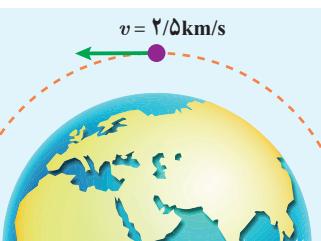
**پاسخ:** با توجه به اطلاعات داده شده داریم:

$$m = 84\text{ kg}, \quad v = 54\text{ km/h} = (54\text{ km}) \left( \frac{1000\text{ m}}{1\text{ km}} \right) \left( \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} \right) = 15\text{ m/s}$$

با جایگذاری این مقادیر در رابطه ۱-۳ داریم:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(84\text{ kg})(15\text{ m/s})^2 = 945 \times 10^4 \text{ J}$$

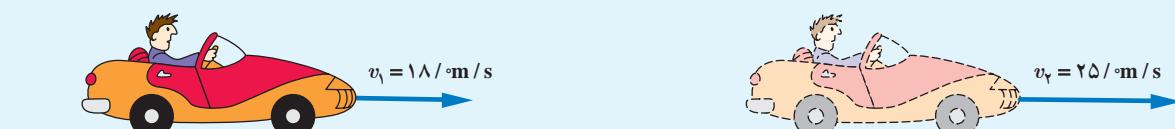
## تمرین ۳-۱



ماهواره‌ای به جرم  $22\text{ kg}$ ، با تندی ثابت  $2/5\text{ km/s}$  دور زمین می‌چرخد. انرژی جنبشی ماهواره را بر حسب ژول و مگاژول حساب کنید.

## تمرین ۳-۲

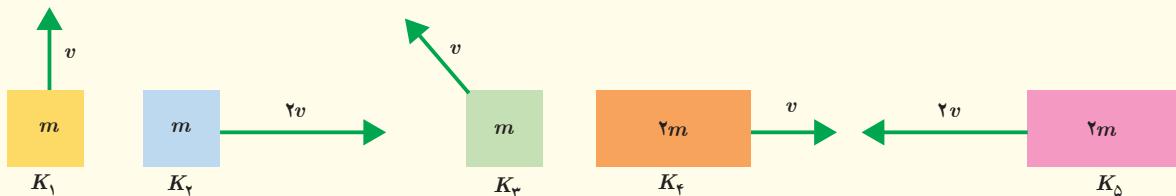
جرم خودرویی به همراه راننده اش  $84\text{ kg}$  است (شکل زیر). تندی خودرو در دو نقطه از مسیرش روی شکل زیر داده شده است. تغییرات انرژی جنبشی خودرو  $(\Delta K = K_2 - K_1)$  را بین این دو نقطه حساب کنید.



- همان‌طور که از علوم نهم به یاد دارید برای سادگی، تندی لحظه‌ای را به اختصار تندی می‌نامیم.

## پرسش ۱-۳

انرژی جنبشی هر یک از اجسام زیر را با هم مقایسه کنید و مقدار آن را به ترتیب از کمترین تا بیشترین بنویسید.



## خوب است بدانید



لایب نیتس (۱۶۴۶-۱۷۱۶)

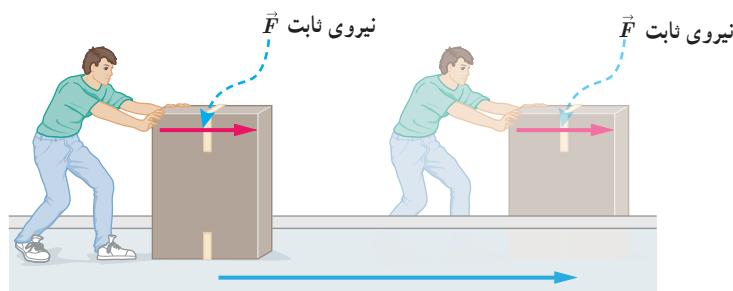
لایب نیتس فیلسوف و ریاضی دان آلمانی نخستین دانشمندی بود که به اهمیت انرژی جنبشی در فیزیک پی برد. لایب نیتس استدلال می کرد که در طبیعت حاصل ضرب جرم در مربع تندی پایسته است. وی نام این مفهوم جدید را نیروی زنده نامید.

سال ها پیش از لایب نیتس، رنه دکارت (۱۵۹۶-۱۶۵۰م)، فیلسوف، ریاضی دان و فیزیک دان فرانسوی ادعا کرده بود حاصل ضرب جرم در سرعت که امروزه تکانه نامیده می شود، در طبیعت کمیتی پایسته است.

معرفی واژه انرژی به جای اصطلاح نیروی زنده را به توماس یانگ (۱۷۷۳-۱۸۲۹م) فیزیک دان انگلیسی نسبت داده اند، هر چند از اصطلاح جدید وی در ابتدا چندان استقبال نشد. او در کتابی که در سال ۱۸۰۷ میلادی به چاپ رساند، پیشنهاد کرد که به منظور تمایز بهتر میان مفاهیم نیرو و انرژی، به جای نیروی زنده از واژه انرژی استفاده شود. در سال ۱۸۶۷ میلادی، لرڈ گلوین و پیتر تیت دو فیزیک دان اسکاتلندی در جلد اول رساله فلسفه طبیعی، اصطلاح امروزی انرژی جنبشی را برای انرژی جسم در حال حرکت به کار بردن و ضریب یک دوم را هم که لایب نیتس در نظر نگرفته بود، وارد کردند.

## کار انجام شده توسط نیروی ثابت ۲-۳

در علوم سال هفتم دیدید که مفهوم کار در فیزیک، با مفهوم آن در زندگی روزمره بسیار متفاوت است. همچنین با تعریف کار، برای حالتی که نیروی وارد شده به جسم، ثابت و با جایه جایی جسم در یک جهت باشد (شکل ۲-۳)، به صورت رابطه زیر آشنا شدید :



شکل ۲-۳ نیروی ثابت  $\vec{F}$  که با جایه جایی  $\vec{d}$  هم جهت است، کار  $W = Fd$  را انجام می دهد.

جسم در جهت نیرو، به اندازه  $d$  جایه جا شده است.

$$W = Fd$$

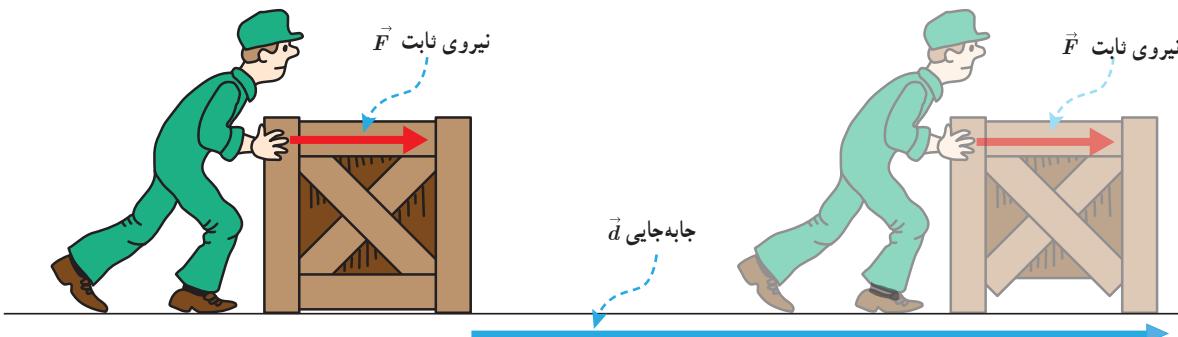
(۲-۳)

۱ - vis viva (living force)

در این رابطه  $F$  اندازه نیروی وارد بر جسم و  $d$  اندازه جابه جایی آن است. کار، همان یکای انرژی را دارد و کمیتی نرده‌ای است. برای استفاده از این رابطه به منظور محاسبه کار باید به دو نکته توجه کرد. اول آنکه، نیروی ثابت وارد بر جسم، باید با جابه جایی آن هم جهت باشد و دوم آنکه، باید بتوان جسم را مانند یک ذره فرض کرد (بخش مدل سازی را در فصل اول ببینید).

### مثال ۲-۳

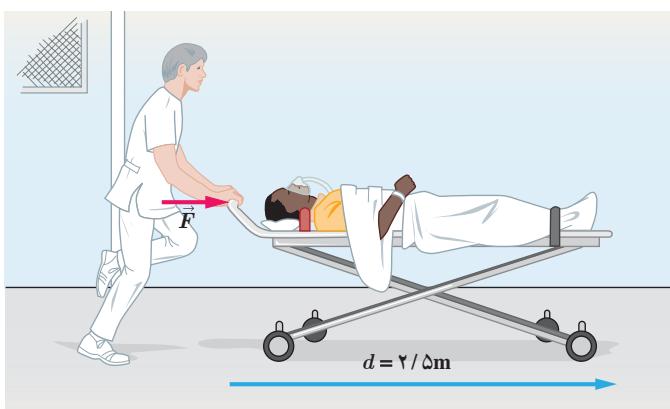
شکل زیر کارگری را در حال هُل دادن جعبه‌ای با نیروی ثابت  $25^{\circ}N$  نشان می‌دهد. اگر جعبه  $14m$  در امتداد نیرو جابه جا شود، کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟



**پاسخ:** اندازه نیروی وارد شده به جعبه، ثابت و با جابه جایی جعبه هم جهت است. بنابراین، از رابطه ۲-۳ داریم :

$$W = Fd = (25^{\circ}N)(14m) = 2/5 \times 10^{\circ}J$$

### مثال ۳-۳



بیماری به جرم  $72kg$  روی تختی به جرم  $15kg$  دراز کشیده است. پرستاری این تخت را با نیروی ثابت وافقی  $\vec{F}$  روی سطحی هموار و با اصطکاک ناچیز هُل می‌دهد. مجموعه تخت و بیمار با شتاب  $1/60 m/s^{\circ}$  حرکت می‌کند.

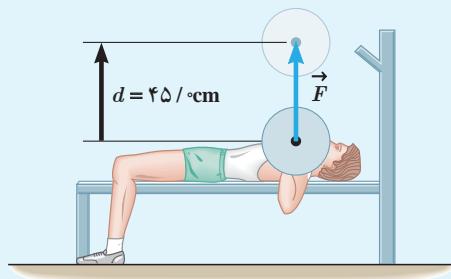
- الف) اندازه نیروی  $\vec{F}$  چقدر است?  
ب) اگر تخت  $1^{\circ}m$  در جهت این نیرو جابه جا شود، کار انجام شده توسط نیروی  $\vec{F}$  را حساب کید.

**پاسخ:** الف) جرم کل بیمار و تخت برابر  $87kg$  است. با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم :

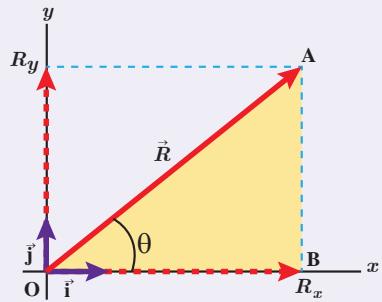
$$F = ma = (87kg)(1/60 m/s^{\circ}) = 52N$$

ب) چون نیرو و جابه جایی در یک جهت‌اند، با استفاده از رابطه (۲-۳) کار نیروی  $F$  برابر است با :

$$W = Fd = (52N)(1^{\circ}m) = 5/2 \times 10^{\circ}J$$



ورزشکاری وزنه‌ای به جرم  $65\text{kg}$  را به طور یکنواخت،  $45\text{cm}$  بالای سر خود می‌برد (شکل رو به رو). کاری که این ورزشکار روی وزنه انجام داده است را محاسبه کنید. اندازه شتاب گرانش زمین را  $g = 9.8\text{N/kg}$  بگیرید.



#### مهارت‌های ریاضی (یادآوری از ریاضی سال‌های هشتم و دهم)

در ریاضی سال هشتم با تجزیه یک بردار روی محورهای  $x$  و  $y$  و نوشتן مؤلفه‌های آن بر حسب بردارهای بکه  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$  آشنا شدیم (شکل رو به رو). اگر مؤلفه‌های بردار  $\vec{R}$  روی محورهای  $x$  و  $y$  باشند، می‌توان نوشت:

$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j} \quad (1)$$

همچنین در ریاضی سال دهم دیدیم که در یک مثلث قائم الزاویه، مانند مثلث OAB در شکل بالا، توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس را برای زاویه‌ای مانند  $\theta$  به صورت زیر تعریف می‌کنند:

$$\sin \theta = \frac{AB}{OA} \quad \text{و} \quad \cos \theta = \frac{OB}{OA} \quad (2)$$

اگر اندازه بردار  $\vec{R}$  را با  $R$  نشان دهیم، با توجه به شکل بالا داریم:

$$OA = R \quad OB = R_x \quad \text{و} \quad AB = R_y$$

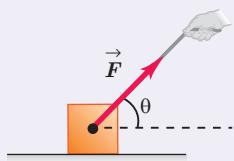
به این ترتیب، مؤلفه‌های بردار  $\vec{R}$  را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R_x = R \cos \theta \quad \text{و} \quad R_y = R \sin \theta \quad (3)$$

با جایگذاری رابطه‌های (3) در رابطه (1) می‌توان یک بردار را بر حسب توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس نوشت. به این ترتیب داریم:

$$\vec{R} = R \cos \theta \vec{i} + R \sin \theta \vec{j} \quad (4)$$

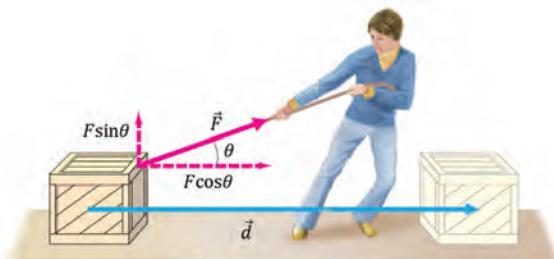
مقادیر سینوس و کسینوس به ازای چند زاویه پرکاربرد		
$\theta$	$\sin \theta$	$\cos \theta$
$0^\circ$	$0$	$1$
$30^\circ$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$
$45^\circ$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
$60^\circ$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$
$90^\circ$	$1$	$0$
$180^\circ$	$0$	$-1$



برای مثال وقی جسمی را مطابق شکل رو به رو با نیروی  $\vec{F}$  می‌کشیم، مؤلفه افقی این نیرو  $F_x = F \cos \theta$  و مؤلفه قائم آن  $F_y = F \sin \theta$  است که در آن اندازه نیروی  $\vec{F}$  است.

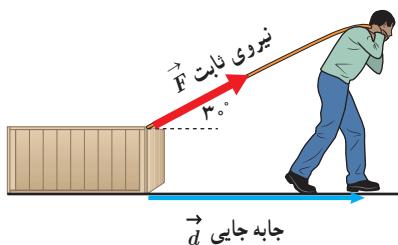
همان طور که تا اینجا دیدید، تعریف کار بر اساس رابطه ۲-۳ تنها برای حل مسئله‌هایی به کار می‌رود که نیرو و جابه‌جایی در یک جهت باشند. اگر مطابق شکل ۳-۳ نیروی وارد شده به جسم با جابه‌جایی زاویه  $\theta$  بسازد، در این حالت نیروی  $\vec{F}$  دارای دو مؤلفه است؛ یکی موازی با جابه‌جایی و دیگری عمود بر آن. همان‌طور که از علوم هفتم نیز به یاد دارید، مؤلفه‌ای از نیرو که بر جابه‌جایی عمود است ( $F_y$ ) کاری روی جسم انجام نمی‌دهد. کار انجام شده روی جسم تنها ناشی از مؤلفه‌ای از نیرو است که در راستای جابه‌جایی است ( $F_x$ )<sup>۱</sup>. در این حالت، کاری که نیروی ثابت  $\vec{F}$  به ازای جابه‌جایی  $d$  روی جسم انجام می‌دهد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = (F \cos \theta) d \quad (3-3)$$



شکل ۳-۳ نیروی ثابت  $\vec{F}$  با جابه‌جایی  $d$  زاویه  $\theta$  می‌سازد و کار  $W = (F \cos \theta) d$  را روی جسم انجام می‌دهد.

### مثال ۴-۳



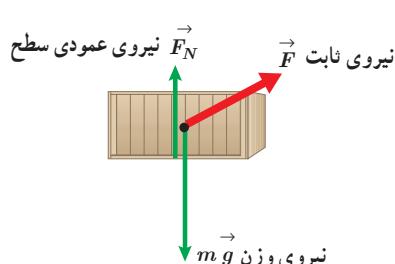
شکل رویه را شخصی را نشان می‌دهد که جعبه‌ای را با نیروی ثابت  $N = 200$  روی سطحی هموار و با اصطکاک ناچیز، به اندازه  $10^{\circ}/m$  جابه‌جا می‌کند.  
الف) کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟

ب) نیروهای دیگری را که بر جسم وارد می‌شود مشخص کنید. کاری را که هر کدام از این نیروها روی جسم انجام می‌دهند حساب کنید.

**پاسخ:** الف) با جایگذاری اطلاعات داده شده و  $\cos \theta = \cos 30^{\circ} = \frac{\sqrt{3}}{2}$  در رابطه ۳-۳ داریم:

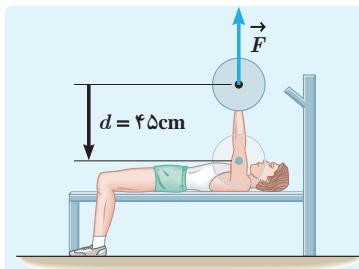
$$W = (F \cos \theta) d = (200 \text{ N} \times \frac{\sqrt{3}}{2}) (10^{\circ}/m) = 1/73 \times 10^3 \text{ J}$$

ب) نیروی وزن و نیروی عمودی سطح بر جابه‌جایی عمودند (شکل رویه را) و کاری روی جسم انجام نمی‌دهند. (توجه کنید که:  $\cos \theta = \cos 90^{\circ} = 0$ )



۱ - بررسی تجزیه نیرو از اهداف این فصل نیست، بلکه تنها تأکید روی این موضوع است که فقط مؤلفه‌ای از نیرو که در امتداد جابه‌جایی است کار انجام می‌دهد. بنابراین در ارزشیابی این درس، تجزیه نیروها مورد نظر نیست.

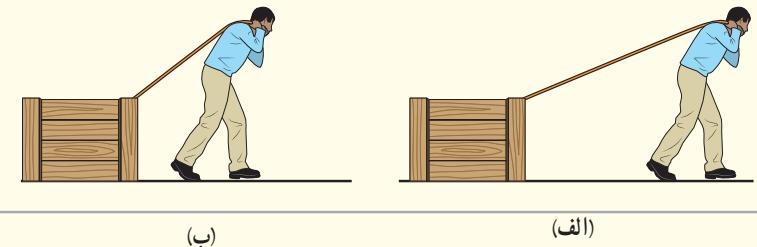
## تمرین ۳-۴



تمرین ۳-۴ را دوباره بینید. کار انجام شده توسط ورزشکار را روی وزنه برای حالتی حساب کنید که ورزشکار با وارد کردن همان نیروی  $\vec{F}$ ، وزنه را به آرامی پایین می‌آورد (شکل رویه رو). توضیح دهید که در این دو حالت، چه تفاوتی بین مقادیر به دست آمده برای کار انجام شده توسط ورزشکار وجود دارد.

## پیش ۲-۳

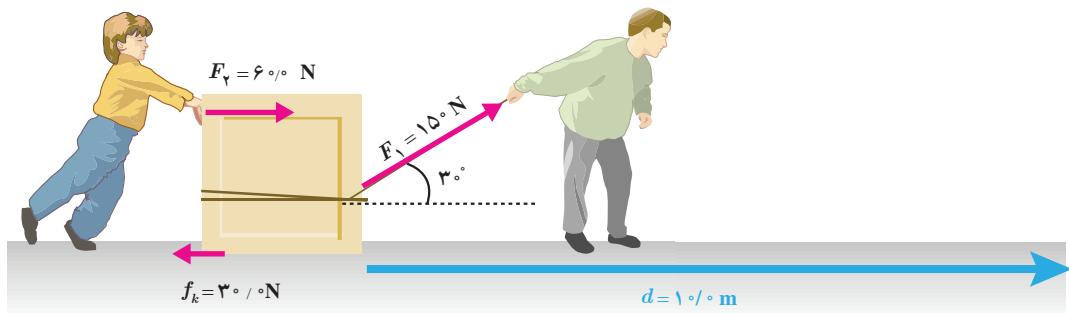
شخصی جسمی را یک بار با ظایی بلند (شکل الف) و بار دیگر با ظایی کوتاه‌تر (شکل ب) روی سطحی هموار می‌کشد. اگر جایه جایی و کاری که این شخص در هر دو بار روی جعبه انجام می‌دهد یکسان باشد، توضیح دهید در کدام حالت، شخص نیروی بزرگ‌تری وارد کرده است. اصطکاک را در هر دو حالت، ناچیز فرض کنید.



**کار کل:** اگر به جای یک نیرو، چند نیرو بر جسمی وارد شود، با استفاده از رابطه ۳-۳، کار انجام شده توسط هر نیرو را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. سپس با جمع جبری کار انجام شده توسط تک تک نیروها کار کل ( $W_t$ ) را می‌یابیم.<sup>۱</sup>

## مثال ۵-۳

شکل زیر پدر و پسری را در حال جابه‌جا کردن یک جعبه سنگین روی سطحی هموار نشان می‌دهد. نیروی  $F_1$  را پدر و نیروی  $F_2$  را پسر به جسم وارد می‌کنند و  $f_k$  نیز نیروی اصطکاک جنبشی است که با حرکت جسم مخالفت می‌کند و در خلاف جهت جابه‌جایی به جعبه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی جسم را محاسبه کنید.



<sup>۱</sup>- زیرنویس  $t$  در  $W_t$  از سحرف واژه total به معنای کل گرفته شده است.

## پاسخ:

کار انجام شده توسط هر نیرو را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه کار نیروی  $F_1$ ، اطلاعات داده شده و  $\cos \theta = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$  را در رابطه ۳-۳ جایگذاری می‌کنیم. به این ترتیب داریم:

$$W_1 = (F_1 \cos \theta)d = (15 \text{ N} \times \sqrt{3}/2)(10 / \text{m}) = 1/30 \times 10^3 \text{ J}$$

چون پس جعبه را در جهت جابه‌جایی هُل می‌دهد، کار انجام شده توسط نیروی  $F_2$  برابر است با:

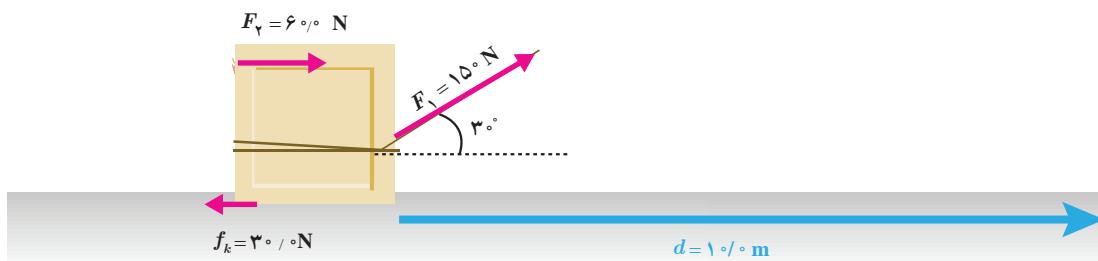
$$W_2 = F_2 d = (60 / \text{N})(10 / \text{m}) = 60 \text{ J}$$

برای محاسبه کار نیروی  $f_k$ ، اطلاعات داده شده و  $\cos \theta = \cos 180^\circ = -1$  را در رابطه ۳-۳ جایگذاری می‌کنیم. پس:

$$W_3 = (f_k \cos \theta)d = (30 / \text{N} \times (-1))(10 / \text{m}) = -30 \text{ J}$$

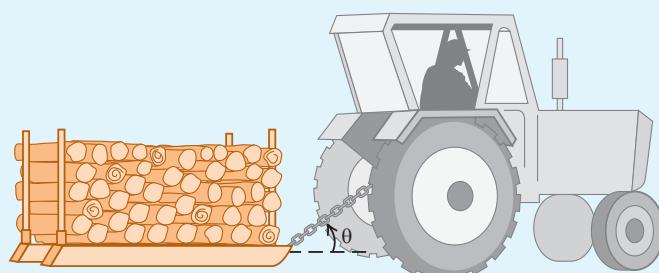
همان‌طور که گفتیم کار کل ( $W_t$ ) انجام شده با جمع جبری مقدار کار انجام شده توسط تک تک نیروها برابر است. توجه کنید که کار نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه صفر است. به این ترتیب داریم:

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 = 1/30 \times 10^3 \text{ J} + 60 \text{ J} + (-30 \text{ J}) = 1/60 \times 10^3 \text{ J}$$



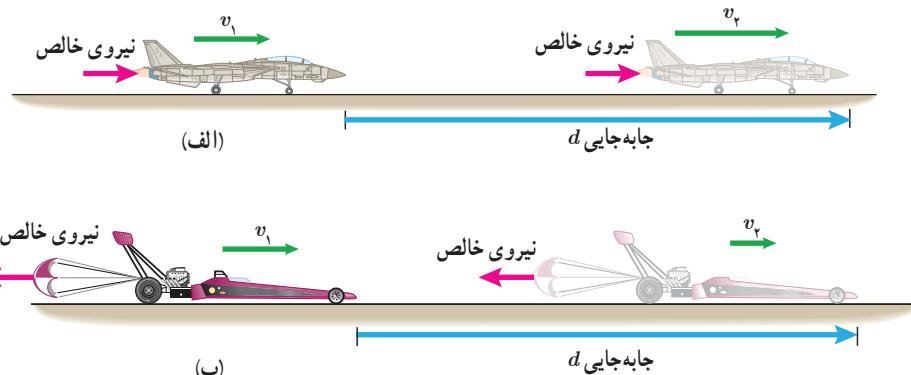
## تمرین ۳-

کشاورزی توسط تراکتور، سورتمه‌ای پر از هیزم را در راستای یک زمین هموار به اندازه  $20 \text{ m}$  جابه‌جا می‌کند (شکل زیر). وزن کل سورتمه و بار آن  $mg = 15000 \text{ N}$  است. تراکتور نیروی ثابت  $F_1 = 550 \text{ N}$  را در زاویه  $\theta = 45^\circ$  بالای افق به سورتمه وارد می‌کند. نیروی اصطکاک جنبشی  $f_k = 350 \text{ N}$  است که برخلاف جهت حرکت به سورتمه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی سورتمه را محاسبه کنید.



## ۳-۳ کار و انرژی جنبشی

اگر در حین جابه‌جایی جسمی، نیروی خالصی به آن وارد شود، کار کل انجام شده روی جسم ممکن است مثبت یا منفی باشد. در شکل (۳-۴ الف)، نیروی خالص وارد شده به هواپیما با جابه‌جایی آن هم جهت است و کار کل انجام شده روی هواپیما، سبب افزایش انرژی جنبشی آن شده است؛ در حالی که در شکل (۴-۲ ب)، نیروی خالص برخلاف جهت جابه‌جایی به یک خودروی مسابقه‌ای وارد شده و کار کل انجام شده روی آن، سبب کاهش انرژی جنبشی اتومبیل شده است. به این ترتیب، می‌توان گفت: وقتی نیروی خالصی به جسمی وارد می‌شود، اگر کار مثبتی روی جسم انجام دهد به معنای دادن انرژی به آن است و اگر کار منفی روی جسم انجام دهد، به معنای گرفتن انرژی از آن است.



**شکل ۳-۴** (الف) کار مثبت روی هواپیما انجام شده و انرژی جنبشی آن افزایش یافته است. (ب) کار منفی روی خودرو انجام شده و انرژی جنبشی آن کاهش یافته است.

بين کار کل انجام شده روی یک جسم و تغییر انرژی جنبشی آن رابطه‌ای وجود دارد که به قضیه کار – انرژی جنبشی معروف است. مطابق این قضیه، کار کل انجام شده روی یک جسم با تغییر انرژی جنبشی آن برابر است. اگر انرژی جنبشی جسمی را در دو وضعیت متفاوت با  $K_1$  و  $K_2$  نشان دهیم، در این صورت قضیه کار – انرژی جنبشی با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$W_t = K_2 - K_1 \quad (4-3)$$

هنگامی که  $W_t > 0$  است انرژی جنبشی جسم افزایش می‌یابد (انرژی جنبشی پایانی بزرگ‌تر از انرژی جنبشی آغازی  $K_1$  است) و جسم در پایان جابه‌جایی تندتر از آغاز آن حرکت می‌کند. هنگامی که  $W_t < 0$  است، انرژی جنبشی جسم کاهش می‌یابد ( $K_2 < K_1$ ) و تندی آن پس از جابه‌جایی کمتر است. هنگامی که  $W_t = 0$  است انرژی جنبشی جسم در دو نقطه آغازی و پایانی یکسان ( $K_2 = K_1$ ) و تندی آن نیز در این دو نقطه برابر است. توجه کنید که قضیه کار – انرژی جنبشی نه تنها برای حرکت یک جسم روی مسیری مستقیم معتبر است، بلکه اگر جسم روی هر مسیر خمیده ای نیز حرکت کند، می‌توان از آن استفاده کرد (تمرین ۳-۷ را بینید). قضیه کار – انرژی جنبشی، قانون جدیدی در فیزیک نیست؛ بلکه صرفاً کار (رابطه ۳-۳) و انرژی جنبشی (رابطه ۱-۳) را به هم مرتبط می‌سازد و به سادگی می‌توان آن را از قانون دوم نیوتون به دست آورد.

## مثال ۶-۳



توب فوتبالی به جرم  $45\text{ g}$  از نقطهٔ پنالتی با تندی  $20/\text{s}$  به طرف دروازه شوت می‌شود (شکل رو به رو). توب با تندی  $18/\text{s}$  به دستان دروازه‌بان بخورد می‌کند. کار کل انجام شده روی توب را که سبب کاهش تندی آن شده است محاسبه کنید.

**پاسخ:** با استفاده از قضیهٔ کار- انرژی جنبشی به سادگی می‌توان مسئله را حل کرد. ابتدا با توجه به اطلاعات داده شده و رابطهٔ  $1-3$  انرژی جنبشی توب را در دو وضعیت مورد نظر مسئله به دست می‌آوریم :

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(0/45\text{ kg})(20/\text{m/s})^2 = 90/\text{J}$$

$$K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}(0/45\text{ kg})(18/\text{m/s})^2 = 72/9\text{ J}$$

به این ترتیب، کار کل انجام شده روی توب را از رابطهٔ  $1-3$  محاسبه می‌کنیم :

$$W_t = K_2 - K_1 = 72/9\text{ J} - 90/\text{J} = -17/1\text{ J}$$

علامت منفی نشان می‌دهد که کار کل انجام شده روی توب، انرژی جنبشی آن را کاهش داده است.

## مثال ۷-۳



چتربازی به جرم کل  $75/\text{kg}$ ، از بالونی که در ارتفاع  $80\text{ m}$  از سطح زمین است، با تندی  $1/20\text{ m/s}$  به بیرون بالون می‌برد. اگر او با تندی  $4/80\text{ m/s}$  به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا روی چترباز را در طول مسیر سقوط محاسبه کنید. شتاب گرانش زمین را  $9/80\text{ m/s}^2$  بگیرید.

**پاسخ:** ابتدا انرژی جنبشی چترباز را در دو وضعیت پریدن از بالون و همچنین رسیدن به سطح زمین به دست می‌آوریم. با توجه به اطلاعات داده شده و همچنین رابطهٔ  $1-3$  داریم :

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(75/\text{kg})(1/20\text{m/s})^2 = 54/\text{J}$$

$$K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}(75/\text{kg})(4/80\text{m/s})^2 = 864\text{ J}$$

همان‌طور که در شکل رو به رو دیده می‌شود در طول حرکت چترباز، دو نیروی وزن و مقاومت هوا به او وارد می‌شود. نیروی وزن در جهت جابه جایی و نیروی مقاومت برخلاف جابه جایی است. بنابراین، کار کل برابر مجموع کار این دو نیرو است. به این ترتیب، از رابطهٔ  $1-3$  داریم :

$$W_t = K_2 - K_1 \Rightarrow W_t = 864\text{ J} - 54/\text{J} = 8/10 \times 10^2\text{ J}$$

با پیدا کردن کار نیروی وزن ( $mg$ ) و جایگذاری آن در عبارت بالا، کار نیروی مقاومت هوا را به دست می‌آوریم. از رابطهٔ  $2-3$  داریم :

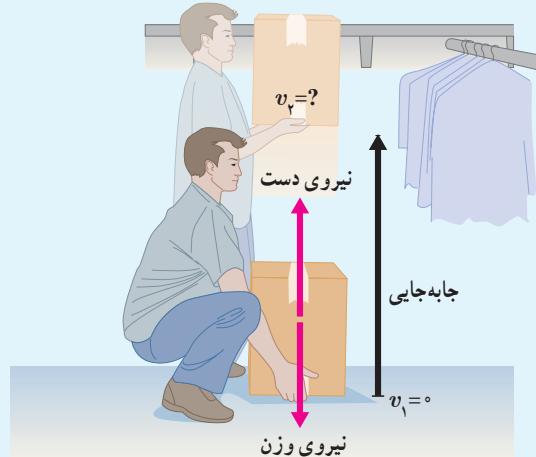
$$W_{وزن} = mgd = (75/\text{kg})(9/80\text{m/s}^2)(80\text{m}) = 5/88 \times 10^5\text{ J}$$

به این ترتیب، کار نیروی مقاومت هوا برابر است با:

$$W = \text{مقاومت هوا} = -5/87 \times 10^5 \text{J} \Rightarrow W = -5/87 \times 10^5 \text{J}$$

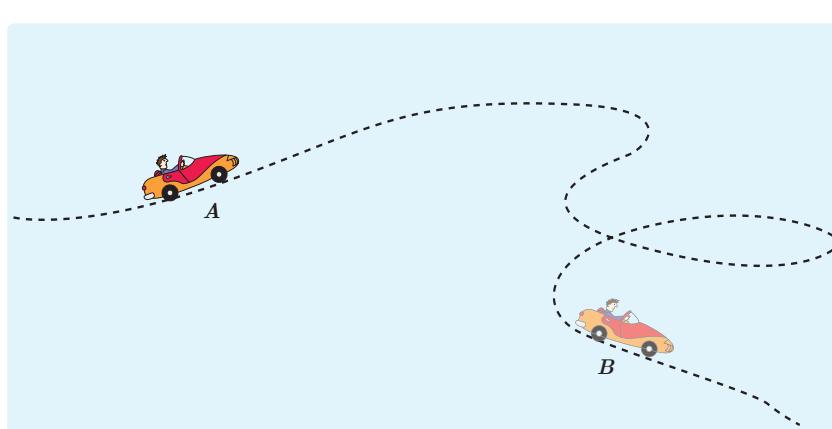
توجه کنید برای اینکه چتر باز به طور ایمن و با تندی نسبتاً کمی به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا اثر کار نیروی وزن را تقریباً خنثی کرده است.

### تمرین ۳ - ۶



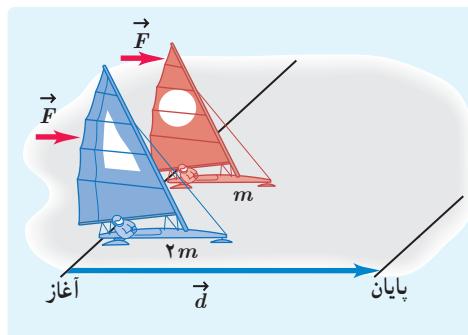
شکل رو به رو شخصی را نشان می‌دهد که با وارد کردن نیروی ثابت  $N_{150}$ ، جعبه‌ای به جرم  $10\text{ kg}$  را از حالت سکون در امتداد قائم جایه جایی کند.

- (الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جعبه تا ارتفاع  $1/5\text{ m}$  به طور جداگانه حساب کنید.  
 (ب) کار کل انجام شده روی جعبه تا ارتفاع  $1/5\text{ m}$  چقدر است?  
 (پ) با استفاده از قضیه کار- انرژی جنبشی، تندی نهایی جعبه را در ارتفاع  $1/5\text{ m}$  حساب کنید.



جرم یک خودروی الکتریکی به همراه راننده اش  $84\text{ kg}$  است. وقتی این خودرو از موقعیت  $A$  به موقعیت  $B$  می‌رود، کار کل انجام شده روی خودرو  $J_{7350}$  است. اگر تندی خودرو در موقعیت  $A$  برابر  $54\text{ km/h}$  باشد، تندی آن در موقعیت  $B$  چند متر بر ثانیه است؟

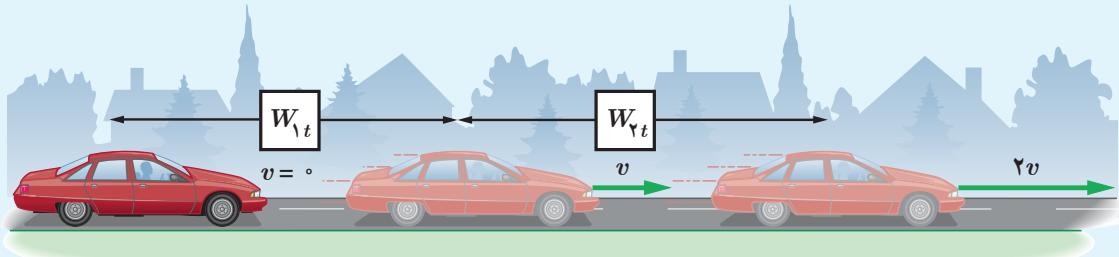
### تمرین ۳ - ۷



دو قایق بادبانی مخصوص حرکت روی سطوح یخزده<sup>۱</sup>، دارای جرم‌های  $m$  و  $2m$ ، روی دریاچه افقی و بدون اصطکاکی قرار دارند و نیروی ثابت و یکسان  $\vec{F}$  با وزیدن باد به هر دو وارد می‌شود (شکل رو به رو). هر دو قایق از حال سکون شروع به حرکت می‌کنند و از خط پایان به فاصله  $d$  می‌گذرند. انرژی جنبشی و تندی قایق‌ها را درست پس از عبور از خط پایان، با هم مقایسه کنید.

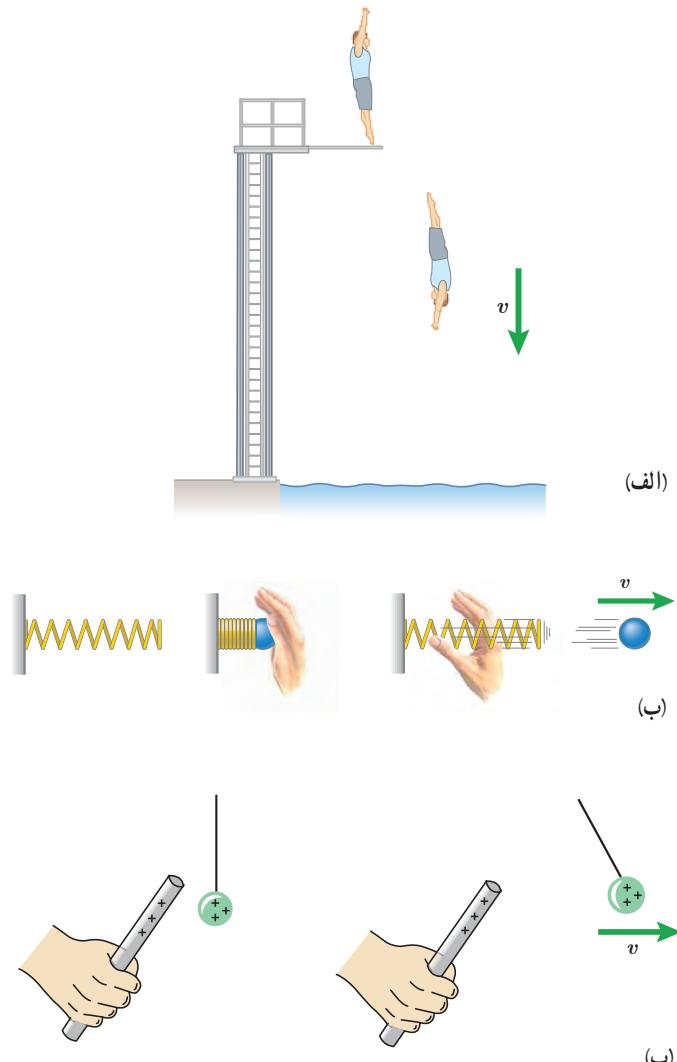
## تمرین ۹-۳

برای آنکه تندی خودرویی از حال سکون به  $v$  برسد، باید کار کل  $W_{1t}$  روی آن انجام شود. همچنین برای آنکه تندی خودرو از  $v$  به  $2v$  برسد، باید کار کل  $W_{2t}$  روی آن انجام شود (شکل زیر). نسبت  $W_{2t}/W_{1t}$  چقدر است؟



## ۴-۳ کار و انرژی پتانسیل

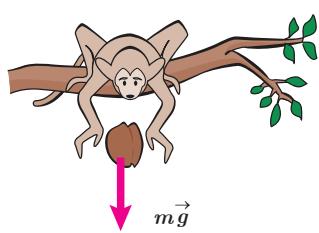
در علوم هفتم با نوع دیگری از انرژی، به نام انرژی پتانسیل یا انرژی ذخیره‌ای آشنا شدید که می‌تواند به شکل‌های متنوعی مانند گرانشی، کشسانی و الکتریکی باشد. انرژی پتانسیل، برخلاف انرژی جنبشی که به حرکت یک جسم وابسته است، ویژگی یک سامانه (دستگاه) است تا ویژگی یک جسم منفرد. به عبارت دیگر، انرژی پتانسیل به مکان اجسام یک سامانه نسبت به یکدیگر بستگی دارد. وقتی انرژی پتانسیل یک سامانه کاهش می‌یابد، به شکل‌های دیگری از انرژی تبدیل می‌شود. برای مثال، وقتی شخصی از یک تخته پرش به درون استخری پراز آب شیرجه می‌زند، انرژی پتانسیل سامانه شخص-زمین به تدریج به انرژی جنبشی شخص تبدیل می‌شود و شخص با تندی نسبتاً زیادی با سطح آب برخورد می‌کند (شکل ۴-۳الف). یا هنگامی که فنری را توسط جسمی فشرده و رها می‌کنیم، انرژی پتانسیل کشسانی سامانه جسم-فنر به انرژی جنبشی جسم تبدیل می‌شود و جسم با تندی زیادی پرتاب می‌شود (شکل ۴-۳ب). همچنین وقتی یک جسم باردار را به جسم باردار دیگر تزدیک ترمی کنیم، بسته به نوع بار، اجسام یکدیگر را می‌ربایند یا می‌رانند. در این حالت انرژی پتانسیل الکتریکی سامانه دو جسم باردار تغییر می‌کند (شکل ۴-۳پ).



**شکل ۴-۳** هر سامانه می‌تواند دست کم از دو جسم یا تعداد بسیار بیشتری از اجسام تشکیل شده باشد. (الف) انرژی پتانسیل گرانشی در سامانه شخص-زمین. (ب) انرژی پتانسیل کشسانی در سامانه جسم-فنر. (پ) انرژی پتانسیل الکتریکی در سامانه دو جسم باردار.

انرژی پتانسیل، کمیتی مربوط به یک سامانه است. در اغلب موارد وقتی دو یا چند جسم به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند به دلیل موقعیت مکانی شان در سامانه، انرژی پتانسیل دارند. از نظر تاریخی، اصطلاح انرژی پتانسیل را نخستین بار ویلیام رانکین در میانه قرن نوزدهم (۱۸۵۳ م) معرفی کرد؛ هر چند داشتماندان دیگری پیش از وی، به گونه‌ای مفهوم آن را به کار برده بودند. او اخر قرن ۱۷، کریستیان هویگنس، کتابی درباره حرکت نوشت و در آن به نوعی به انرژی پتانسیل اشاره کرد. با وجود این، اصطلاح انرژی پتانسیل را به کار نبرده بود و به اهمیت آن نیز بی‌خبر بود. همچنین، لاگرانژ، لاپلاس، پواسون و گرین از برجسته‌ترین دانشمندان زمان خود، در اواخر قرن ۱۸ و اوایل قرن ۱۹، مفهوم پتانسیل الکتریکی را در فرمول‌بندی ریاضی اثرات الکتریکی به کار برده بودند.

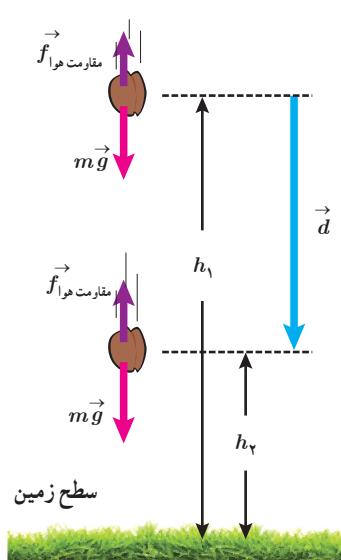
### انرژی پتانسیل گرانشی



شکل ۶-۳ جسمی به جرم  $m$  را نشان می‌دهد که در حال سقوط به طرف زمین است. در حین سقوط، نیروی وزن  $\vec{mg}$  و نیروی مقاومت هوای  $\vec{f}$  به آن وارد می‌شود. وقتی جسم از ارتفاع  $h_1$  به ارتفاع  $h_2$  از سطح زمین می‌رسد کار نیروی وزن در این جایه جایی برابر است با :

$$\begin{aligned} W_{\text{وزن}} &= (mg \cos \theta) d = (mg \cos 90^\circ) d = mgd \\ &= mg(h_1 - h_2) = -(mgh_2 - mgh_1) \end{aligned}$$

انرژی پتانسیل گرانشی سامانه مشکل از زمین و جسمی به جرم  $m$  که در ارتفاع  $h$  از سطح زمین است به صورت زیر تعریف می‌شود :



$$U = mgh \quad (5-3)$$

به این ترتیب، کار نیروی وزن را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد<sup>۱</sup> :

$$W_{\text{وزن}} = -(U_2 - U_1) = -\Delta U \quad (6-3)$$

رابطه ۶-۳ نشان می‌دهد کار نیروی وزن برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است. همچنین توجه کنید که علامت منها در جلوی  $U$  در رابطه ۶-۳ اهمیت زیادی دارد. هنگامی که جسمی رو به پایین حرکت می‌کند  $h$  کاهش می‌یابد، نیروی وزن جسم کار مثبت انجام می‌دهد و انرژی پتانسیل گرانشی کاهش می‌یابد ( $\Delta U < 0$ ).

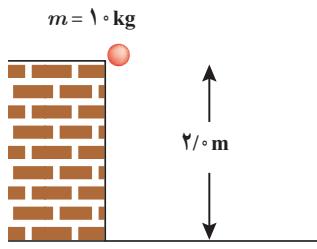
**شکل ۶-۴** نیروهای وارد شده به جسمی که به طرف زمین سقوط می‌کند.

هنگامی که جسمی رو به بالا حرکت می‌کند و از زمین دور می‌شود،  $h$  افزایش می‌یابد. در این صورت کار انجام شده توسط نیروی وزن جسم منفی است و انرژی پتانسیل گرانشی آن افزایش می‌یابد ( $\Delta U > 0$ ).

اگرچه رابطه ۶-۴ را برای جسمی که در امتداد قائم و رو به پایین سقوط می‌کرد به دست آوردیم، ولی به سادگی می‌توان نشان داد این رابطه برای هر مسیر دلخواهی برقرار است. به عبارت دیگر، کار نیروی وزن به مسیر بستگی ندارد و همواره برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم-زمین است.

۱ - مشابه چنین رابطه‌ای برای انرژی پتانسیل کشسانی فنر و انرژی پتانسیل الکتریکی نیز وجود دارد که از اهداف آموزشی این کتاب نیست.

## مثال ۸-۳



جسمی به جرم  $1 \text{ kg}$  از ارتفاع  $2 \text{ m}$  سقوط می‌کند و به زمین می‌رسد. کار نیروی وزن جسم را در این مسیر، (الف) با استفاده از رابطه  $d = F \cos\theta$  و (ب) با استفاده از رابطه  $W = mg$  محاسبه کنید.

**پاسخ:** (الف) با استفاده از رابطه  $d = F \cos\theta$  برای محاسبه کار نیروی وزن داریم،  $W = (F \cos\theta) d = (mg \cos\theta) d$

که با توجه به هم‌جهت بودن نیروی وزن و جایه‌جایی،  $\theta = 90^\circ$  می‌شود و بنابراین،

$$W = (1 \text{ kg}) (9.8 \text{ m/s}^2) (1) (2 \text{ m}) \approx 20 \text{ J}$$

(ب) با استفاده از رابطه  $W = mg$  برای محاسبه کار نیروی وزن داریم،

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(mgh_f - mgh_i) = -mg(h_f - h_i)$$

در صورتی که ارتفاع‌های  $h_f$  و  $h_i$  را نسبت به سطح زمین بسنجیم،  $h_i = 2 \text{ m}$  و  $h_f = 0 \text{ m}$  می‌شود و بنابراین،

$$W_{\text{وزن}} = -(1 \text{ kg}) (9.8 \text{ m/s}^2) (0 - 2 \text{ m}) \approx 20 \text{ J}$$

و همان‌طور که می‌بینیم نتیجهٔ دو محاسبهٔ یکسان است.

## تمرین ۳-۱۰

برای جسمی به جرم  $m$  که رو به بالا حرکت می‌کند و از سطح زمین دور می‌شود نشان دهید کار نیروی وزن، همچنان از رابطه  $W = mg$  به دست می‌آید. فرض کنید که جسم به اندازهٔ کافی نزدیک به سطح زمین بماند به گونه‌ای که وزن آن ثابت باشد.

**توجه:** انرژی پتانسیل گرانشی، یک ویژگی مشترک جسم و زمین است و برای سامانه‌ای مت Shank از این دو، تعریف می‌شود. بنابراین،  $U = mgh$  را باید انرژی پتانسیل گرانشی سامانهٔ جسم – زمین بخوانیم؛ زیرا اگر زمین ثابت بماند و جسم از زمین دور شود،  $U$  افزایش می‌یابد و اگر جسم به زمین نزدیک شود  $U$  کاهش می‌یابد. توجه کنید که رابطه  $U = mgh$  شامل هر دو ویژگی جسم (جرم آن  $m$ ) و زمین (مقدار  $g$ ) است. (برخی موافق و صرفأً برای سادگی در گفتار، به انرژی پتانسیل گرانشی سامانهٔ جسم – زمین، انرژی پتانسیل گرانشی جسم نیز می‌گویند.)

هنگامی که با انرژی پتانسیل گرانشی سر و کار داریم می‌توانیم  $h$  را در هر ارتفاعی انتخاب کنیم؛ زیرا اگر مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را انتقال دهیم، مقدارهای  $h_i$  و  $h_f$  تغییر می‌کنند و همین طور مقدارهای  $U_i$  و  $U_f$  نیز تغییر می‌کنند. ولی باید توجه داشته باشیم که این انتقال مبدأ، تأثیری بر اختلاف ارتفاع  $h_f - h_i$  یا بر اختلاف انرژی پتانسیل گرانشی  $(U_f - U_i) = mg(h_f - h_i)$  ندارد.

کمیتی که در فیزیک اهمیت دارد تغییر انرژی پتانسیل گرانشی ( $\Delta U$ ) بین دو نقطهٔ است نه مقدار  $U$  در یک نقطهٔ خاص. در نتیجهٔ همان‌طور که در مثال بعد خواهید دید می‌توانیم  $U$  را در هر نقطه‌ای که بخواهیم برابر صفر تعریف کنیم بدون آنکه تأثیری در پاسخ مسئله داشته باشد.

شکل زیر، کوه نوردی به جرم  $72\text{ kg}$  را نشان می‌دهد که در حال صعود به قله زردکوه بختیاری به ارتفاع  $420\text{ m}$  از سطح آزاد دریاست. تغییر انرژی پتانسیل گرانشی کوه نورد در  $1200\text{ m}$  از این ارتفاع صعود چقدر است؟ مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را (الف) سطح دریا و (ب) قله کوه بگیرید. ( $g = 9.8\text{ m/s}^2$ )



**پاسخ:** اگر مطابق فرض (الف)، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در سطح دریا بگیریم، می‌توان نوشت:

$$h_1 = 3000\text{ m} \quad \text{و} \quad h_2 = 4200\text{ m}$$

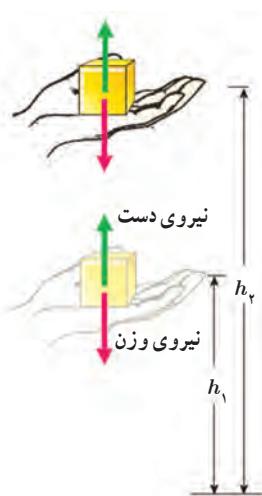
$$\Delta U = mg(h_2 - h_1) = (72/\text{kg})(9.8\text{ m/s}^2)(4200\text{ m} - 3000\text{ m}) \approx 8.5 \times 10^5 \text{ J}$$

حال اگر مطابق فرض (ب)، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در قله کوه فرض کنیم، خواهیم داشت:

$$h_1 = -1200\text{ m} \quad \text{و} \quad h_2 = 0$$

$$\Delta U = mg(h_2 - h_1) = (72/\text{kg})(9.8\text{ m/s}^2)[0 - (-1200\text{ m})] \approx 8.5 \times 10^5 \text{ J}$$

همان‌طور که انتظار داشتیم انتقال مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی، تأثیری در نتیجه نهایی و فیزیک مسئله ندارد.



جسم ساکنی به جرم  $m$  را مانند شکل رو به رو، با دستمان از ارتفاع  $h_1$  به ارتفاع  $h_2$  می‌بریم و دوباره به حالت سکون می‌رسانیم. با چشم‌پوشی از مقاومت هوا، کار نیروی دست را در این جابه‌جایی محاسبه کنید.

**پاسخ:** با استفاده از قضیه کار–انرژی جنبشی (رابطه ۴-۳) داریم:

$$W_t = W_{\text{دست}} + W_{\text{وزن}} = K_2 - K_1$$

از آنجا که جسم در ابتدا و انتهای مسیر ساکن است، تغییر انرژی جنبشی آن صفر است ( $\Delta K = 0$ ). داریم:

$$W_{\text{دست}} + W_{\text{وزن}} = 0 \Rightarrow W_{\text{دست}} = -W_{\text{وزن}}$$

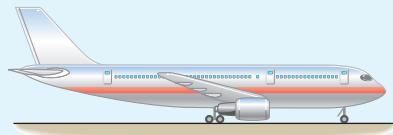
با توجه به رابطه ۳-۶ می‌توانیم کار نیروی وزن را با استفاده از تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی به دست آوریم.

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(mgh_2 - mgh_1)$$

به این ترتیب، کار نیروی دست برابر است با:

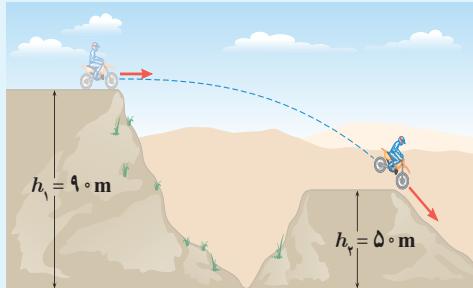
$$W_{\text{دست}} = -(-\Delta U) = +(mgh_2 - mgh_1)$$

## تمرین ۳ - ۱۱



انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) یک هواپیمای مسافربری به جرم  $10^{\text{kg}} \times 7/5^{\circ}$  که با تندی  $864 \text{ km/h}$  در ارتفاع  $10^{\text{m}}$  حرکت می‌کند چقدر است؟ مقدار این انرژی‌ها را با هم مقایسه کنید.

## تمرین ۳ - ۱۲



جرم موتورسواری با موتورش  $15^{\text{kg}}$  است. این موتورسوار، پرشی مطابق شکل رو به رو انجام می‌دهد.

(الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتورسوار را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).  
(ج) کار نیروی وزن موتورسوار به همراه موتورش را در این جا به جایی

به دست آورید.

## پایستگی انرژی مکانیکی ۵-۳

شکل ۷-۳ جسمی را در حال سقوط به طرف زمین نشان می‌دهد. فرض کنید مقاومت هوای برابر حرکت جسم ناچیز است و تنها نیروی وزن به آن وارد می‌شود. در قسمتی از مسیر انرژی جنبشی جسم از  $K_1$  به  $K_2$  و انرژی پتانسیل آن از  $U_1$  به  $U_2$  تغییر کرده است. همان‌طور که دیدیم مطابق رابطه ۶-۳، کار نیروی وزن هنگام جابه‌جایی از موقعیت ۱ به موقعیت ۲ برابر است با:

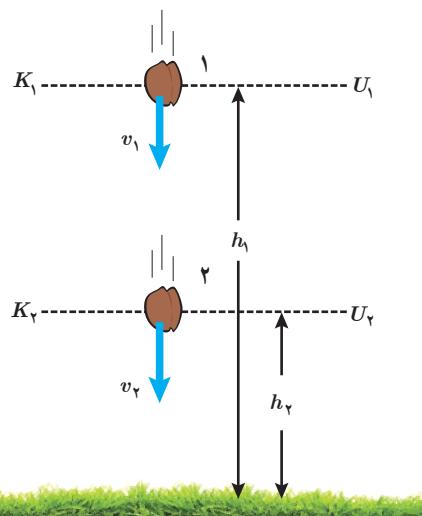
$$W_{\text{زن}} = -(U_2 - U_1)$$

از آنجا که در طول مسیر تنها نیروی وزن به جسم وارد می‌شود کار کل انجام شده روی جسم برابر کار نیروی وزن است. به این ترتیب، بنا به قضیه کار-انرژی جنبشی (رابطه ۴-۳) داریم:

$$W_t = W_{\text{زن}} = K_2 - K_1$$

از مقایسه دو رابطه اخیر می‌توان نوشت:

$$K_2 - K_1 = -(U_2 - U_1)$$



شکل ۷-۴ بازدیکتر شدن جسم به زمین، انرژی پتانسیل گرانشی کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد.



کریستیان هویگنس (۱۶۲۹-۱۶۹۵)، فیزیک‌دان، اخترشناس و ریاضی‌دان هلندی، نخستین داشمندی بود که در قرن هفدهم، پایستگی انرژی مکانیکی را برای حرکت یک جسم بر اثر گرانش زمین بیان کرد. هویگنس در ادامه فعالیت‌های گالیله در خصوص آونگ، قوانین آونگ ساده را ارائه داد و ساعت‌های آونگی را اختراع کرد. وی همچنین ساخت عدسی‌های تلسکوپ را بهبود بخشید و برای نخستین بار حلقه‌های سیاره زحل را مشاهده و گزارش کرد.

۴۰

که می‌توان آن را به صورت زیر نیز بازنویسی کرد:

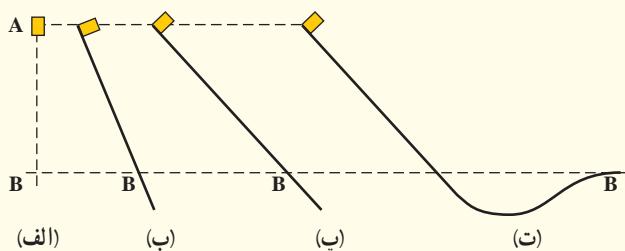
$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \quad (7-3)$$

این رابطه نشان می‌دهد مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی جسم در نقطه‌های مختلف مسیر حرکت با هم برابر است. مجموع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی هر جسم را انرژی مکانیکی آن می‌نامیم و با نشان می‌دهیم ( $E = K + U$ ). به این ترتیب، از رابطه ۷-۳ نتیجه می‌شود:

$$E_1 = E_2 \quad (8-3)$$

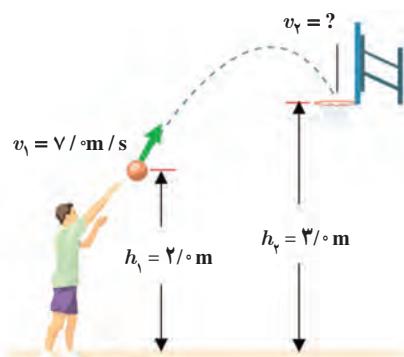
چون نقطه‌های (۱) و (۲) در مسیر حرکت جسم در شکل ۷-۳ اختیاری‌اند، نتیجه می‌گیریم با نادیده گرفتن نیروی مقاومت هوا، انرژی مکانیکی در تمام نقاط مسیر مقدار یکسانی دارد و پایسته می‌ماند. این نتیجه، اصل پایستگی انرژی مکانیکی نام دارد و برای شرایطی که بتوان اثر ناشی از نیروهایی مانند اصطکاک و مقاومت هوا را نادیده گرفت، کاربرد دارد.

### پوشش ۳-۳



شکل رو به رو، چهار وضعیت متفاوت را برای حرکت جسمی نشان می‌دهد. در وضعیت الف، جسم از حال سکون سقوط می‌کند و در سه وضعیت دیگر جسم از حال سکون روی مسیری بدون اصطکاک و رو به پایین حرکت می‌کند. تندی جسم را در نقطه B برای هر چهار وضعیت با هم مقایسه کنید.

### مثال ۱۱-۳



شکل رو به رو ورزشکاری را در حال پرتاب توپ بسکتبالی با تندی  $v_1 = 7/\text{m/s}$  به طرف سبد نشان می‌دهد. تندی توپ هنگام رسیدن به دهانه سبد چقدر است؟ مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید.

**پاسخ:** چون اثر نیروی مقاومت هوا را در حین حرکت توپ ناچیز فرض کردیم، پایستگی انرژی مکانیکی برقرار است. لذا از رابطه ۷-۳ می‌توان نوشت:

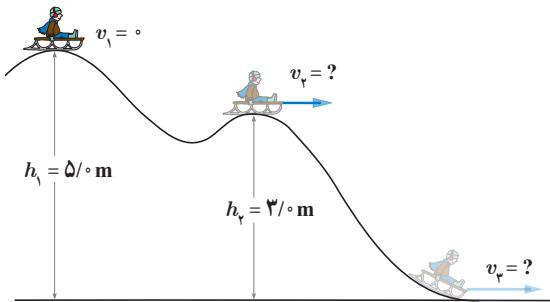
$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

با حذف  $m$  از طرفین معادله بالا، و جایگذاری مقادیر داده شده داریم:

$$\frac{1}{2}(7/\text{m/s})^2 + (9.8\text{ m/s}^2)(2/\text{m}) = \frac{1}{2}v_2^2 + (9.8\text{ m/s}^2)(3/\text{m})$$

با حل معادله بالا، تندی توپ در دهانه سبد تقریباً برابر  $v_2 = 5/\sqrt{4}\text{ m/s}$  به دست می‌آید.

## مثال ۳-۱۲



سورتمه سواری از ارتفاع  $h_1 = 5 \text{ m}$  بالای سطح زمین و روی مسیری بدون اصطکاک، از حال سکون شروع به حرکت می‌کند.

(الف) تندی سورتمه را در ارتفاع  $h_2$  به دست آورید.

(ب) تندی سورتمه را هنگامی که به سطح زمین می‌رسد پیدا کنید.

مقاومت هوای هنگام حرکت سورتمه نادیده بگیرید.

**پاسخ:** (الف) چون نیروهای اصطکاک و مقاومت هوای را در حین حرکت سورتمه ناچیز فرض کردیم، پایستگی انرژی مکانیکی برقرار است؛ لذا از رابطه ۳-۷ می‌توان نوشت:

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

با حذف  $m$  (جرم سورتمه و سورتمه سوار) از طرفین معادله بالا، و جایگذاری مقادیر داده شده داریم:

$$0 + (9/8 \text{ m/s}^2)(5/0 \text{ m}) = \frac{1}{2}v_2^2 + (9/8 \text{ m/s}^2)(3/0 \text{ m}) \Rightarrow v_2 = 6/3 \text{ m/s}$$

(ب) به طور مشابه قسمت قبل، انرژی مکانیکی وضعیت اول و وضعیت سوم سورتمه سوار را مساوی یکدیگر قرار می‌دهیم.

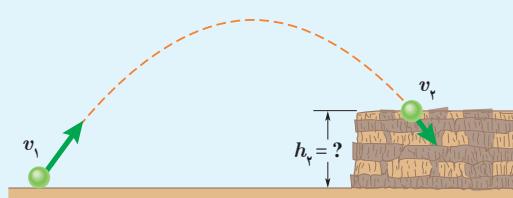
در این صورت تندی سورتمه سوار روی زمین برابر  $9/9 \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$  به دست می‌آید. به جای این کار می‌توانستید انرژی مکانیکی وضعیت دوم و وضعیت سوم سورتمه سوار را مساوی یکدیگر قرار دهید.

## تمرین ۳-۱۳

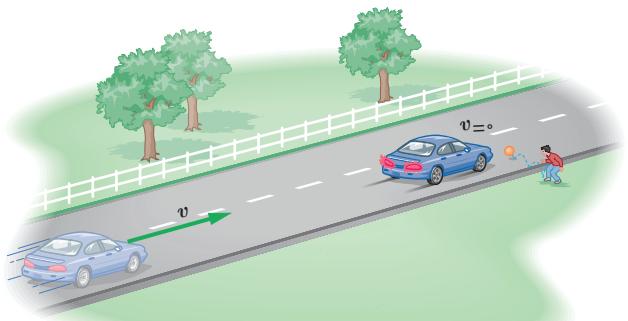
در مثال ۱۱-۳، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در ارتفاع  $h_1$  بگیرید و بر این اساس تندی توپ را هنگام رسیدن به دهانه سبد حساب کنید.

## تمرین ۳-۱۴

توبی مطابق شکل از سطح زمین با تندی  $v_1 = 4 \text{ m/s}$  به طرف صخره‌ای پرتاپ می‌شود. اگر توب با تندی  $v_2 = 25 \text{ m/s}$  به بالای صخره بخورد کند، ارتفاع  $h_2$  را به دست آورید. مقاومت هوای هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید.



### ۶-۳ کار و انرژی درونی



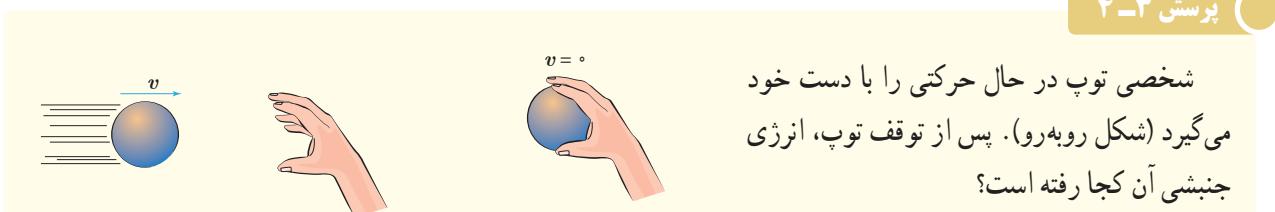
**شکل ۶-۸** وقتی خودرویی ترمز می‌گیرد کار نیروهایی که برخلاف جهت جابه‌جایی خودرو به آن وارد می‌شوند، انرژی جنبشی خودرو را کاهش می‌دهند.

خودرویی را در نظر بگیرید که با تندی  $v$  روی سطح جاده‌ای افقی در حرکت است. ناگهان راننده مانعی را می‌بیند و ترمز می‌کند طوری که چرخ‌های خودرو قفل می‌شوند و روی آسفالت جاده کشیده و ساییده می‌شوند و خط ترمز به وجود می‌آید (شکل ۶-۸). در این فرایند نیروی اصطکاک که برخلاف جهت جابه‌جایی خودرو به آن وارد می‌شود، روی خودرو کار منفی انجام می‌دهد. حال این پرسش مطرح می‌شود که پس از توقف خودرو، انرژی جنبشی آن کجا رفته است؟ برای پاسخ به این پرسش، نوع دیگری انرژی را معرفی می‌کنیم که انرژی درونی نامیده می‌شود. انرژی درونی یک جسم، مجموع انرژی‌های ذره‌های تشکیل دهنده آن است.

معمولًاً با گرمتر شدن یک جسم، انرژی درونی آن بالا می‌رود. انرژی درونی یک جسم، هم به تعداد ذرات جسم و هم به انرژی هر ذره مستقیم دارد. به طوری که هر چه تعداد ذرات سازنده یک جسم و انرژی هر ذره آن بیشتر باشد، انرژی درونی آن نیز بیشتر است. چون در حین ترمز گرفتن خودرو، لاستیک‌های آن و سطح جاده گرمتر شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که انرژی درونی هر دو افزایش یافته است. در نتیجه می‌توان گفت که در اثر کار نیروی اصطکاک، انرژی جنبشی خودرو به انرژی درونی لاستیک‌های آن و سطح جاده تبدیل شده است.

در این گونه موارد، اصطلاحاً می‌گوییم انرژی تلف شده است. در واقع، همان‌طور که اشاره شد، در این حالت انرژی از بین نرفته است بلکه به انرژی درونی لاستیک‌ها و سطح جاده تبدیل شده است. چون این انرژی را در اغلب موارد و در عمل نمی‌توان دوباره مورد استفاده قرار داد، معمولًاً از اصطلاح انرژی تلف شده استفاده می‌شود.

### ۴-۳ پرسش



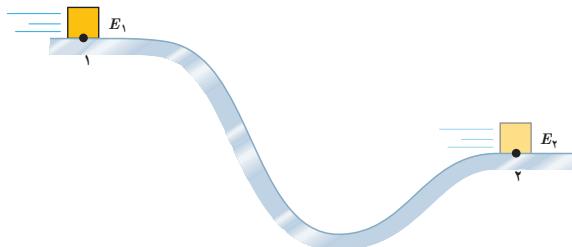
شخصی توپ در حال حرکتی را با دست خود می‌گیرد (شکل رو به رو). پس از توقف توپ، انرژی جنبشی آن کجا رفته است؟

شکل ۳-۹ جسمی را نشان می‌دهد که پس از طی مسیری انرژی مکانیکی آن از  $E_i$  به  $E_f$  تغییر کرده است. اگر در طول مسیر نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا، به جسم وارد شوند و روی جسم کار منفی انجام دهند، بخشی از انرژی مکانیکی جسم را به انرژی درونی جسم، سطح مسیر و هوا تبدیل می‌کنند. اگر کار انجام شده توسط این نیروها که معمولًاً به نیروهای اتلافی نیز شناخته می‌شوند را با  $W_f$  نمایش دهیم در این صورت  $E_f = E_i - W_f$  است.<sup>۱</sup>

۱— در حالت کلی، به جز نیروهای مانند نیروی گرانشی (که برای آنها انرژی پتانسیل تعریف می‌شود) و نیروهای اتلافی (نظیر اصطکاک و مقاومت هوا) ممکن است نیروهای دیگری نیز روی جسم کار انجام دهند. کار این نیروها به جمله دیگری در این رابطه می‌انجامد که بررسی آن خارج از برنامه درسی این کتاب است. معمولًاً از حرف کوچک <sup>۱</sup> برای نشان دادن نیروهای اتلافی مانند اصطکاک و مقاومت هوا استفاده می‌شود.



این رابطه نشان می‌دهد با حضور نیروهای اتلافی، انرژی مکانیکی جسم یا سامانه پایسته نمی‌ماند و تغییر می‌کند. همان طور که پیش از این نیز اشاره کردیم این کاهش انرژی مکانیکی به صورت افزایش انرژی درونی جسم و محیط اطراف آن (سطح مسیر و هوا) درمی‌آید.



**شکل ۳-۴** وقتی نیروهایی مانند اصطکاک و مقاومت هوا در حین حرکت جسم، روی آن کار انجام دهن انرژی مکانیکی جسم پایسته نیست.

**قانون پایستگی انرژی:** در یک سامانه منزوی<sup>۱</sup>، مجموع کل انرژی‌ها پایسته می‌ماند. انرژی را نمی‌توان خلق یا نابود کرد و تنها می‌توان آن را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل کرد. این بیان، که براساس آزمایش‌های بسیاری بنا شده است قانون پایستگی انرژی نامیده می‌شود و تاکنون هیچ مورد استثنای برای آن یافت نشده است.



بولیوس فون مایر  
(۱۸۱۴–۱۸۷۸)

قانون پایستگی انرژی بیانی از نبات در طبیعت است. انرژی کل، کمیتی است که پایسته می‌ماند؛ در حالی که کیت‌های دیگر می‌توانند تغییر کنند. اولین اظهار نظر درباره اینکه قانون پایستگی انرژی در طبیعت حاکم است، در اواسط قرن نوزدهم میلادی مطرح شد. مایر در آلمان و زول در انگلستان، اظهار نظر کردند که گرما و انرژی مکانیکی هم ارز یکدیگرند؛ یعنی می‌توانند به یکدیگر تبدل شوند و مجموع آنها ثابت بماند. قانون پایستگی انرژی مایر و زول، دو شاخه مهم فیزیک، به نام ترمودینامیک و مکانیک را وحدت بخشد.



جیمز بریسکات ژول  
(۱۸۱۸–۱۸۸۹)

### مثال ۳



از بالونی که در ارتفاع ۵۰ متری سطح زمین و با تندی  $4\text{ m/s}$  در پرواز است، بسته‌ای به جرم ۳۰ kg رها می‌شود و با تندی  $25\text{ m/s}$  به زمین برخورد می‌کند. کار انجام شده توسط نیروی مقاومت هوا بر روی بسته را از لحظه رها شدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید.

**پاسخ:** ابتدا انرژی مکانیکی بسته را در لحظه رها شدن و هنگام برخورد به زمین حساب می‌کنیم.  
اگر مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین فرض می‌کنیم، داریم :

$$\begin{aligned} E_1 &= K_1 + U_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 \\ &= \frac{1}{2}(30\text{ kg})(4\text{ m/s})^2 + (30\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2)(50\text{ m}) = 14940\text{ J} \approx 1.5 \times 10^4\text{ J} \end{aligned}$$

$$E_2 = K_2 + U_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

$$= \frac{1}{2}(30\text{ kg})(25\text{ m/s})^2 + 0 = 9375\text{ J} \approx 9.4 \times 10^3\text{ J}$$

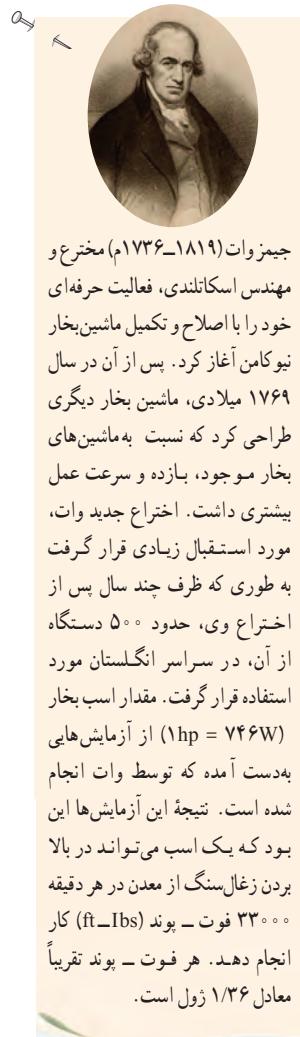
با جایگذاری مقادیر انرژی مکانیکی بسته در رابطه  $W_f = E_2 - E_1$ ، کار انجام شده توسط نیروی مقاومت هوا بر روی بسته برابر است با :

$$W_f = E_2 - E_1 = 9375\text{ J} - 14940\text{ J} = -5565\text{ J} \approx -5.6 \times 10^3\text{ J}$$

۱— به سامانه‌ای که نه از محیط اطراف انرژی بگیرد و نه به محیط اطراف انرژی دهد، سامانه منزوی گفته می‌شود.



تویی به جرم  $45\text{ kg}$  با تندی  $8/\text{m/s}$  از نقطه A می‌گزرد (شکل روبرو). نیروی مقاومت هوا و نیروی اصطکاک در سطح تماس توپ با زمین،  $20\text{ N}$  درصد انرژی جنبشی اولیه توپ را تارسیدن به نقطه B تلف می‌کند. تندی توپ را در این نقطه به دست آورید.

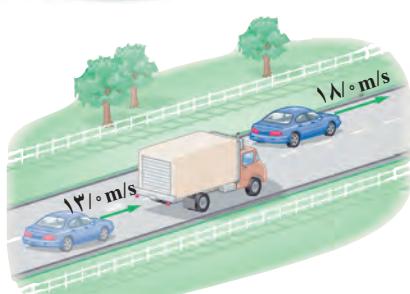


جیمز وات (۱۷۳۶-۱۸۱۹) مخترع و مهندس اسکاتلندی، فعالیت حرفه‌ای خود را با اصلاح و تکمیل ماشین بخار نیوکامن آغاز کرد. پس از آن در سال ۱۷۶۹ میلادی، ماشین بخار دیگری طراحی کرد که نسبت به ماشین‌های بخار موجود، بازده و سرعت عمل پیشرفتی داشت. اختراع جدید وات، مورد استقبال زیادی قرار گرفت به طوری که ظرف چند سال پس از اختراع وی، حدود  $500$  دستگاه از آن، در سراسر انگلستان مورد استفاده قرار گرفت. مقدار اسب بخار ( $1\text{ hp} = 746\text{ W}$ ) از آزمایش‌های به دست آمده که به احترام جیمز وات مخترع انگلیسی نام‌گذاری شده است. مطابق شده است. نتیجه این آزمایش‌ها این بود که یک اسب می‌تواند در بالا بردن زغال‌سنگ از معدن در هر دقیقه  $33000$  فوت - پوند (ft-lbs) کار انجام دهد. هر فوت - پوند تقریباً معادل  $1/36$  ژول است.

در علوم نهم با برخی از ماشین‌های ساده آشنا شدید. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر ماشین، چه ساده باشد چه پیچیده، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا کار معینی را انجام دهد. یک ماشین می‌تواند کار معینی را آرام، یا تند انجام دهد. برای مثال، هرچه موتور یک خودرو قوی‌تر باشد راحت‌تر و سریع‌تر می‌تواند از یک جاده کوهستانی بالا رود. در صورتی که برای پیمودن همین مسیر توسط خودرویی مشابه، ولی با موتور ضعیف‌تر، زمان طولانی‌تری لازم است. در اغلب موارد لازم است بدانیم در چه مدت زمانی می‌توان کار معینی را انجام داد. در فیزیک، آهنگ انجام کار را با کمیتی به نام توان توصیف می‌کنیم. هرچند در گفت و گوهای روزمره، معمولاً واژه توان را با واژه‌های انرژی یا نیرو متراff دیگرند، اما این کمیت در فیزیک تعریف دقیقی دارد. توان، همانند کار و انرژی، کمیتی است نزدیکی و به صورت آهنگ انجام کار بیان می‌شود. هنگامی که کار  $W$  در بازه زمانی  $\Delta t$  انجام می‌شود، کار انجام شده در واحد زمان یا توان متوسط  $P_{av}$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t} \quad (9-3)$$

یکای SI توان، وات (W) است که به احترام جیمز وات مخترع انگلیسی نام‌گذاری شده است. مطابق تعریف توان (رابطه ۹-۳)، یک وات برابر است با یک ژول بر ثانیه ( $1\text{ J/s} = 1\text{ W}$ ). استفاده از یکاهای بزرگ‌تر توان، مانند کیلووات (kW) و مگاوات (MW) نیز متداول است. یکای قدیمی توان، به نام اسب بخار ( $1\text{ hp} = 746\text{ W}$ ) هنوز نیز استفاده می‌شود.<sup>۲</sup> این یکا نخستین بار توسط وات برای ارزیابی توان خروجی اختراع جدیدش، ماشین بخار، معرفی شد. توان موتور بیشتر وسایل نقلیه با این یکا بیان می‌شود.



شکل روبرو خودرویی به جرم  $130\text{ kg}$  را نشان می‌دهد که برای سبقت گرفتن از کامیونی، در مسیری افقی و در مدت  $3/\text{s}$  تندی خود را از  $v_1 = 13/\text{m/s}$  به  $v_2 = 18/\text{m/s}$  تغییر داده است. توان متوسط موتور خودرو برای انجام این کار، دست کم چقدر باید باشد؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید.

۱- زیرنویس  $P_{av}$  در ابتدای واژه average به معنای متوسط گرفته شده است.

**پاسخ:** با توجه به رابطه ۴-۳، کار کل انجام شده توسط موتور خودرو، برابر تغییر انرژی جنبشی آن است. به این ترتیب، با به دست آوردن انرژی جنبشی خودرو در دو وضعیت داده شده و محاسبه کار کل موتور خودرو داریم:

$$\begin{aligned} W_t &= K_2 - K_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \\ &= \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2}(130 \text{ kg})[(18 \text{ m/s})^2 - (13 \text{ m/s})^2] = 100750 \approx 101 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

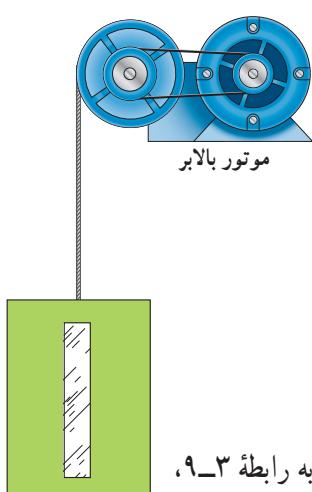
با جایگذاری مقدار به دست آمده در رابطه ۳-۹، کمترین توان متوسط موتور خودرو برای انجام این کار برابر است با:

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{100750 \text{ J}}{3/0 \text{ s}} \approx 3/4 \times 10^4 \text{ W} = 45 \text{ hp}$$

در واقع با وجود نیروهای اتلافی (مانند مقاومت هوا) در حین حرکت خودرو، توان مورد نیاز از این مقدار بیشتر است.

### مثال ۳-۱۵

جرم اتافک بالابری به همراه بار آن ۵۰۰ kg است (شکل رو به رو). اگر این بالابر در مدت ۱۰ s از طبقه همکف به طبقه دوم در ارتفاع ۶۰ m برود، توان متوسط موتور این بالابر چند اسب بخار است؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید.



**پاسخ:** با توجه به رابطه ۴-۳، کار کل انجام شده روی اتافک بالابر (شامل کار نیروی وزن و کار نیروی موتور بالابر) برابر تغییر انرژی جنبشی آن است. به این ترتیب داریم:

$$\begin{aligned} W_{موتور} + W_{وزن} &= K_2 - K_1 \\ -mg(h_2 - h_1) + W_{موتور} &= 0 - 0 \\ W_{موتور} &= mg(h_2 - h_1) = (500 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(60 \text{ m} - 0) = 29400 \text{ J} \approx 2/9 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

در محاسبه بالا، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین (طبقه همکف) گرفته‌ایم. با توجه به رابطه ۳-۹، توان متوسط موتور بالابر برابر است با:

$$P_{av} = \frac{W_{موتور}}{\Delta t} = \frac{29400 \text{ J}}{10 \text{ s}} \approx 2/9 \times 10^3 \text{ W} = 3/9 \text{ hp}$$

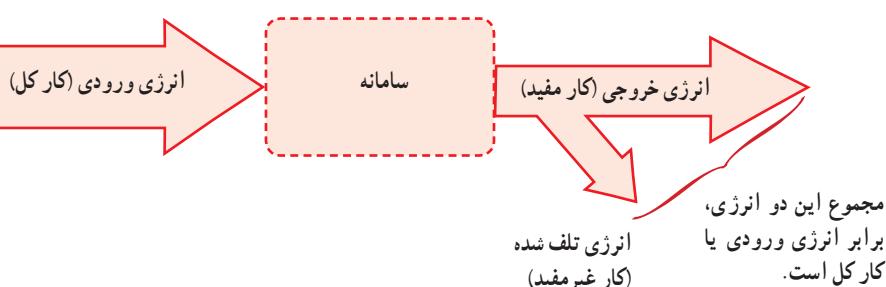
### تمرین ۳-۱۶



هر یک از دو موتور جت یک هواپیمای مسافربری، پیشانه‌ای (نیروی جلوبر هوایپما) برابر  $2/0 \times 10^5 \text{ N}$  ایجاد می‌کند. اگر هواپیما در هر دقیقه ۱۵ km در امتداد این نیرو حرکت کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند اسب بخار است؟

**بازده:** در هر سامانه تنها بخشی از انرژی ورودی (انرژی مصرفی سامانه) به انرژی موردنظر ما تبدیل می‌شود. برای مثال، وقتی موتور بالابری کار می‌کند بخشی از انرژی الکتریکی ورودی به کار مکانیکی تبدیل می‌شود و اتفاق بالا بر را جابه‌جا می‌کند. بخش دیگری از انرژی الکتریکی ورودی به صورت انرژی‌های ناخواسته‌ای مانند گرم‌تر شدن اجزای موتور و کابل بالابر در می‌آید. شکل ۱۰ طرح واره‌ای است که این نوع تبدیل انرژی‌ها در سامانه را نشان می‌دهد.

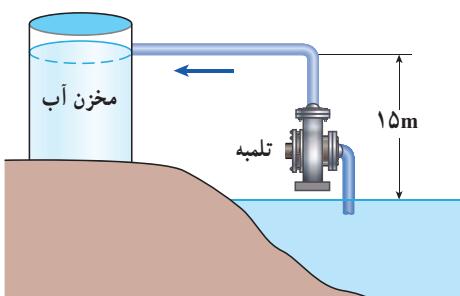
**شکل ۱۰** همواره بخشی از انرژی ورودی به سامانه، به انرژی تلف شده یا کار غیرمفید تبدیل می‌شود.



همان طور که طرح واره شکل ۱۰ نشان می‌دهد تنها بخشی از انرژی ورودی قابل استفاده است که به آن انرژی خروجی یا کار مفید می‌گویند. نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را بازده می‌نامیم. معمولاً بازده هر سامانه را بر حسب درصد بیان می‌کنند، که همواره عددی کوچک‌تر از ۱۰۰ است. با توجه به تعریف بازده، از رابطه زیر می‌توان درصد بازده هر سامانه را به سادگی محاسبه کرد.

$$\text{انرژی خروجی} = \frac{\text{بازده بر حسب درصد}}{\text{انرژی ورودی}} \times 100 \quad (10-3)$$

### مثال ۱۶-۳



تلمبه‌ای با توان ورودی  $15\text{kW}$  در هر ثانیه  $7\text{ لیتر آب دریاچه‌ای به چگالی } 1000\text{ kg/m}^3$  را مطابق شکل رو به رو تا ارتفاع  $15$  متری مخزنی می‌فرستد. بازده تلمبه چند درصد است؟

**پاسخ:** انرژی الکتریکی ورودی به تلمبه برابر است با

$$E_{\text{ورودی}} = 15000 \text{ J} = 15000 \text{ J} \approx 1/5 \times 10^4 \text{ J}$$

جرم هر لیتر آب دریاچه  $1/10\text{kg}$  و کار مفید تلمبه برابر است با :

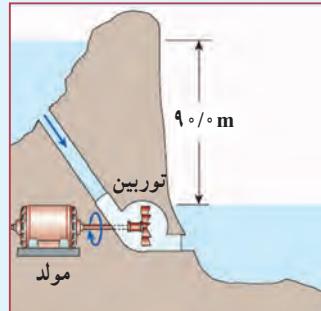
$$E_{\text{خروجی}} = mg(h_2 - h_1) = (70\text{kg})(9.8\text{N/kg})(15\text{m} - 0) = 10290 \text{ J} \approx 1/10 \times 10^4 \text{ J}$$

در محاسبه بالا، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح آب دریاچه گرفته‌ایم. با توجه به رابطه ۱۰-۳، درصد بازده تلمبه برابر است با :

$$\frac{10290 \text{ J}}{15000 \text{ J}} \times 100 \approx \% 68 = \text{بازده بر حسب درصد}$$

لازم است توجه کنید که بخشی از توان ورودی تلمبه به دلیل اصطکاک آب در حال حرکت با جداره داخلی لوله تلف می‌شود.

## تمرین ۳ - ۱۷



آب ذخیره شده در پشت سد یک نیروگاه برق آبی، از مسیری مطابق شکل روی پرهای توربینی می‌ریزد و آن را می‌چرخاند. با چرخش توربین، مولد می‌چرخد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود (شکل روبرو). اگر ۸۵ درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی توربین بریزد تا توان الکتریکی خروجی مولد نیروگاه به  $200 \text{ MW}$  برسد؟ جرم هر متر مکعب آب را  $1000 \text{ kg}$  در نظر بگیرید.

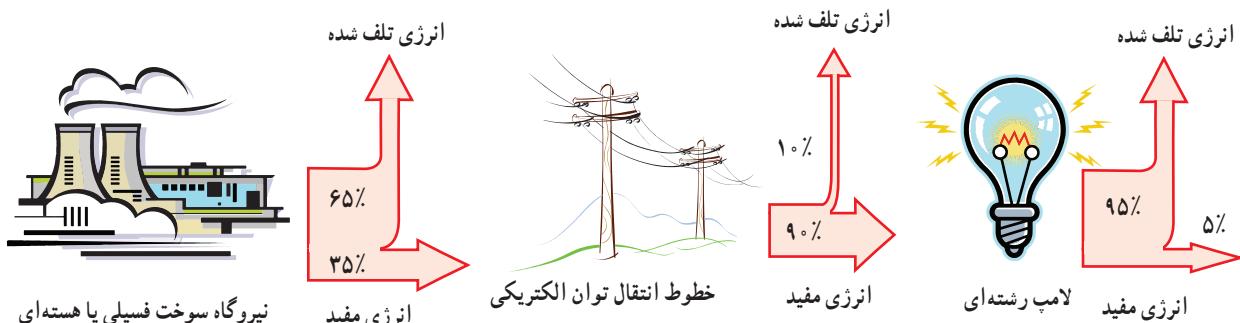
## فعالیت ۳ - ۱

شکل زیر طرح وارهای از درصد انرژی مفید و انرژی تلف شده در یک نیروگاه سوخت فسیلی یا هسته‌ای را از آغاز تا مصرف در یک لامپ رشته‌ای نشان می‌دهد.

(الف) یک نیروگاه سوخت فسیلی را در نظر بگیرید که با مصرف گازوئیل، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. با سوختن هر لیتر گازوئیل حدود  $35 \text{ مگاواتل انرژی گرمایی}$  تولید می‌شود. برای اینکه یک لامپ رشته‌ای  $100 \text{ واتی}$  در طول یک ماه به مدت  $180 \text{ ساعت}$  روشن بماند (به طور میانگین هر شبانه روز  $6 \text{ ساعت}$ )، چقدر گازوئیل باید در نیروگاه مصرف شود؟

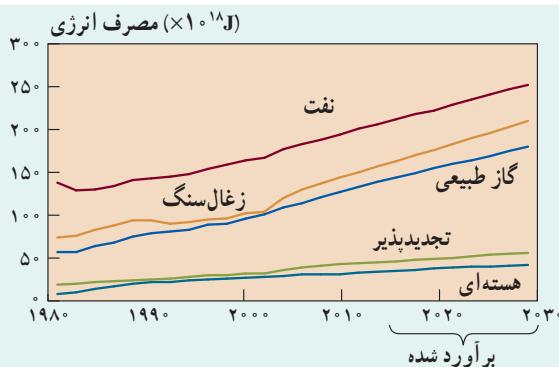
(ب) با توجه به نتیجه قسمت الف، درک خود از هشدار معروف «لامپ اضافی خاموش!» را بیان کنید.

(پ) اگر در سراسر ایران، هر خانه در طول یک ماه، معادل انرژی الکتریکی مصرف شده در قسمت الف، صرفه‌جویی کند، مقدار گازوئیل صرفه‌جویی شده را محاسبه کنید.



## فعالیت ۳ - ۲

مدت زمانی را که طول می‌کشد تا با دویدن به بالای یک راه پله برسید اندازه بگیرید. آهنگ انجام این کار را محاسبه کنید. پاسخ خود را بحسب وات و اسب بخار بیان کنید.



کل مصرف انرژی از منابع مختلف، همان‌طور که دیده می‌شود طی ۱۵ سال آینده مصرف انرژی جهان از منابع مختلف رشد چشمگیری خواهد داشت. در این میان بهره برداری از سوخت‌های فسیلی بیش از سایر منابع انرژی است.



برحسب مصرف انرژی مربوط به نوعی از یخچال فریزر. همان‌طور که دیده می‌شود شاخص مصرف انرژی این کالا، از رتبه A تا G، دارای رتبه B است که رتبه متوسطی محسوب می‌شود.

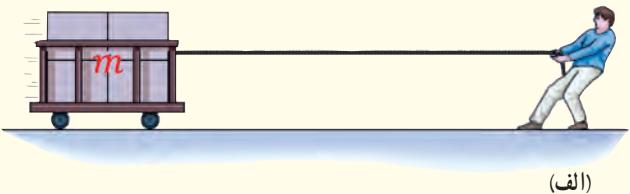
**بهینه‌سازی مصرف انرژی:** امروزه انرژی در همه عرصه‌های زندگی بشر و همچنین توسعه زیرساخت‌های صنعتی و اقتصادی نقش محوری ایفا می‌کند و یکی از ارکان استقلال و اقتدار سیاسی کشورها محسوب می‌شود. افزایش روز افزون مصرف انواع مختلف انرژی در جهان، هم اینک به یکی از چالش‌های فراروی بشر تبدیل شده است (شکل رویه‌رو). این امر بهویژه پس از بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰ میلادی، متخصصان حوزه انرژی را به بررسی و ارائه راهکارهایی برای استفاده و مصرف بهینه انرژی واداشته است.

همان‌طور که دیده می‌شود بهینه‌سازی مصرف انرژی از نظر اقتصادی نه تنها یک ضرورت است؛ بلکه از جنبه زیست محیطی نیز اهمیت بسزایی دارد. بهینه‌سازی مصرف انرژی به بیان ساده به مجموعه‌ای از راهکارها و عملکردها گفته می‌شود که منجر به کاهش مصرف مقدار انرژی در بخش‌های مختلفی از قبیل تولید، خدمات و مسکونی شود. به این منظور دولتها تلاش می‌کنند تا برنامه‌های مختلفی را پس از برنامه‌ریزی دقیق و به خصوص توجه به جنبه‌های زیست محیطی آن به اجرا درآورند. برای مثال، یکی از موارد مهمی که در سال‌های اخیر در ایران از طرف مسئولان مورد تأکید نظری و عملی قرار گرفته است، تعیین ملاک‌هایی برای مصرف انرژی کلیه وسائل خانگی است که عملکرد آنها به انرژی وابسته است. حاصل این کار تهیه و تدوین برچسب انرژی است که شامل اطلاعات مربوط به مصرف انرژی کالای تولید شده است (شکل رویه‌رو).

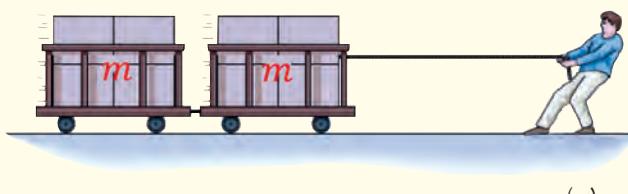
## ۳-۱ انرژی جنبشی

## ۲-۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت و کار و انرژی جنبشی

۳ در شکل‌های (الف) و (ب) جرم ارابه‌ها یکسان است. برای اینکه تندی ارابه‌ها از صفر به مقدار معین  $v$  برسد، کار انجام شده در هر دو حالت را باهم مقایسه کنید.

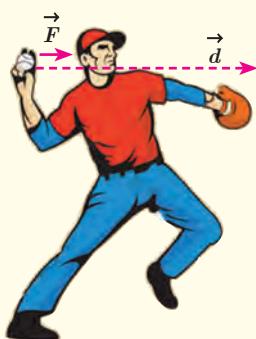


(الف)



(ب)

۴ ورزشکاری سعی می‌کند توپ پیسبالی به جرم  $15\text{ g}$  را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی  $N = 75$  تا لحظه پرتاب توپ و در امتداد جابه‌جایی  $d = 1/5\text{ m}$  (بر آن وارد می‌کند (شکل زیر). با چشم‌پوشی از مقاومت هوا، تندی توپ هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟



۵ آیا کار کل انجام شده بر یک جسم در یک جابه‌جایی می‌تواند منفی باشد؟ توضیح دهید.

۶ برای آنکه نیروی خالصی، بتواند تندی جسم را از صفر به  $v$  برساند باید مقدار کار  $W$  را روی آن انجام دهد. اگر قرار باشد تندی این جسم از صفر به  $3v$  برسد کاری که روی جسم باید انجام شود چند برابر  $W$  است؟

۱ تقریباً بیشتر شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جو زمین می‌شوند به دلیل اصطکاک زیاد با ذرات تشکیل دهنده جو، به دمای بالای می‌رسند و می‌سوزند. شکل زیر شهاب‌سنگی به جرم  $10^5\text{ kg}$  را نشان می‌دهد که با تندی  $4/\text{km/s}$  وارد جو زمین شده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ را به دست آورید. این انرژی را با انرژی جنبشی یک هواپیمای مسافربری به جرم  $10^4\text{ kg}$  که با تندی  $25/\text{m/s}$  در حرکت است مقایسه کنید.



۱ حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب‌سنگی در تزدیک آریزونای آمریکا به زمین برخورد کرده و چاله‌ای بزرگ از خود به جای گذاشته است (شکل زیر). با اندازه‌گیری‌های جدید (۵۰۰ میلادی) برآورد شده است که جرم این شهاب‌سنگ حدود  $10^8\text{ kg}$  بوده و با تندی  $12/\text{km/s}$  به زمین برخورد کرده است.

انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟

(خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تن TNT تقریباً برابر  $4/2 \times 10^9\text{ J}$  است).



### ۴-۳ کار و انرژی پتانسیل

۱۰ آیا انرژی جنبشی یک جسم می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه چطور؟ توضیح دهید.

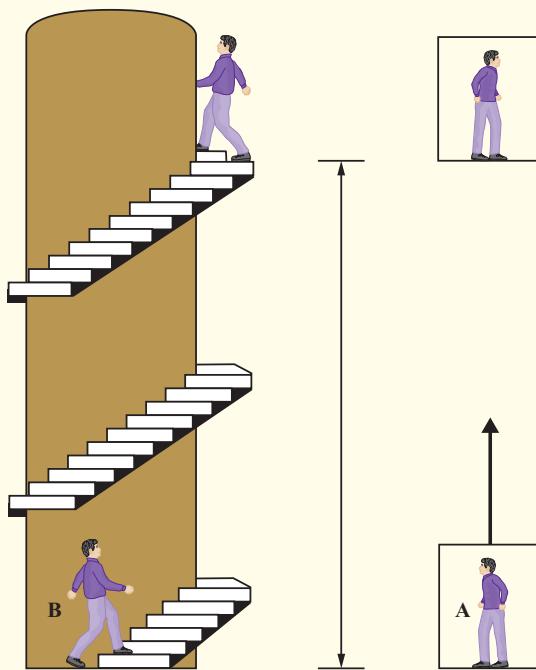
۱۱ دو شخص هم جرم A و B به طبقه سوم ساختمانی می‌روند. شخص A با آسانبر (آسانسور) و شخص B به آرامی از پله‌های ساختمان بالا می‌روند. گزاره‌های درست را با ذکر دلیل مشخص کنید.

(الف) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A از شخص B کمتر است، زیرا آرام‌تر بالا رفته است.

(ب) انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A کمتر از شخص B است، زیرا برای رسیدن به طبقه سوم ساختمان مسافت کمتری پیموده است.

(پ) کار نیروی وزن برای هر دو شخص در طول مسیر یکسان است.

(ت) انرژی پتانسیل گرانشی هر دو شخص در طبقه سوم ساختمان یکسان است.

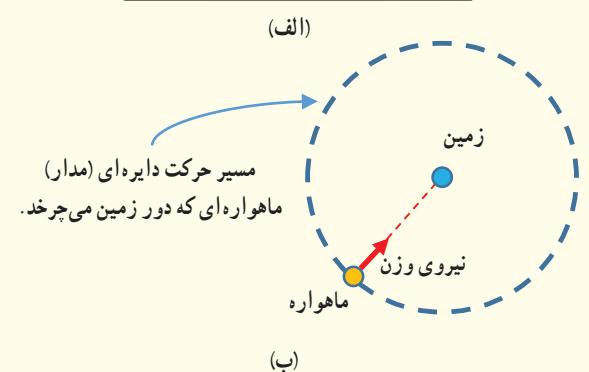


۷ اگر مطابق شکل زیر سطلی را در دست نگه دارید، آیا نیروی دست شما هنگامی که باتندی ثابت در مسیر افقی قدم می‌زنید روی سطل کاری انجام می‌دهد؟ اگر تندی حرکت شما در طول مسیر کم و زیاد شود چطور؟ پاسخ خود را در هر مورد توضیح دهید.



۸ شخصی گلوله‌ای برفی به جرم  $150\text{ g}$  را از روی زمین برミ دارد و تا ارتفاع  $180\text{ cm}$  بالا می‌برد و سپس آن را باتندی  $12\text{ m/s}$  پرتاپ می‌کند. کار انجام شده توسط شخص روی گلوله برف چقدر است؟

۹ ماهواره‌ها در مدارهای معین و با تندی ثابتی دور زمین می‌چرخند. حرکت یک ماهواره به دور زمین شکل (الف) را می‌توان مطابق شکل (ب) مدل‌سازی کرد. همان‌طور که دیده می‌شود نیروی خالصی (نیروی وزن) همواره بر ماهواره وارد می‌شود. چگونه امکان دارد با وجود وارد شدن این نیرو به ماهواره، انرژی جنبشی آن ثابت بماند؟

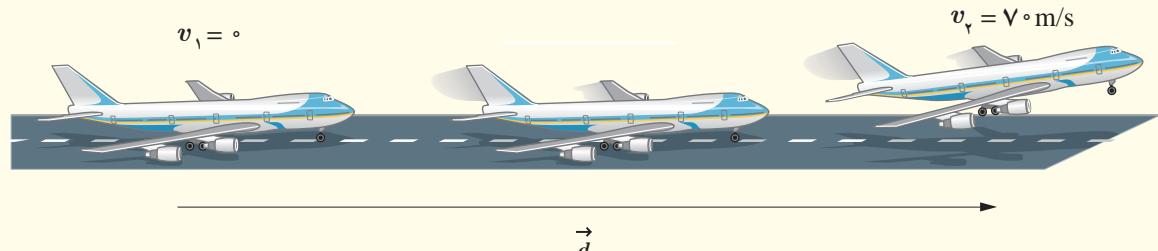


ب) یک دقیقه پس از برخاستن، هواپیما تا ارتفاع  $56^{\circ}m$  از سطح زمین اوج می‌گیرد و تندی آن به  $14^{\circ}m/s$  می‌رسد. در این مدت، کار نیروی وزن چقدر است؟

(ب) به جز نیروی وزن، چه نیروهای دیگری بر هواپیما اثر می‌کند  
(با این نیروها در علوم سال ششم آشنا شدید؟) کار کدام یک از این نیروها مثبت و کار کدام یک از آنها منفی است؟

۱۲ شکل زیر هواپیمایی به جرم  $1.0 \times 10^3 kg$  را نشان می‌دهد که از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از  $20.5^{\circ}m$  با تندی  $v_1 = 7.0 m/s$  می‌رسد.

(الف) کار کل نیروهای وارد بر هواپیما را در این جابه‌جایی حساب کنید.

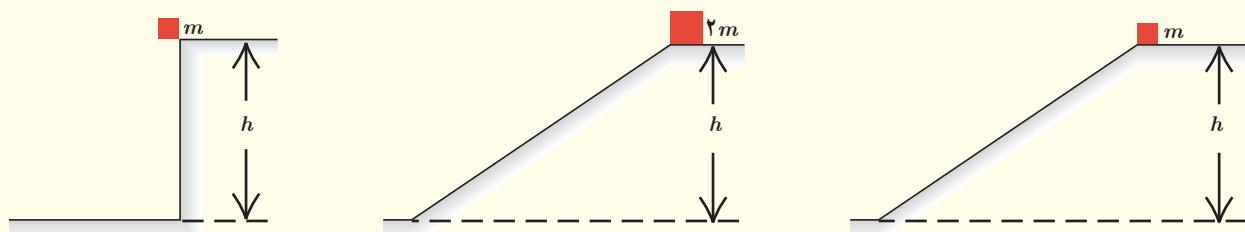


در کدام حالت، جسم

(الف) بیشترین تندی را هنگام رسیدن به سطح افقی دارد؟  
(ب) تا هنگام رسیدن به پایین مسیر، بیشترین مقدار کار نیروی وزن روی آن انجام شده است؟

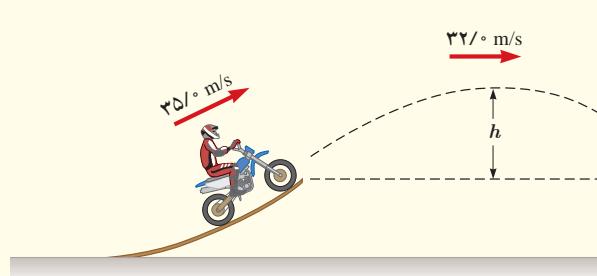
### ۳-۵ و ۳-۶ پایستگی انرژی مکانیکی و کار و انرژی درونی

۱۳ در سه شکل زیر اجسامی از حالت سکون و ارتفاع  $h$  نسبت به سطح افق رها می‌شوند و نیروی اصطکاک و مقاومت هوا بر آنها وارد نمی‌شود.



۱۴ موتورسوواری از انتهای سکویی مطابق شکل زیر، پرشی را با تندی  $35^{\circ}m/s$  انجام می‌دهد. اگر تندی موتورسوار در بالاترین نقطه مسیرش به  $32^{\circ}m/s$  برسد، ارتفاع  $h$  را پیدا کنید. اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر حرکت موتورسوار نادیده بگیرید.

۱۴ در شکل زیر هواپیمایی که در ارتفاع  $30^{\circ}m$  از سطح زمین و با تندی  $5.0 m/s$  پرواز می‌کند، بسته‌ای را برای کمک به آسیب‌دیدگان زلزله رها می‌کند. تندی بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ (از تأثیر مقاومت هوا روی حرکت بسته چشم پوشی کنید.)



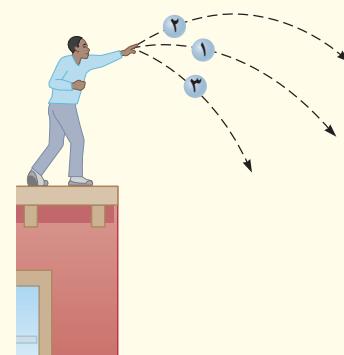
۱۹ شکل زیر گلوله‌ای را نشان می‌دهد که از سقف کلاسی آویزان شده و دانش‌آموزی آن را از وضعیت تعادل خارج کرده و در برابر نوک بینی خود گرفته است.

الف) وقتی دانش‌آموز گلوله را رها می‌کند هنگام برگشت به او برخورد نمی‌کند. چرا؟ (این تجربه ساده ولی هیجان‌انگیز را در صورت امکان در کلاستان انجام دهد).

ب) اگر دانش‌آموز هنگام رها کردن گلوله، آن را هُل دهد، هنگام برگشت آن، چه اتفاقی می‌افتد؟



۱۶ سه توپ مشابه، از بالای ساختمانی با تندي یکسانی پرتاب می‌شوند (شکل زیر). توپ (۱) در امتداد افق، توپ (۲) با زاویه‌ای بالاتر از امتداد افق و توپ (۳) با زاویه‌ای پایین‌تر از امتداد افق پرتاب می‌شود. با نادیده گرفتن مقاومت هوا، انرژی جنبشی توپ‌ها را هنگام برخورد با سطح زمین، با یکدیگر مقایسه کنید.



۱۷ گلوله‌ای به جرم  $g = 5\text{ kg}$  از دهانه تفنگی با تندي  $1/5\text{ km/s}$  و ارتفاع  $1/6\text{ m}$  از سطح زمین شلیک می‌شود. اگر گلوله با تندي  $4/5\text{ km/s}$  به زمین برخورد کند،

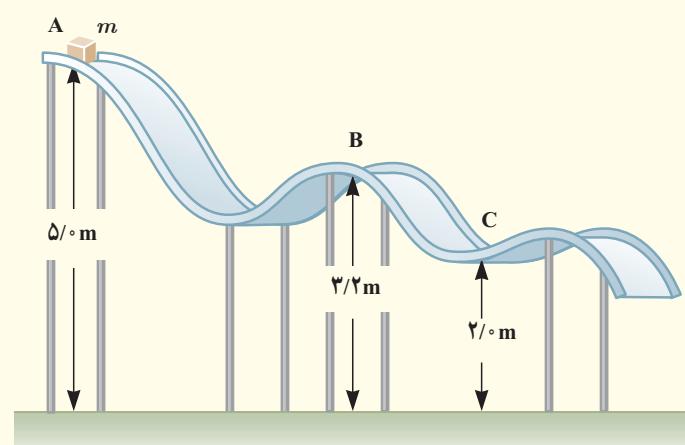
الف) در مدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدر است؟  
ب) مقدار به‌دست آمده در قسمت (الف) را با کار نیروی وزن مقایسه کنید.

۱۸ جسمی به جرم  $m = 12\text{ kg}$  در نقطه A از حالت سکون رها می‌شود و در مسیری بدون اصطکاک سُر می‌خورد (شکل زیر).

تعیین کنید :

الف) تندي جسم را در نقطه B

ب) کار نیروی گرانشی را در حرکت جسم از نقطه A تا نقطه C.



۲۰ بالابری با تندي ثابت، باری به جرم  $65\text{ kg}$  را در مدت  $3/2\text{ دقیقه}$  تا ارتفاع  $75\text{ m}$  بالا میرد. اگر جرم بالابر  $32\text{ kg}$  باشد،

توان متوسط موتور آن چند وات و چند اسب بخار است؟

۲۱ شخصی به جرم  $72\text{ kg}$ ، در مدت زمان  $9\text{ s}$  از تعداد  $5$  پله بالا می‌رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را  $3\text{ cm}$  فرض کنید.

۲۲ سالانه نزدیک به  $125$  میلیارد لیتر مواد و فراورده‌های نفتی از طریق حدود  $14000\text{ km}$  خطوط لوله در نقاط مختلف کشور توزیع می‌شود. این خطوط در طول مسیر خود از مراکز انتقال متعددی می‌گذرند تا توان لازم را برای ادامه راه به‌دست

سطح دریای آزاد فرستاده می‌شود. اگر بازده هر یک از پمپ‌های این مرکز حدود ۲۸ درصد باشد<sup>۱</sup> توان هر یک از آنها بر حسب مگاوات (MW) و اسپ بخار (hp) چقدر است؟ (چگالی مواد نفتی را  $86 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.)

آورند. شکل زیر یکی از این مراکز را نشان می‌دهد که در ارتفاع  $205\text{ m}$  از سطح دریای آزاد قرار دارد. در این مرکز، در هر ثانیه یک متر مکعب مواد نفتی از طریق لوله‌ای با قطر  $32/\text{cm}$  اینچ ( $81/2\text{ cm}$ ) توسط دو دستگاه پمپ (تلمبه) تا ارتفاع  $270\text{ m}$  از



مرکز انتقال نفت گندمکار، یکی از ۷ مرکزی است که در مسیر مارون – اصفهان قرار دارد. این مسیر، که طولی برابر  $431$  کیلومتر دارد دومین مسیر سخت و صعب‌العبور خطوط انتقال مواد نفتی در دنیاست.

۱ – بخش زیادی از انرژی پمپ‌ها، صرف غلبه بر چسبندگی زیاد مواد نفتی با جداره داخلی لوله‌های انتقال می‌شود.