# ۳

ماهی‌گیران در سواحل خلیج فارس

به نظر شما کشیدن تور ماهی‌گیری از پشت (مطابق شکل) آیا مزیتی نسبت به کشیدن آن از جلو دارد؟

فصل
۳

# دینامیک

در فصل دوم با کمیت‌هایی مانند مکان، جابه‌جایی، سرعت و شتاب آشنا شدیم و با تعریف این کمیت‌ها، حرکت را توصیف کردیم. دیدیم که ممکن است حرکت با سرعت ثابت انجام شود و یا ممکن است، حرکت جسم شتاب‌دار باشد و در نتیجه، سرعت تغییر کند. اما از طرح و پاسخ پرسش‌هایی نظیر : در چه صورتی یک جسم ساکن می‌ماند؟ چگونه می‌توان جسم ساکنی را به حرکت درآورد؟ چه عاملی باعث تغییر سرعت جسم می‌شود؟ چه عاملی باعث تغییر در حرکت و به‌طور کلی چه عاملی باعث تغییر در وضعیت جسم می‌شود؟ و ... خودداری کردیم.

در این فصل می‌خواهیم این پرسش‌ها را طرح کرده و پاسخ آن‌ها را بیابیم. برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها، باید در ابتدا با کمیتی به نام نیرو بیش‌تر آشنا شویم.

## ۳ــ۱ــ نیرو

در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی تا حدودی با «نیرو» آشنا شده‌اید. در مکالمه‌های روزانه از این واژه استفاده می‌کنید. منظور از این واژه چیست؟ ساده‌ترین پاسخ این است که بگوییم «هرگاه بخواهیم جسمی را برانیم و یا بکشیم، به آن نیرو وارد می‌کنیم». برای شناخت بیشتر نیرو، بهتر است به این پرسش پاسخ دهیم که «**اثر نیرو بر یک جسم چیست؟**»

**فعالیت ۳ـ۱**

در هر یک از شکل‌های (۳ــ۱)، اثری را که نیرو بر جسم گذاشته است، شرح دهید.

برای برداشتن یک کتاب از قفسه کتاب‌ها، باید دست شما به آن برسد تا با وارد کردن نیرو به کتاب، بتوانید آن را بردارید. آیا ممکن است بدون آن که دست شما به کتاب برسد، به آن نیرو وارد کنید؟ برای اعمال نیروی دست بر کتاب، وجود دست و کتاب لازم است.

شکل ۳ـ۱

در بازی فوتبال، وقتی توپ به طرف شما پرتاب می‌شود، اگر توپ به پای شما یا به جسم دیگری برخورد نکند، آیا مسیر توپ تغییر می‌کند؟ برای آن که به توپ نیرو وارد شود و مسیر آن تغییر کند، وجود پا و توپ لازم است تا در تماس پا به توپ، به آن نیرو وارد شود.

**فعالیت ۳ـ۲**

به شکل (۳ـ۲) نگاه کنید. این تصویر، سیبی را در حال افتادن نشان می‌دهد.
پاسخ پرسش‌های صفحهٔ بعد را در کلاس به بحث بگذارید :

شکل ۳ــ۲

الف ــ چه عاملی باعث سقوط سیب شده است؟

ب ــ این نیرو را چه جسمی به سیب وارد می‌کند؟

پ ــ آیا بین سیب و این جسم تماس برقرار است؟

یک آهن‌ربا، از **راه دور** به یک قطعه آهن نیرو وارد می‌کند و آن را به سوی خود می‌کشد. خورشید، **از فاصله‌ی بسیار دور**، بر سیاره‌های منظومه خورشیدی نیرو وارد می‌کند.

با توجه به آن‌چه که تاکنون بیان شد، می‌توان نیرو را به‌صورت زیر توصیف کرد :

۱ــ نیرو عاملی است که اگر بر یک جسم وارد شود، باعث تغییر در وضعیت حرکت آن جسم می‌شود. مثلاً از یک مکان به مکان دیگر می‌رود.

۲ــ نیرو، برهم‌کنش (تأثیر) دو جسم بر یکدیگر است.

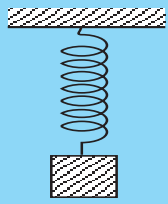
۳ــ تأثیر دو جسم بر هم، ممکن است ناشی از تماس دو جسم باشد و یا دو جسم از راه دور بر یکدیگر نیرو وارد کنند.

**نیرو چه ویژگی‌هایی دارد؟** نیرو کمیتی برداری و دارای اندازه و جهت است. تجربه‌های روزانه نشان می‌دهد که اگر بخواهیم جسمی مثلاً یک توپ فوتبال را به فاصلهٔ نزدیکی پرتاب کنیم، باید به آن نیروی کوچکی وارد کنیم و اگر بخواهیم آن را به فاصلهٔ دورتری پرتاب کنیم، باید نیروی بزرگتری به آن وارد کنیم. مثلاً در هنگام زدن پنالتی در بازی فوتبال، برای آن که دروازه‌بان نتواند توپ را بگیرد، باید با وارد کردن نیروی بزرگتری به توپ، آن را با سرعت بیشتری به سوی دروازه شوت کنیم. از طرف دیگر برای آن که توپ از دسترس دروازه‌بان خارج باشد، نیرو را در جهتی بر توپ وارد و روانهٔ دروازه می‌کنیم که احتمال می‌دهیم دروازه‌بان به آن سمت حرکت نمی‌کند.

بزرگی (اندازه) نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. برای آشنایی با چگونگی کار نیروسنج آزمایش (۳ــ۱) را انجام دهید.

**اندازه‌گیری نیرو:** یکای اندازه‌گیری نیرو، نیوتون (با نماد N) نام دارد که با تعریف آن، در همین فصل آشنا می‌شوید. نیرو را به کمک تأثیری که بر یک جسم می‌گذارد، اندازه‌گیری می‌کنیم. با تأثیر نیرو بر یک فنر آشنا هستید و می‌دانید که اگر یک سر فنری را به نقطه‌ای محکم کنید و به سر دیگر آن نیرویی وارد کرده و آن را بکشید، طول فنر افزایش می‌یابد. اگر نیروی وارد بر فنر را افزایش دهید، افزایش طول فنر هم بیشتر می‌شود.

### آزمایش ۳ـ۱



شکل ۳ـ۳

**وسایل لازم:** فنر، وزنه‌هایی با جرم‌های متفاوت، خط‌کش

۱ـ فنر را از یک نقطه بیاویزید و طول آن را اندازه‌گیری کنید.

۲ـ وزنه‌های مختلف را به انتهای فنر آویخته و بعد از آن که دستگاه وزنه ـ فنر به حال سکون درآمد، طول فنر را اندازه بگیرید.

۳ـ جدول زیر را تکمیل کنید و نتیجه آزمایش را در گروه خود تفسیر کنید و به کلاس ارائه دهید.

| شماره آزمایش | طول فنر بدون وزنه | وزن وزنه آویخته به فنر W | طول فنر با وزنه | تغییر طول فنر (x) | نسبت $\frac{W}{x}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | | |
| ۲ | | | | | |
| ۳ | | | | | |
| ۴ | | | | | |

آزمایش‌های متعدد مانند آزمایش (۳ـ۱) نشان می‌دهد که تغییر طول فنر، با اندازهٔ نیروی وارد بر آن متناسب است. اگر اندازه نیروی وارد بر فنر را با نماد F و اندازهٔ تغییر طول فنر را با x نشان دهیم، بین آن‌ها رابطهٔ زیر برقرار است.

$$F = kx \qquad (۳ـ۱)$$

ضریب k در رابطه (۳ـ۱)، ثابت نیروی فنر نام دارد. ثابت نیروی فنر از مشخصات فنر است. در رابطهٔ (۳ـ۱) نیرو برحسب نیوتون (N)، x برحسب متر (m) و k بر حسب نیوتون بر متر (N/m) است.

**مثال ۳ـ۱**

ثابت یک فنر ۲۵۰۰N/m و طول آن ۱۲cm است. فنر را از یک نقطه آویزان کرده و به انتهای آن وزنهٔ ۵۰ نیوتونی می‌آویزیم. طول فنر چند سانتی‌متر خواهد شد؟

$$F = kx$$
$$۵۰ = ۲۵۰۰x$$
$$x = ۰/۰۲m = ۲cm$$
$$x = l_۲ - l_۱$$
$$۲ = l_۲ - ۱۲$$
$$l_۲ = ۱۴cm$$

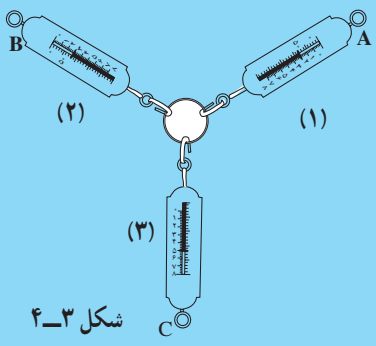
برای آن که مطمئن شویم که نیرو کمیتی برداری است، باید ببینیم که نیرو از جمع برداری پیروی می‌کند یا خیر؟

برای حصول این اطمینان، آزمایش (۳ـ۲) را انجام دهید.

**آزمایش ۳ـ۲**

**وسایل لازم:** نیروسنج ۳ عدد، یک قطعه چوب، یک حلقه، قلاب و میخ چند عدد

۱ـ مطابق شکل(۳ـ۴)، دو نیروسنج را به حلقه وصل کنید و روی قطعه‌چوب افقی قرار دهید. سر دیگر نیروسنج (۱) را به میخی که در A کوبیده‌اید و سر دیگر نیروسنج(۲) را به میخ B وصل کنید.



شکل ۳ـ۴

۲ـ نیروسنج سوم را نیز به حلقه وصل کنید و آن را آن‌قدر بکشید تا هر سه نیروسنج به حالت کشیده درآیند. در همین وضعیت سر دیگر آن را به میخی که در قطعه‌چوب فرو برده‌اید (میخ C) وصل کنید.

در این حالت، نیروسنج C، با نیرویی که برحلقه وارد می‌کند، اثر کششی دو نیروسنج دیگر را خنثی می‌کند. در نتیجه، حلقه ساکن می‌ماند.

۳ـ اندازهٔ نیرویی که هر نیروسنج به حلقه وارد می‌کند را یادداشت کنید. اگر

اندازهٔ نیروهایی که سه نیروسنج نشان می‌دهند را به‌ترتیب با $F_1$ و $F_2$ و $F_3$ نشان دهیم، آیا $F_3$ برابر $F_1 + F_2$ است؟ آیا می‌توانید بین اندازهٔ این نیروها رابطه‌ای بنویسید؟ نتیجهٔ این آزمایش را در گروه خود تفسیر و به کلاس گزارش کنید.

## ۳ــ۲ــ قانون‌های حرکت

در بخش‌های قبل دیدیم که نیرو عامل تغییر حرکت در اجسام است. اما رابطهٔ میان نیرو و حرکت چگونه است؟ قانون‌هایی که رابطهٔ میان نیرو و کمیت‌های مربوط به حرکت را بیان می‌کنند، قانون‌های حرکت می‌نامیم.

نیوتون، دانشمند انگلیسی با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود، موفق شد قانون‌های حرکت را که امروزه به نام خود او «قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت» نام دارد، در کتاب اصول خود بیان کند. این قانون‌ها شامل سه قانون به شرح زیر هستند.

**قانون اول نیوتون:** نیوتون، قانون اول را به صورت زیر بیان کرده است :

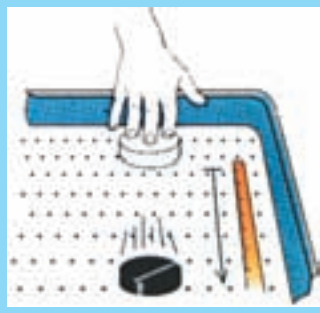
**«یک جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن که تحت تأثیر نیرویی، مجبور به تغییر آن حالت شود.»**

از قانون اول نیوتون نتیجه می‌شود که اگر به جسمی نیرو وارد نشود، چنانچه ساکن باشد، ساکن می‌ماند و اگر در حرکت باشد به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

برای بررسی بیشتر قانون اول نیوتون آزمایش (۳ــ۳) را انجام دهید.

### آزمایش ۳ـ۳ تختِ هوا

تختِ هوا وسیله‌ای است برای تحقیق دربارهٔ قانون‌های حرکت. این وسیله محفظه‌ای است به‌شکل مکعب مستطیل که در سطح بالایی آن تعداد بسیار زیادی روزنهٔ ریز وجود دارد. توسط یک تلمبه، هوا با فشار وارد این محفظه می‌شود و از روزنه‌های آن خارج می‌شود. هنگام آزمایش، باید سطح آن را به صورت افقی قرار داد.



شکل ۳ــ۵ــ تخت هوا

اگر قرص سبک و کوچکی را روی سطح آن قرار دهیم، هوایی که از روزنه‌ها با سرعت خارج می‌شود، قرص را روی لایه‌ی نازکی از هوا قرار می‌دهد و به این ترتیب از تماس مستقیم آن با سطح تخت هوا جلوگیری به‌عمل می‌آید. اگر به قرص در راستای افقی ضربه بزنیم و به آن سرعت کوچکی در راستای افقی بدهیم، مشاهده می‌شود که قرص به خط راست و با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. می‌توان به کمک فیلم‌برداری درستی این ادعا را ثابت کرد.

علت آن است که نیروی اصطکاک بین قرص و لایهٔ نازک هوای زیر آن، بسیار ناچیز است. در نتیجه وقتی قرص با یک سرعت به حرکت درمی‌آید، در ضمن حرکت در راستای افقی به آن نیرویی وارد نمی‌شود و بنابر قانون اول نیوتون، قرص به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

به جسم‌های اطراف خود نگاه کنید. آیا جسمی را می‌یابید که به آن نیرو وارد نشود؟ به‌همهٔ جسم‌ها نیروی وزن وارد می‌شود. در نتیجه نمی‌توان جسمی را یافت که به آن نیرو وارد نشود تا بتوان قانون اول نیوتون را به‌طور کامل مورد آزمایش قرار داد.

هرگاه به جسمی که در حال حرکت است نیرویی وارد نشود (مانند جسمی که از زمین بسیار دور شود و به ماه و یا سیاره‌های دیگر نیز نزدیک نباشد) جسم با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. این مسأله را بشر در فرستادن سفینه‌های فضایی به خارج از زمین تقریباً آزموده است. وقتی سفینه به اندازهٔ کافی از زمین دور می‌شود، با موتور خاموش و با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد.

**لَختی** : از قانون اول نیوتون، نتیجه می‌شود که اجسام تمایل دارند وضعیت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ کنند. به این تمایل اجسام ، لختی گفته می‌شود. به‌همین دلیل به قانون اول نیوتون، قانون لختی نیز می‌گویند.

**فعالیت ۳ـ۳**

وقتی در ماشین ساکنی نشسته‌اید و ماشین ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به‌عقب پرتاب می‌شوید. اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشید، در توقف ناگهانی، به جلو پرتاب می‌شوید. توضیح دهید که آیا به شما به‌طرف عقب و یا جلو نیرویی وارد شده که باعث پرتاب شما شده‌است؟

**قانون دوم نیوتون:** از قانون اول نیوتون استنباط می‌شود که اگر به جسم نیرو وارد شود، نه‌تنها جسم ساکن نمی‌ماند، بلکه حرکتش شتاب‌دار خواهد بود. رابطهٔ میان نیروی وارد بر جسم و شتاب حرکت جسم، موضوع قانون دوم نیوتون است. معمولاً به جسم چند نیرو وارد می‌شود.

قانون دوم نیوتون به‌صورت زیر بیان شده است :

**«اگر به یک جسم نیروهایی وارد شود، شتابی می‌گیرد که با برایند نیروهای وارد برجسم، نسبت مستقیم دارد و با آن هم جهت است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.»**

اگر جرم جسم برابر m و نیروی وارد بر آن برابر $\vec{F}$ باشد، قانون دوم نیوتون با رابطهٔ زیر بیان می‌شود :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad (۳_۲)$$

یکای نیرو، نیوتون (N) از رابطهٔ (۳ـ۲) تعریف می‌شود. اگر در این رابطه، جرم برحسب کیلوگرم و شتاب برحسب متر بر مجذور ثانیه قرار داده شود، نیرو برحسب $kg.m/s^2$ خواهد شد که آن را نیوتون می‌نامیم. بنابراین «یک نیوتون، نیرویی است که اگر به جسمی به جرم یک کیلوگرم وارد شود، به آن شتابی برابر یک متر بر مجذور ثانیه بدهد.»

### مثال ۳ـ۲

جسمی به جرم ۲۰kg با شتاب $۱/۵ m/s^2$ در حرکت است. برایند نیروهای وارد بر جسم چند نیوتون است؟

**حل:**

$$a = \frac{F}{m}$$

$$۱/۵ = \frac{F}{۲۰}$$

$$F = ۱/۵ \times ۲۰ = ۳۰N$$

### مثال ۳ـ۳

به هر یک از دو جرم $m_۱ = ۵kg$ و $m_۲ = ۱۲kg$ نیروی ۱۵N وارد می‌کنیم. شتاب هر یک از دو جرم را حساب کنید.

**حل:**

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a_1 = \frac{15}{5} = 3 m/s^2$$

$$a_1 = \frac{15}{12} = 1/25 m/s^2$$

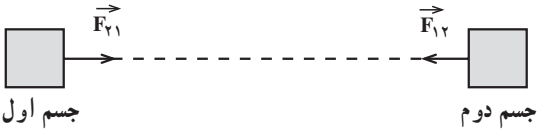
**قانون سوم نیوتون:** قانون اول نیوتون، وضعیت جسم را در غیاب نیرو و قانون دوم، وضعیت آن را وقتی تحت تأثیر نیرو است، توصیف می‌کند. اما این قانون‌ها، مشخص نمی‌کنند که نیروی وارد بر جسم از کجا به آن وارد می‌شود.

همان طوری‌که گفته شد و تجربه‌های روزانه نیز نشان می‌دهد همواره یک جسم به جسم دیگر نیرو وارد می‌کند. بازیگر فوتبال، با پا به توپ ضربه می‌زند، یعنی پا به توپ نیرو وارد می‌کند. شخصی که یک جسم را روی زمین می‌کشد، به آن نیرو وارد می‌کند. نیوتون با بیان قانون سوم، مشخص می‌کند که نیروی وارد بر یک جسم از طرف جسم دیگر است و علاوه‌بر آن معلوم می‌کند که وارد کردن نیرو، یک جانبه نیست و همواره عملی دو جانبه است. بیان قانون سوم نیوتون به‌صورت زیر است :

**«هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم هم به جسم اول نیرویی برابر آن، ولی در خلاف جهت وارد می‌کند.»**

اگر نیرویی که جسم اول به جسم دوم وارد می‌کند را نیروی کُنش (عمل) بنامیم، نیروی جسم دوم که بر جسم اول وارد می‌شود، واکنش (عکس‌العمل) خواهد بود. در شکل (۳ــ۶) می‌توان نیروی $\vec{F}_{12}$ (نیرویی که جسم اول به دوم وارد می‌کند) را کُنش، و نیروی $\vec{F}_{21}$ (نیرویی که جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند)، را واکنش آن نامید.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \rightarrow F_{12} = F_{21}$$




شکل ۳ــ۶

برای شناخت نیروهای کنش و واکنش توجه کنید که :

این دو نیرو همواره هم‌اندازه، هم‌راستا و در سوهای مخالف یکدیگرند.

به دو جسم وارد می‌شوند، نیروی کنش را جسم اول به دوم و نیروی واکنش را جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند.

این دو نیرو هم‌نوع‌اند. به‌عنوان مثال یا هر دو گرانشی و یا هر دو الکتریکی‌اند.

### مثال ۳ـ۴

الف ــ نیروهای وارد بر سیبی را که در حال سقوط آزاد است ، مشخص کنید.

ب ــ مشخص کنید که واکنش این نیروها به چه جسم‌هایی وارد می‌شوند؟

شکل ۳ـ۷

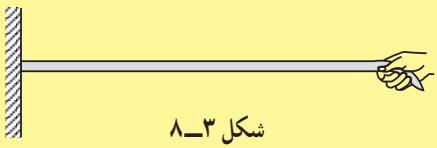
**حل:** به سیب در حال سقوط، تنها نیروی وزن از طرف زمین وارد می‌شود. اگر سیب را جسم ۱ و زمین را جسم ۲ بگیریم، نیروی $\vec{F}_{21}$ را زمین به سیب وارد می‌کند. واکنش این نیرو، نیروی $\vec{F}_{12}$ است که توسط سیب به زمین وارد می‌شود (شکل ۳ـ۷).

### فعالیت ۳ـ۴

با توجه به قانون دوم نیوتون توضیح دهید که چرا سیب در مثال (۳ـ۴) تحت تأثیر نیرویی که زمین به آن وارد می‌کند با شتاب g سقوط می‌کند، اما زمین تحت تأثیر نیرویی که سیب به آن وارد می‌کند، عملاً ساکن می‌ماند.

### مثال ۳ـ۵

مطابق شکل (۳ـ۸) یک سر طنابی را به دیوار محکم کرده و سر



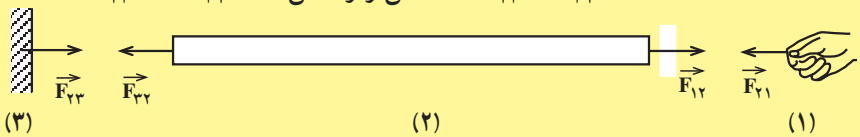
شکل ۳ـ۸

دیگرش را با دست می‌کشیم. اگر طناب از دیوار جدا نشود، نیروهای کنش و واکنش بین «دست و طناب» و «دیوار و طناب» را مشخص کنید.

**حل:** در قسمت‌های مختلف شکل (۳ــ۹)، نیروهای بین دست و طناب و دیوار را نشان داده‌ایم. در این شکل‌ها، دست را جسم ۱، طناب را جسم ۲ و دیوار را جسم ۳ نامیده‌ایم.

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ کنش و واکنش $\Rightarrow F_{12} = F_{21}$

$\vec{F}_{23} = -\vec{F}_{32}$ کنش و واکنش $\Rightarrow F_{23} = F_{32}$




شکل ۳ــ۹

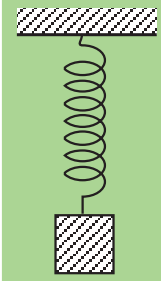
## فعالیت ۳ــ۵

با توجه به مثال (۳ــ۵) به پرسش‌های زیر پاسخ دهید :

الف ــ به کمک یکی از قانون‌های نیوتون پاسخ دهید که آیا نیروی $\vec{F}_{23}$ و $\vec{F}_{21}$ هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند یا خیر؟

ب ــ با دلیل بیان کنید که آیا دو نیروی $\vec{F}_{23}$ و $\vec{F}_{21}$ کنش و واکنش یکدیگراند یا خیر؟

## فعالیت ۳ــ۶



شکل ۳ــ۱۰

جسمی را به یک سر فنری وصل کرده و فنر را از سر دیگر آن آویزان کرده‌ایم. اگر دستگاه جسم ــ فنر در حال سکون باشد (شکل ۳ــ۱۰)،

الف ــ نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید.

ب ــ واکنش این نیروها را مشخص کنید و توضیح دهید که هرکدام به چه جسمی وارد می‌شوند؟

## ۳ــ۳ــ معرفی نیروها

دیدیم که نیرو عامل ایجاد شتاب و در نتیجه، عامل تغییر در سرعت جسم است. بنابراین برای بررسی حرکت یک جسم، باید نیروهای وارد بر آن را مشخص و اندازه‌گیری کنیم.

برای شناخت و اندازه‌گیری یک نیرو باید عامل‌های مؤثر بر آن را معلوم کرد. این مهم، توسط قانون‌های نیرو انجام می‌شود. قانون یک نیرو، عامل‌های مؤثر در ایجاد آن نیرو را مشخص می‌کند. هر قانون نیرو، رابطه‌ای را به‌دست می‌دهد که به کمک آن می‌توانیم اندازهٔ نیرو را محاسبه کنیم. قانون‌های نیرو به کمک آزمایش و تجربه‌های گوناگون رابطه‌ای را به‌دست می‌دهند که عامل‌های مؤثر در اندازهٔ نیرو را تعیین می‌کند.

اکنون به بررسی **قانون گرانش** نیوتون می‌پردازیم.

**قانون گرانش نیوتون:** آیا تاکنون از خود پرسیده‌اید که چرا آب در جویبارها به طرف پایین حرکت می‌کند؟ و یا چرا وقتی یک جسم را به بالا پرتاب می‌کنیم، پس از مدتی به پایین می‌افتد؟

از زمان‌های دور، بشر می‌دانست که زمین، جسم‌های مجاور خود را به سوی خود می‌کشد. به این نیرو، نیروی گرانی گفته می‌شود. نیوتون دانشمند انگلیسی با بیان **قانون گرانش**، نشان داد که نیروی گرانش میان هر دو جسم وجود دارد.

بنابه قانون گرانش نیوتون، هر دو جرم، همواره یکدیگر را می‌ربایند. بیان این قانون به‌صورت زیر است :

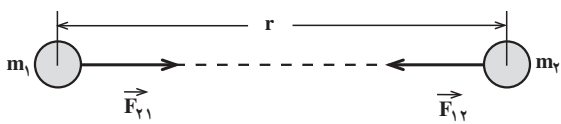
«نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر، نسبت وارون دارد.»

اگر جرم دو ذره $m_۱$ و $m_۲$ و فاصلهٔ میان آن‌ها مطابق شکل (۳ــ۱۱) برابر r باشد، اندازهٔ نیروی گرانشی میان دو ذره (F) از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$\overrightarrow{F_{۱۲}} = -\overrightarrow{F_{۲۱}} \quad \text{کنش و واکنش} \Rightarrow F_{۱۲} = F_{۲۱} = F$$

$$F = G\frac{m_۱ . m_۲}{r^۲} \qquad (۴ــ۳)$$

در این رابطه G ثابت گرانش عمومی نام دارد. در SI که یکای جرم، کیلوگرم (kg)، یکای نیرو،




شکل ۳ــ۱۱ــ کنش و واکنش

نیوتون (N) و یکای فاصله، متر (m) است، G برابر است با :

$$G = ۶/۶۷ \times ۱۰^{-۱۱} N.m^۲/kg^۲$$

**مثال ۳ـ۶**

دو جسم به جرم‌های ۵kg و ۱۲kg در فاصلهٔ یک متر از یکدیگر واقع شده‌اند. نیروی گرانش میان آن‌ها را محاسبه کنید.

**حل:**

$$F = G\frac{m_۱ . m_۲}{r^۲}$$

$$F = ۶/۶۷ \times ۱۰^{-۱۱} \times \frac{۵ \times ۱۲}{۱}$$

$$F = ۴ \times ۱۰^{-۹} N$$

همان‌طورکه محاسبه بالا نشان می‌دهد،نیروی گرانشی میان جسم‌های با جرم کوچک، قابل ملاحظه نیست.

**تمرین ۳ـ۱**

جرم زمین تقریباً $۶ \times ۱۰^{۲۴} kg$ و شعاع زمین تقریباً $۶/۴ \times ۱۰^{۶} m$ است. نیروی گرانی زمین که به شما وارد می‌شود، حدود چند نیوتون است؟ این نیرو چه نام دارد؟ برای محاسبهٔ این نیرو، جرم زمین را متمرکز در مرکز زمین فرض کنید.

**وزن ــ شتاب گرانی:** در فصل دوم در بحث سقوط آزاد، دیدید که شتاب در حرکت سقوط آزاد، برای تمام جسم‌ها یکسان و برابر g است. نیرویی که باعث ایجاد این شتاب می‌شود را از قانون دوم نیوتون محاسبه می‌کنیم.

$$F = ma$$
$$a = g$$
$$F = mg \qquad (۳ـ۵)$$

از طرف دیگر، می‌دانیم که نیروی وزن، باعث سقوط جسم می‌شود. اگر نیروی وزن را با نماد W نشان دهیم، با توجه به رابطهٔ (۳ـ۵) خواهیم داشت :

$$F = W$$
$$W = mg \qquad (۶_۳)$$

وزن یک جسم برروی زمین، نیروی گرانی است که زمین به جسم وارد می‌کند. اگر جرم و شعاع زمین را به‌ترتیب با $M_e$ و $R_e$ نشان دهیم، با استفاده از رابطهٔ (۳ـ۴) نیز می‌توان وزن جسم یعنی نیروی گرانی زمین بر جسم را حساب کرد.

$$W = F$$
$$W = G\frac{m.M_e}{R_e^2} \qquad (۷_۳)$$

با مقایسهٔ رابطهٔ (۳ـ۶) و (۳ـ۷) نتیجه می‌شود :

$$mg = G\frac{m.M_e}{R_e^2}$$
$$g = G\frac{M_e}{R_e^2} \qquad (۸_۳)$$

**تمرین ۳ـ۲**

مقدار g را از رابطهٔ (۳ـ۸) محاسبه کنید. برای این محاسبه از مقدارهای داده‌شده درتمرین ۳ ـ۱ استفاده کنید.

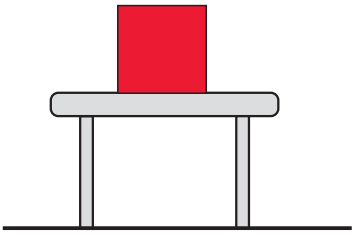
**فعالیت ۳ـ۷**

۱ـ تحقیق کنید که ضریب ثابت گرانش عمومی، G، نخستین بار توسط چه کسی محاسبه شده است. خلاصه‌ای از روش کار او را به کلاس گزارش کنید.

۲ـ شاید برایتان جالب باشد که بدانید حدود ۲۲۰۰ سال پیش شعاع زمین با روش ساده‌ای توسط «اراتوستن» محاسبه شده است. روش کار او را تحقیق و به‌کلاس گزارش کنید.

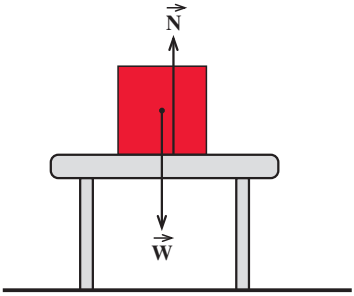
**تمرین ۳ـ۳**

بعد از اندازه‌گیری G، جرم زمین به کمک رابطهٔ (۳ـ۷) محاسبه شد. با توجه به این که مقدار متوسط g در سطح زمین حدود $۹/۸ m/s^2$ و شعاع زمین حدود $۶/۴\times۱۰^۶ m$ است، جرم زمین را حساب کنید.



شکل ۳ــ۱۲

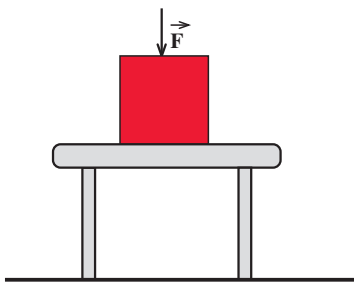
**نیروی عمودی تکیه‌گاه:** جسمی را در نظر بگیرید که مطابق شکل (۳ــ۱۲) روی سطح افقی میزی به حال سکون قرار دارد. چه نیروهایی به جسم وارد می‌شود؟ اگر جرم جسم برابر m باشد، نیروی وزن $W = mg$ را زمین به جسم وارد می‌کند و آن را به‌سوی پایین می‌کشد. چرا جسم به پایین حرکت نمی‌کند؟




شکل ۳ــ۱۳

چون جسم ساکن است، شتاب حرکت آن صفر است ($a = ۰$). از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برایند نیروهای وارد بر جسم صفر است ($F = ma = ۰$). در نتیجه، باید نیرویی برابر وزن جسم اما در خلاف جهت به آن وارد شود تا با خنثی کردن نیروی وزن، مانع شتاب گرفتن جسم شود. با توجه به وضعیت جسم در شکل (۳ــ۱۲) این نیرو توسط میز به جسم وارد می‌شود. در شکل (۳ــ۱۳) نیروهای وارد برجسم نشان داده شده‌اند. نیروی N، که از طرف میز برجسم وارد می‌شود را «نیروی عمودی تکیه‌گاه» می‌نامیم. با استفاده از قانون دوم نیوتون، نتیجه می‌شود :

$$F = ma = ۰$$
$$N - W = ۰$$
$$N = W$$



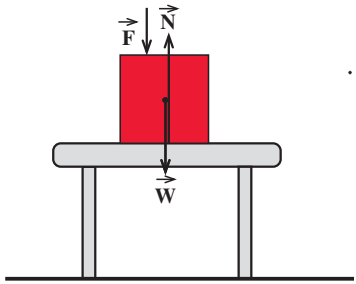

شکل ۳ــ۱۴

اکنون فرض کنید مطابق شکل (۳ــ۱۴) نیرویی به اندازهٔ F را به‌طور قائم و رو به پایین بر جسم وارد کنیم. آیا نیروی عمودی تکیه‌گاه که میز بر جسم وارد می‌کند، تغییر می‌کند؟ با روش مشابه قبل، می‌توان به پرسش بالا پاسخ داد.

نیروهای وارد بر جسم را در شکل (۳ــ۱۵) نشان داده‌ایم و چون شتاب جسم صفر است، بنابه قانون دوم نیوتون داریم :

$$F = ma = ۰$$
$$N - F - W = ۰$$
$$N = F + W$$

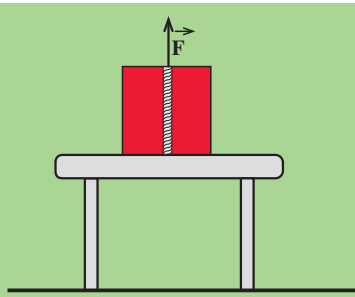
بنابراین نیروی عمودی تکیه‌گاه، افزایش یافته است.




شکل ۳ــ۱۵

**فعالیت ۳ــ۸**

فرض کنید مطابق شکل(۳ــ۱۶)، طنابی را به دور یک جسم بسته و آن را با نیروی F به سوی بالا بکشیم. اگر جسم، هم‌چنان بر سطح میز ساکن بماند، نیروی عمودی تکیه‌گاه وارد بر آن را محاسبه کنید.




شکل ۳ــ۱۶

نیروی عمودی تکیه‌گاه، یکی از نیروهایی است که برای آن *قانون نیرو نداریم*، یعنی *رابطه‌ای* وجود *ندارد تا به‌کمک آن* بتوان اندازه این نیرو را محاسبه کرد. همان‌طور که دیدید، اندازهٔ این نیرو را به کمک قانون دوم نیوتون، محاسبه می‌کنیم.

**فعالیت ۳ــ۹**

روی یک ترازوی فنری بایستید و عددی را که ترازو در حالت‌های زیر نشان می‌دهد، بخوانید :

الف ــ ساکن روی ترازو ایستاده‌اید.

ب ــ ضمن آن که روی ترازو ایستاده‌اید، با دست، میزی را که در کنارتان قرار دارد، به سمت پایین فشار دهید.

پ ــ با دست، میز را به بالا بکشید.

مشاهده خود را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید.

**مثال ۳ــ۷**

شخصی به جرم ۵۰kg درون آسانسوری ایستاده است. نیروی عمودی‌ای که

کف آسانسور به شخص وارد می‌کند را در حالت‌های زیر محاسبه کنید :

الف ــ آسانسور ساکن است.

ب ــ آسانسور با سرعت ثابت به طرف بالا در حرکت است.

پ ــ آسانسور با شتاب $۲\,m/s^۲$ به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.

$g$ را برابر $۱۰\,m/s^۲$ بگیرید.

**حل:**

الف ــ چون آسانسور ساکن است، شتاب حرکت صفر است. نیروهای وارد بر شخص در شکل (۳ــ۱۷) نشان داده شده است.

$$a = ۰$$

$$F = N - W = ۰$$

$$N = W = mg$$

$$N = ۵۰ \times ۱۰ = ۵۰۰N$$

ب ــ در این حالت نیز شتاب حرکت صفر است و با محاسبه‌ای مانند حالت الف نتیجه می‌شود که $N = ۵۰۰N$ است.

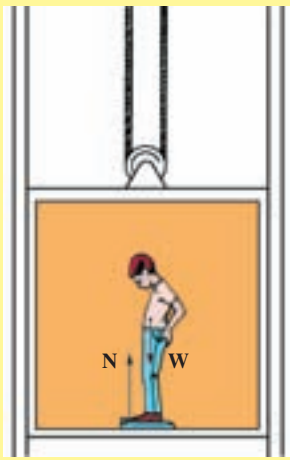
پ ــ در این حالت، شتاب حرکت $۲\,m/s^۲$ و به‌طرف بالا است. با توجه به قانون دوم نیوتون، خواهیم داشت :

$$F = ma$$

$$N - W = ma$$

$$N - ۵۰۰ = ۵۰ \times ۲$$

$$N = ۶۰۰N$$




شکل ۳ــ۱۷

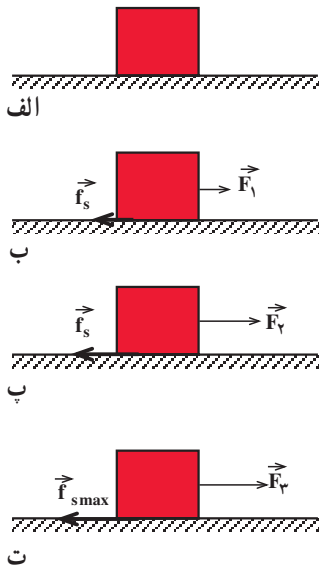
**نیروی اصطکاک:** در تجربه‌های روزانه دیده‌اید که اگر صندوق سنگینی روی سطح افقی ساکن باشد، برای به حرکت درآوردن آن باید نیروی بزرگی به آن وارد کنید و اگر نیروی کوچکی به آن وارد کنید صندوق ساکن می‌ماند و یا اگر دست از کشیدن (یا هُل دادن) جسم متحرک روی سطح افقی

بردارید، سرعت جسم کاهش یافته و پس از مدتی می‌ایستد. و یا اگر موتور اتومبیلی را که روی سطح افقی در حرکت است از دنده خلاص کنیم، حتی بدون آن که ترمز گرفته شود، اتومبیل پس از مدتی می‌ایستد. با توجه به این که نیرو عامل تغییر سرعت است، در تمام موردهای یاد شده، باید نیرویی در خلاف جهت حرکت، به جسم وارد شده باشد. این نیرو، **اصطکاک** نام دارد. نیروی اصطکاک را در دو حالت بررسی می‌کنیم :

**الف ــ** جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد،کشیده شده ولی، ساکن می‌ماند. در این حالت، نیروی اصطکاک را **نیروی اصطکاک ایستایی** می‌نامیم.

**ب ــ** جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد در حرکت باشد. در این حالت، نیروی اصطکاک را نیروی **اصطکاک جنبشی** می‌نامیم.

**الف ــ اصطکاک ایستایی:** فرض کنید جسمی مطابق شکل ( ۳ــ ۱۸ــ الف) روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی $\vec{F}$ را وارد می‌کنیم. در ابتدا اندازهٔ این نیرو را کوچک و برابر $F_1$ می‌گیریم به‌طوری که جسم ساکن بماند شکل (۳ ــ ۱۸ ــ ب)، چون جسم ساکن است، بنا به قانون دوم نیوتون باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین باید نیرویی افقی مانند $\vec{f}_s$ به جسم وارد شده باشد تا با خنثی کردن اثر نیروی $\vec{F}_1$، مانع شتاب گرفتن و حرکت جسم شده باشد. نیروی $\vec{f}_s$ را سطح تکیه‌گاه به جسم وارد می‌کند. به این نیرو، «**نیروی اصطکاک ایستایی**» می‌گوییم.




شکل ۳ــ۱۸

$$a = \frac{F}{m}$$
$$a = 0$$
$$F_1 - f_s = 0$$
$$f_s = F_1$$

اکنون فرض کنید اندازهٔ نیروی $\vec{F}_1$ را افزایش داده و به $\vec{F}_2$ برسانیم شکل (۳ــ۱۸ــ پ). اگر جسم همچنان ساکن بماند، با استدلالی شبیه بالا نتیجه می‌گیریم که نیروی اصطکاک

ایستایی افزایش یافته و برابر $\vec{F}_2$ شده است. بنابراین با افزایش نیروی $\vec{F}$ نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی $\vec{F}$ به حالتی می‌رسیم که اگر اندازهٔ آن برابر $F_3$ شود، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد. این بدان معناست که اگر اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ از مقدار $\vec{F}_3$ اندکی بیشتر شود، دیگر جسم ساکن نمانده و شروع به حرکت می‌کند. به نیروی اصطکاک در این حالت، «**نیروی اصطکاک در آستانهٔ حرکت**» گفته می‌شود و با $\vec{f}_{s\,max}$ نشان داده می‌شود شکل (۳ــ۱۸ــ ت).

از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که در حالت اخیر، $f_{s\,max} = F_3$ است. از طرف دیگر، آزمایش نشان می‌دهد که اندازهٔ نیروی اصطکاک در آستانهٔ حرکت را می‌توان از رابطهٔ زیر نیز به‌دست آورد :

$$f_{s\,max} = \mu_s . N \qquad (۹ــ۳)$$

در این رابطه، N نیروی عمودی تکیه‌گاه است و $\mu_s$ ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد. تجربه و آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک ایستایی به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آن‌ها و ... بستگی دارد.

توجه کنید که رابطهٔ (۳ــ۹) فقط در حالتی درست است که جسم در آستانهٔ حرکت باشد. بنابراین نیروی اصطکاک ایستایی همواره از مقدار «$\mu_s N$» کوچکتر، و بیشینهٔ آن برابر $\mu_s N$ است. یعنی $f_s \leq \mu_s N$ است.

**ب ــ نیروی اصطکاک جنبشی:** فرض کنید که صندوقی را روی یک سطح افقی هُل می‌دهید، اگر دست از هُل دادن صندوق بردارید، سرعت آن کاهش یافته و پس از مدتی می‌ایستد. اگر اتومبیلی را که روی یک سطح افقی در حال حرکت است ترمز کنید، پس از مدتی اتومبیل می‌ایستد. با توجه به این که نیرو عامل تغییر سرعت است، باید نیرویی در خلاف جهت حرکت، به‌جسم وارد شده باشد. این نیرو **اصطکاک جنبشی** نام دارد.

### آزمایش ۳ــ۴

**وسایل لازم:** یک نیروسنج، دو قطعهٔ چوبی هم جرم به شکل مکعب مستطیل، یک قطعه آهنی و یک آجر ساختمان

۱ــ یک قطعهٔ چوب را مطابق شکل (۳ ــ۱۹) روی یک سطح افقی قرار دهید و یک نیروسنج را به آن وصل کرده و نخ متصل به نیروسنج را از روی قرقره عبور داده و

کفه‌ای به آن بیاویزید. اکنون وزنه‌ای در کفه قرار دهید و مقدار آن را طوری انتخاب کنید که قطعه روی میز با سرعت ثابت به حرکت درآید. لازم است که با تغییر وزنه درون کفه، در هر نوبت ضربهٔ کوچکی به قطعه وارد کنید و این کار را تکرار کنید تا به حالت دلخواه برسید. در این حالت، عددی که نیروسنج نشان می‌دهد را در جدول زیر وارد کنید.

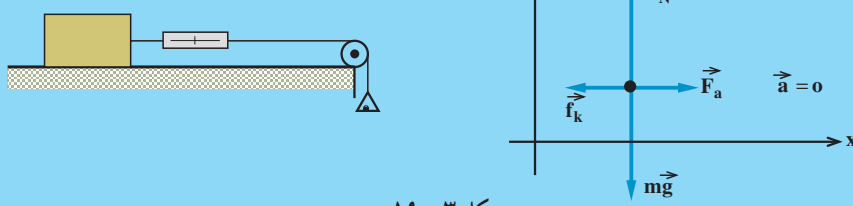
| ردیف | جنس قطعه | وزن قطعه | مساحت سطح تماس قطعه با میز | عددی که نیروسنج نشان می‌دهد. |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | |
| ۲ | | | | |
| ۳ | | | | |

۲ــ آزمایش را تکرار کنید اما قطعه را از وجه‌های دیگر آن روی میز قرار دهید.

۳ــ آزمایش ۱ را با قطعه‌های دیگر تکرار کنید.

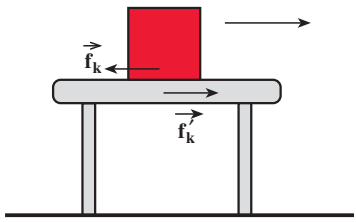
۴ــ با قرار دادن دو قطعه چوبی روی هم، آزمایش ۱ را تکرار کنید.

نتیجه آزمایش‌ها را تفسیر کنید.




شکل ۳ــ ۱۹

هرگاه جسمی روی سطح جسم دیگری حرکت کند، نیرویی موازی سطح تماس به هر یک از دو جسم، از طرف جسم دیگر، وارد می‌شود که نیروی **اصطکاک جنبشی** نام دارد. نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر هر یک از دو جسم در جهتی است که می‌خواهد از حرکت دو جسم نسبت به یکدیگر جلوگیری کند. در شکل (۳ــ۲۰) نیروی اصطکاک وارد بر هر یک از دو جسم نشان داده شده است.




شکل ۳ــ ۲۰

در شکل (۳ــ۲۰)، $\vec{f_k}$ نیرویی است که سطح میز به جسم وارد می‌کند و $\vec{f'_k}$ نیرویی است که سطح جسم به میز وارد می‌کند. این دو نیرو، کنش و واکنش‌اند.

از آزمایش‌هایی نظیر آزمایش (۳ــ۴)، نتیجه می‌شود که اندازهٔ نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازهٔ نیروی عمودی تکیه‌گاه است، یعنی $f_k \propto N$ است. این نیرو به طور محسوسی به مساحت سطح تماس دو جسم بستگی ندارد. ضریب این تناسب را با $\mu_k$ نشان می‌دهند و به آن **ضریب اصطکاک جنبشی** می‌گویند.

$$f_k = \mu_k N \qquad (۳ــ۱۰)$$

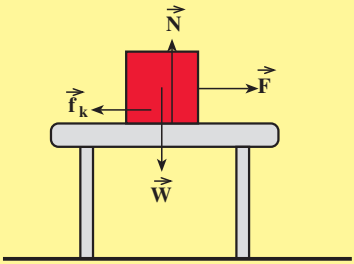
### مثال ۳ــ۸

جسمی به جرم ۱۲kg را توسط طنابی که به آن وصل است، روی سطح افقی می‌کشیم. اگر راستای طناب افقی و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح تماس دو جسم برابر ۰/۲۵ باشد، نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسم چند نیوتون است؟ ($g$ را برابر $10 m/s^2$ بگیرید).

**حل:** نیروهای وارد بر جسم در شکل (۳ــ۲۱) نشان داده شده است. چون جسم در امتداد سطح افقی حرکت می‌کند، از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برایند نیروهای وارد بر جسم در راستای قائم صفر است.

$$N - W = 0$$
$$N = W = mg$$
$$N = 120 (N)$$

$$f_k = \mu_k N$$
$$f_k = 0/25 \times 120$$
$$f_k = 30 (N)$$



شکل ۳ــ ۲۱

### مثال ۳ــ۹

در مثال (۳ــ۸) اگر طناب را با نیروی $F = 36N$ بکشیم، شتاب حرکت جسم چه‌قدر خواهد شد؟

**حل:** از قانون دوم نیوتون برای محاسبه شتاب، استفاده می‌کنیم.

برایند نیروهای وارد بر جسم برابر است با :

$$F = ۳۶ - ۳۰ = ۶N$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{۶}{۱۲} = ۰/۵ m/s^۲$$

## ۳ــ۴ــ استفاده از قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت

از قانون‌های نیوتون در حل مسأله‌ها کمک می‌گیریم[۱] . به این ترتیب که ابتدا به کمک قانون‌های نیرو، نیروهای وارد بر جسم را محاسبه می‌کنیم. سپس به‌کمک قانون‌های نیوتون، شتاب حرکت جسم را به‌دست آورده و با استفاده از معادله‌های حرکت، مجهول‌های مسأله را محاسبه می‌کنیم. برای انجام این کار پیشنهاد می‌شود که نکته‌های زیر را رعایت کنید تا حل مسأله راحت‌تر انجام شود :

۱ــ ابتدا جسم مورد نظر را مشخص کنید.

۲ــ شکل ساده‌ای از جسم و تکیه‌گاه آن را رسم کنید.

۳ــ جسم‌هایی که به جسم مورد نظر نیرو وارد می‌کنند را شناسایی کنید.

۴ــ نیروهای وارد بر جسم را در شکلی که رسم کرده‌اید، نشان دهید. توجه کنید که نیرو را جسم‌های دیگر به جسم مورد نظر وارد می‌کنند. در این مورد حتماً باید بتوانید مشخص کنید که هر نیرو را چه جسمی وارد کرده است.

۵ــ نیروی عمودی تکیه‌گاه را محاسبه کرده و به کمک آن نیروی اصطکاک جنبشی را محاسبه کنید.

۶ــ برایند نیروهای وارد بر جسم را حساب کنید.

۷ــ با استفاده از قانون دوم نیوتون، شتاب حرکت یا مجهول دیگر مسأله را به‌دست آورید.

۸ــ معادله‌های حرکت که در حل مسأله مورد نیاز است را نوشته و مجهول مسأله را محاسبه کنید.

به مثال‌های صفحهٔ بعد توجه کنید.

---

۱ــ در این کتاب **تنها** مسئله‌هایی بررسی می‌شوند که نیروهای وارد بر جسم در یک راستا قرار دارند و یا بر یکدیگر عمودند. لذا ارائه و ارزش‌یابی هر مسئله‌ای خارج از آن‌چه بیان شد، از هدف‌های برنامهٔ درسی این کتاب نیست.

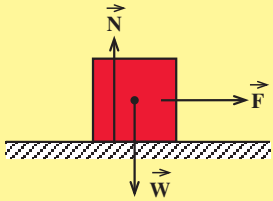
**مثال ۳ـ۱۰**

جسمی به جرم ۵kg روی سطح افقی بدون اصطکاکی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی $F=۱۰N$ وارد می‌کنیم. سرعت جسم را بعد از جابه‌جایی ۲۵ m حساب کنید. $(g=۱۰N/kg)$

**حل:** به جسم نیروهای وزن، عمودی تکیه‌گاه و نیروی افقی F وارد می‌شود. جسم در راستای قائم حرکت نمی‌کند، بنابراین برایند نیروهای وزن و عمودی تکیه‌گاه صفر است.

$$a=\frac{F}{m}$$

$$a=\frac{۱۰}{۵}=m/s^۲$$



شکل ۳ـ۲۲

شتاب حرکت جسم ثابت و برابر $۲ m/s^۲$ و سرعت اولیه جسم صفر است. بنابراین حرکت جسم، با شتاب ثابت روی خط راست است. با استفاده از رابطه (۲ـ۱۱) داریم :

$$v^۲-v_۰^۲=۲a\Delta x$$

$$v^۲-۰=۲\times۲\times۲۵$$

$$v=۱۰m/s$$

**مثال ۳ـ۱۱**

جسمی به جرم ۱۲kg روی یک سطح افقی قرار دارد. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و تکیه‌گاه برابر ۰/۲۵ است. به جسم نیروی افقی ۴۸N وارد می‌کنیم. شتاب جسم را حساب کنید. $(g=۱۰N/kg)$

**حل:** در شکل (۳ـ۲۳) نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده است.

$$N=W=mg=۱۲۰N$$

$$f_k=\mu_k N$$

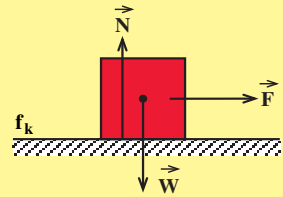
نیروی اصطکاک $f_k = ۰/۲۵ \times ۱۲۰ = ۳۰N$

برایند نیروهای وارد بر جسم $= F - f_k$

$F - f_k = ma$

$۴۸ - ۳۰ = ۱۲a$

$a = ۱/۵ m/s^۲$




شکل ۳ـ۲۳

## مثال ۳ـ۱۲

جسمی به جرم ۲kg روی سطحی به حال سکون است. طناب سبکی به جسم بسته و طناب را با نیروی ۲۵N به‌طور قائم بالا می‌کشیم. شتاب حرکت جسم چه‌قدر می‌شود؟

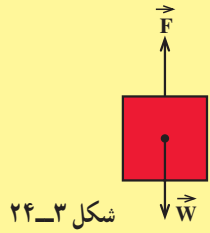
**حل:** به جسم در ضمن حرکت دو نیرو وارد می‌شود. یکی نیروی وزن و دیگری نیروی کشش طناب که برابر نیروی دست بر طناب است.

برایند نیروهای وارد بر جسم $= F - W$

$F - W = ma$

$۲۵ - ۲۰ = ۲a$

$a = ۲/۵ m/s^۲$




شکل ۳ـ۲۴

## مثال ۳ـ۱۳

جسمی روی سطح افقی با نیروی افقی ۱۰/۸N کشیده می‌شود. سرعت جسم در مدت ۵s با شتاب ثابت از ۴m/s به ۱۰m/s می‌رسد. نیروی اصطکاک جنبشی در

مقابل حرکت جسم و ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح را حساب کنید. جرم جسم $4kg$ است.

**حل:** چون جسم با شتاب ثابت روی خط راست حرکت می‌کند، از رابطهٔ سرعت ـ زمان استفاده کرده و شتاب حرکت را محاسبه می‌کنیم.

$$v = at + v_0$$

$$10 = a \times 5 + 4$$

$$5a = 6$$

$$a = 1/2\, m/s^2$$

نیروهای وارد برجسم، در شکل (۳ـ۲۵) نشان داده شده است.

$$N = W = 40N$$

برایند نیروهای وارد بر جسم $= F - f_k$

و آنگاه از قانون دوم نیوتون خواهیم داشت :

$$F - f_k = ma$$

$$10/8 - f_k = 4 \times 1/2$$

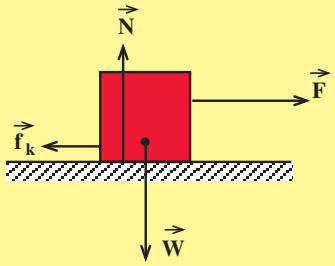
$$f_k = 6\ N$$ نیروی اصطکاک جنبشی

$$f_k = \mu_k N$$

$$\mu_k = \frac{f_k}{N}$$

$$\mu_k = \frac{6}{40}$$

$$\mu_k = 0/15$$



شکل ۳ـ۲۵

## تمرین‌های فصل سوم

۱ــ در هریک از موردهای زیر، شکل ساده‌ای از جسم را رسم کرده و نیروهای وارد بر آن را نشان دهید :

الف ــ جسمی که در هوا در حال سقوط است.

ب ــ جسمی که روی یک سطح شیب‌دار به حال سکون قرار دارد.

پ ــ نردبانی که به دیوار صافی تکیه داده شده است.

۲ــ در هر یک از موردهای زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش، هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

الف ــ سیاره زهره در حال گردش به دور خورشید،

ب ــ توپی که به دیوار برخورد می‌کند،

پ ــ قایقی ساکن بر آب یک دریاچه،

ت ــ چراغی که از یک سقف آویزان است.

۳ــ دو جسم به جرم‌های $m_1$ و $m_2$ که روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارند ، تحت تأثیر نیروهایی یکسان شروع به حرکت می‌کنند. اگر بعد از گذشت زمان t ، سرعت آن‌ها به‌ترتیب برابر $v_1$ و $v_2$ شود، نسبت $\frac{v_2}{v_1}$ را محاسبه کنید.

۴ــ آیا ممکن است که یک جسم در نزدیکی زمین با شتابی بزرگتر از g رو به پایین حرکت کند؟

۵ــ دونده‌ای به جرم $60\,kg$ با شتاب $5\,m/s^2$ شروع به دویدن می‌کند و ۲ ثانیه با این شتاب می‌دود.

الف ــ نیرویی که این شتاب را به دونده می‌دهد، محاسبه کنید و توضیح دهید که این نیرو از سوی چه جسمی به دونده وارد می‌شود؟

ب ــ واکنش نیرویی را که در قسمت «الف» محاسبه کرده‌اید، به چه جسمی وارد می‌شود؟

۶ــ کمربند نجات در اتومبیل چگونه در جاده‌ها، سرنشینان اتومبیل را از وارد شدن صدمه‌های احتمالی حفظ می‌کند؟

۷ــ اتومبیلی به جرم ۲ تن از حال سکون روی جاده‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند و بعد از پیمودن مسافت $100\,m$ با شتاب ثابت، سرعتش به $20\,m/s$ می‌رسد. برایند نیروهای وارد بر اتومبیل را در این حرکت محاسبه کنید.

۸ــ اتومبیلی به جرم $1200\,kg$ با سرعت $72\,km/h$ روی جاده‌ای افقی و مستقیم در حرکت است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و اتومبیل پس از پیمودن مسافت $125\,m$ می‌ایستد.

الف ــ شتاب حرکت اتومبیل پس از ترمز

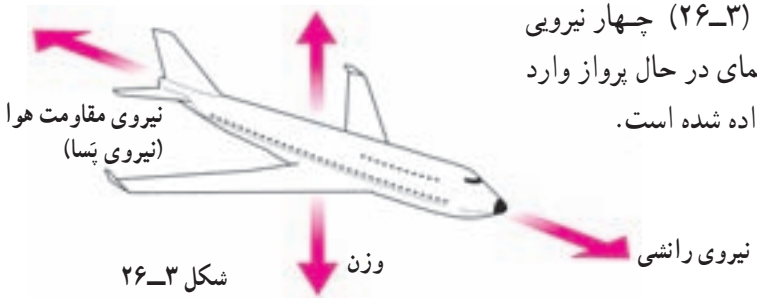
ب ــ نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر اتومبیل را محاسبه کنید.

۹ــ اتومبیلی به جرم ۹۰۰kg در جاده‌ای افقی و مستقیم شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸sبه‌سرعت ۱۲m/s می‌رسد.

الف ــ برایند نیروهای وارد بر اتومبیل

ب ــ نیروی رو به جلو که به اتومبیل وارد می‌شود را در صورتی که نیروی اصطکاک جنبشی در مقابل حرکت اتومبیل ۴۵۰N باشد، محاسبه کنید.

۱۰ــ در شکل (۳ــ۲۶) چهار نیرویی که به یک هواپیمای در حال پرواز وارد می‌شود، نشان داده شده است.



شکل ۳ــ۲۶

بزرگی این نیروها را در موقعیت‌های زیر بیان کنید.

الف) هواپیما در یک تراز پروازی است و با سرعت ثابت پرواز می‌کند.

ب) هواپیما در حال شتاب‌دار شدن و ارتفاع گرفتن است.

پ) هواپیما شتاب کاهنده دارد و ارتفاع خود را کاهش می‌دهد.

۱۱ــ می‌خواهیم به جسمی که جرم آن ۵kg است، شتاب $۲m/s^۲$ بدهیم. نیرویی را که باید به آن وارد کنیم در هر یک از حالت‌های زیر محاسبه کنید :

الف ــ جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب ــ جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲ حرکت می‌کند.

پ ــ جسم در راستای قائم رو به بالا شروع به‌حرکت کند.

ت ــ جسم در راستای قائم رو به پایین شروع به‌حرکت کند.

۱۲ــ جسمی را با سرعت افقی ۱۰m/s روی سطح افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح برابر ۰/۲ است.

الف ــ جسم پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟

ب ــ اگر جسم دیگری که جرم و سرعت آن به‌ترتیب دو برابر جرم و سرعت جسم اول است، روی همان سطح پرتاب شود، شتاب و مسافت پیموده شده آن چند برابر می‌شود؟

۱۳ــ وزنه‌ای به جرم ۲kg را به انتهای فنری به طول ۱۲cm که ثابت آن ۲۰N/cm است

می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر رادرحالت‌های‌زیرمحاسبه‌کنید.

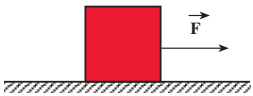
الف ــ آسانسور ساکن است.

ب ــ آسانسور با سرعت ثابت $۲m/s$ رو به پایین در حرکت است.

پ ــ آسانسور با شتاب ثابت $۲m/s^۲$ از حال سکون رو به پایین شروع به‌حرکت کند.

ت ــ آسانسور با شتاب $۲m/s^۲$ از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

۱۴ــ جسمی به جرم $۵kg$ روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد (شکل۳ــ۲۷) .به جسم نیروی افقی F را وارد می‌کنیم.



شکل ۳ــ۲۷

الف ــ به ازای $F = ۱۵N$ جسم ساکن می‌ماند. نیروی اصطکاک وارد بر آن چه‌قدر است؟

ب ــ به‌ازای $F = ۲۰N$ جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد و با ضربهٔ افقی بسیار کوچکی شروع به حرکت می‌کند و پس از $۸s$ مسافت $۳۲m$ را می‌پیماید. ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی را محاسبه کنید.

۱۵ــ الف ــ نیروی گرانشی را که زمین بر ماه وارد می‌کند، محاسبه کنید.

ب ــ نیروی گرانش ماه بر زمین چه‌قدر است؟

(جرم زمین $۶\times۱۰^{۲۴}kg$، جرم ماه $۷/۴\times۱۰^{۲۲}kg$، فاصلهٔ ماه از زمین $۴\times۱۰^{۵}km$ و $G = ۶/۶\times۱۰^{-۱۱}Nm^۲/kg^۲$ را بگیرید).

۱۶ــ برای یک راننده دانستن مسافت توقف اتومبیل او اهمیت دارد. علائم بزرگراهی به ما می‌گوید که کل مسافت توقف، دو قسمت دارد (شکل۳ــ۲۸) :

شکل ۳ــ ۲۸

کل مسافت توقف = مسافت ترمز + مسافت فکرکردن

الف) دو عامل مؤثر در مسافت فکرکردن را نام ببرید.

ب) سه عامل مؤثر در مسافت ترمز را نام ببرید.

پ) زمان واکنش راننده‌ای $۰/۶s$ است. در طی این زمان، اتومبیل $۲۴m$ طی می‌کند. سرعت اتومبیل را حساب کنید.

ت) با این سرعت راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از $۱۰s$ متوقف می‌شود. شتاب کاهندهٔ اتومبیل را حساب کنید.