

# نیرو

## فصل ۵



فیزیکدان‌ها تأثیر برخورد خودروها با یکدیگر را بررسی می‌کنند تا امنیت آنها را در جاده افزایش دهند. متخصصان تولید کفش‌های کوهنوردی، کفش‌هایی را طراحی و تولید می‌کنند تا اصطکاک بین کفش‌ها و کوه زیاد باشد. متخصصان خودروهای مسابقه تلاش می‌کنند تا خودروهایی را با بیشترین شتاب طراحی کنند. مهندسان برای افزایش ایمنی حرکت بالابرها، بیشترین نیرویی را بررسی می‌کنند که کابل‌های بالابر می‌توانند تحمل کنند و ... .

در واقع در هر کاری که روزانه انجام می‌دهیم، با نیرو سروکار داریم. باز و بسته کردن در و پنجره، راه رفتن، بازی کردن، رانندگی کردن، شنا کردن، حمل کردن اجسام، حرکت وسایل نقلیه، پرواز هواپیما و ... بدون اعمال نیرو انجام نمی‌شود. آیا تاکنون فکر کرده‌اید، نیرو چه نقشی در تغییر حرکت دارد؟

## نیروهای متوازن

پیش از این در کتاب‌های علوم؛ با برخی از مفاهیم نیرو آشنا شدیم. در آنجا دیدیم که وقتی جسمی را می‌کشیم یا آن را هل می‌دهیم؛ به آن نیرو وارد می‌کنیم. اثر نیرو بر یک جسم، خود را به شکل‌های مختلف مانند: شروع به حرکت کردن، توقف، کم یا زیاد شدن سرعت، تغییر جهت سرعت و تغییر شکل آن جسم نشان می‌دهد. همچنین نیرو اثر متقابل بین دو جسم است؛ یعنی اگر شما دوستان را هل دهید، او نیز شما را هل می‌دهد و اگر شما وی را بکشید، او نیز شما را می‌کشد. به عبارت دیگر در به وجود آمدن نیرو، همواره دو جسم مشارکت دارند و البته



شکل ۱- در برخورد چکش با میخ، چکش به میخ نیرو وارد می‌کند و میخ نیز به چکش.

این اجسام لزوماً در تماس با یکدیگر نیستند.

اگر بر جسمی چند نیرو به‌طور هم‌زمان اثر کند و این نیروها اثر یکدیگر را خنثی کنند، می‌گوییم نیروهای وارد بر جسم **متوازن‌اند**. به عبارت دیگر اگر برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد، نیروهای وارد بر جسم متوازن‌اند. آزمایش نشان می‌دهد، تا زمانی که نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند جسم ساکن، همچنان ساکن باقی می‌ماند (شکل ۲ و ۵) و اگر در حال حرکت باشد همچنان به حرکت خود ادامه خواهد داد و تغییری در نحوه حرکت آن ایجاد نخواهد شد؛ یعنی سرعت آن تغییر نخواهد کرد (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳- وقتی نیروهای وارد بر خودروی در حال حرکت متوازن باشند، خودرو با سرعت ثابت حرکت می‌کند.



شکل ۲- شخص به جعبه ساکن نیرو وارد می‌کند ولی جعبه حرکت نمی‌کند زیرا نیروی روبه جلو با نیروی اصطکاک رو به عقب هم‌اندازه‌اند.



شکل ۵ - نیروی رو به بالایی که از طرف آب به قایق وارد می‌شود هم اندازه با وزن قایق است، بنابراین قایق روی آب به حالت تعادل باقی می‌ماند.



شکل ۴ - نیروی وزن وارد بر چتر باز و نیروی مقاومت هوا هم اندازه‌اند، بنابراین چتر باز با سرعت ثابت به طرف زمین حرکت می‌کند.

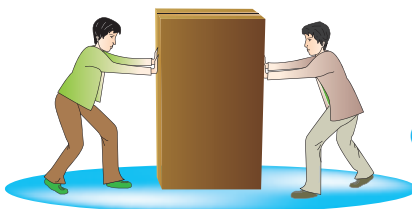
حال اگر در جسمی توازن نیروها به هم بخورد، یعنی نیروهایی که بر آن تأثیر می‌گذارند، همدیگر را خنثی نکنند، آنگاه نیروی خالصی بر جسم اثر خواهد کرد و جسم ساکن شروع به حرکت می‌کند؛ یا اگر در حال حرکت باشد، تغییری در حرکت آن به وجود خواهد آمد. مثلاً اگر در پرواز هواپیما، نیروی بالابری بیشتر از وزن هواپیما شود، هواپیما اوج می‌گیرد و اگر نیروی بالابری کمتر از وزن شود، ارتفاع هواپیما کاهش پیدا می‌کند (شکل ۶).



شکل ۶ - وقتی نیروهای وارد بر هواپیمای در حال پرواز متوازن باشند، تغییری در حرکت هواپیما ایجاد نمی‌شود.

## فعالیت

دانش‌آموزان در شکل‌های زیر جسمی که در ابتدا ساکن است، را هل می‌دهند. اثر اعمال این نیروها را در هر شکل توضیح دهید (سطح زمین را صاف و صیقلی فرض کنید تا بتوانید از نیروی اصطکاک صرف‌نظر کنید). (الف) دانش‌آموزان از دو طرف با نیروی  $100\text{ N}$  جعبه را هل می‌دهند.



(الف)

→ + ← = .....  
نیروی خالص =



(ب)

ب) دانش‌آموز سمت چپ با نیروی  $120\text{ N}$  و دانش‌آموز سمت راست با نیروی  $50\text{ N}$  جعبه را هل می‌دهد.

$$\longrightarrow + \longleftarrow = \dots\dots\dots$$

نیروی خالص =



(پ)

پ) هر دو دانش‌آموز با نیروی  $60\text{ N}$  جسم را به طرف راست هل می‌دهند.

$$\longrightarrow + \longrightarrow = \dots\dots\dots$$

نیروی خالص =

از این فعالیت چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

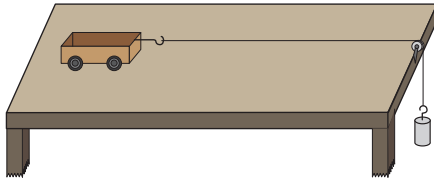
## نیروی خالص عامل شتاب است

همان‌طور که دیدید، اگر نیروهای وارد بر جسم در توازن باشند؛ یعنی نیروی خالص صفر باشد، سرعت جسم تغییر نمی‌کند؛ مثلاً وقتی شما و دوستان از دو طرف با نیروی هم‌اندازه و در خلاف جهت یک چرخ دستی را هل دهید، چرخ دستی حرکت نمی‌کند؛ اما سرعت چرخ دستی یا هر جسم دیگری وقتی تغییر می‌کند که نیروهای وارد بر آن در توازن نباشند. به عبارت دیگر نیروی خالصی بر جسم وارد شود. پس نتیجه می‌گیریم که نیروی خالص وارد بر یک جسم سبب تغییر سرعت آن می‌شود؛ یعنی **نیرو** سبب ایجاد **شتاب** می‌شود. مثلاً وقتی شما به تنهایی یک چرخ دستی را هل می‌دهید، چرخ دستی شروع به حرکت می‌کند و سرعت آن افزایش می‌یابد؛ یعنی نیرو سبب تغییر سرعت یا به عبارت دیگر سبب ایجاد شتاب در جسم می‌شود.

## خود را بیازمایید

- الف) اگر بخواهیم جسمی را به حرکت درآوریم یا سرعت آن را تغییر دهیم، چه باید کنیم؟  
 ب) اگر خودرویی بخواهد متوقف شود، باید در کدام جهت به آن نیرو وارد شود؟

## آزمایش کنید



**هدف:** بررسی رابطه بین شتاب و نیرو  
**وسایل و مواد لازم:** میز، چهار چرخه،  
 قرقره، نخ، وزنه‌های مختلف، سنگ ریزه، قلاب  
**روش اجرا:**

۱- مطابق شکل وزنه کوچک را با نخ به جسم واقع بر روی میز وصل کنید تا جسم شروع به حرکت کند و شتاب بگیرد.

۲- جرم وزنه آویزان را ۲ برابر کنید و دوباره به زمان حرکت جسم توجه کنید.

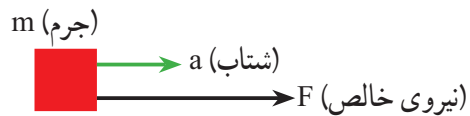
۳- این کار را با ۳ یا ۴ برابر کردن جرم وزنه ادامه دهید. در کدام حالت جسم سریع‌تر طول میز را طی می‌کند؟ شتاب جسم در کدام حالت بیشتر است؟ از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۴- این بار وزنه آویزان را تغییر ندهید؛ یعنی نیروی وارد بر جسم را عوض نکنید، بلکه جرم جسم روی میز را تغییر دهید و به تدریج جرم آن را با قرار دادن مقداری شن یا سنگ یا ... در درون آن افزایش دهید و هر بار به شتاب حرکت جسم توجه کنید. با افزایش جرم جسم، چه تغییری در شتاب حرکت جسم دیده می‌شود؟ از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

با انجام دقیق آزمایش‌هایی مشابه آزمایش بالا، درمی‌یابیم که شتاب جسم متناسب با نیروی وارد بر جسم است. در قسمت اول آزمایش، جرم جسم (چهار چرخه) ثابت است؛ اما نیرویی که جسم را می‌کشد افزایش می‌یابد و در اثر افزایش نیرو، شتاب جسم نیز به همان نسبت افزایش پیدا می‌کند. در قسمت دوم آزمایش، نیرویی که جسم را می‌کشد، ثابت است؛ اما جرم جسم افزایش می‌یابد. در این حالت شتاب جسم کاهش پیدا می‌کند. یعنی شتاب با جرم جسم نسبت وارون دارد.

بنابراین هرگاه بر جسم نیروی خالصی وارد شود، جسم تحت تأثیر آن نیرو شتاب می‌گیرد که این شتاب نسبت مستقیم با نیروی وارد بر جسم دارد و در همان جهت نیرو است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.

$$\text{شتاب جسم} = \frac{\text{نیروی خالص}}{\text{جرم جسم}}$$



شکل ۷- نیرو سبب شتاب گرفتن جسم در همان جهت نیرو می‌شود.

اگر نیروی خالص وارد بر جسم را با  $F$ ، جرم جسم را با  $m$  و شتاب را با  $a$  نشان دهیم، رابطه بالا به صورت زیر در می‌آید:

$$\begin{array}{ccc} \text{نیرو} & \rightarrow & F \\ \leftarrow a = \frac{F}{m} & & \\ \text{جرم} & \rightarrow & \end{array} \quad (۱)$$

در این رابطه، یکای نیرو نیوتون (N)، یکای جرم کیلوگرم (kg) و یکای شتاب نیوتون بر کیلوگرم (N/kg) است. این رابطه را اولین بار ایزاک نیوتون دانشمند انگلیسی با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود استنتاج کرد. لذا این رابطه معروف به قانون دوم نیوتون است.

### آیا می دانید

یکای متر بر مربع ثانیه هم ارز با یکای نیوتون بر کیلوگرم است  $(\frac{N}{kg} = 1 \frac{m}{s^2})$ .

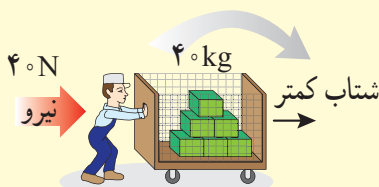


**مثال:** در هر یک از شکل های زیر اندازه شتابی را که گاری در اثر هل دادن شخص پیدا می کند، به دست آورید.

$$\text{شتاب} = \frac{\text{نیرو}}{\text{جرم}} = \frac{40 \text{ N}}{20 \text{ kg}} = 2 \text{ N/kg} \quad (\text{الف})$$



$$\text{شتاب} = \frac{\text{نیرو}}{\text{جرم}} = \frac{60 \text{ N}}{20 \text{ kg}} = 3 \text{ N/kg} \quad (\text{ب})$$



$$\text{شتاب} = \frac{\text{نیرو}}{\text{جرم}} = \frac{40 \text{ N}}{40 \text{ kg}} = 1 \text{ N/kg} \quad (\text{پ})$$

از این مثال چه نتیجه ای می گیرید؟

### گفت و گو کنید



خودروهای مسابقه به گونه ای طراحی می شوند که دارای موتورهای قوی باشند تا بتوانند نیروی زیادی را بین جاده و خودرو ایجاد کنند. همچنین آنها تا آنجا که ممکن است سبک طراحی می شوند. این نوع طراحی؛ یعنی نیروی زیاد موتور و جرم کم اتومبیل، روی شتاب آنها چه تأثیری می گذارد؟



**مثال:** شکل روبه‌رو یک ماشین اسباب بازی ۲ کیلوگرمی را نشان می‌دهد که تحت تأثیر نیروی پیش‌ران (که توسط موتورش تأمین می‌شود) با شتاب  $0.5 \text{ N/kg}$  حرکت می‌کند. نیروی خالص وارد بر ماشین اسباب بازی چقدر و به کدام طرف است؟

**پاسخ:** از قانون دوم نیوتون می‌دانیم که جهت شتاب در جهت نیروی خالص وارد بر جسم است. بنابراین نیروی وارد بر جسم در جهت پیکان نشان داده شده است.

$$F = ma \rightarrow \text{شتاب} \times \text{جرم} = \text{نیرو} \rightarrow \frac{\text{نیرو}}{\text{جرم}} = \text{شتاب}$$

$$F = 2 \text{ kg} \times 0.5 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1 \text{ N}$$

شکل ۸ - جسم تحت تأثیر نیروی گرانشی زمین (وزن) به طرف زمین شتاب می‌گیرد.



## وزن

وزن جسم برابر با نیروی گرانشی (جاذبه‌ای) است که از طرف زمین بر جسم وارد می‌شود. وزن جسم را با نیروسنج اندازه می‌گیرند و یکای آن نیوتون است. وقتی جسمی را از بالای یک ساختمان رها می‌کنیم، وزن آن سبب می‌شود تا جسم به طرف زمین شتاب پیدا کند. بنابراین براساس قانون دوم نیوتون و با صرف نظر کردن از مقاومت هوا می‌توانیم بنویسیم:

**شتاب جاذبه = جرم جسم × وزن جسم**

اگر جرم جسم را با  $m$ ، شتاب جاذبه را با  $g$  و وزن را با  $W$  نشان دهیم، رابطه بالا به شکل زیر در می‌آید:

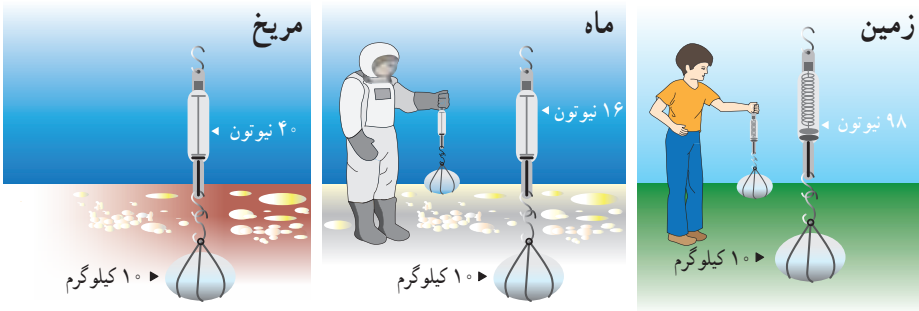
$$W = mg \quad (2)$$

شتاب جاذبه در سطح زمین تقریباً  $9.8$  نیوتون بر کیلوگرم است که برای سادگی در حل مسئله‌ها آن را  $10$  نیوتون بر کیلوگرم فرض می‌کنند.

شکل ۹ - به کمک نیروسنج می‌توانیم وزن اجسام را اندازه‌گیری کنیم.

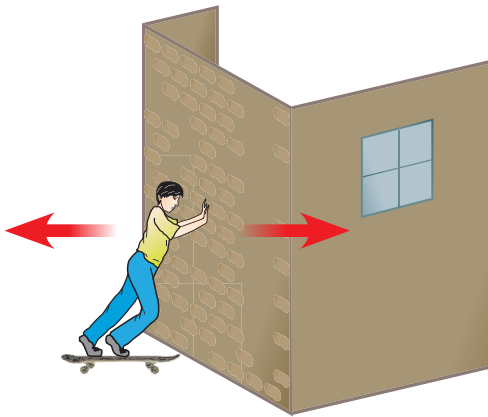


شتاب جاذبه روی زمین تقریباً  $9.8 \text{ N/kg}$ ، روی ماه تقریباً  $1/6 \text{ N/kg}$  و روی مریخ تقریباً  $4 \text{ N/kg}$  است.



### خود را بیازمایید

جرم دانش‌آموزی  $50 \text{ kg}$  است. وزن این دانش‌آموز در سطح زمین چقدر است؟



### نیروی کنش و واکنش

وقتی با دست دیوار یا خودرویی را هل می‌دهیم، حس می‌کنیم دیوار یا خودرو نیز ما را هل می‌دهد. یعنی در برهم‌کنش بین دست و دیوار دو نیرو وجود دارد. نیرویی که ما به دیوار وارد می‌کنیم و نیرویی که دیوار به دست ما وارد می‌کند. اگر نیروی دست که دیوار را هل می‌دهد، **کنش** بنامیم، نیرویی که دیوار به دست ما وارد می‌کند، **واکنش** نامیده می‌شود (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- شخص به دیوار نیرو وارد می‌کند (کنش) و دیوار نیز نیرویی هم‌اندازه اما در خلاف جهت به شخص وارد می‌کند (واکنش).

اگر قطب‌های هم‌نام دو آهن‌پاره به هم نزدیک کنیم، آهن‌پاره اولی آهن‌پاره دومی را دفع می‌کند (کنش) و آهن‌پاره دومی نیز آهن‌پاره اولی را دفع می‌کند (واکنش). همچنین وقتی دو جسم باردار الکتریکی مثبت و منفی را به هم نزدیک می‌کنیم بار مثبت، بار منفی را جذب می‌کند (کنش) و بار منفی نیز بار مثبت را جذب می‌کند (واکنش).

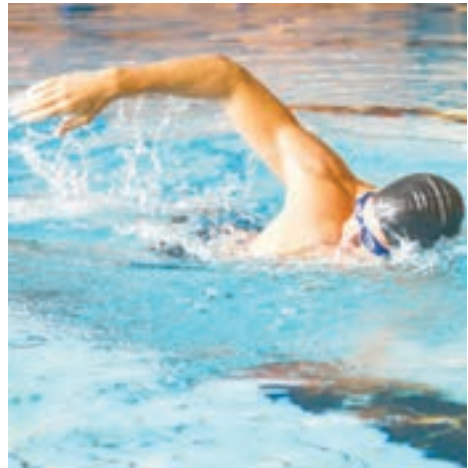
نیروهای کنش و واکنش همیشه همراه هم ظاهر می‌شوند و هیچ‌یک بدون دیگری نمی‌توانند وجود داشته باشند. ایزاک نیوتون رابطه بین نیروهای کنش و واکنش را به صورت زیر بیان کرده است :





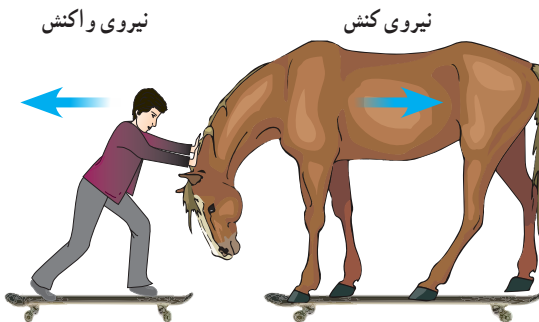
«هر گاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز به جسم اول نیرویی هم‌اندازه ولی در خلاف جهت وارد می‌کند».

بیان بالا معروف به قانون سوم نیوتون است. در شکل ۱۱ تصویر چند حالت مختلف آورده شده است که می‌توان روی آنها نیروهای کنش و واکنش را مشخص کرد. توجه داریم که نیروی کنش و واکنش همواره هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند و بر دو جسم وارد می‌شوند.

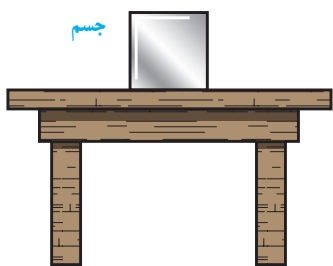


شکل ۱۱- شکل‌های مختلفی که می‌توان در آنها کنش و واکنش را مشخص کرد.

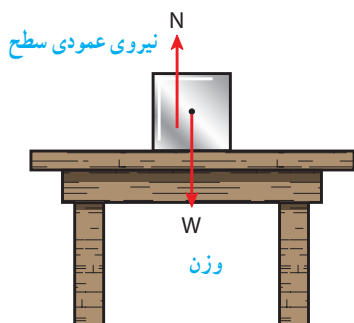
### گفت و گو کنید



فرض کنید مطابق شکل پسر و اسب، روی اسکیت‌ها ساکن‌اند. پسر، اسب را هل می‌دهد و هر دوی آنها شتاب پیدا می‌کنند و به حرکت درمی‌آیند اما شتاب آنها در خلاف جهت یکدیگر است. کدام یک از آنها دارای شتاب بیشتری می‌شود؟ توضیح دهید.



شکل ۱۲- جسم روی سطح میز ساکن است



شکل ۱۳- بر جسم دو نیروی وزن و عمودی سطح وارد می‌شود

## نیروی عمودی سطح

شکل ۱۲ جسمی را نشان می‌دهد که روی سطح افقی میزی ساکن است و حرکت نمی‌کند. بر این جسم چه نیروهایی وارد می‌شود؟ نیروی وزن وارد بر جسم توسط چه نیروی دیگری خنثی می‌شود؟

همان‌طور که دیدیم نیروهای وارد بر جسم ساکن، متوازن‌اند. بنابراین باید به جز وزن جسم که آن را به طرف پایین می‌کشد، نیروی دیگری از طرف سطح میز بر جسم رو به بالا وارد شده باشد تا اثر وزن را خنثی کند. به این نیرو، نیروی عمودی سطح یا تکیه‌گاه گویند و آن را با  $N$  نشان می‌دهند (شکل ۱۳).

هرچه جسم سنگین‌تر باشد، نیروی عمودی تکیه‌گاه نیز بیشتر خواهد بود.

## خود را بیازمایید

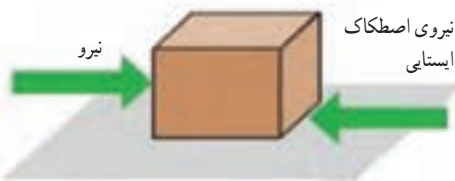
اگر در شکل ۱۳ جرم جسم  $1\text{ kg}$  باشد، وزن جسم و مقدار نیروی عمودی سطح چند نیوتون است؟ ( $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ )

## اصطکاک

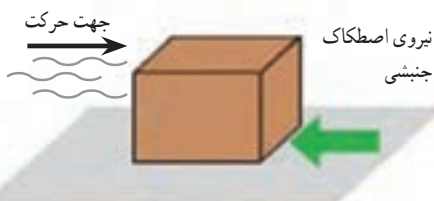


شکل ۱۴- شخص بسته را هل می‌دهد اما بسته حرکت نمی‌کند.

در زندگی روزمره پیوسته با اصطکاک سروکار داریم. ما آثار اصطکاک را در حرکت خودرو، راه‌رفتن، بازی کردن، هل دادن یک جسم و... مشاهده می‌کنیم. وقتی جسمی را که روی زمین قرار دارد، می‌کشیم یا هل می‌دهیم، نیرویی در خلاف جهت نیروی ما به وجود می‌آید. همچنین وقتی جسم روی زمین در حال حرکت است، نیرویی در خلاف جهت حرکت از طرف زمین بر آن وارد می‌شود. به این نیروها **نیروی اصطکاک** می‌گویند. فرض کنید می‌خواهیم جسم سنگینی



(الف) به جسم نیرویی به سمت راست وارد می‌شود؛ اما جسم همچنان ساکن است



(ب) جسم در حال حرکت است و نیرویی در جهت حرکت جلو بر آن وارد نمی‌شود.

شکل ۱۵- شکل‌های مختلفی از نیروی اصطکاک

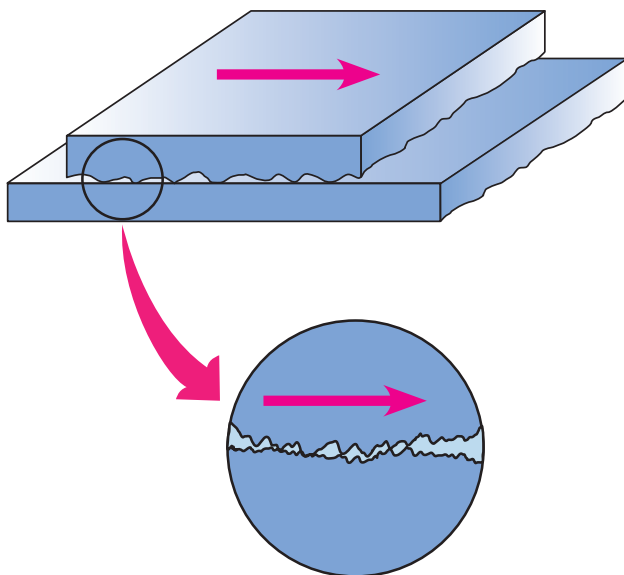
را که روی سطح افقی قرار دارد، جابه‌جا کنیم. اگر آن را با نیروی کمی هل دهیم، جسم به حرکت در نمی‌آید. در این حالت نیروی اصطکاک‌کی که در خلاف جهت نیروی ما به جسم وارد می‌شود، مانع حرکت جسم می‌شود. این نیرو را **نیروی اصطکاک ایستایی** می‌نامیم (شکل ۱۵-الف). حال جسمی را در نظر بگیرید که در اثر هل دادن یا کشیدن روی سطح افقی شروع به حرکت کند. اگر از هل دادن یا کشیدن دست برداریم، سرعت جسم کاهش می‌یابد و پس از مدتی می‌ایستد. با توجه به اینکه نیرو سبب تغییر سرعت جسم می‌شود، پس باید نیرویی در خلاف جهت حرکت بر جسم وارد شده باشد و سبب ایستادن جسم شود. این نیرو را **نیروی اصطکاک جنبشی** می‌نامیم (شکل ۱۵-ب).

نیروی اصطکاک بین دو جسم به جنس دو جسم بستگی دارد؛ مثلاً صخره‌نوردان از کفش‌هایی با زیره‌های خاصی برای صخره‌نوردی استفاده می‌کنند تا نیروی اصطکاک بین کفش و زمین زیاد شود، در حالی که اسکی‌بازان تلاش می‌کنند از چوب‌های اسکی صیقلی شده استفاده کنند تا نیروی اصطکاک بین چوب‌ها و برف کم شود.



شکل ۱۶- در صخره‌نوردی نباید کفش‌ها لیز باشند، اما در اسکی بازی باید زیر کفش‌ها بسیار لیز باشد.

نیروی اصطکاک بین دو جسم به علت ناهمواری‌هایی است که به صورت میکروسکوپی بین دو جسم وجود دارد و با چشم غیرمسلح قابل رؤیت نیست. هرچه دو جسم روی هم بیشتر فشرده شوند، این ناهمواری‌ها بیشتر در یکدیگر فرو می‌روند و مانع حرکت می‌شوند و نیروی اصطکاک افزایش می‌یابد.



شکل ۱۷- ناهمواری‌های روی سطح اجسام با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شود.

## فعالیت

آزمایشی طراحی کنید که با آن بتوانید :

الف) نیروی اصطکاک وارد بر جسمی مانند یک قطعه چوب مکعبی در حال لغزش روی سطح را اندازه بگیرید. (ب) نشان دهید که نیروی اصطکاک جنبشی به طور محسوسی به مساحت سطح تماس دو جسم بستگی ندارد. (پ) نشان دهید که هرچه جسم سنگین‌تر شود (با قرار دادن اجسام دیگر روی مکعب) نیروی اصطکاک جنبشی نیز افزایش می‌یابد.

## جمع‌آوری اطلاعات

با مراجعه به منابع معتبر، تحقیق کنید :

الف) در چه مواردی باید نیروی اصطکاک را کم کرد و این عمل چگونه انجام می‌شود؟  
ب) در چه مواردی باید نیروی اصطکاک را افزایش داد و این عمل چگونه انجام می‌شود؟