



سال‌هاست با ورود رایانه به دنیای دانشمندان، نه تنها موجب شده است محاسباتی که سال‌ها، ماه‌ها و روزها زمان لازم داشت در مدت زمان کوتاهی انجام گیرد، بلکه به کمک انواع نرم‌افزارهایی که نوشته شده است، می‌توان پدیده‌های مختلفی را پیش‌گویی کرد، کاری که به آن شبیه‌سازی می‌گویند. شبیه‌سازی موجب شده است دانشمندان بدون صرف هزینه‌های گزاف بتوانند پیش‌گویی‌های علمی مناسب داشته باشند. اکنون، جزئی مهم از سواد، علاوه بر توانایی خواندن و نوشتن، آشنایی با رایانه است. بدون آشنایی با نرم‌افزارهای رایانه‌ای نمی‌توان به دنیای علم گام نهاد.

آنچه که در این بخش از کتاب می‌بینید بخش تکمیلی فصل‌های حرکت و نیرو از کتاب علوم است. حرکت و نیرو مفاهیمی هستند که به خوبی با آنها آشنا هستید و هر روز با آنها سر و کار دارید. پس به جای این‌که این مفاهیم را فقط در قالب فرمول‌هایی برای حل مسائل حفظ کنید، از شما می‌خواهیم که دست به کار شوید و در دنیای واقعی آنها را تجربه کنید. از سویی دیگر فن‌آوری به اندازه‌ای پیشرفت کرده که حتی می‌توان از سریع‌ترین حرکت جهان یعنی حرکت نور، فیلم‌برداری و آن را بررسی کرد. نرم‌افزارهای بسیار قدرتمندی برای کمک به یادگیری این مفاهیم تولید شده‌است. بنابراین قصد داریم در این کتاب تکمیلی، خودتان دست به کار شوید و مثال‌های واقعی از حرکت را با استفاده از ابزار و روش‌های جدید تجربه و تحلیل کنید و از آن‌چه می‌آموزید لذت ببرید.

## حرکت

حرکت، یکی از پدیده‌های جالب و جذابی است که از دوران باستان تا کنون همواره ذهن دانشمندان را به حرکت واداشته و آنها را به سفری طولانی فرا خوانده‌است. سفری که از مشاهده پدیده‌هایی شبیه به حرکت ستاره‌ها در آسمان زیبای شب شروع شده و امروزه به ساخت وسایلی برای سفر در فضا به سایر سیارات منتهی شده‌است. هدف اصلی دانشمندان از بررسی حرکت، فهمیدن چگونگی حرکت اجسام و علت آنها است. ابزار اساسی دانشمندان برای بررسی این مسائل، مشاهده دقیق پدیده‌ها و کمی‌سازی آنهاست. در این فصل قصد داریم مانند یک دانشمند به سراغ چند پدیده برویم و با بررسی آنها قوانین حرکت را خودمان کشف کنیم!

◀ **نکته:** کمی‌سازی یعنی توصیف پدیده‌ها با کمک اعداد و ارقام. برای کمی‌سازی یک پدیده کافی‌ست هنگام مشاهده و توصیف رفتار و خواص اشیاء به جای استفاده از صفات کیفی (مثل کم و زیاد و سریع و...) از اعداد واحددار استفاده کنیم.

### یک شروع ساده

راه رفتن معمولی آدم‌ها یکی از ساده‌ترین و معمولی‌ترین حرکت‌هایی است که در اطرافمان دیده‌می‌شود. بنابراین شاید بهترین راه برای شروع حرکت‌شناسی بررسی راه رفتن انسان باشد.

## فعالیت‌های عملی

از یکی از دوستان خود بخواهید تا از یک نقطه مشخص به سمت یک نقطه مشخص دیگر حرکت کند و حرکت او را مشاهده کنید (به جای استفاده از دوستان می‌توانید این کار را با یک اسباب‌بازی متحرک یا... انجام دهید).

**?** در این مشاهده چه کمیت‌هایی را می‌توان اندازه‌گیری کرد؟

**?** این کمیت‌ها چه اطلاعاتی درباره حرکت دوستان در اختیار شما می‌گذارد؟

**?** آیا می‌توانید با استفاده از این کمیت‌های اندازه‌گیری شده، کمیت دیگری را ابداع کنید

که تحلیل حرکت دوستان را راحت‌تر کند؟

**?** در صورتی که دوستان این مسیر را بدون عددهای اندازه‌گیری شده چه تغییری می‌کنند؟

این بخش از فعالیت‌های متعددی تشکیل شده، که بیشتر آنها به سادگی قابل انجام هستند بنابراین تک تک فعالیت‌ها را به درستی و همان‌طور که از شما خواسته شده انجام دهید. در طول فعالیت‌ها با یک نرم افزار قدرتمند و بسیار جذاب آشنا می‌شوید که حتما باید آن را در رایانه‌ای نصب کنید و با آن کار کنید، تا بتوانید ادامه فعالیت‌ها را انجام دهید. تمام مطالب و روابطی که احتیاج دارید همان مطالب فصل حرکت و نیروی کتاب درسی علوم است. در بین فعالیت‌ها به مطالبی از کتاب درسی ارجاع داده شده تا هر جا احتیاج بود، به آن مراجعه کنید و از مطالبی که در کتاب درسی یاد گرفته‌اید استفاده کنید. همچنین تعدادی پروژه پژوهشی در بین فعالیت‌ها پیشنهاد شده است که می‌توانید با استفاده از ابزارهایی که بدست آوردید، در طول سال تحصیلی روی آنها کار کنید.

در فصل ۴ کتاب درسی صفحه ۳۴ و ۳۵ با کمیت‌های «جابجایی» و «مسافت طی شده» آشنا شده‌اید. با روش قبل، از کل پدیده حرکت تنها دو عدد اندازه‌گیری می‌شود که عبارتند از مدت زمان کل حرکت و جابه‌جایی کل که در این جا با مسافت طی شده برابر است (چرا؟) که برای راحتی کار می‌توانیم با استفاده از رابطه تندی متوسط که در صفحه ۳۶ کتاب درسی موجود است، مقدار تندی متوسط حرکت را محاسبه کنیم. این اعداد شاید برای تحلیل و مشاهده بعضی پدیده‌ها (مانند یک مسابقه دو میدانی یا یک سفر تفریحی) کافی باشد، اما بی‌تردید، برای تحلیل دقیق‌تر پدیده‌ها کافی نخواهد بود. برای مثال فرض کنید روزی تصمیم می‌گیرید حرکت خود از خانه به مدرسه را تحلیل کنید؛ و در این روز به‌خصوص، در میانه راه یادتان بیفتد که کتاب خود را جا گذاشته‌اید و باید به خانه برگردید و سپس با تاکسی به سمت مدرسه حرکت کنید. شکی نیست در چنین شرایطی دانستن فاصله خانه تا مدرسه و مدت زمان کل حرکت اطلاعات کافی از چگونگی حرکت شما به‌دست نمی‌دهد. به نظر شما برای رفع این مشکل چه کار می‌توان کرد؟

◀ **نکته:** برای این که بفهمید در مشاهده یک پدیده، ثبت چه مقدار اطلاعات لازم است، تصور کنید می‌خواهید مشاهده‌تان را برای یک دوست تعریف کنید. درباره چه مواردی باید صحبت کنید تا دوستان بتواند آن پدیده را درست همان‌طور که شما می‌خواستید تصور کند؟

## ..... | فعالیت‌های عملی ■

این بار یک مسیر طولانی‌تر را انتخاب کنید و از دوستان بخواهید آن را هر طور که دوست دارد طی کند و با دو روش زیر اطلاعات حرکتش را ثبت کنید (بهتر است سعی کنید هر دو روش را با هم انجام دهید).

- روش اول: مکان‌های خاصی را روی مسیر حرکتش علامت‌گذاری کنید (مثلاً هر دو متر یا هر ۵ قدم) و هرگاه دوستان از کنار علامت‌ها رد شد زمان رد شدنش را یادداشت کنید.
- روش دوم: در بازه‌های زمانی مشخص (مثلاً هر ۵ ثانیه) مکان دوستان را علامت‌گذاری کنید و در نهایت آنها را ثبت کنید.

❓ با توجه به اعدادی که یادداشت کرده‌اید سعی کنید حرکت دوستان را تحلیل کنید. تحلیل کدام دسته از اعداد راحت‌تر است؟ چرا؟

## کمی بیشتر بدانیم

### مبدأ و جهت

یکی از کارهایی که احتمالاً در تمام فعالیت‌های بالا به‌صورت ناخودآگاه انجام داده‌اید، این بود که برای کمیت‌های اندازه‌گیری شده (زمان و مکان)، یک مبدأ و یک جهت در نظر گرفته‌اید. درباره زمان همه چیز ساده است: مبدأ، همیشه، زمان شروع حرکت است و جهت آن همواره به سمت آینده است! اما از آن‌جا که مبدأ و جهت اندازه‌گیری مکان دست‌خودمان است و می‌تواند به دلخواه تغییر کند، مکانی که شما ثبت می‌کنید ممکن است با مکانی که دوستان ثبت می‌کند متفاوت باشد، آن هم در حالی که هر دو درباره یک مکان مشخص صحبت می‌کنید. برای رفع این مشکل هنگام بررسی حرکت، معمولاً از «تغییرات مکان» استفاده می‌کنیم.

❓ به نظر شما تغییرات مکان چگونه این مشکل را حل می‌کند؟

## ابزار کمکی برای بررسی‌های دقیق‌تر

شما در فعالیت قبل با داشتن جابه‌جایی در بازه‌های زمانی مشخص، می‌توانید تندی متوسط حرکت دوستان را در آن بازه محاسبه کنید. همان‌طور که در **کتاب درسی صفحه ۳۷ و ۳۸** با تندی لحظه‌ای آشنا شدید، تندی لحظه‌ای حرکت یک اتومبیل همان عددی است که عقربه سرعت‌سنج آن نشان می‌دهد. ولی آیا ما می‌توانیم در یک آزمایش واقعی، تندی لحظه‌ای یک متحرک را اندازه‌گیری کنیم، مثلاً تندی لحظه‌ای حرکت دوستان در فعالیت قبل؟

**P** کمی فکر کنید ببینید آیا می‌توانید روشی برای این کار بیابید.

با کوتاه شدن بازه‌های زمانی حرکت، مقدار تندی متوسط به تندی لحظه‌ای نزدیک می‌شود. مثلاً اگر به جای هر پنج ثانیه یک بار، بتوانیم هر ثانیه مکان شخص را اندازه بگیریم، سرعت متوسط در بازه زمانی یک ثانیه را می‌توانیم محاسبه کنیم. یا اگر بتوانیم در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر، مثل یک دهم یا حتی یک صدم ثانیه جابه‌جایی متحرک را اندازه بگیریم، توانسته‌ایم به سرعت لحظه‌ای آن بسیار بسیار نزدیک شویم. ولی در آزمایشی که انجام دادید و با وسایل اندازه‌گیری موجود مثل کورنومتر این کار کمی دشوار و تقریباً غیرممکن است!! برای این کار باید در وسایل اندازه‌گیری و روش اندازه‌گیری خود، دقت را بالا ببریم و از فناوری مناسب‌تر و جدیدتری استفاده کنیم!

اگر ما بتوانیم حرکت یک متحرک را با روشی ثبت و ضبط کنیم، می‌توانیم با استفاده از رایانه، تحلیل‌های بسیار زیادی با دقت به مراتب بالاتری روی داده‌ها انجام دهیم. یک راه برای ثبت حرکت یک متحرک و منتقل کردن آن به رایانه، فیلم گرفتن از آن است. یک فیلم از تعداد قابل توجهی عکس تشکیل شده که فاصله زمانی آنها با یکدیگر اندک است. به‌طور معمول فیلم‌ها دست کم ۳۰ تصویر در هر ثانیه هستند یعنی فاصله هر دو عکس حدود یک سی‌ام ثانیه است!! اگر بتوان از این عکس‌ها اطلاعات زمانی و مکانی متحرک را استخراج کرد، می‌توان بسیاری از حرکت‌های موجود در طبیعت را با دقت بسیار زیاد بررسی کرد. یک راه برای این منظور تبدیل فیلم به عکس‌های تشکیل‌دهنده آن و اندازه‌گیری مکان متحرک در تک تک عکس‌هاست. زمان زیادی می‌برد ولی قابل انجام است. مثلاً برای تحلیل یک حرکت ۱۰ ثانیه‌ای باید مکان جسم را در ۳۰۰ عکس اندازه بگیریم. در این بخش کار با نرم‌افزاری را یاد می‌گیرید که با استفاده از آن به راحتی می‌توانید حرکت یک متحرک را با استفاده از آن تحلیل کنید، نرم‌افزاری به نام Tracker.

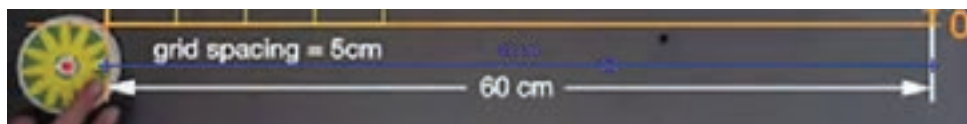
Tracker یک نرم‌افزار رایگان است که کار تحلیل فیزیکی تصاویر و فیلم‌ها را بر پایه همان روشی که گفتیم، ولی به صورت تقریباً خودکار انجام می‌دهد. برای دانلود نرم‌افزار و خواندن آموزش‌های آن (به زبان انگلیسی) می‌توانید به آدرس اینترنتی

<http://physlets.org/tracker/>

مراجعه کنید. همچنین برای آشنایی بیشتر با این نرم‌افزار و طرز کار آن می‌توانید به فیلمی که ضمیمه کتاب شده‌است رجوع کنید.

به صورت خلاصه، نحوه کار با این نرم افزار به این صورت است که پس از وارد کردن ویدئو (از طریق منوی File-> Import-> Video) لازم است که بازه زمانی و مبدأ و جهت مکان را برای نرم افزار مشخص کنید<sup>۱</sup>. برای این کار باید به ترتیب از مثلث های سیاه پایین نوار زمان و Coordinate Axis<sup>۲</sup> (از طریق نماد آن در نوار ابزار به صورت دو خط صورتی عمود بر هم) انجام گیرد. پس از آن لازم است که مقیاسی برای اندازه گیری مکان به نرم افزار بدهید. این کار باید با کمک ابزار Calibration Stick (از طریق منوی Track-> New-> Calibration Tool-> Calibration Stick) انجام شود. پس از مشخص شدن مبدأ، جهت و مقیاس، نوبت به شناساندن جسم به نرم افزار می رسد. برای این کار باید یک Point Mass تعریف کنید (Track-> New-> Point Mass) و مرز جسم را طوری در آن تعریف کنید که نرم افزار بتواند در همه حالت ها آن را به صورت خودکار بشناسد (این قسمت در ادامه توضیح داده می شود). پس از این انجام این مراحل، از نرم افزار می خواهیم که مکان جسم را در لحظات مختلف پیدا و ثبت کند. این مقادیر در جدول سمت راست نرم افزار ظاهر می شوند.

● به عنوان یک مثال فیلم «تخته هوا» را از پوشه فیلم های ضمیمه کتاب در نرم افزار باز کنید. این فیلم، حرکت یک جسم روی یک سطح کاملاً صاف را نشان می دهد. ابتدا یک Calibration Stick (مقیاس طول) بر اساس اعداد مشخص شده روی تصویر درست کنید:



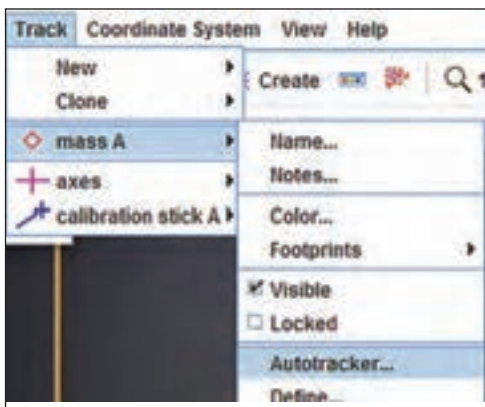
ایجاد Calibration Stick

پس از این مرحله باید جهت و مبدأ حرکت را مشخص کنیم. برای این کار ابتدا یک Coordinate Axis ایجاد می کنیم و مرکز آن را روی تقاطع دو محور زرد رنگ (یا نقطه مرکزی جسم در لحظه اول فیلم) قرار می دهیم. سپس فیلم را کمی جلو ببرید تا جسم از مبدأ فاصله بگیرد. آنگاه با گرفتن علامت عمودی کوچک روی محور افقی صورتی رنگ و چرخاندن آن طوری محور را بچرخانید که از روی مرکز جسم بگذرد و تمام مسیر حرکت جسم روی آن بیفتد:

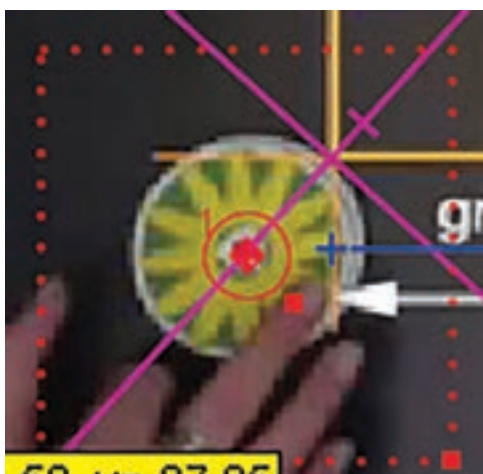


۱- یادگرفتن هر کار و نرم افزاری نیاز به تمرین و مرور کافی دارد...

۲- معنای واژه هایی که استفاده می کنید را می دانید؟



حالا نوبت شناساندن جسم به نرم افزار است. یک Point Mass تعریف کنید و فیلم را به لحظه اول برگردانید. از طریق منوی Track و نام Point Mass ساخته شده گزینه AutoTracker را انتخاب کنید.



با این کار پنجره‌ای باز می‌شود. در این هنگام، بدون بستن پنجره، هم‌زمان با نگاه داشتن دکمه‌های Ctrl و Shift روی مرکز جسم کلیک کنید. با این کار یک دایره و یک مربع بزرگ دور جسم شکل می‌گیرد.



مفهوم این شکل‌ها این است: دایره بخشی از شکل است که نرم‌افزار در هر لحظه دنبال آن می‌گردد. این ناحیه باید ۲ خاصیت داشته باشد: یک، باید همیشه از محیط اطرافش قابل تشخیص باشد، دوم، باید تا جای ممکن کوچک باشد. هر چه مساحت این دایره بیشتر باشد، تحلیل فیلم برای نرم‌افزار سخت‌تر و طولانی‌تر خواهد بود. مربع بیرون شکل، ناحیه‌ای است که در لحظه بعدی، نرم‌افزار، درون این کادر به جستجوی شکلی درون دایره می‌پردازد. بنابراین اگر از نحوه حرکت جسم آگاهید کادر را طوری تنظیم کنید که با کم‌ترین مساحت، جسم را در لحظات بعدی در خود جای دهد. جابه‌جایی این شکل‌ها با کشیدن آنها با ماوس و تغییر ابعادشان با مربع قرمز گوشه کادر تغییر می‌کند. در این مثال روشی که به نظر مناسب می‌آید را دنبال می‌کنیم.

t	X
0.033	-4.173
0.067	-4.169
0.100	-4.165
0.133	-4.166
0.167	-4.165
0.200	-4.167
0.234	-4.154
0.267	-4.160
0.300	-4.164
0.334	-4.150
0.367	-4.143
0.400	-4.090
0.434	-3.996
0.467	-3.927
0.501	-3.850
0.534	-3.373

برای شروع تحلیل به صورت خودکار، در پنجره کوچک باز شده دکمه، را بزنید تا به صورت خودکار کل فیلم را تحلیل کند. در نهایت به جدولی شبیه جدول روبه‌رو می‌رسید:

در این لحظه ۳۶۶ جفت عدد مکان-زمان از یک فیلم ۱۲ ثانیه‌ای استخراج کرده‌اید که با آنها می‌توانید سرعت متوسط جسم را در بازه‌های مختلف از حرکت محاسبه کنید. پس از حذف کردن اولین و آخرین فریم‌ها (که حرکت جسم به علت خروج از کادر و بودن در کنار دست به خوبی ثبت نشده بود) طبق جدول به دست آمده، می‌توان محاسبات زیر را انجام داد (چون فیلم گرفته شده ۲۴۰ فریم بر ثانیه است که به صورت ۳۰ فریم بر ثانیه پخش می‌شود، عدد زمان را باید تقسیم بر ۸ کرد):

سرعت متوسط کل حرکت:

$$\frac{\text{تغییرات مکان}}{\text{تغییرات زمان}} = \frac{۶۱/۴۳ - (-۳/۲۶۸) \text{ cm}}{\frac{۱۰/۶۷۷}{۸}} = ۴۷/۹۷ \text{ cm/s}$$

● سرعت متوسط در دو ثانیه اول فیلم:

$$\frac{\text{تغییرات مکان}}{\text{تغییرات زمان}} = \frac{۸/۷۲۰ - (-۳/۲۶۸) \text{ cm}}{\frac{۲}{۸}} = ۴۷/۹۷ \text{ cm/s}$$

● سرعت متوسط بین ثانیه ۶ و ۹ فیلم:

$$\frac{\text{تغییرات مکان}}{\text{تغییرات زمان}} = \frac{۵۱/۵۴ - ۳۳/۵۰ \text{ cm}}{\frac{۳}{۸}} = ۴۸/۱ \text{ cm/s}$$

با در نظر گرفتن خطای احتمالی نرم‌افزار، هر ۳ عدد، تقریباً، برابرند. همان‌طور که در صفحه ۴۵ کتاب درسی گفته شده، به این نوع از حرکت که در آن سرعت متوسط در تمام بازه‌های زمانی یکسان است، حرکت یکنواخت می‌گویند. هرچند واضح است که حرکت یکنواخت در طبیعت بسیار کم رخ می‌دهد اما بررسی همه‌جانبه حرکت یکنواخت، نقش به‌سزایی در یادگیری مفاهیم اساسی حرکت‌شناسی دارد.



دو موتورسوار را در نظر بگیرید که در فاصله ۵۰۰ متری از هم قرار دارند و هر دو در یک جهت حرکت می کنند.

- الف) تصویری از موقعیت موتورسوارها بکشید و مبدأ و جهت را روی آن مشخص کنید.
- اگر موتورسوار اول (که جلوتر است) در ۵ ثانیه آخر حرکت خود ۵۰۰ متر و موتورسوار دوم در ۲ ثانیه آخر حرکت خود ۲۵۰ متر مسافت طی کرده باشد. با فرض یکنواخت بودن حرکت موتورها:
- ب) تندی متوسط موتورها را محاسبه کنید و بردار آن را روی شکل بکشید.
- پ) موتورسوار اول پس از ۳ ثانیه چقدر جابه جا می شود؟ موتورسوار دوم چطور؟
- ت) مکان موتورسوار اول و دوم نسبت به مبدأ را پس از ۵ ثانیه مشخص کنید.
- ث) فاصله این ۲ موتورسوار پس از ۵ ثانیه چقدر خواهد بود؟
- ج) این ۲ موتورسوار چندثانیه پس از آغاز حرکت و در چه مکانی به هم می رسند؟
- چ) تا لحظه به هم رسیدن موتورها هر کدام چه مسافتی را طی می کنند؟
- ح) با فرض این که موتورسوار اول عقب تر باشد، ۲ سوال بالا را برای زمان و مکانی که دو موتور از کنار هم شروع به حرکت کرده بودند حل کنید.
- خ) اگر دو موتورسوار به سمت هم حرکت کنند، به سوالات الف تا چ پاسخ دهید.

برخی حرکتها با سرعت بسیار زیادی و در کسری از ثانیه صورت می گیرند، بنابراین اندازه گیری مستقیم آنها، در عمل، غیرممکن است. برای دیدن جزئیات و زیبایی های این پدیده ها نیز چاره ای جز فیلم گرفتن وجود ندارد. چند مثال از این پدیده ها را در ادامه مشاهده می کنید.



برخورد قطره با سطح آب

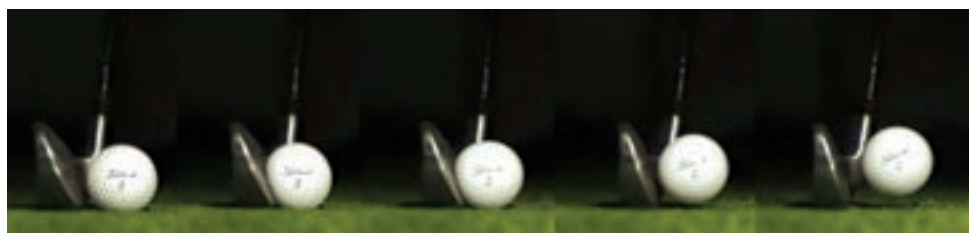




ترکیدن حجاب



ترکیدن بادکنک



ضربه به توپ

## ■ فعالیت‌های عملی | .....



**?** فیلم «گلوله»، لحظه شلیک یک گلوله از تفنگ را نشان می‌دهد. فیلم «ماشین کنترلی» هم یک ماشین کنترلی را نمایش می‌دهد. این دو فیلم را نیز مانند فیلم تحلیل کنید. آیا حرکتشان یکنواخت است؟ سرعت متوسطشان چقدر است؟

**?** فیلم «فتر» را باز کنید و قسمتی از حرکت فتر را با

استفاده از نرم‌افزار تحلیل کنید. سرعت متوسط آن را در فاصله‌های زمانی مختلف پیدا کنید. آیا حرکت فتر یکنواخت است؟ آیا می‌توانید بازه‌های زمانی را طوری انتخاب کنید که نشود تشخیص داد که حرکت غیر یکنواخت است؟

## یک ابزار مهم دیگر

۲ نمونه از حرکت‌های غیریکنواختِ جالب که به راحتی قابل مشاهده هستند و شباهت‌های زیادی به هم دارند، حرکت فنر (با اصطکاک) و حرکت توپ پینگ‌پونگی که به زمین می‌خورد هستند. پس از مشاهده این حرکت‌ها در کلاس، به جدول زیر مراجعه کنید و سعی کنید با توجه به مکان‌های ثبت‌شده، بفهمید هر جدول مربوط به کدامیک از این دو حرکت است؟ البته به این نکته توجه کنید: اعداد به نحوی مقیاس شده‌اند که نشود از روی بازه آنها نوع حرکت را تشخیص داد.

مکان	زمان	فریم	مکان	زمان	فریم	مکان	زمان	فریم	مکان	زمان	فریم
۰	۰	۲۸,۱۵	۲۵	۱,۲۵	۰,۴۶۸	۵۰	۲,۵	۲۸,۲۷۹	۷۵	۳,۷۵	۰,۰۹۷
۱	۰,۰۵	۲۸,۱۳۹	۲۶	۱,۳	۰,۳۴۶	۵۱	۲,۵۵	۲۸,۲۸۳	۷۶	۳,۸	۰,۱۲۵
۲	۰,۱	۲۸,۱۴۳	۲۷	۱,۳۵	۰,۲۰۴	۵۲	۲,۶	۲۸,۱۵	۷۷	۳,۸۵	۰,۱۰۲
۳	۰,۱۵	۲۸,۰۱۷	۲۸	۱,۴	۰,۲۸۸	۵۳	۲,۶۵	۲۸,۱۰۱	۷۸	۳,۹	۰,۲۶۳
۴	۰,۲	۲۷,۷۰۳	۲۹	۱,۴۵	۰,۱۷۴۷	۵۴	۲,۷	۲۷,۷۴۹	۷۹	۳,۹۵	۰,۱۷۶
۵	۰,۲۵	۲۷,۰۵۸	۳۰	۱,۵	۱,۴۹۱	۵۵	۲,۷۵	۲۷,۰۴۹	۸۰	۴	۱,۶۱۳
۶	۰,۳	۲۶,۱۱	۳۱	۱,۵۵	۲,۴۰۲	۵۶	۲,۸	۲۶,۰۷۵	۸۱	۴,۰۵	۲,۵۱۲
۷	۰,۳۵	۲۵,۰۶۶	۳۲	۱,۶	۳,۴۴۵	۵۷	۲,۸۵	۲۵,۰۴۲	۸۲	۴,۱	۳,۷۶۵
۸	۰,۴	۲۳,۹۲۷	۳۳	۱,۶۵	۴,۸۸۵	۵۸	۲,۹	۲۳,۴۵۷	۸۳	۴,۱۵	۴,۸۰۲
۹	۰,۴۵	۲۲,۲۹۳	۳۴	۱,۷	۶,۱۷۷	۵۹	۲,۹۵	۲۲,۰۹۷	۸۴	۴,۲	۶,۳۳۳
۱۰	۰,۵	۲۱,۰۶۹	۳۵	۱,۷۵	۷,۷۴۴	۶۰	۳	۲۰,۶۴۸	۸۵	۴,۲۵	۸,۰۰۴
۱۱	۰,۵۵	۱۹,۲۱۴	۳۶	۱,۸	۹,۵۲۹	۶۱	۳,۰۵	۱۸,۹۵	۸۶	۴,۳	۹,۸۶۷
۱۲	۰,۶	۱۷,۴۶۳	۳۷	۱,۸۵	۱۱,۱۸۱	۶۲	۳,۱	۱۷,۱۸۱	۸۷	۴,۳۵	۱۱,۳۲۵
۱۳	۰,۶۵	۱۶,۰۰۱	۳۸	۱,۹	۱۳,۱۰۵	۶۳	۳,۱۵	۱۵,۳۹۱	۸۸	۴,۴	۱۳,۱۳۳
۱۴	۰,۷	۱۴,۱۸	۳۹	۱,۹۵	۱۴,۸۳۵	۶۴	۳,۲	۱۳,۴۵۲	۸۹	۴,۴۵	۱۵,۰۶۳
۱۵	۰,۷۵	۱۲,۲۵۳	۴۰	۲	۱۶,۵۴۱	۶۵	۳,۲۵	۱۱,۶۷۴	۹۰	۴,۵	۱۶,۸۹۹
۱۶	۰,۸	۱۰,۴۶۸	۴۱	۲,۰۵	۱۸,۳۷۹	۶۶	۳,۳	۱۰,۱۷۳	۹۱	۴,۵۵	۱۸,۶۵۲
۱۷	۰,۸۵	۹	۴۲	۲,۱	۱۹,۸۹۲	۶۷	۳,۳۵	۸,۴۳۲	۹۲	۴,۶	۲۰,۱۹۱
۱۸	۰,۹	۷,۳۶۱	۴۳	۲,۱۵	۲۱,۵۲	۶۸	۳,۴	۶,۸۹۷	۹۳	۴,۶۵	۲۱,۹۰۸
۱۹	۰,۹۵	۵,۸۷۸	۴۴	۲,۲	۲۳,۰۹۱	۶۹	۳,۴۵	۵,۲۹۱	۹۴	۴,۷	۲۳,۱۳۳
۲۰	۱	۴,۴۸۴	۴۵	۲,۲۵	۲۴,۳۴۲	۷۰	۳,۵	۴,۱۳۳	۹۵	۴,۷۵	۲۴,۵۶
۲۱	۱,۰۵	۳,۲۷۳	۴۶	۲,۳	۲۵,۴۳۶	۷۱	۳,۵۵	۳,۰۶۱	۹۶	۴,۸	۲۵,۶۴۴
۲۲	۱,۱	۲,۲۶۲	۴۷	۲,۳۵	۲۶,۵۰۳	۷۲	۳,۶	۱,۹۳۳	۹۷	۴,۸۵	۲۶,۴۸۲
۲۳	۱,۱۵	۱,۴۴۴	۴۸	۲,۴	۲۷,۴۳۸	۷۳	۳,۶۵	۱,۱۶۷	۹۸	۴,۹	۲۷,۱۹۶
۲۴	۱,۲	۰,۹۷۵	۴۹	۲,۴۵	۲۸,۰۹۲	۷۴	۳,۷	۰,۳۹۴	۹۹	۴,۹۵	۲۷,۵۷۱

جدول ۱ - «مکان - زمان» حرکت اول

مکان	زمان	فریم	مکان	زمان	فریم	مکان	زمان	فریم	مکان	زمان	فریم
۱۳,۳۹۱	۳,۷۵	۷۵	۳۴,۸۰۴	۲,۵	۵۰	۱,۸۷۶	۱,۲۵	۲۵	۳۴,۹۵۱	۰	۰
۱۱,۲۸۴	۳,۸	۷۶	۳۴,۹۵۱	۲,۵۵	۵۱	۱,۸۷۶	۱,۳	۲۶	۳۴,۸۰۴	۰,۰۵	۱
۹,۰۷۹	۳,۸۵	۷۷	۳۵	۲,۶	۵۲	۴,۳۷۵	۱,۳۵	۲۷	۳۴,۵۵۹	۰,۱	۲
۶,۷۷۶	۳,۹	۷۸	۳۴,۹۵۱	۲,۶۵	۵۳	۶,۷۷۶	۱,۴	۲۸	۳۴,۲۱۶	۰,۱۵	۳
۴,۳۷۵	۳,۹۵	۷۹	۳۴,۸۰۴	۲,۷	۵۴	۹,۰۷۹	۱,۴۵	۲۹	۳۳,۷۷۵	۰,۲	۴
۱,۸۷۶	۴	۸۰	۳۴,۵۵۹	۲,۷۵	۵۵	۱۱,۲۸۴	۱,۵	۳۰	۳۳,۲۳۶	۰,۲۵	۵
۱,۸۷۶	۴,۰۵	۸۱	۳۴,۲۱۶	۲,۸	۵۶	۱۳,۳۹۱	۱,۵۵	۳۱	۳۳,۵۹۹	۰,۳	۶
۴,۳۷۵	۴,۱	۸۲	۳۳,۷۷۵	۲,۸۵	۵۷	۱۵,۴	۱,۶	۳۲	۳۱,۸۶۴	۰,۳۵	۷
۶,۷۷۶	۴,۱۵	۸۳	۳۳,۲۳۶	۲,۹	۵۸	۱۷,۳۱۱	۱,۶۵	۳۳	۳۱,۰۳۱	۰,۴	۸
۹,۰۷۹	۴,۲	۸۴	۳۳,۵۹۹	۲,۹۵	۵۹	۱۹,۱۲۴	۱,۷	۳۴	۳۰,۱	۰,۴۵	۹
۱۱,۲۸۴	۴,۲۵	۸۵	۳۱,۸۶۴	۳	۶۰	۲۰,۸۳۹	۱,۷۵	۳۵	۲۹,۰۷۱	۰,۵	۱۰
۱۳,۳۹۱	۴,۳	۸۶	۳۱,۰۳۱	۳,۰۵	۶۱	۲۲,۴۵۶	۱,۸	۳۶	۲۷,۹۴۴	۰,۵۵	۱۱
۱۵,۴	۴,۳۵	۸۷	۳۰,۱	۳,۱	۶۲	۲۳,۹۷۵	۱,۸۵	۳۷	۲۶,۷۱۹	۰,۶	۱۲
۱۷,۳۱۱	۴,۴	۸۸	۲۹,۰۷۱	۳,۱۵	۶۳	۲۵,۳۹۶	۱,۹	۳۸	۲۵,۳۹۶	۰,۶۵	۱۳
۱۹,۱۲۴	۴,۴۵	۸۹	۲۷,۹۴۴	۳,۲	۶۴	۲۶,۷۱۹	۱,۹۵	۳۹	۲۳,۹۷۵	۰,۷	۱۴
۲۰,۸۳۹	۴,۵	۹۰	۲۶,۷۱۹	۳,۲۵	۶۵	۲۷,۹۴۴	۲	۴۰	۲۲,۴۵۶	۰,۷۵	۱۵
۲۲,۴۵۶	۴,۵۵	۹۱	۲۵,۳۹۶	۳,۳	۶۶	۲۹,۰۷۱	۲,۰۵	۴۱	۲۰,۸۳۹	۰,۸	۱۶
۲۳,۹۷۵	۴,۶	۹۲	۲۳,۹۷۵	۳,۳۵	۶۷	۳۰,۱	۲,۱	۴۲	۱۹,۱۲۴	۰,۸۵	۱۷
۲۵,۳۹۶	۴,۶۵	۹۳	۲۲,۴۵۶	۳,۴	۶۸	۳۱,۰۳۱	۲,۱۵	۴۳	۱۷,۳۱۱	۰,۹	۱۸
۲۶,۷۱۹	۴,۷	۹۴	۲۰,۸۳۹	۳,۴۵	۶۹	۳۱,۸۶۴	۲,۲	۴۴	۱۵,۴	۰,۹۵	۱۹
۲۷,۹۴۴	۴,۷۵	۹۵	۱۹,۱۲۴	۳,۵	۷۰	۳۳,۵۹۹	۲,۲۵	۴۵	۱۳,۳۹۱	۱	۲۰
۲۹,۰۷۱	۴,۸	۹۶	۱۷,۳۱۱	۳,۵۵	۷۱	۳۳,۲۳۶	۲,۳	۴۶	۱۱,۲۸۴	۱,۰۵	۲۱
۳۰,۱	۴,۸۵	۹۷	۱۵,۴	۳,۶	۷۲	۳۳,۷۷۵	۲,۳۵	۴۷	۹,۰۷۹	۱,۱	۲۲
۳۱,۰۳۱	۴,۹	۹۸	۳۴,۸۰۴	۳,۶۵	۷۳	۳۴,۲۱۶	۲,۴	۴۸	۶,۷۷۶	۱,۱۵	۲۳
۳۱,۸۶۴	۴,۹۵	۹۹	۳۴,۹۵۱	۳,۷	۷۴	۳۴,۵۵۹	۲,۴۵	۴۹	۴,۳۷۵	۱,۲	۲۴

جدول ۲ - «مکان - زمان» حرکت دوم

احتمالا با انجام دادن فعالیت بالا متوجه شده‌اید که هرچند داده‌های زیاد می‌تواند دقت بررسی‌های جزئی را زیاد کند، اما استخراج اطلاعات کلی و بررسی عمومی، حرکت را تبدیل به کاری دشوار و زمان‌بر می‌کند. دانشمندان برای رفع نقایص این روش‌ها از ابزار قدرتمندی به نام نمودار استفاده می‌کنند. نمودارها این امکان را به محققان می‌دهند که با حفظ جزئیات، بتوانند در یک نگاه گذرا رفتار جسم را بررسی و تفسیر کنند.

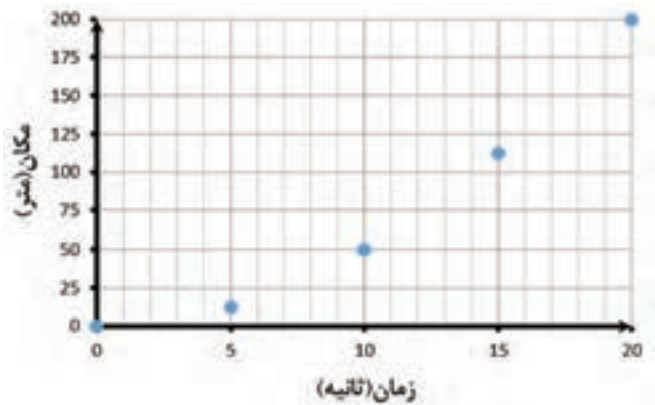
## ابزاری برای بررسی حرکت با یک نگاه!

در فیزیک با کمیت‌ها و ارتباط بین آنها سر و کار داریم. برای بررسی حرکت نیز به دو کمیت مکان و زمان و ارتباط بین آنها احتیاج داریم. که تا این‌جا مشاهده کردید، جدول یکی از ابزارهایی است که با بیان مقدار متغیرها به صورت فهرست وار به درک ارتباط بین آنها کمک می‌کند. اما همان‌طور که در مثال بالا دیدید، به‌ویژه، وقتی تعداد داده‌ها زیاد باشد، استفاده از جدول برای فهمیدن نوع حرکت و کسب اطلاعات کلی از آن چندان کار راحتی نیست.

ابزاری که به درک بهتر رابطه کمیت‌ها کمک می‌کند، نمودار است. شکل یک نمودار، مطالب زیادی را درباره چگونگی ارتباط بین متغیرها بیان می‌کند. در بحث حرکت احتیاج به نموداری داریم که رابطه بین دو متغیر مکان و زمان را به خوبی نشان دهد، برای این منظور نمودار دکارتی دوبعدی مناسب است. در این نمودار که متداول‌ترین نوع نمودار در فیزیک است، مقادیر یکی از متغیرها روی محور عمودی (محور  $y$ ) و مقادیر متغیر دیگر روی محور افقی (محور  $x$ ) نمایش داده می‌شود. در نمودار مکان - زمان، مکان روی محور عمودی و زمان روی محور افقی نمایش داده می‌شود.

به عنوان مثال، اعداد مکان - زمان مربوط به یک حرکت را، در جدول زیر، در نظر بگیرید. هر مکان و زمان در جدول، یک نقطه را در صفحه مختصات مشخص می‌کند. با رسم تک تک نقاط روی این صفحه به نموداری دست پیدا می‌کنیم که می‌توان از شکل آن اطلاعات مفیدی را کسب کرد.

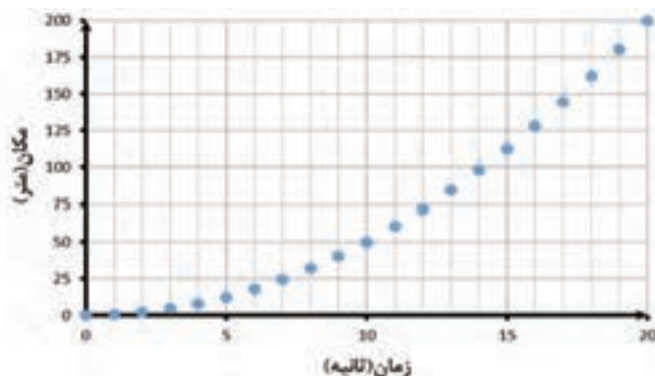
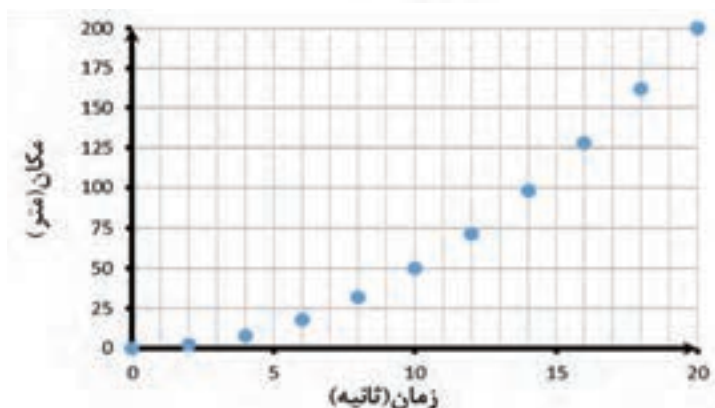
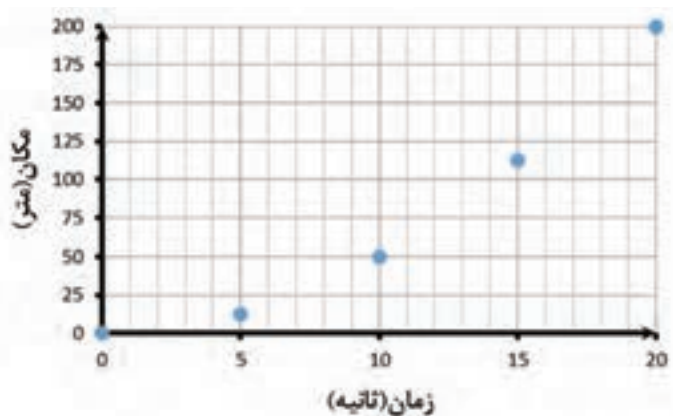
مکان (متر)	زمان (ثانیه)
۰	۰
۱۲.۵	۵
۵۰	۱۰
۱۱۲.۵	۱۵
۲۰۰	۲۰



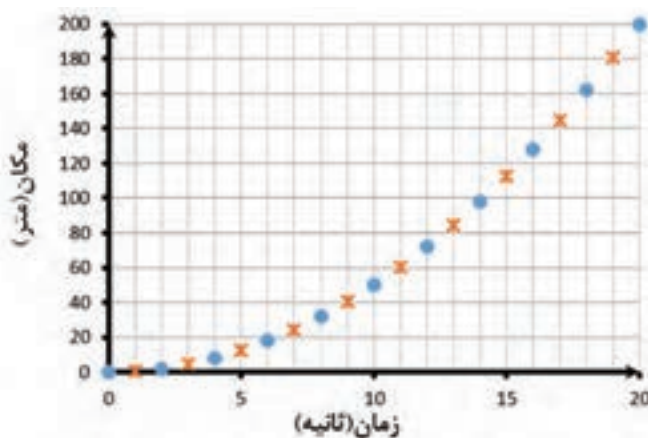
### نکاتی درباره رسم نمودار

- بهتر است محل تلاقی دو محور، نقطه صفر مکان و صفر زمان باشد.
- کنار محورها، اسم یا نماد کمیت به همراه یکای آن نوشته‌شود.
- جهت هر پیکان، جهت مثبت، جهت افزایش کمیت مورد نظر را نشان می‌دهد.

هر قدر تعداد نقاط موجود از حرکت بیشتر باشد، نموداری که بدست می‌آید دقیق‌تر است. سه نمودار زیر، یک حرکت یکسان را نمایش می‌دهند با این تفاوت که در نمودار اول، هر ۵ ثانیه حرکت متحرک ثبت شده، در نمودار دوم هر ۲ ثانیه و در نمودار سوم در هر ثانیه حرکت متحرک ثبت شده است.



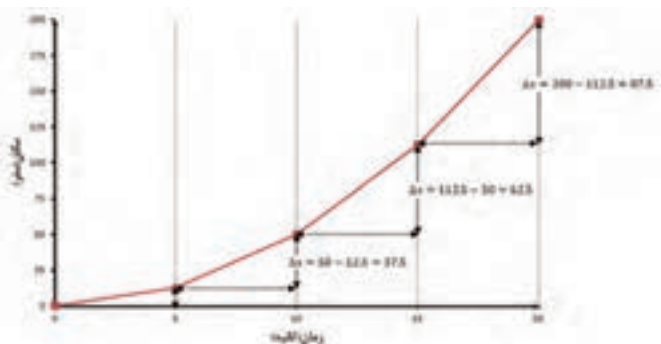
همچنین در صورتی که تعداد قابل قبولی نقطه از یک حرکت داشته باشیم، با استفاده از نمودار می‌توان محل نقاط میانی (X) را تخمین زد.



### استخراج اطلاعات از نمودار

اکنون یاد گرفتیم چگونه اطلاعات جدول مکان - زمان را روی نمودار ببریم، ولی چگونه می‌توانیم از شکل این نمودار اطلاعاتی درباره حرکت کسب کنیم؟ به عنوان مثال همان جدول و نمودار قبلی را در نظر بگیرید. در این نمودار، هر دو نقطه متوالی را با یک خط فرضی به هم وصل می‌کنیم. مشاهده می‌شود که شیب این خطوط با گذشت زمان بیشتر شده است.

زمان (ثانیه)	مکان (متر)
۰	۰
۵	۱۲,۵
۱۰	۵۰
۱۵	۱۱۲,۵
۲۰	۲۰۰



اگر به جدول زمان - مکان مراجعه کنید، می‌بینید که در ۵ ثانیه اول حرکت، متحرک ۱۲,۵ متر جابجا شده است، در ۵ ثانیه دوم ۳۷,۵ متر، در ۵ ثانیه سوم ۶۲,۵ متر و در ۵ ثانیه آخر ۸۷,۵ متر جابجا شده است. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌کنید، هر چقدر مقدار جابجایی در یک زمان مشخص بیشتر شده، شیب خط بیشتر می‌شود. یا به عبارت دیگر هر چقدر شیب خط بیشتر باشد، تندی متوسط متحرک بیشتر بوده است.

همان‌طور که در درس ریاضی خوانده اید، شیب خط بین دو نقطه به این صورت تعریف می‌شود:

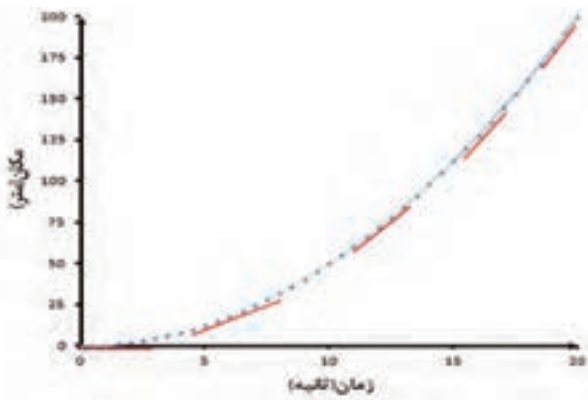
$$\text{شیب} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

و در نمودار مکان - زمان،  $\Delta y$  همان مسافت و  $\Delta x$  مدت زمان است. بنابراین شیب خط وصل‌کننده دو نقطه در نمودار مکان - زمان، برابر است با:

$$\text{شیب} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}}$$

این همان تعریف تندى متوسط است که در **صفحه ۳۷ کتاب درسى** با آن آشنا شدید. پس شیب خط وصل‌کننده هر دو نقطه، تندى متوسط حرکت را در آن بازهٔ زمانى نشان می‌دهد. بنابراین بدون محاسبه تندى متوسط و تنها با نگاه کردن به نمودار مکان - زمان می‌توان متوجه شد که تندى متوسط جسم چگونه تغییر کرده، در کدام بازه بیشترین و کمترین تندى را داشته و ...

حال اگر تعداد داده‌ها و نقاط به قدرى زیاد باشد که نمودار تبدیل به یک منحنى شود، دو نقطه پشت سر هم، بسیار به یکدیگر نزدیک می‌شوند و خطى که آنها را به هم وصل می‌کند، خط مماس بر منحنى است. بنابراین، شیب خط مماس بر منحنى در هر نقطه، تندى متحرک در آن نقطه‌ای همان تندى لحظه‌ای را نشان می‌دهد. پس، به صورت چسمى، می‌توان از شکل منحنى مکان - زمان متوجه شد که تندى لحظه‌ای متحرک چگونه تغییر می‌کند، در کدام لحظه بیشترین و کمترین تندى را داشته و ...



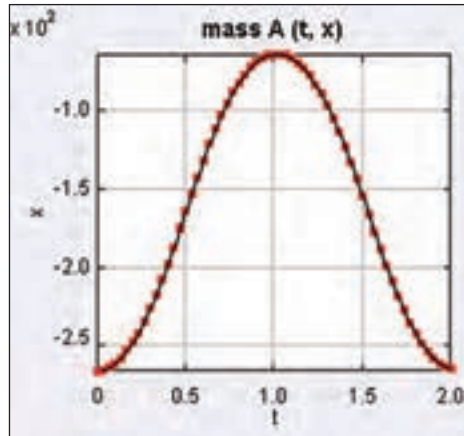
در حرکت مورد بحث با تعداد نقاط قابل توجه و رسم نمودار مکان - زمان به یک منحنى مکان - زمان مانند نمودار فوق می‌رسیم. طبق تعریف، شیب خطوط قرمز در هر نقطه، تندى لحظه‌ای در همان نقطه را نشان می‌دهد. مثلاً در زمان صفر که متحرک در مبدأ حرکت بوده، تندى لحظه‌ای صفر بوده و هر چقدر زمان گذشته، تندى لحظه‌ای بیشتر شده‌است.

**P** به نظر شما این نمودار مربوط به چه حرکتى می‌تواند باشد؟!



## رسم نمودار با Tracker

نرم افزار Tracker می تواند علاوه بر استخراج داده، نمودار نیز بکشد. به این منظور پس از انجام تحلیل فیلم و ساخته شدن جدول داده ها، روی آن راست کلیک کنید و گزینه Analysis را انتخاب کنید. با این کار ابزار تحلیل داده ها و کشیدن نمودار باز می شود. در این بخش با کمک گزینه های موجود می توانید نمودار دلخواهتان را بکشید و آن را مورد تحلیل و بررسی قرار دهید. همچنین نمودار کوچکی نیز در گوشه بالا سمت راست کشیده می شود که البته امکانات کمتری دارد اما بسیاری از نیازهای ما را برطرف می کند.



با کلیک کردن روی برچسب محورها (در شکل بالا  $t$  و  $x$ ) فهرستی از کمیت هایی باز می شود که می توان نمودار آنها را کشید. از بین تمام این کمیت ها ما با کمیت های زیر کار داریم:

$t$ : زمان؛  $x$ : مکان های ثبت شده در ستون  $x$  جدول؛  $y$ : مکان های ثبت شده در ستون  $y$  جدول؛  $v_x$  و  $v_y$ : به ترتیب سرعت مربوط به مکان های ستون های  $x$  و  $y$ ؛  $a_x$  و  $a_y$ : به ترتیب شتاب مربوط به مکان های ستون های  $x$  و  $y$ .

## ..... | فعالیت های عملی

**?** از حرکت یک جرم و فنر و افتادن یک توپ پینگ پونگ روی زمین فیلم بگیرید و با کمک نرم افزار Tracker نمودار مکان - زمان و سرعت - زمان آنها را بکشید و راجع به آنها با دوستان بحث کنید.

**?** درباره این که تغییر مبدأ و جهت مکان چه تأثیری در نمودار مکان - زمان و سرعت - زمان می گذارد بحث کنید. سپس در نرم افزار چندبار مبدأ مکان را جابه جا کنید و جهت مثبت آن را تغییر دهید و نتیجه را در نمودار مکان - زمان و سرعت - زمان ببینید.

به صورت کلی، تغییر دادن مبدأ مکان هیچ تاثیری بر نمودار سرعت - زمان ندارد و شکل کلی نمودار مکان - زمان هم تغییر نمی کند و تنها نسبت به محور افقی بالا و پایین می رود. اما عوض کردن جهت، باعث وارونه شدن هر دو نمودار حول محور افقی می شود.

## ..... | فعالیت های عملی ■

**?** «آزمایش کنید» صفحه ۳۹ کتاب درسی را انجام دهید و از حرکت بادکنک یک فیلم مناسب تهیه کنید. سپس با استفاده از نرم افزار Tracker نمودار مکان - زمان و سرعت - زمان را رسم کنید. حرکت بادکنک را تحلیل کنید. آیا حرکت بادکنک، یک حرکت یکنواخت است؟ سرعت آن چگونه تغییر می کند؟

### حرکت غیر یکنواخت

همان طور که دیدید شکل های بسیار متفاوتی از حرکت غیر یکنواخت در طبیعت وجود دارد که تا الان چند نمونه از آنها را دیده ایم. یکی دیگر از حرکت های معروف در علم فیزیک، حرکت جسم روی سطح شیب دار است.

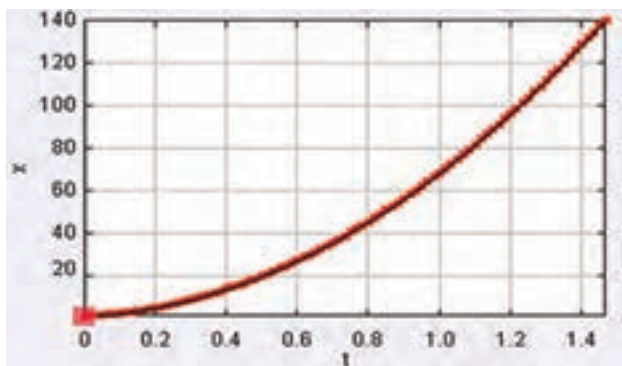
## ..... | فعالیت های عملی ■

**?** فیلم «سطح شیب دار» را از پوشه فیلم های ضمیمه باز کنید. البته توصیه می شود خودتان با یک دوربین فیلم برداری یا گوشی تلفن همراه، از یک ماشین اسباب بازی با چرخ های آزاد یا توپ یا تپله ای که روی یک سطح شیب دار کوچک قل می خورد فیلم بگیرید و همان را تحلیل کنید. چرا که با تجربه این کار، بعدها خودتان می توانید مانند یک دانشمند پدیده های اطراف خودتان را تحلیل کنید.

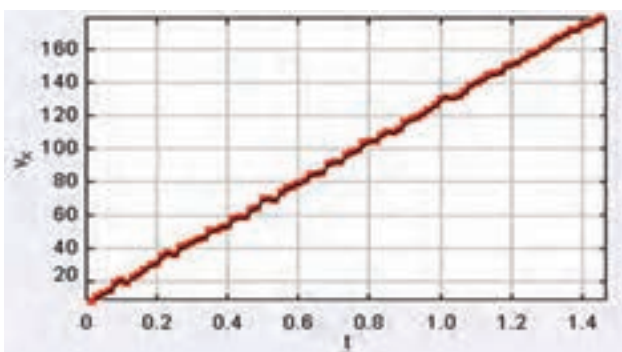
● هنگام فیلم گرفتن دقت کنید که دوربین تکان نخورد و نسبت به صفحه حرکت جسم مستقیم باشد (فاصله جسم تا دوربین خیلی تغییر نکند) و ترجیحاً یک خط کش یا وسیله مشابه در کادر باشد تا بتوان از آن به عنوان مقیاس استفاده کرد.

**?** فیلم گرفته شده را با نرم افزار باز کنید، جهت محور را موازی سطح شیب دار قرار دهید و داده های حرکت آن را استخراج کنید. ابتدا با دقت به نمودارهای مکان - زمان و سرعت - زمان نگاه کنید و سعی کنید آنها را توجیه کنید. سپس با استفاده از جدول مکان - زمان سعی کنید داده های سرعت را محاسبه کنید (توصیه می شود از نرم افزار Microsoft Excel استفاده کنید). سپس با استفاده از رابطه شتاب متوسط در صفحه ۴۱ کتاب درسی، شتاب متوسط حرکت جسم را در بازه های زمانی مختلف محاسبه کنید.

شکل نمودارهای مکان - زمان و سرعت - زمان مانند زیر خواهد بود (توجه کنید که نوسانات کوچک نمودار سرعت - زمان به خاطر خطاست و درواقع این نمودار بیشتر شبیه خط صاف خواهد بود):



مکان-زمان ماشین روی سطح شیب دار



سرعت-زمان حرکت روی سطح شیب دار

به این نوع از حرکت که در آن شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف ثابت می‌ماند حرکت با شتاب ثابت می‌گویند. بسیاری از حرکت‌های موجود در طبیعت اطراف ما از نوع شتاب ثابت می‌باشند. خوب است به این نکته نیز توجه کنید که خطای تحلیل با Tracker در محاسبه شتاب بسیار زیاد می‌شود و بهتر است محاسبات را دستی انجام دهید.

## ..... | فعالیت‌های عملی

**?** با دوستانتان درباره این سوال بحث کنید: اگر به جای رها کردن ماشین از بالای سطح شیب‌دار آن را از پایین به سمت بالا هل بدهیم و اجازه دهیم تا دوباره پایین بیاید، جهت و مقدار شتاب چگونه خواهد بود؟ (بهتر است چندبار این کار را امتحان کنید)

**?** حالا از این کار فیلم بگیرید و با Tracker آن را تحلیل کنید و با استدلال‌های خود مقایسه کنید. توجه کنید که جهت مثبت محور مکان، رو به بالای سطح شیب‌دار باشد.

بار دیگر به نمودارهای مکان - زمان، سرعت - زمان و شتاب - زمان حرکت قبل نگاه کنید. در نیمه اول حرکت شتاب منفی و سرعت مثبت است به این نوع حرکت که در آن علامت شتاب و سرعت مخالف هم‌اند، حرکت **کندشونده** می‌گویند. شکل نمودار مکان - زمان در این قسمت را به خاطر بسپارید. در یک نقطه، درست در بالاترین نقطه‌ای که توپ به آن می‌رسد، سرعت صفر می‌شود. دقت کنید که در این نقطه، شیب نمودار مکان - زمان نیز صفر می‌شود. به نیمه دوم حرکت، بعد از این که سرعت منفی و هم‌علامت شتاب می‌شود، حرکت **تندشونده** می‌گویند. شکل نمودار مکان - زمان در این نیمه را هم به خاطر بسپارید. آیا می‌توانید شکل نمودار مکان - زمان را در این حالت‌ها توجیه کنید؟

حالا جهت مثبت مکان را تغییر دهید و به نمودارها نگاه کنید. با تغییر جهت، نوع حرکت‌ها (تندشونده، کندشونده، یکنواخت، شتاب ثابت و...) تغییری نمی‌کند و فقط علامت‌ها تغییر می‌کنند. شکل نمودار مکان - زمان تندشونده و کندشونده را این بار در حالت شتاب مثبت به خاطر بسپارید.

## ..... | فعالیت‌های عملی ■

**?** ماشین اسباب‌بازی در فیلم «ترمز ماشین» را ببینید و سعی کنید نمودارهای حرکت را آن را به صورت تخمینی بکشید. آیا حرکت ماشین بعد از ترمز گرفتن، شتاب ثابت است؟ کندشونده است یا تند شونده؟ آن را با نرم‌افزار تحلیل کنید.

## ..... | تمرین ■

- ماشینی از حالت سکون با شتاب ثابت ۲ متر بر مجذور ثانیه حرکتش را آغاز می‌کند. پس از ۵ ثانیه که ۲۵ متر را طی می‌کند ۱۰ ثانیه را با سرعت ثابت طی می‌کند. نهایتاً با شتاب منفی ۱ متر بر مجذور ثانیه ترمز می‌گیرد تا در فاصله ۱۷۵ متری از مبدأ کاملاً متوقف شود. نمودارهای مکان - زمان، سرعت - زمان و شتاب - زمان آن را به کمک معلمان بکشید.
- پیشنهاد می‌شود ابتدا از شتاب شروع کنید و سپس به سرعت و مکان برسید. ضمناً قبل از کشیدن نمودار، سعی کنید تمام اطلاعات (سرعت، مکان و زمان) نقاط مهم را که در آنها نوع حرکت تغییر می‌کند به دست بیاورید.

## سقوط اجسام

یکی از معروف‌ترین و مهم‌ترین حرکت‌ها در فیزیک، سقوط آزاد تحت اثر نیروی جاذبه است. بسیاری از جرقه‌های اساسی در علم فیزیک از مشاهده این پدیده شکل گرفتند.

### ..... | فعالیت‌های عملی

**?** یک توپ کوچک (ترجیحا فلزی) را از یک ارتفاع مشخص رها کنید و از سقوط آن فیلم بگیرید. سپس حرکت آن را با Tracker مورد بررسی قرار دهید. نوع حرکت توپ از چه نوعی است؟ شتاب متوسط آن چقدر است؟

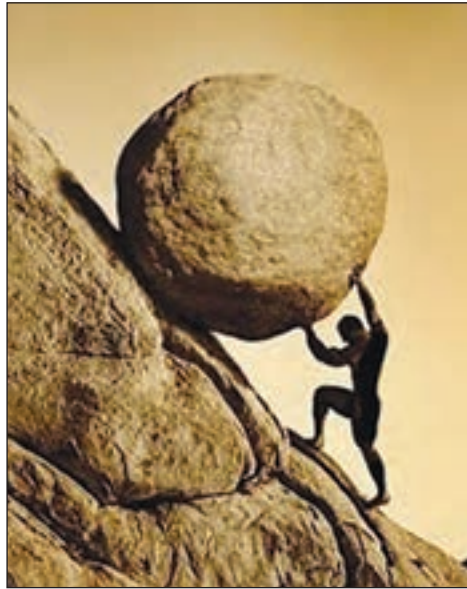
**?** آیا اگر توپ را با سرعت اولیه (رو به بالا یا پایین) پرتاب کنید تغییری در پاسخ این پرسش‌ها به وجود می‌آید؟ اگر جنس و وزن آن عوض شود (مثلا تیله‌رنگی شیشه‌ای به جای گوی فلزی) چه؟

همان‌طور که مشاهده کردید شتاب اجسام در حال سقوط آزاد ثابت و همواره (برای همه اجسام) عددی نزدیک  $10 \text{ m/s}^2$  است. طبق آزمایش‌ها و مشاهدات دقیق دانشمندان (با ابزارهایی به مراتب دقیق‌تر از یک دوربین فیلم‌برداری) مقدار دقیق این عدد که آن شتاب جاذبه می‌گویند و آن را با  $g$  نشان می‌دهند، در سطح زمین، عددی نزدیک  $9.81 \text{ m/s}^2$  است و تمام اجسام با هر جرمی روی سطح زمین (در صورتی که نیروی مزاحمی مثل مقاومت هوا نباشد یا آن‌قدر کم باشد که بتوان از آن صرف نظر کرد) با همین شتاب سقوط می‌کنند.

### ..... | فعالیت‌های عملی

**?** یک توپ راه، رو بالا پرتاب کنید و از آن فیلم بگیرید (یا از فیلم «پرتاب توپ» استفاده کنید) و آن را تحلیل کنید.

**?** فیلم «پرتاب میوه» مربوط به بازی معروف Fruit Ninja است - که چند سال پیش محبوبیت زیادی بین کاربران گوشی‌های همراه پیدا کرده‌بود -. این فیلم را هم با نرم‌افزار تحلیل کنید و بگویید اگر شتاب جاذبه در آن بازی بخواهد به اندازه شتاب جاذبه زمین باشد، اندازه هر میوه چقدر می‌شود؟



در فصل چهار تمام هدف ما بررسی حرکت اجسام از این منظر بود که اجسام «چگونه» حرکت می‌کنند و انواع حرکت‌هایی که یک جسم می‌تواند داشته‌باشد چیست و چگونه می‌توان آنها را مطالعه کرد؛ اما این تنها روش مطالعه حرکت نیست. در واقع مطالعه چگونگی حرکت اجسام مقدمه‌ای است برای مطالعه «علت» حرکت اجسام.

### یک ابزار فوق‌العاده مهم

برای بررسی این که چه چیزی باعث حرکت اجسام می‌شود، نیز، نیاز به ابزارهایی داریم. یکی از مهمترین این ابزارها، مجموعه قوانین فیزیکی است به نام قوانین ۳ گانه حرکت. این قوانین بارها و بارها توسط دانشمندان مختلف و در اعصار مختلف به صورت جداگانه کشف شده‌بودند اما اولین کسی که همه آنها را مدون کرد و با کمک آنها شروع به حل مسائل مختلف حرکتی کرد ایزاک نیوتن دانشمند انگلیسی بود؛ به همین علت گاهی به این قوانین، «قوانین ۳ گانه نیوتن برای حرکت» نیز می‌گویند. این قوانین در **فصل نیروی کتاب درسی صفحات ۴۴ تا ۵۰** به تفصیل بیان شده است. به طور خلاصه و به زبان ساده این قوانین عبارتند از:

۱- نیروی خالص عامل «تغییر حرکت» است. یعنی اگر به جسمی نیرویی وارد نشود، سرعت جسم تغییری نمی‌کند (توجه کنید که سرعت جسم ساکن هم برابر صفر است!). به عبارت دیگر اگر سرعت جسمی تغییر کرد (الان می‌دانیم که یعنی اگر جسمی شتاب داشت) می‌توان نتیجه گرفت که نیروی خالص وارد بر آن حتما غیر

صفر است (مراجعه کنید به صفحه ۴۵ و ۴۶ کتاب درسی).

۲- هرچه جسمی سنگین‌تر باشد، به همان نسبت به نیروی بیشتری نیاز دارد تا آن را به شتاب مشخصی رساند. به عبارت دیگر شتاب جسم برابر است با نیروی خالص وارد شده به آن تقسیم بر جرمش. رابطه کمی بین نیرو، جرم و شتاب در صفحه ۴۷ کتاب درسی بیان شده است.

۳- اگر جسم الف به جسم ب نیرویی وارد کند، جسم ب نیز به جسم الف نیرویی به همان اندازه و در جهت مخالف وارد می‌کند (مراجعه کنید به صفحه ۵۰ کتاب درسی).

در مواجهه با این قوانین توجه داشتن به ۲ نکته ضروری است: اول این که این قوانین، قوانینی جهان‌شمول هستند؛ یعنی با کمک آنها می‌توانید همه پدیده‌های مربوط به حرکت‌شناسی را توجیه کنید. نکته دوم این که مانند همه قوانین دیگر علمی، این قوانین مبتنی بر تجربه هستند و می‌توانند نقض شوند، کما این که نقض شده‌اند و در حال حاضر در برخی حیطه‌ها (حرکت اجسام بسیار ریز یا سرعت‌های بسیار بالا) نمی‌توان از آنها استفاده کرد اما، **کماکان این قوانین ۳ گانه می‌توانند همه (بیشتر) حرکت‌های عادی در طبیعت اطراف ما را توجیه کنند.**

## ■ فعالیت‌های عملی | .....

● فیلم «پرتاب توپ» را باز کنید. این فیلم لحظه برخورد یک توپ نرم به دیوار را نشان می‌دهد. با محاسبه کردن شتاب متوسط توپ و با استفاده از رابطه بین نیرو، جرم و شتاب، بگویید چه نیرویی به آن وارد شده است.

● در فیلم «آونگ و گلوله» یک گلوله به یک آونگ برخورد می‌کند و آن را به حرکت می‌اندازد.

**?** سرعت گلوله قبل و بعد از برخورد با آونگ را حساب کنید.

**?** نیروی وارد شده به گلوله را محاسبه کنید.

**?** شتاب آونگ را حساب کنید.

**?** نیروی وارد به آونگ را محاسبه کنید.

**?** آیا محاسبات شما قانون سوم نیوتن را تأیید می‌کنند؟

در ادامه می‌خواهیم ببینیم با این ابزارهایی که تا حالا با آنها آشنا شدیم، چه کارهای جالبی می‌شود کرد!

### دوباره سقوط آزاد

اجازه دهید کار را با آخرین آزمایشی که انجام داده‌بودید، شروع کنیم. در آن آزمایش قبل از رها کردن، تپله ساکن بود و طبق قانون اول این یعنی که در آن لحظات هیچ نیروی خالصی به تپله وارد نمی‌شده است؛ اما به محض رها شدن، تپله شروع به شتاب گرفتن به سمت زمین کرد. طبق قانون اول این به معنی است که نیرویی خالص، رو به زمین، به تپله وارد می‌شود و به آن نیروی جاذبه (وزن) می‌گوییم.



از آن جایی که حرکت سقوط آزاد یک حرکت شتاب ثابت است می توان با کمک قانون دوم نتیجه گرفت که نیروی خالص وارد بر تیله همواره ثابت است. همچنین طبق آن چه که در **صفحه ۴۹ کتاب درسی** درباره نیروی وزن آموختید، نیروی جاذبه وارد بر تیله یا همان نیروی وزن آن، برابر است با:  $W = m \cdot g$  که  $W$  نیروی وزن با واحد نیوتن است،  $m$  جرم تیله به کیلوگرم و  $g$  همان شتاب جاذبه با واحد  $\frac{m}{s^2}$  است که در آزمایش سقوط گوی فلزی پیدا کرده بودید.

## ■ فعالیت های عملی | .....

**?** همین تحلیل را برای تویی که روی سطح شیب دار قل می خورد انجام دهید.

### یک اشتباه متداول

یک بار دیگر به زمانی که تیله را در دستتان گرفته بودید فکر کنید. اگر نیروی جاذبه همواره بر جسم وارد می شود، پس چرا تیله تکان نمی خورد؟ ساکن ماندن تیله نشانه آن است که «نیروی خالص» وارد بر تیله صفر است یا به عبارت دیگر، نیرویی، درست برابر وزن تیله و رو به بالا به آن وارد می شود. تنها چیزی که می تواند این نیرو را وارد کند، دست شما است. پس دست شما نیرویی برابر و در خلاف جهت نیروی جاذبه به تیله وارد می کند. معمولاً به آن، نیروی «**عکس العمل سطح**» می گویند. از طرف دیگر طبق قانون سوم تیله نیز به دست شما (یا هر چیزی که مانع افتادنش می شود) نیرویی برابر و خلاف جهت عکس العمل سطح وارد می کند. این همان نیرویی است که ما حس می کنیم و به اشتباه آن را با نیروی وزن جسم اشتباه می گیریم.

## ■ فعالیت های عملی | .....

● برای بهتر فهمیدن تفاوت نیروی وزن و نیرویی که حس می کنیم، آزمایش ذهنی زیر را انجام دهید:

**?** فرض کنید جسمی یک کیلوگرمی در دست گرفته اید و درون یک آسانسور ساکن ایستاده اید. مانند روند بالا تحلیل کنید که نیروی وزن جسم و نیرویی که حس می کنید چه رابطه ای دارد؟

**?** حالا فرض کنید آسانسور با شتاب ثابت رو به بالا شروع به حرکت کند. بار دیگر تحلیل کنید که این دو نیرو چه رابطه ای دارند؟

**?** اگر آسانسور با شتاب ثابت ترمز بگیرد چه اتفاقی می افتد؟

**?** حالا این آزمایش را به صورت واقعی انجام دهید. در صورتی که به آسانسور دسترسی ندارید، یک جسم را به یک نیروسنج ساده ببندید و سپس آن را با شتاب بالا و پایین ببرید، تا اثر آن را ببینید. برای بهتر دیدن این اثر شاید بهتر باشد از این حرکت، فیلم بگیرید تا بتوانید عدد روی نیروسنج را بخوانید.

همان‌طور که از تجربه‌هایتان می‌دانید، اجسام روی زمین الزاما به صورت هم‌زمان و با شتاب ثابت سقوط نمی‌کنند و سقوط واقعا آزاد تنها در شرایط خاصی (مثل شرایط فعالیت‌هایی که تا الان انجام داده‌اید) اتفاق می‌افتد و این برخلاف نتیجه‌گیری‌های ما در قسمت‌های گذشته است. اما دلیل این اتفاق چیست؟

### فعالیت‌های عملی

● در شکل ۴ صفحه ۴۵ کتاب درسی، نیروهای وارد بر یک چتر باز در حال سقوط را مشاهده کرده‌اید. در این فعالیت، می‌خواهیم با استفاده از چند فیلم از سقوط چترنجات، حرکت آن را دقیق‌تر بررسی کنیم. فیلم «چتر نجات» را از پوشه فیلم‌ها در Tracker باز کنید. این فیلم چند چتر نجات دست‌ساز با وزن‌های مختلف را نشان می‌دهد که از ارتفاع یکسان رها می‌شوند.

? یکی از چترهای نجات را انتخاب کنید که نه خیلی کند حرکت کند و نه خیلی تند و حرکت آن را با Tracker بررسی کنید سپس نمودار مکان-زمان، سرعت-زمان و شتاب-زمان آن را رسم کنید. حرکت چتر نجات چند مرحله متفاوت دارد؟ سعی کنید آنها را به روش بالا تحلیل کنید.

با تحلیل حرکت چتر نجات در فیلم بالا درمی‌یابیم که در این حرکت، ۲ بخش متفاوت وجود دارد: یک قسمت شتاب‌دار (با شتاب متغیر) و یک قسمت با شتاب صفر (سرعت ثابت). درواقع جسم مورد نظر با شتابی نزدیک به  $g$  شروع به حرکت می‌کند و هر چه پایین‌تر می‌آید، شتابش کم و کمتر می‌شود تا زمانی که به تدریج صفر شود و سرعت سقوط، تقریباً، ثابت می‌ماند.

همان‌طور که در شکل ۴ صفحه ۴۵ کتاب درسی مشاهده کردید، به چتر باز در حال سقوط دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می‌شود. مقدار نیروی وزن همواره ثابت است، پس چه نیرویی باعث تغییر شتاب سقوط چتر باز می‌شود؟ قاعدتا نیروی مقاومت هوا! اگر نیروی مقاومت هوا نیز یک نیروی ثابت بود، نیروی خالص وارد بر چتر باز ثابت می‌ماند و چتر باز با شتاب ثابت به سمت زمین سقوط می‌کرد. ولی این اتفاق رخ نمی‌دهد و شتاب سقوط چتر باز متغیر است و از جایی به بعد، تقریباً، برابر با صفر است!

### پروژه‌های پژوهشی

با کمک معلم خود درباره نیروی مقاومت هوا تحقیق کنید، فکر کنید و جواب پرسش‌های زیر را بیابید تا بتوانید حرکت چتر باز را تحلیل کنید.

- نیروی مقاومت هوا چرا بوجود می‌آید؟
- اگر جسمی در هوا ساکن باشد، چه نیروی مقاومتی به آن وارد می‌شود؟
- نیروی مقاومت هوا به چه عواملی وابسته است؟
- کدام یک از این پارامترهای طی سقوط چتر نجات تغییر می‌کند؟
- سرعت حد چیست؟

به عنوان یک پروژه پژوهشی می‌توانید اثر پارامترهای مختلف چترنجات (مساحت، شکل، سوراخ داشتن یا نداشتن، وزن و...) را بر سرعت حد آن پیدا کنید. سپس چتر نجاتی طراحی کنید که چتر باز را با سرعت و شتاب مناسب به سطح زمین برساند.

## ■ فعالیت‌های عملی | .....

**?** فیلم‌های «سقوط در گلیسیرین» را باز کنید و سعی کنید با نرم‌افزار آنها را تحلیل کنید. این فیلم‌ها، سقوط یک ساچمه را در آب و گلیسیرین نشان می‌دهند، که مقاومت بیشتری نسبت به هوا در مقابل حرکت دارند. با رسم نمودارهای مکان، سرعت و شتاب، این حرکت را با سقوط چترنجات مقایسه کنید.

### پروژه‌های پژوهشی

به عنوان یک پروژه پژوهشی می‌توانید خودتان این آزمایش را با مایعات و ساچمه‌های دیگری تکرار کنید و مانند دانشمندان معیاری برای مقاومت سیالات مختلف در برابر حرکت پیدا کنید.

## ■ فعالیت‌های عملی | .....

● فیلم دیگری هم در پوشه وجود دارد به نام «حباب در گلیسیرین». در این فیلم حباب‌ها در ستونی از گلیسیرین به سمت بالا حرکت می‌کنند. می‌توانید این فیلم را هم تحلیل کنید و نوع حرکتش را مشخص کنید.

**?** چه شباهتی بین بالا آمدن حباب‌ها و سقوط ساچمه در مایعات وجود دارد؟

**?** به نظر شما چه پارامترهایی چگونه در سرعت حرکت حباب به سمت بالا مؤثر هستند؟

### کی گول می‌خوریم؟

شاید برای شما پیش آمده که به نظرتان برسد که برخی از پدیده‌های روزمره‌ای که در اطرافتان می‌بینید، با قوانین حرکت سازگار نیستند. در این بخش به چندتا از این ناسازگاری‌های ظاهری می‌پردازیم.

### ● اجسامی که می‌ایستند

اولین تناقضی که به ذهن خیلی‌ها می‌رسد این است که در زندگی روزمره ما، تنها، اجسام تا زمانی که به آنها نیرو وارد می‌شود، می‌توانند با سرعت ثابت به حرکت ادامه بدهند و پس از قطع شدن نیرو، جسم از حرکت می‌ایستد. در ذهن همه ما مثال‌های بسیاری از این پدیده وجود دارد، از ماشینی که خاموش می‌شود و متوقف می‌شود گرفته، تا توپی که روی زمین قل می‌دهیم.

## ■ فعالیت‌های عملی | .....

**?** یک جسم مکعبی را بردارید و روی سطح یک فرش یا آسفالت با سرعت مشخصی رها کنید. چقدر طول می‌کشد تا متوقف شود؟

**?** اگر همین کار را روی یک سطح صاف‌تر مثل شیشه انجام دهید چطور؟

**?** بار دیگر این سطح را چرب کنید و آزمایش را دوباره انجام دهید. چه تفاوتی می‌کند؟



یعنی این مسئله که به نظرمان می‌رسد نیروی ما هیچ تأثیری در حرکت اجسام بزرگ ندارد، کاملاً طبیعی است و مسئله در تمام این پدیده‌ها جرم اجسام است.

### ● عمل و عکس‌العمل

چرا نیروی عمل و عکس‌العمل ذکر شده در قانون سوم نیوتن هم‌دیگر را خنثی نمی‌کنند؟ به یک دلیل ساده، آرام دوستان را بزنید! هردوی شما نیرویی را احساس می‌کنید (اگر محکم بزنید هردوی شما دردتان می‌گیرد!) و این یعنی به هردوی شما نیرو وارد شده‌است. به عبارت دیگر نیروی عمل و عکس‌العمل به ۲ جسم مختلف وارد می‌شوند و لذا نمی‌توانند هم‌دیگر را خنثی کنند.



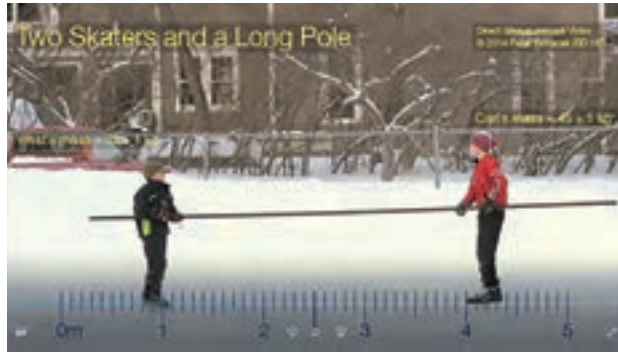
پرتاب گلوله از لوله

این مسئله را می‌توانید در دو فیلم «عمل و عکس‌العمل» ببینید. هم‌چنین می‌توانید به عنوان تمرین با استفاده از قانون دوم حرکت نیرویی را که دو جسم به هم وارد می‌کنند محاسبه کنید. اگر هریک از اجسام به جای هل‌دادن دیگری، همین نیرو را به یک دیوار یا زمین وارد می‌کرد، آیا تغییری در وضعیتش ایجاد می‌شد؟

### ● طناب‌کشی

اگر نیروهای عمل و عکس‌العمل برابرند پس چرا در مسابقه طناب‌کشی یکی از تیم‌ها برنده و دیگری بازنده می‌شود؟

در واقع نیروی تعیین‌کننده در طناب‌کشی، نیروی وارد شده بر طناب نیست (که همان‌طور که درست فهمیدید از طرف هر ۲ تیم برابر است) بلکه نیروی اصطکاک است. اصطکاک بین دست بازیکنان و طناب و بین بازیکنان و زمین است که برنده را مشخص می‌کند. از قضا همین مسئله در هنگام کشیدن یک جسم به سمت خود هم صدق می‌کند.



طناب کشی بدون برنده

برای آزمودن این واقعیت می‌توانید خودتان و دوستان روی ۲ صندلی چرخدار (یا هر چیز مشابه دیگری که اصطکاک چندان با زمین نداشته باشد) بنشینید و با یک طناب هم‌دیگر را بکشید. چه اتفاقی می‌افتد؟

**?** چه کسی برنده می‌شود قوی‌تر یا سنگین‌تر؟

## ● راه رفتن

یکی از مسائلی که برای خیلی‌ها دشوار است تشخیص جهت نیروی اصطکاک است. معمولاً آدم‌ها برای تشخیص جهت آن دست به ابداع روش‌های عجیب و غریبی می‌زنند که کار را دشوار و پیچیده می‌کند. اما در واقع تنها چیزی که نیاز دارید، یادگرفتن قوانین حرکت است. بگذارید با چند مثال مسئله را روشن کنیم.

۱- درحالی که ایستاده‌اید، کاغذی را روی شکم خود بگذارید و شروع به دویدن کنید به طوری که کاغذ روی زمین نیفتد. چرا نیروی جاذبه نمی‌تواند کاغذ را حرکت دهد؟ به خاطر نیروی اصطکاک. جهت نیروی اصطکاک در کدام جهت است؟ مسلماً رو به بالا.

۲- ماشینی را در حال ترمز گرفتن در نظر بگیرید. چه نیرویی آن را نگه می‌دارد؟ نیروی اصطکاک بین زمین و چرخ. جهت آن به کدام سمت است؟ طبیعتاً خلاف جهت حرکت ماشین.

۳- حالا ماشینی را در حال شتاب گرفتن در نظر بگیرید. تنها نقاطی که ممکن است نیرویی به آنها وارد شود چرخ‌های ماشین است. بنابراین کدام نیرو ماشین را به حرکت می‌اندازد؟ جز اصطکاک نیروی دیگری نمی‌تواند باشد. جهت آن به کدام سمت است؟ قانون دوم نیوتن به ما می‌گوید در جهت حرکت ماشین. اما احتمالاً همه شما شنیده‌اید که جهت نیروی اصطکاک در خلاف جهت حرکت است. آیا این جا تناقضی وجود دارد؟ نه!

بار دیگر به چرخ‌های ماشین نگاه کنید. اگر ماشین به جای آسفالت روی یخ بود محل تماس چرخ با یخ به کدام سمت حرکت می‌کرد؟ به سمت عقب، خلاف جهت حرکت ماشین. پس اصطکاک بین چرخ و ماشین در خلاف جهت حرکت چرخ یعنی موافق با جهت حرکت ماشین است. همین استدلال را می‌توان درباره راه رفتن انسان هم به کار برد.

این واقعیت را می‌توانید با راه رفتن روی یک سطح سُر (کم اصطکاک) مانند حرکت روی اسکیت بُرد بیازمایید.

اگر به جایی می‌روید که قایقی باشد، با راه رفتن روی آن هم، قابل آزمایش است. آیا در شهر بازی درون جابه‌هایی که روی آب شناورند، راه رفته‌اید؟

### ● سقوط با طناب

در «آزمایش کنید» صفحه ۴۷ کتاب درسی، برای بررسی رابطه بین شتاب و نیرو آزمایشی مطرح شده است. حالا آن قدر مطلب یاد گرفته‌اید که بتوانید این پدیده را خودتان به صورت کامل بررسی کنید.

## ■ فعالیت‌های عملی | .....

فیلم «قرقره» را باز کنید و ببینید. مطابق با آزمایش کتاب درسی، در این فیلم ۲ جسم متحرک وجود دارند: یک جسم در حال سقوط که توسط ماشین روی میز مهار شده است. به این ترتیب، سقوط جسم اول، یک سقوط آزاد محسوب نمی‌شود. فیلم را در نرم‌افزار وارد کنید و مکان هر دو جسم را ثبت کنید. با توجه به این که هر کدام از این اجسام در جهات مختلف حرکت می‌کنند، برای جسم در حال سقوط ستون  $y$  و برای ماشین ستون  $x$  مکان‌ها مهم هستند (اگر محور را نچرخانده باشید). شتاب متوسط هر دو جسم را محاسبه کنید. حواستان به این که فیلم کند شده است باشد (به اولین فعالیت Tracker در فصل قبل مراجعه کنید).



قرقره و جسم در حال سقوط

حالا با توجه به شتاب‌ها و قوانین حرکت ابتدا نیرویی که نخ به جسم آویزان وارد می‌کند را پیدا کنید و سپس نیرویی که به ماشین وارد می‌شود را محاسبه کنید.



## ● ماشین اسباب بازی کوکی

در «مثال» صفحه ۴۹ کتاب درسی، سؤالی درباره یک ماشین اسباب بازی با جرم و شتاب مشخص، صحبت شده است. آخرین پدیده‌ای که ما بررسی می‌کنیم نیز بررسی یک ماشین اسباب‌بازی عقب‌کش فنی است؛ چرا که در حرکت این ماشین می‌توان انواع حرکت‌های مختلف را مشاهده نمود.

### ..... | فعالیت‌های عملی

از حرکت یک ماشین عقب‌کش فیلم بگیرید (یا از فیلم «ماشین عقب‌کش» استفاده کنید) و با Tracker آن را تحلیل کنید و نمودار مکان - زمان آن را رسم کنید.

❓ سعی کنید با استفاده از دانسته‌هایتان از روی نمودار مکان-زمان تحلیل کنید که حرکت چه مرحله‌های متفاوتی دارد (شتاب کاهنده، سرعت ثابت، ...)?

❓ حدس‌های خود را با رسم کردن نمودارهای سرعت - زمان و شتاب - زمان ارزیابی کنید.

❓ حالا سعی کنید با استفاده از قوانین حرکت، توجیه کنید که در هر مرحله، چه نیروهایی و در چه جهتی به ماشین وارد می‌شوند؟

❓ جرم ماشین را با ترازو اندازه بگیرید و با استفاده از اطلاعات حرکت، شتاب متوسط آن را در بازه‌های زمانی مختلف بدست آورید. مانند مثال کتاب درسی، بیشترین نیروی پیشران ماشین را محاسبه کنید.

❓ آیا می‌توانید درباره مقدار نیروی اصطکاک و تغییرات آن نظری بدهید؟

### پروژه‌های پژوهشی

در کتاب درسی، مثال‌های متعددی از حرکت وسایل نقلیه از دوچرخه (صفحه ۳۶) گرفته تا خودرو (صفحه ۳۸) و قایق موتوری (صفحه ۴۰) مطرح شده است. به انتخاب خودتان از حرکت یکی از این وسایل نقلیه که برای شما ممکن است، فیلم مناسبی تهیه کنید و حرکت آن را با استفاده از نرم افزار Tracker تحلیل کنید و با استفاده از نمودارهای حرکت، تمام اطلاعات ممکن درباره تغییرات سرعت، تغییرات شتاب، نیروهای موجود در حرکت را استخراج کنید و به صورت یک گزارش به معلم خود ارائه دهید.

خب! هرچند چیزهای بسیاری وجود دارد که می‌توانید یاد بگیرید اما از این به بعد شما آن قدری حرکت‌شناسی یاد گرفتید که بتوانید بسیاری از پدیده‌های اطرافتان را، خودتان تحلیل کنید. پیشنهاد می‌کنیم سعی کنید خودتان در پدیده‌های اطرافتان ریز شوید و آنها را بررسی کنید. حتی می‌توانید این بررسی‌ها را روی فیلم‌های ضبط شده از بازی‌ها یا فیلم‌های سینمایی هم انجام بدهید (هر چند کار سختی است اما اگر موفق شوید به نتایج جالب و شیرینی می‌رسید که هیچ وقت فراموش نخواهید کرد). همچنین بسیار خوشحال خواهیم شد اگر به نتیجه جالبی رسیدید ما را هم در جریان بگذارید!



تصویر دستگاهی را نشان می‌دهد که توانسته، توربینی را از یک ورق فلزی ضخیم در بیاورد. آیا باور پذیر است که این دستگاه با نیروی آب توانسته فلز را برش دهد آن هم با ظرافت و دقت بسیار بالا. در صنعت با افزایش فشار آب، سنگ، فلز و هر آن چه که تصورش می‌رود را به راحتی و به شکل دلخواه برش می‌دهند. این دستگاه در صنعت با نام برش آبی یا واتر جت (Water Jet-Water Cutter) خوانده می‌شود.

یکی از روش‌های جدیدی که در آموزش و به ویژه آموزش علوم به کمک فن‌آوری‌های جدید شکل گرفته‌است، **آموزش معکوس** است. به عبارت دیگر در این روش شما به عنوان یک دانش‌آموز، خود به یادگیری اولیه محتوا اقدام می‌کنید. تا درک کامل مطلب می‌توانید به جای گرفتن وقت کلاس، در خانه چندین و چند بار و با کمک گرفتن از منابع مختلفی که به شما معرفی خواهد شد، یادگیری خود را کامل و یا تقویت کنید. سپس در کلاس با ایجاد فرصت کافی و آمادگی از پیش کسب شده، برای بحث درباره پدیده‌ها و یا انجام عملی پدیده‌ها زمان خوبی خواهید داشت تا یادگیری خود را عمق ببخشید و نکات ابهامی که ایجاد شده را رفع کنید. در این بخش تعدادی فیلم از آزمایش‌ها و پدیده‌های مرتبط با فشار در جامدات، مایعات و گازها را به انتخاب معلم و ترتیبی که مشخص می‌شود، ببینید.

لازم است تا فهم مناسب آن چه در فیلم نمایش می‌دهد، آن را چند بار ببینید، سپس علاوه بر آن معلم‌تان از شما می‌خواهد (مانند فراهم کردن وسایل آزمایش، پیدا کردن موارد مشابه در طبیعت و کاربرد پدیده در زندگی و نیز انجام آزمایش در منزل و ...) موارد ذیل را نیز انجام دهید:

- **۱- خلاصه کردن:** شما با دیدن فیلم خلاصه‌ای از آن چه یاد گرفتید را خواهید نوشت.
- **۲- پرسش:** هم‌چنین نکات مورد ابهام و هر آن چه نفهمیده‌اید و یا سؤالاتی را که برای‌تان پیش آمده را در ادامه ذکر خواهید کرد.

- **۳- پاسخ به سؤالات معلم** درباره فیلم آموزشی، شامل تکمیل عباراتی که معلم‌تان به صورت ناقص آورده است و یا توجه به بخش خاصی از فیلم، که باید درباره آن کار مشخص را انجام دهید، جواب‌گو باشید!



ما انسان‌ها موجودات ضعیفی هستیم، به گونه‌ای که قوی‌ترین مان نهایتاً می‌تواند ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم را بلند کند. خیلی کارها هم هست که اصلاً نمی‌توانیم بکنیم! مثلاً بدون کمک نمی‌توانیم پرواز کنیم، یا مدت طولانی زیر آب بمانیم، یا سریع حرکت کنیم. فن‌آوری ماشین‌ها ما را به این کارها و خیلی کارهای دیگر قادر می‌سازد. ماشین‌ها کارهای ساده را آسان‌تر می‌کنند و نیز به ما توان انجام کارهایی را می‌دهند که بدون آن‌ها تقریباً ناممکن است.

### فن‌آوری ماشین‌های ساده

انسان‌ها پیش از تاریخ مکتوب، ماشین می‌ساختند. ماشین‌های اولیه به انسان‌ها در شکار، کشاورزی و به‌دست آوردن غذا، ساختن پناهگاه در مقابل تغییرات هوا، تکریم خدایان، و جنگ علیه یک‌دیگر کمک می‌کرد. ماشین‌ها در حمل ستون‌ها و آجرهای سنگی برای ساختن معابد و اهرام، به مصریان، رومیان و یونانیان باستان کمک کردند؛ به آن‌ها در کشیدن آب از چاه یاری کردند و نیز آن‌ها را قادر ساختند که با سرعتی بیش‌تر از گذشته حرکت کنند.

تمدن‌های باستانی، از ماشین‌های ساده نظیر سطوح شیب‌دار، گوه‌ها، پیچ‌ها، اهرم‌ها، چرخ‌ها، چرخ‌دنده‌ها و قرقره‌ها استفاده می‌کردند. با این‌که این چیزها شاید ماشین به نظر نیایند، ولی همه‌شان انجام کاری را آسان‌تر می‌کنند. ماشین‌های ساده را می‌توان مستقلاً به کار گرفت یا آن‌ها را به هم متصل کرد و ماشین‌های پیچیده ایجاد کرد. همزن‌های آشپزخانه، دستگاه‌های مگنه، قوطی‌بازکن‌ها، روبات‌ها، لولاهای درِ گاراژ، دوچرخه‌ها و خودروها، همگی ماشین‌های پیچیده‌ای هستند که از اتصال ماشین‌های ساده‌تر پدید آمده‌اند.

### نیروی محرک و نیروی مقاوم (بار)

ماشین است و نیرو. ماشین‌ها اغلب میزان تلاش لازم برای انجام کارها را کاهش می‌دهند و انجام آن‌ها را به‌مراتب آسان‌تر می‌کنند و یا به ما اجازه می‌دهند که در مقایسه با وضع عادی، بارهای سنگین‌تری را بلند کنیم. نیروی محرک عبارت است از نیروی لازم برای حرکت دادن یک جسم. جسم و وزنش را **نیروی مقاوم (بار)** می‌نامند.

## کار در علم

طی شده در انجام آن کار

$$\begin{array}{c} \uparrow \\ \text{کار} = \text{نیرو} \times \text{مسافت} \\ \downarrow \\ \text{لازم برای انجام کار} \end{array}$$

کلمه کار به شکل‌های مختلفی استفاده می‌شود. کار سنگین، کار زیاد و کار در منزل همگی اصطلاحاتی هستند که به کار می‌بریم و می‌شنویم. ولی منظور دانشمندان از کلمه کار کاملاً متفاوت است. برای آن که بفهمید ماشین‌ها چطور کارها را آسان می‌کنند، اول باید معنای علمی کار را درک کنید.

از نظر علمی، کار به معنای انرژی لازم برای حرکت دادن یک جسم در یک مسافت معین است. درست مثل انرژی، کار را با یکای ژول (با نماد اختصاری J) اندازه می‌گیرند.

## ماشین‌های ساده و کار

کار و انرژی لازم برای انجام یک کار به خود آن کار بستگی دارد نه چگونگی انجام آن. همان کار را می‌توان به روش‌های مختلفی انجام داد. بعضی روش‌ها دشوارند زیرا نیازمند مقدار زیادی نیروی محرک هستند. و بعضی روش‌ها ساده‌ترند زیرا به نیروی محرک کوچکی نیاز دارند.

اگر در نظر بگیریم که انجام یک کار معین، نیازمند ۱۲ ژول باشد، می‌توان آن را به روش‌های مختلفی که در جدول زیر نشان داده شده، انجام داد:

نیروی لازم برای انجام کار (N)	نیروی لازم برای انجام کار (N)	مسافتی که باید طی کنیم تا کار به انجام برسد (m)	اثبات این که کار به انجام رسیده است
۱۲	۱۲	۱	$12 \times 1 = 12$
۱۲	۶	۲	$6 \times 2 = 12$
۱۲	۴	۳	$4 \times 3 = 12$
۱۲	۳	۴	$3 \times 4 = 12$
۱۲	۲	۶	$2 \times 6 = 12$
۱۲	۱	۱۲	$1 \times 12 = 12$

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌کنید، با افزایش یافتن مسافت، نیروی لازم برای انجام کار کاهش خواهد یافت. ماشین‌های ساده از همین حقیقت استفاده می‌کنند؛ مسافت طی شده را افزایش می‌دهند تا نیروی لازم برای انجام کار کاهش یابد.

## ۱ ◀ سطح شیب‌دار

سطح شیب‌دار (که گاهی صفحه مایل نامیده می‌شود) یکی از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین فن‌آوری‌های ماشینی است. از سطوح شیب‌دار برای بالا بردن اجسام سنگین به سطوح بالاتر استفاده می‌کنند.

اگر بخواهید باری را بردارید، باید مقدار معینی کار انجام دهید که مستقل از چگونگی انجام آن است. زیرا

مقدار کار به وزن آن بار و ارتفاعی که می‌خواهید آن را بالا برید بستگی دارد، نه به شیوه‌ای که انجامش می‌دهید. فرض کنید دارید به خانواده‌تان در اسباب‌کشی کمک می‌کنید و باید یخچال را در کامیون بگذارید.



تأثیرگذاری سطوح شیب‌دار از آن جهت است که مسافت را افزایش می‌دهند و با افزایش مسافت، نیرو کاهش می‌یابد.

کوتاه‌ترین مسیر تا روی کامیون، مسیر عمودی است ولی بسیار دشوار (و احتمالاً ناممکن) است زیرا لازم است نیرویی حداقل برابر با وزن یخچال به کار ببرید. ولی اگر یخچال را از یک سطح شیب‌دار بالا بکشید یا به بالا هل دهید، به مراتب آسان‌تر خواهد بود. با این که مقدار کار یکسان است، به نیروی کم‌تری نیاز خواهد بود زیرا یخچال را مسافت بیش‌تری حرکت می‌دهید.

## انواع سطح شیب‌دار

سطوح شیب‌دار در اطراف شما فراوانند ولی بعضی‌هاشان شکل سطح شیب‌دار ندارند. به‌عنوان مثال،



زیپ نمونه‌ای از فن‌آوری قرن بیستم است که از سه گوه بهره می‌برد. دسته زیپ از گوه‌هایی تشکیل شده که تلاش کوچک ما را به نیروی بزرگی تبدیل می‌کنند که زیپ را باز می‌کند و می‌بندد. بدون کمک این گوه‌ها، متصل کردن یا جدا کردن دندان‌های زیپ تقریباً امکان پذیر نیست.

پله‌برقی را می‌توان یک سطح شیب‌دار متحرک به‌شمار آورد.

### ● (۱) گوه‌ها

گوه‌ها سطوح مایلی هستند که از میان جسم دیگری می‌گذرند و با این کار، آن را به دو قسمت می‌شکنند یا می‌برند.

تبر مشخصاً یک گوه است. این وسیله، مقدار نیروی لازم برای شکستن یک تکه هیزم را به این شکل کاهش می‌دهد که چوب را وادار می‌کند از لبه بلند تیغه بالا برود. هر قدر تیغه تیزتر باشد، لبه بلندتر است و نیروی لازم برای خرد کردن هیزم کم‌تر خواهد بود. اره‌ها، قیچی‌ها، چاقوها و دندان‌های پیشین شما دقیقاً به همین شکل عمل می‌کنند و تکه کردن چوب، کاغذ و غذا را آسان‌تر.

## بریده‌ای از تاریخ علم

### زیپ!

هم‌زمانی در علم به این معنا است که گاهی دو نفر در دو سوی جهان، دقیقاً در یک زمان، دارای ایده یکسانی هستند یا وسیله یکسانی را اختراع می‌کنند. زیپ‌های موفق امروزی در سال ۱۹۱۳ توسط کاتارینا کُمنوس در اروپا و گیدئون ساندبک در ایالات متحده به ثبت رسید، در حالی که هیچ کدامشان دیگری را نمی‌شناخت و از زمینه فعالیت دیگری خبر نداشت. سانیک در تلاش برای بهبود گیره و قلابی بود که پیش از آن، رییسش ویتگم آل جادسون اختراع کرده بود و کُمنوس زیپ خود را از روی یک ایده شخصی اختراع کرد.



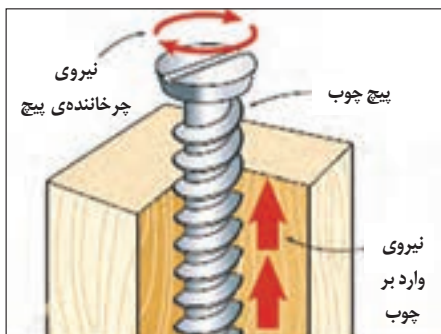
شکل ۸-۴ ملخ پیچی است که هوا یا آب را می‌برد و به جلو می‌رود.

## ● (۲) پیچ‌های مخروطی، مهره‌ها و پیچ‌های استوانه‌ای

پیچ یک سطح شیب‌دار است که به دور یک استوانهٔ فلزی می‌پیچد و بالا می‌رود. پیچ‌ها می‌توانند در این چیزها نفوذ کنند:

- جامدات (پیچ چوب، در اجسام چوبی فرو می‌رود)
- مایعات نظیر آب (ملخ قایق، یک پیچ است)
- گازها نظیر هوا (ملخ هواپیما یا پنکه)

اگر تلاش کنید یک پیچ چوب را با چکش به داخل یک تکه چوب بکوبید، خیلی زود نا امید می‌شوید زیرا برای این کار، به نیروی بسیار زیادی نیاز است. ولی اگر پیچ را پیچانید، چوب از روی سطح شیب‌دار بالا می‌رود. با توجه به بلندی مسافت طی‌شده، نیروی بسیار کم‌تری لازم خواهد بود (اگرچه باید آن را بارها پیچانید) دوباره می‌بینید که افزایش مسافت، میزان تلاش شما را کاهش می‌دهد. روش کار پیچ و مهره همین است، اگرچه در این مورد، مهره را روی رزوه‌های پیچ به پایین می‌پیچانند.



## مزیت مکانیکی

به کمک مزیت مکانیکی می‌توان اندازه‌گیری کرد که یک فن‌آوری یا ماشین تا چه اندازه اثربخش بوده است. مزیت مکانیکی را از تقسیم بار (نیروی مقاوم) به نیروی لازم برای حرکت دادن آن (نیروی محرک) محاسبه کرد:

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{بار}}{\text{نیروی}} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک}} = \frac{R}{E}$$

مثلاً اگر یک ماشین ساده وزنی برابر ۶۰ نیوتن (حدود ۶ کیلوگرم) را بلند کند و برای این کار، ۲۰ نیوتن نیرو نیاز داشته باشد، مزیت مکانیکی برابر خواهد بود با:

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{R}{E} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک}} = \frac{۶۰}{۲۰} = ۳$$

هر قدر ماشینی بهتر باشد، مزیت مکانیکی بزرگ‌تری دارد. در این مورد، یک ماشین بهتر می‌تواند:

- بار بزرگ‌تری (مثلاً ۶۰۰ نیوتن) را با همان نیرو (یعنی ۲۰ نیوتن) بلند کند. به این ترتیب، مزیت مکانیکی بزرگ‌تر خواهد بود:
- همان بار (۶۰ نیوتن) را با نیروی کم‌تری (مثلاً ۲ نیوتن) بلند کند:

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک}} = \frac{۶۰}{۲} = ۳۰$$

## به یاد آوریم

### ۱- نام برید:

الف) هفت ماشین ساده.

ب) پنج مثال از سطوح شیب‌داری که کارهای را آسان‌تر می‌کنند.

پ) سه مثال که در آن‌ها از گوه برای جدا کردن، تکه کردن یا برش دادن آسان‌تر چیزی استفاده شود.

۲- نام دیگر سطح شیب‌دار چیست؟

۳- توضیح دهید که آیا ماشین‌ها کار لازم برای انجام یک فعالیت را کاهش می‌دهند یا نیروی لازم برای آن را.

۴- یکای اندازه‌گیری کار را نام برید.

۵- پیچی را نام برید که

الف) یک جامد

ب) یک مایع

پ) یک گاز

را بُرد و پیش برود.

## درک کنیم

### ۶- تعریف کنید:

الف) کار

ب) مزیت مکانیکی

۷- الف) مزایای استفاده از سطح شیب‌دار را **شرح دهید**.

ب) معایب آن را بگویید.

۸- **توضیح دهید** که سطوح شیب‌دار در هر یک از موارد زیر چه کمکی می‌کنند:

الف) رساندن معلولی سوار بر ویلچر و سالمندان به داخل ساختمان

ب) رساندن یک خودرو به آن سوی یک جوی آب

پ) استفاده از پله‌برقی به جای آسانسور

۹- **چرا** برای بالا رفتن از کوه، استفاده از مسیرهای زیگزاگی در مقایسه با یک مسیر مستقیم رو به بالا آسان‌تر است.

۱۰- **توضیح دهید** که چرا تیز کردن تبر، استفاده از آن را آسان می‌کند.

۱۱- **توضیح دهید** که چرا پیچ‌ها نوعی سطح شیب‌دار هستند.



## به کار بریم

۱۲- سه ماشین کار یکسانی را به شکل‌های مختلفی انجام می‌دهند. مزیت مکانیکی آن‌ها عبارتند از:

ماشین C : ۱۰

ماشین B : ۵/۰

ماشین A : ۲

**مشخص کنید** که کدام یک ماشین بهتری است.

۱۳- قیچی آهن‌بُر قفل‌ها را می‌بُرد. **مشخص کنید** که نیروی مقاوم بزرگ‌تر است یا نیروی محرک.

۱۴- مزیت مکانیکی ماشین‌های زیر را **محاسبه کنید**:

الف) بار = ۱۲ N ، نیرو = ۶ N

ب) بار = ۱۸ N ، نیرو = ۶ N

پ) بار = ۳ N ، نیرو = ۱۸ N

ت) بار = ۵ Kg (حدود ۵۰ نیوتن نیرو وزن) ، نیرو = ۱۲ N

۱۵- **ارزیابی کنید** کدام یک از ماشین‌های تمرین ۱۴ بهترین ماشین است.

## تحلیل کنیم

۱۶- یک ماشین ساده و یک ماشین پیچیده را با ذکر شباهت‌ها و تفاوت‌هایشان **مقایسه کنید**.

۱۷- تفاوت نیروی محرک و مقاوم را بگویید.

۱۸- سارا می‌داند که برای

بلند کردن جسمی تا یک ارتفاع معین، باید ۲۴ ژول کار انجام شود. او به منظور تصمیم‌گیری راحت‌تر دربارهٔ این که کدام سطح شیب‌دار، کار را آسان‌تر می‌کند، جدول زیر را تهیه کرده است. جدول او را **تکمیل کنید**.

کار (J)	طول سطح شیب‌دار (m)	نیروی لازم (N)	اثبات این که کار، به انجام خواهد رسید	مزیت مکانیکی
۲۴	۱	۲۴	$1 \times 24 = 24$	$24 / 24 = 1$
۲۴	۲		$1 \times 24 = 24$	
۲۴		۸		$24 / 8 = 3$
۲۴	۴			
۲۴			$1 \times 24 = 24$	$24 / 4 = 6$
۲۴	۸			
۲۴				
۲۴				

## ارزیابی کنیم

۱۹- بگویید که از میان سطوح شیب‌دار سؤال ۱۸، کدام یک کار را برای سارا از همه بیش‌تر آسان می‌کند.

پاسخ خود را **توضیح دهید**.

## بسازیم

۲۰- قانونی **طراحی کنید** درباره‌ی این که سطوح شیب‌دار چطور بلند کردن بار را آسان می‌کنند.

## ■ سطوح شیب‌دار

### هدف:

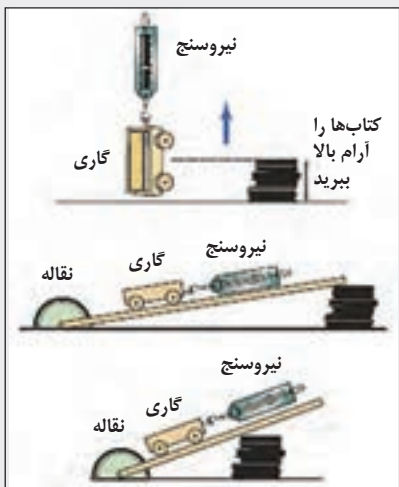
بررسی رابطه بین شیب یک سطح شیب‌دار و نیرو

### لوازم:

- نیروسنج
- سطح شیب‌دار
- تعدادی کتاب
- یک گاری متحرک با یک جسم چوبی و قلابی آویخته
- چند وزنه‌ی کوچک
- نوار چسب
- نقاله

به آن

### روش



۱- کتاب‌ها را تا ارتفاع ۱۰ سانتیمتر روی میز روی هم بچینید.

۲- جدولی شبیه جدول زیر تنظیم کنید.

زاویه ( $^{\circ}$ )	طول سطح شیب‌دار	نیروی لازم برای حرکت دادن گاری (N)	مزیت مکانیکی	نیروی لازم برای حرکت دادن جسم چوبی (N)	مزیت مکانیکی

۳- با کمک نیروسنج، وزن گاری متحرک و جسم چوبی را اندازه بگیرید. به آنها وزنه‌هایی بچسبانید تا وزنشان تقریباً یکسان شود. وزن جدید آنها را یادداشت کنید.

## ۲ ◀ اهرم‌ها

قدیمی‌ترین تصاویر از اهرم‌ها بر روی مجسمه‌های مصری ۵۰۰۰ ساله یافت شده‌است. ارسطو، فیلسوف یونان باستان، در نوشته‌هایش به اهرم‌ها اشاره کرده‌است. ارشمیدس گفته‌است: «اگر اهرمی با طول کافی و نقطه‌ای برای ایستادن داشتم، جهان را تکان می‌دادم.»

### اهرم چیست؟

اهرم یک فن‌آوری کهن است که به ۵۰۰۰ سال قبل برمی‌گردد. شما هم احتمالاً بدون این‌که متوجه باشید، هر روزه از تعدادی از انواع اهرم استفاده می‌کنید. پارو، قاشق‌ها، قیچی‌ها، راکت‌های تنیس و چوب کریکت، همگی اهرم هستند، همین‌طور بازوها، پاها و فک‌های شما. اهرم هر چیز جامدی است که ساخته شده تا دور یک محور یا تکیه‌گاه بچرخد.

## بزرگ‌کننده‌های نیرو: اهرم‌های نوع ۱ و ۲



الاکنگ اهرم نوع ۱ است: بار یک طرف آن است، نیرو در طرف دیگر آن، و تکیه‌گاه جایی در بین آن‌ها.

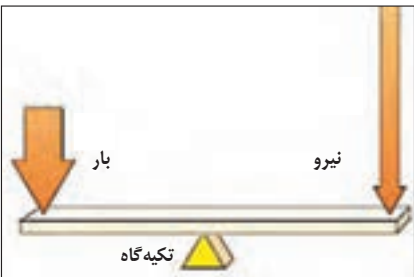
بعضی اهرم‌ها بزرگ‌کنندهٔ نیرو هستند، به این معنا که شما نیروی کوچکی به آنها وارد می‌کنید و سیستم اهرم آن را آن‌قدر بزرگ می‌کند که می‌توانید بار بسیار سنگین‌تری را بردارید. درست مثل سطوح شیب‌دار، اهرم‌ها تلاش لازم برای بلند کردن بارها (نیروی مقاوم) را کاهش می‌دهند. باز هم نکتهٔ منفی، مسافت است، هر قدر بخواهید نیرو بیش‌تر کاهش پیدا کند، باید اهرم را بیش‌تر حرکت دهید.

### بریده‌ای از تاریخ علم



گویا ارشمیدس از با استفاده از اهرم‌ها کشتی‌های رومی مهاجم را از بندرگاه سیراکیوز بلند می‌کرده و با کوبیدنشان به صخره‌ها آن‌ها را خرد می‌کرده است!

مشهور است که ارشمیدس ماشین‌های بسیاری ساخت تا کشتی‌های رومی مهاجم را در هم بشکند. علاوه بر جرتقیل‌های اهرمی، گویا او بازتاب‌دهنده‌های غول‌آسایی هم ساخته بود که کشتی‌ها را می‌سوزاندند. او ماشین‌های دیگری هم داشت که بر کف بندر قرار می‌گرفتند و کشتی‌ها را از زیر می‌گرفتند و آن‌قدر می‌لرزاندند که همهٔ سربازان به بیرون پرتاب شوند! البته شاید همهٔ این‌ها تبلیغات کهنی باشد که به منظور ترساندن دشمن طراحی شده بودند.

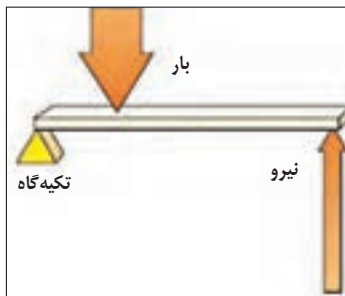


اهرم‌های بزرگ‌کنندهٔ نیرو (افزایش‌دهنده) را می‌توان به دو نوع ۱ و ۲ تقسیم کرد که هر دوی آنها برای بلند کردن بارهای سنگین بسیار سودمندند زیرا به کمک آنها می‌توان با اعمال یک نیروی کوچک در فاصله‌ای دور از تکیه‌گاه، باری سنگین را برداشت. مکان اعمال نیروها در این اهرم‌ها، به اندازهٔ خود نیرو اهمیت دارد. مقدار نیروی لازم به فاصلهٔ بار از تکیه‌گاه و مکان اعمال نیرو بر اهرم بستگی دارد.

درست مثل سطوح شیب‌دار، اهرم‌ها هم با افزایش دادن مسافتی که بار باید حرکت داده شود، مقدار نیرو را کاهش



اهرم‌های نوع ۱ شبیه قیچی هستند، به این ترتیب که تکیه‌گاه جایی در میانهٔ اهرم قرار دارد.



در اهرم نوع ۲ (یا اهرم مرتبه دوم) تکیه‌گاه در یک انتها، نیرو در انتهای دیگر، و بار جایی در میان آن‌ها قرار دارد.



در اهرم‌های نوع ۲ همیشه تکیه‌گاه در انتها قرار دارد.

## اصل اهرم‌ها

در اهرم‌های نوع ۱ و ۲ قانونی وجود دارد به نام اصل اهرم‌ها:

این بدان معنا است که یک دانش‌آموز ۶۰ کیلوگرمی باید در فاصله ۲ متری از تکیه‌گاه الاکلنگ بنشیند تا با یک دانش‌آموز ۲۰ کیلوگرمی که در انتهای دیگر الاکلنگ و در فاصله ۳ متری از تکیه‌گاه نشسته است، در تعادل قرار گیرد. اصل اهرم‌ها این مسئله را اثبات می‌کند:

نیروی مقاوم از تکیه‌گاه

$$\text{نیرو} \times \text{فاصله} = \text{بار} \times \text{فاصله}$$

↓

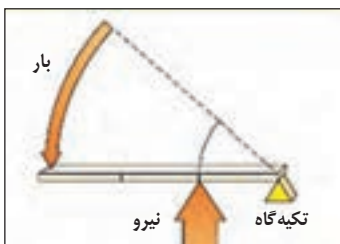
نیروی محرک از تکیه‌گاه

دانش‌آموز ۶۰ کیلوگرمی × ۲ متر = دانش‌آموز ۴۰ کیلوگرمی × ۳ متر

## بزرگ‌کننده‌های سرعت: اهرم‌های نوع ۳

اهرم‌های نوع ۳ (یا اهرم‌های مرتبه‌ی سوم) به منظور کاهش مقدار نیرو به کار نمی‌روند، بلکه به منظور سرعت دادن به حرکت بار (معمولاً یک بار کوچک) استفاده می‌شوند.

چوب‌های کریکت و راکت‌ها همه از اهرم‌های نوع ۳ هستند. ما دستان را با سرعت زیاد، کمی حرکت می‌دهیم تا توپ از چوب کریکت با سرعتی به مراتب بیش‌تر دور شود. اهرم‌های نوع ۳ بزرگ‌کننده سرعت هستند. با توجه به این که مسافتی که توپ طی می‌کند زیاد است، نیروی وارد بر آن کوچک است. به همین علت لازم است دست شما مسافت کوتاهی حرکت کند ولی با نیرویی بزرگ.

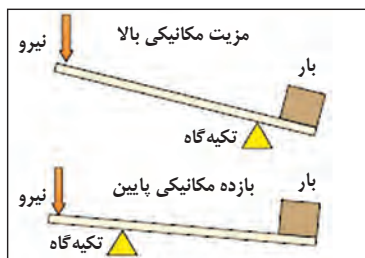


در این اهرم‌ها تکیه‌گاه در یک انتها، بار در انتهای دیگر، و نیرو (که معمولاً توسط دست ما اعمال می‌شود) جایی در میان آنها قرار دارد.



چوب کریکت و راکت از اهرم‌های نوع ۳ هستند و به‌عنوان بزرگ‌کننده سرعت عمل می‌کنند، به این معنا که سرعت توپ را پس از آن که به آن ضربه زده می‌شود، افزایش می‌دهند.

مزیت مکانیکی میزان تأثیرگذاری یک ماشین یا فن آوری را مشخص می‌کند. ماشینی بهتر است که مزیت مکانیکی آن بیش‌تر باشد. در اهرم‌ها، مزیت مکانیکی را به دو طریق محاسبه می‌کنند:



هر قدر نیرو از تکیه‌گاه دورتر باشد، کار ساده‌تر می‌شود.

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{فاصله نیروی مقاوم از تکیه‌گاه}}{\text{نیروی مقاوم}} = \frac{\text{فاصله نیروی محرک از تکیه‌گاه}}{\text{نیروی محرک}}$$

## تمرین

به یاد آوریم

۱- از هر یک از اهرم‌های نوع ۱ و ۲ و ۳ یک مثال بزنید.

۲- اصل اهرم‌ها را به صورت یک معادله ریاضی بیان کنید.

۳- نام دیگر هر کدام را بگویید:

(الف) تکیه‌گاه

(ب) اهرم نوع ۱

درک کنیم

۴- هر کلمه را تعریف کنید:

(الف) اهرم

(ب) تکیه‌گاه

(پ) افزایش دهنده نیرو

(ت) بزرگ کننده سرعت

۵- عبارات زیر را تصحیح کنید:

(الف) همه اهرم‌ها بزرگ کننده نیرو هستند.

(ب) تکیه‌گاه هر اهرم جایی در وسط آن است.

(پ) چوب گلف نمونه‌ای از بزرگ کننده‌های نیرو است.

(ت) محور و تکیه‌گاه مشابه یکدیگرند.

(ث) در اکثر بازی‌هایی که با توپ انجام می‌شود، به یک بزرگ کننده سرعت نیاز است.

۶- مزیت استفاده از اهرم‌های نوع ۳ را در اکثر بازی‌هایی که با توپ انجام می‌شود شرح دهید.

۷- معادله ریاضی مزیت مکانیکی را در اهرم‌ها بنویسید.

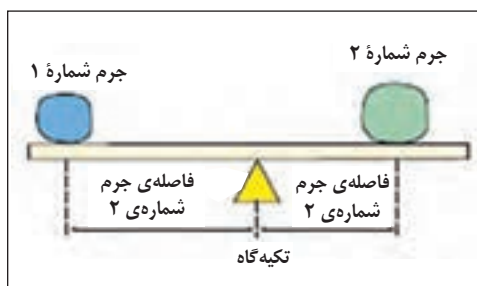
۸- توضیح دهید که چگونه می‌توان در اهرم‌ها به مزیت مکانیکی بزرگ‌تری دست یافت.

۹- شمشیر نمونه‌ای از اهرم‌های نوع ۳ است. توضیح دهید چرا.

۱۰- برای باز کردن پیچ‌های چرخ خودرو لازم است از آچار چرخ استفاده کنید. آچار چرخ، نوعی آچار با دسته بلند است. به نظر تان می‌آید بلند بودن دسته آچار چرخ چه دلیلی دارد.

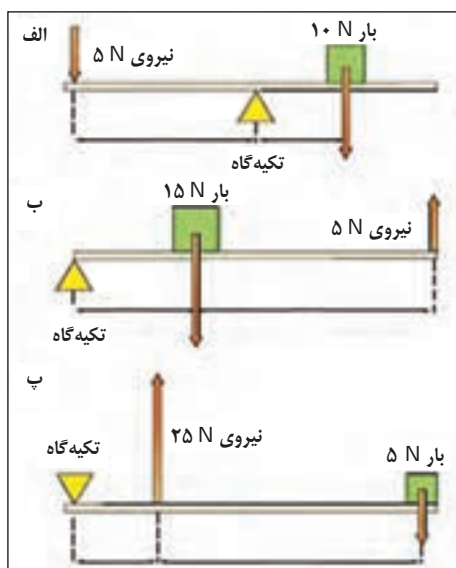
به کار بریم

شکل زیر الکلنگی را نشان می‌دهد که با خط‌کش ساخته شده است. در طرفین این الکلنگ جرم‌های مختلفی قرار داده شده است تا الکلنگ دقیقاً در تعادل قرار گیرد. جدول را تکمیل کنید.



جرم شماره ۲	فاصله جرم شماره ۱ از تکیه‌گاه	جرم شماره ۱	فاصله جرم شماره ۲ از تکیه‌گاه
۶	۴	۸	
۶	۴		۱۲
۱		۱۲	۲
۱۰	۱	۵	
۳	۶	۹	
۸		۴	۱۶

تحلیل کنیم



۱۲- تعیین کنید که هر یک از اهرم‌های شکل رو به رو از چه نوعی هستند، نوع ۱ یا نوع ۲ یا نوع ۳؟ سپس مزیت مکانیکی هر کدام را محاسبه کنید.

۱۳- تعیین کنید که هر یک از اهرم‌های زیر از نوع ۱، ۲ یا ۳ هستند؟



۱۴- مقایسه کنید:

(الف) بزرگ‌کننده نیرو را یا بزرگ‌کننده سرعت

(ب) اهرم‌های نوع ۱ و ۲ را با اهرم نوع ۳

## ارزیابی کنیم

۱۵- کدام نوع از اهرم‌ها برای برداشتن بار مناسب‌تر است؟ دلیل پاسخ خود را توضیح دهید.

## بسازیم

۱۶- می‌خواهید صخره سنگینی را جابه‌جا کنید و تنها چیزی که در اختیار دارید یک میله بلند فلزی و یک صخره کوچک‌تر است. با رسم شکل نشان دهید که صخره را چگونه جابه‌جا می‌کنید. بار، تکیه‌گاه و نیرو را در شکل خود نشان دهید.

۱۷- طرحی از یک الاکلنگ رسم کنید. اگر شخص سبکی در یک انتهای الاکلنگ نشسته باشد، یک شخص سنگین را کجای الاکلنگ می‌نشانید تا بین آنها تعادل برقرار شود؟ روی شکل خود، تکیه‌گاه، نیروهای محرک و مقاوم را نشان دهید.

۱۸- پوستری طراحی کنید که نشان دهد چگونه در ورزش از اهرم‌های مختلف استفاده می‌شود.

۱۹- (الف) مجموعه‌ای از تصاویر اهرم‌ها را در مجله‌ها، بروشورهای تبلیغاتی و روزنامه‌ها جمع‌آوری کنید.

(ب) تعیین کنید که هر اهرم از نوع ۱، ۲ یا ۳ است؟

(پ) نیروی محرک، تکیه‌گاه و نیروی مقاوم را در هر اهرم مشخص کنید.

ماهیچه‌ها تنها می‌توانند منقبض (یعنی کوتاه‌تر و ضخیم‌تر) و منبسط (یعنی بلندتر و نازک‌تر) شوند و با این کار، استخوان را بالا یا پایین ببرند. استخوان‌ها اهرم‌هایی هستند و ماهیچه‌ها نیروی لازم برای کنترل کردن آنها می‌باشند. در منابعی که در اختیار دارید (کتاب‌ها، دایره‌المعارف‌ها، اینترنت و ...) تصویری از ماهیچه‌های بدن بیابید.

## فعالیت‌های عملی

### الاکلنگ

#### هدف:

بررسی الاکلنگ به عنوان یک اهرم

#### لوازم:

- هشت جرم کوچک (مثلاً سکه‌های بیست و پنج تومانی)
- یک خط‌کش
- یک تکیه‌گاه یا محور (یک مداد می‌تواند ایده‌آل باشد)
- یک کش

#### روش:



۱- مطابق شکل رو به رو یک الاکلنگ درست کنید.

۲- با استفاده از کش، خط‌کش را روی مداد محکم کنید.

۳- جدول نتایج زیر را در دفتر خود وارد کنید.

۴- چهار تا از جرم‌ها را روی انتهای سمت چپ خط‌کش و

چهار تایی دیگر را روی انتهای سمت راست طوری قرار دهید که الاکلنگ در تعادل باشد.

۵- در جدول زیر، فاصله هر مجموعه از جرم‌ها را از تکیه‌گاه الاکلنگ یادداشت کنید. آزمایش را با دو جرم

در سمت چپ و سه جرم در سمت راست تکرار کنید.

۶- آزمایش را برای همه جرم‌های دیگری که در جدول نشان داده شده تکرار کنید.

سمت چپ			سمت راست		
تعداد جرم‌ها	فاصله از تکیه‌گاه	تعداد جرم‌ها × فاصله از تکیه‌گاه	تعداد جرم‌ها	فاصله از تکیه‌گاه	تعداد جرم‌ها × فاصله از تکیه‌گاه
۴			۴		
۳			۲		
۴			۳		
۵			۲		
۶			۱		



## ■ بالا بردن کتاب

### هدف:

بررسی ارتباط جایگاه تکیه‌گاه و نیرو در اهرم‌های نوع ۱

### لوازم:

● خط‌کش بلند ● چوب‌پنبه پلاستیکی ● یک کتاب

### روش:

۱- اهرم را به شکل رو به رو قرار دهید.

۲- با فشار دادن انگشت بر روی خط‌کش کتاب را بالا ببرید.

۳- حالا چوب‌پنبه را در فاصله نزدیک‌تری از کتاب قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید.

۴- آزمایش را یک‌بار دیگر تکرار کنید و این بار چوب‌پنبه را در انتهای دیگر خط‌کش و در فاصله زیاد از کتاب قرار دهید.

۵- جدول زیر را با استفاده از کلمات «بالا»، «متوسط» و «پایین» تکمیل کنید.

جایگاه چوب‌پنبه	نیروی لازم برای بالا بردن کتاب
بسیار دور از کتاب	
در میانه اهرم	
نزدیک کتاب	

۶- حالا سعی کنید کتاب را مطابق شکل زیر با استفاده از اهرم‌های نوع ۲ و ۳ بالا ببرید.



## ■ پرسش‌ها

۱- هر سه شکل (اهرم‌های نوع ۱، ۲ و ۳) را در دفتر خود وارد کنید و نیروهای محرک و مقاوم را با فلش نشان دهید. همچنین تکیه‌گاه را تعیین کنید.

۲- در اهرم نوع ۱، وقتی چوب‌پنبه را از کتاب دور کرده و به انگشتان نزدیک کردید، مقدار نیروی لازم برای بالا بردن کتاب تغییر کرد. تحلیل کنید که چه اتفاقی افتاد.

۳- با استفاده از اصل اهرم‌ها توضیح دهید که چرا در اهرم‌های نوع ۱، بالا بردن کتاب آسان‌تر است اگر تکیه‌گاه به آن نزدیک و از انگشت شما دور باشد.

۴- ارزیابی کنید که بالا بردن کتاب با کدام اهرم از همه دشوارتر بود.

### اهرم‌های نوع ۳

**هدف:**

بررسی یک اهرم نوع ۳

**لوازم:**

● خط‌کش بلند ● جرم یک کیلوگرمی ● نیروسنج ● یک آجر یا بلوک به عنوان تکیه‌گاه

**روش:**



۱- جدول زیر را در دفتر خود وارد کنید و بعد اهرم نوع ۳ نشان داده شده در شکل ۸-۲-۱۶ را بسازید.

۲- با استفاده از نیروسنج، نیروی لازم برای بلند کردن بار به صورت آهسته را اندازه‌گیری کنید.

۳- اندازه‌گیری‌های خود را در جدول زیر وارد کنید. شاید لازم باشد قرائت‌های خود را از نیروسنج (که یکای نیوتن دارد) با تقسیم کردن بر ۱۰ به کیلوگرم تبدیل کنید.

۴- مزیت مکانیکی را برای هر اندازه‌گیری محاسبه کنید.

بار (kg)	فاصله بار از تکیه‌گاه (cm)	قرائت نیروسنج	مزیت مکانیکی	فاصله نیروسنج از تکیه‌گاه
۱	۱۰۰		۳۰	
۱	۱۰۰		۴۰	
۱	۱۰۰		۵۰	
۱	۱۰۰		۶۰	
۱	۱۰۰		۷۰	

### پرسش‌ها

۱- مشخص کنید که کدام یک بزرگ‌تر بود، بار یا نیروی لازم برای بلند کردن آن.

۲- مشخص کنید که مؤثرترین اهرم کدام بوده است. پاسخ خود را توضیح دهید.

## ■ اهرم‌ها در کار

### هدف:

بررسی تعدادی ماشین متداول و تعیین نوع اهرمی که در آن‌ها به کار رفته است.

### لوازم:

● دستگاه منگنه ● ناخن‌گیر ● قیچی ● قیچی باغبانی ● فندق شکن یا گیره بزرگ کاغذ

### روش:

- ۱- هر ماشین را به دقت رسم کنید.
- ۲- تکیه‌گاه، بار و جای وارد شدن نیرو را مشخص کنید.
- ۳- وظیفه بخش‌های دیگر هر ماشین را مشخص کنید.

## ■ پرسش‌ها | .....

- ۱- تعیین کنید هر اهرم از نوع ۱ است یا ۲ یا ۳.
- ۲- بگویید هر کدام از آن‌ها بزرگ‌کننده نیرو است یا سرعت.

## ■ فعالیتهای عملی | .....

## ■ اهرم‌ها در بدن

### هدف:

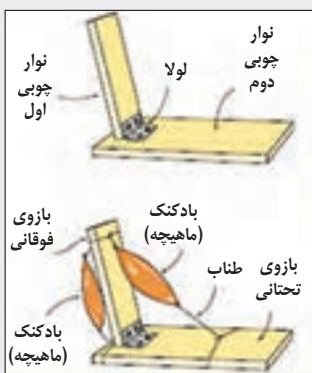
مدل کردن اهرم‌های موجود در بدن

### لوازم:

● مقوا ● گیره کاغذ ● سه عدد بادکنک ● طناب ● یک لولا و تعدادی پیچ ● چند تکه چوب

### روش:

- ۱- با استفاده از مقوا، یک حجمه بزرگ مانند شکل بالا بسازید. با استفاده از یک گیره کاغذ استخوان فک را به حجمه لولا کنید و یک بادکنک باد نشده هم به عنوان ماهیچه‌ای که آن را کنترل می‌کند قرار دهید.
- ۲- با استفاده از شکل رو به رو بازوی انسان را به همراه استخوان‌ها و ماهیچه‌هایش مدل‌سازی کنید.

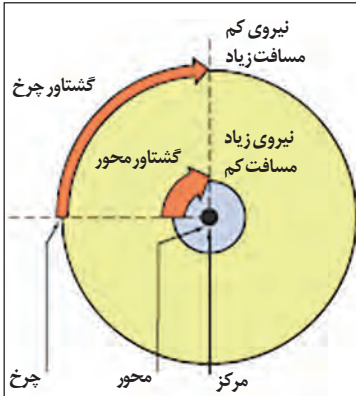


## ■ پرسش‌ها | .....

- ۱- توضیح دهید که وقتی فک مدل‌سازی شده باز و بسته می‌شود و یا بازوی مدل‌سازی شده خم و راست می‌شود چه اتفاقی می‌افتد.
- ۲- این مدل‌ها را با ماهیچه‌های واقعی که فک و بازوی واقعی را کنترل می‌کنند مقایسه کنید.

### ۳ ◀ چرخ‌ها، محورها و چرخ‌دنده‌ها

اغلب ماشین‌ها به جای حرکت‌های ساده بالا - پایین که توسط سطوح شیب‌دار و اهرم‌ها تولید می‌شود، از حرکت دورانی یا چرخشی استفاده می‌کنند. ما با چرخ‌ها، محورها و چرخ‌دنده‌ها از اصل اهرم‌ها در زندگی خود استفاده می‌کنیم. شاید این‌طور به نظر نرسد، ولی واقعیت این است که بعضی شیرهای آب و دستگیره‌های درها چرخ هستند. چرخ‌دنده‌ها کاربردهای زیادی دارند، از دوچرخه گرفته تا قوطی بازکن.



در چرخ، بیش‌ترین نیرو در محور حس می‌شود زیرا از همه کم‌تر حرکت می‌کند. لبه چرخ کم‌ترین نیرو را تجربه می‌کند زیرا از همه بیش‌تر حرکت می‌کند. هر قدر بیش‌تر حرکت کنید، به نیروی کم‌تری نیاز است.



چرخ‌ها قادرند هم نیرو و هم سرعت را بزرگ کنند.

### ● چرخ‌ها

در مرکز هر چرخ یک محور قرار دارد. بیرونی‌ترین قسمت چرخ را لبه می‌نامیم. چرخ، درست مثل یک محور عمل می‌کند. وقتی چرخ می‌چرخد، لبه آن در مقایسه با محور که فقط در جای خود می‌چرخد، هم مسافت بیش‌تری حرکت می‌کند و هم با سرعت بیش‌تری حرکت می‌کند.

### چرخ‌ها به عنوان بزرگ‌کننده‌ی نیرو



برخی دستگیره‌های در و پنجره‌ها اهرم‌اند. برخی هم چرخ و محور

درست مثل اهرم‌ها، از چرخ‌ها نیز می‌توان به منظور کاهش دادن نیروی لازم برای انجام کارها استفاده کرد. رقاصک (محور) دستگیره در یا شیر آب را نمی‌توان با انگشت چرخاند. دستگیره در و شیر آب می‌تواند یک اهرم یا یک «چرخ» باشد. نیروی کوچکی که انتهای دسته یا لبه دستگیره در یا شیر آب را حرکت دهد، رقاصک را به راحتی می‌چرخاند و در یا شیر آب را باز می‌کند. چرخ به عنوان یک بزرگ‌کننده نیرو عمل می‌کند چراکه نیروی کوچک اعمال شده بر لبه آن، نیروی چرخشی

بزرگی را روی محور آن ایجاد کرده است. به عبارت دیگر، نیرو بزرگ شده است. اثر چرخشی یک نیرو را **گشتاور** می‌نامند. گشتاور را می‌توان با ضرب کردن نیروی اعمال شده در فاصله آن از مرکز چرخش به دست آورد. یکای گشتاور، نیوتن متر است (N.m).

## تغییر دادن حرکت

وقتی یک حرکت چرخشی شروع می‌شود، اغلب باید جهت، سرعت و مکان آن را تغییر داد.

### چرخ‌ها به عنوان بزرگ‌کننده سرعت

چرخ‌ها را می‌توان به عنوان **بزرگ‌کننده سرعت** به کار برد. محوری که با سرعت کمی می‌چرخد محور را با سرعت بیش‌تری می‌چرخاند.

پره‌های یک پنکه یا یک ملخ باید بسیار سریع بچرخد تا مقدار هوای لازم برای خنک کردن یا حرکت دادن یک هواپیما را به حرکت در آورد.

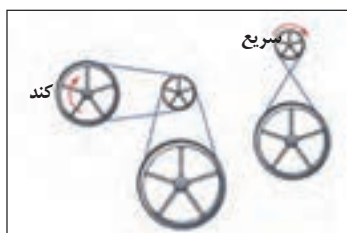
### تسمه‌ها، ریسمان‌ها و زنجیرها

ساده‌ترین راه برای تغییر دادن سرعت، جهت یا مکان یک حرکت چرخشی این است که چرخ‌هایی با قطرهای مختلف را با ریسمان، تسمه یا زنجیر به هم وصل کنیم. چرخ که قطر کوچک‌تری دارد، اگر با تسمه‌ای به یک چرخ بزرگ‌تر متصل باشد، سریع‌تر و با نیروی بزرگ‌تری می‌چرخد.

### ● چرخ‌دنده‌ها

چرخ‌دنده چرخشی است که دندانه‌های هم‌شکلی روی لبه‌اش دارد.

چرخ‌دنده‌ها را می‌توان با زنجیری به هم وصل کرد یا مستقیماً با هم درگیرشان کرد. از چرخ‌دنده‌ها می‌توان برای



تغییر دادن سرعت، گشتاور (به معنای نیروی چرخشی) یا جهت چرخش استفاده کرد. اگر چرخ‌دنده توسط محوری بچرخد، آن را چرخ‌دنده محرک می‌نامند. اگر دندانه‌های چرخ‌دنده دیگری (که چرخ‌دنده مقاوم نام دارد) با چرخ‌دنده محرک درگیر باشد، آن هم می‌چرخد، اما در جهت مخالف. سرعت چرخ‌دنده مقاوم و گشتاوری که می‌تواند اعمال کند، به این بستگی دارد که چقدر از چرخ‌دنده محرک بزرگ‌تر است.

### چرخ‌دنده‌های قطاری

چرخ‌دنده قطاری عبارت است از تعداد دو یا چند چرخ‌دنده متصل به هم. اگر چرخ‌دنده‌ها یکسان باشند، با سرعت یکسان ولی در جهات مختلف می‌چرخند. چنین چرخ‌دنده‌هایی را **چرخ‌دنده‌های موازی** می‌نامند.

اگر چرخ‌دنده محرک از چرخ‌دنده مقاوم کوچک‌تر باشد، سریع‌تر می‌چرخد، یعنی چرخ‌دنده به عنوان بزرگ‌کننده سرعت عمل می‌کند.

این عمل را بالا بردن دنده می‌نامند و برای زمانی مناسب است که

چرخش‌های پر سرعت مطرح باشد، مثلاً در دریل، همزن آشپزخانه یا گیره تنظیم‌کننده وضوح تصویر در میکروسکوپ.



هواکش‌ها و پنکه‌ها  
افزاینده سرعت هستند



تسمه پروانه در موتور اتومبیل چرخ‌هایی با  
اندازه‌های متفاوت را به هم متصل می‌کند.



چرخ‌دنده‌ها را می‌توان با زنجیر هم به یکدیگر متصل  
کرد. در دوچرخه از این روش استفاده شده است.



چرخ‌دنده‌های قطاری گروهی از چرخ‌دنده‌ها هستند که با هم درگیر هستند. موازی، بالا برنده و پایین آورنده دنده

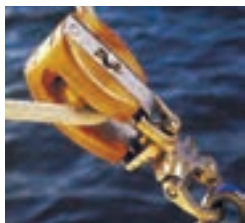


در مته برقی و هم‌زن‌های آشپزخانه‌ها از چرخ‌دنده برای افزایش دادن سرعت استفاده می‌شود



چرخ‌دنده‌های گوناگون در یک ماشین کاربردها متنوعی دارند اما درگیر با هم هستند، جهت حرکت یا اندازه سرعت را تغییر می‌دهند

پایین آوردن دنده زمانی است که یک چرخ‌دنده محرک کوچک یک چرخ‌دنده بزرگ‌تر را با سرعت کم‌تری می‌چرخاند. گشتاور به کاررفته بزرگ می‌شود، که برای جاهایی که نیروی گشتاوری بزرگی نیاز باشد مناسب است. چرخ‌دنده‌های دوچرخه‌ها از این پدیده استفاده می‌کنند تا کار دشوار بالا رفتن از تپه‌ها را آسان‌تر کنند و شتاب گرفتن سریع در کنار چراغ‌های راهنمایی را ممکن کنند. انواع متداول‌تر چرخ‌دنده‌هایی که معمولاً می‌بینید عبارتند از چرخ‌دنده شانه‌ای، چرخ‌دنده هرزگرد (idler)، چرخ‌دنده کرمی، و چرخ‌دنده مخروطی. این چرخ‌دنده‌ها کارهای متفاوتی انجام می‌دهند ولی شیوه کار کردنشان تقریباً یکسان است.

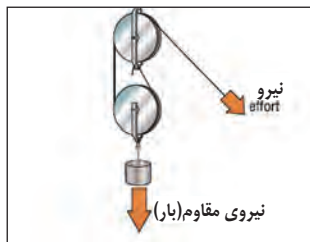
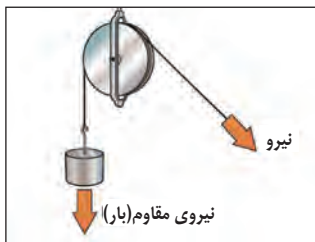


#### ۴ ◀ قرقره‌ها

انسان‌ها معمولاً پایین بردن اجسام را آسان‌تر از بالا بردن آنها می‌دانند. وزن بدن شما نیرویی به سمت پایین است و به پایین بردن اجسام کمک می‌کند. از قرقره‌ها می‌توان برای تبدیل نیروی بالا برنده به نیروی پایین‌کننده استفاده کرد.

#### قرقره‌های مرکب

وزنه‌های سنگین را می‌توان با کمک مجموعه‌ای از دو یا چند قرقره با نیروی کوچکی بالا برد. قرقره‌ها می‌توانند به عنوان بزرگ‌کننده نیرو عمل کنند، به این معنا که ما نیرویی را به آنها اعمال می‌کنیم و آنها آن را بزرگ می‌کنند. و به این ترتیب است که می‌توانیم بارهای بزرگ‌تر را به کمک آنها برداریم.



یک ماشین دو قرقره‌ای می‌تواند باری را با نصف نیروی مقاوم بلند کند اما در عوض مسافت نیاز به دو برابر شدن دارد

#### قرقره‌ها نیرو را چطور کاهش می‌دهند؟

تصور کنید که می‌خواهید یخچالی را ۲ متر بلند کنید و پشت کامیونی بگذارید. اگر از یک قرقره استفاده کنید، باید طناب را همان اندازه (یعنی ۲ متر) پایین بکشید. با این حال، اگر از یک جفت قرقره استفاده کنید، طولی که طناب باید کشیده شود دو برابر می‌شود،

یعنی ۴ متر. ولی فایده‌اش این است که به نیرویی نصف نیروی قبل نیاز دارید.  
کار به معنای انرژی لازم برای جابه‌جا کردن یک چیز است:

$$\text{کار} = \text{نیروی محرک} \times \text{مسافت حرکت}$$

هر قدر مسافت حرکت بیش‌تر باشد، نیروی لازم کم‌تر خواهد بود. این در واقع، شیوه کار قرقه‌ها است که باید مسافت بیش‌تری کشیده شوند ولی با نیروی کوچک‌تری.  
با استفاده از قرقه‌های مرکب، نیروی لازم کاهش می‌یابد، زیرا مزیت مکانیکی برابر است با تعداد قرقه‌ها. باز هم اصطکاک با کاستن از بازده سیستم قرقه‌ها کار را دشوار می‌کند.

## ■ پرسش‌ها | .....

۱- یک قرقه را با پرخ‌دنده مقایسه کنید (فهرستی از شباهت‌ها و تفاوت‌هایشان تهیه کنید).

۲- با ترکیب قرقه‌ها سرعت افزایش می‌یابد یا نیرو؟ برای پاسخ‌تان دلیل بیاورید.

۳- اصطکاک در قرقه‌ها مزاحم است، توضیح دهید.



۴- با کمک شکل رو به رو یک مسابقه طناب‌کشی را طرح کنید که شما نمی‌توانید در آن بازبازید. با اضافه شدن رقیب‌های بیش‌تر، شما بیش‌ترین تعداد کسانی که می‌توانید شکست دهید را حساب کنید.

۵- به کمک منابع در دسترس، پژوهش کنید که در یک

کارخانه اتومبیل‌سازی برای بالابرها و جرثقیل‌های ساده، قرقه‌ها چگونه به هم متصل می‌شوند. مدل‌هایی از هر آرایش، قرار گرفتن قرقه‌هایی که با آن اشیاء سنگین واقعی را تکان می‌دهند، بسازید.

## ■ فعالیت‌های عملی | .....

### ■ قرقه‌های گیره کاغذی

#### هدف:

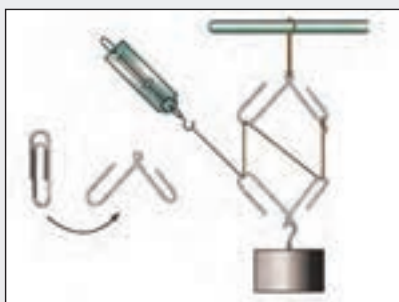
مقایسه قرقه‌های ساده و دوتایی ساخته شده با گیره کاغذ

#### مواد لازم:

- یک جرم (حدود ۱۰۰ گرم) ● نیروسنج ● پایه
- نخ کتان ● گیره کاغذ

#### روش:

- ۱- به کمک نیروسنج، وزن جرم را اندازه‌گیری کنید.
- ۲- به کمک شکل، دو قرقه با گیره کاغذ بسازید.
- ۳- مانند شکل، با نخ، جرم و پایه، ماشین قرقه مرکب را بسازید.





- ۴- نیروی لازم برای نگه داشتن یا بالا بردن جرم را به کمک نیروسنج اندازه بگیرید.
- ۵- این آزمایش را با جرم‌های مختلف را انجام دهید.

## پرسش‌ها

- ۱- بیان کنید با این ترکیب دو قرقره‌ای بالا و پایین برای آسان‌تر یا سخت‌تر است.
- ۲- این قرقره‌های گیره کاغذی به خوبی قرقره‌هایی با چرخ‌های متحرک نیست. چرا؟
- ۳- مزیت مکانیکی یک و دو قرقره گیره کاغذی را حساب کنید.

## فعالیت‌های عملی

### بخش‌های طنابی

#### هدف:

ساختن یک ماشین قرقره‌ای با کمک مواد در دسترس

#### مواد لازم:

- میله فلزی که خم شود (چوب لباس‌های فلزی مناسبند)
- پایه و گیره
- نخ کتان یا مقول
- یک جرم (وزنه‌ای حدود ۱۰۰ گرم)

#### روش:

- جدولی مشابه جدول زیر درست کنید.

تعداد نخ‌ها (ی بین دو قرقره)	جابه‌جایی وزنه (cm)	جابه‌جایی دست (cm)
۲	۵	
۴	۵	
۶	۵	
۸	۵	



- ۱- مانند شکل ماشین قرقره‌ای تان را بسازید.
- ۲- از ماشین تان برای بالا بردن وزنه به اندازه ۵ cm استفاده کنید.
- مقدار حرکت دستتان را برای جابه‌جایی وزنه، اندازه‌گیری کنید.
- ۳- آزمایش را تکرار کنید، اما با ۴، ۶ و ۸ سرانجام ۸ بخش شدن نخ‌های بین دو قرقره.
- ۴- آزمایش را با وزنه‌ها و یا جابه‌جایی‌های دیگر وزنه تکرار کنید.

## پرسش‌ها

- ۱- توضیح دهید مسافتی که دستتان طی می‌کند با زیاد شدن نخ‌های بین دو قرقره چگونه تغییری می‌کند.
- ۲- ارزیابی خود را از مقدار نیروی محرک بیان کنید.
- ۳- به کمک دانسته‌های خود از رابطه کار = نیرو  $\times$  جابه‌جایی، پاسخ خود را توضیح دهید.



## فن آوری های بومی

### کاربردها و استفاده های علم:

در دنیای باستان از فن آوری های زمان خود در ساختن بناهای یادبود خود استفاده می کردند، بناهایی که بسیاری شان تا به امروز پابرجا مانده اند. آن ها از گوه برای شکافتن سنگ به منظور ساختن معابد و قبرهایشان استفاده می کردند، سپس سنگ را روی سورتبه یا چرخ های ساده ای که از تنه درختان ساخته شده بود حمل می کردند. سرانجام سنگ توسط جرثقیل هایی که با زور بازو کار می کردند و متشکل از اهرم، و یا در مورد اهرام متشکل از سطوح شیب دار بود، بالا کشیده می شد.

بومیان استرالیا از ماشین های ساده سود می بردند، ولی نه برای ساختن بناهای یادبود مجلل، بلکه از شناختی که از نیروها و ماشین ها داشتند در شکار کمک می گرفتند.

### نیزه انداز

با این که گروه های مختلفی از بومیان، از طراحی یکسانی برای نیزه اندازهای خود استفاده می کردند، نام و شکل این وسیله از جایی به جای دیگر متفاوت بود. نیزه انداز، که در نیوساوت ویلز آن را با نام وومِرا (وُمِرا / وامار) می شناختند، وسیله بسیار مؤثری برای سرعت دادن به نیزه بود؛ از این طریق که زمان تأثیر نیروی پرتاب کننده را بر نیزه افزایش می داد. نیزه اندازها بسته به این که در کجا شکل گرفتند، شکل های مختلفی دارند. اصلاح کردن شکل نیزه انداز آن را قادر می سازد که برای اهداف دیگر هم مورد استفاده قرار گیرد، نظیر بیلچه و تبر.

نیزه اندازها معمولاً از تکه چوبی ساخته می شدند که به دقت به شکلی طراحی شده بود که بشود در یک دست نگهش داشت. در انتهای دیگرش میخِ قلابمانندی بود که از استخوان یا سنگ ساخته می شد. این میخِ قلابمانند در سوراخی که در انتهای نیزه وجود داشت فرو می رفت و بعد به عنوان امتداد بازویِ مردِ پرتاب کننده، عمل می کرد.

نیزه انداز برای پرتاب نیزه از دو اهرم بهره می برد. هر دو اهرم به عنوان بزرگ کننده سرعت عمل می کنند و سرعت حرکت نیزه را در مقایسه با دست و بازوی پرتاب کننده افزایش می دهند.



نیزه انداز و بومرنگ فناوری های ساده ای هستند که به وسیله بومیان استرالیایی توسعه یافته اند تا به آنها در شکار بهتر کمک کند. آنها با مشاهده دقیق و تمرین، مهارت لازم را برای ساختن آن به کار می گیرند

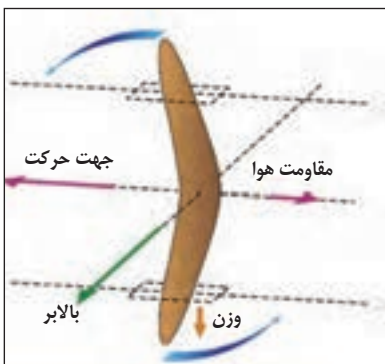


نیزه اندازهایی که بومیان استفاده می کنند، برای افزایش سرعت پرتاب نیزه، هنگام شکار است

نقطه قوت دیگر نیزه‌انداز این است که نیروی وارد شده بر نیزه مستقیماً در طول محور آن عمل می‌کند و به یک پرتاب‌کننده ورزیده اجازه می‌دهد که پرتاب بسیار دقیق داشته باشد.

### چوب‌های پرتاب کننده بومرنگ

با این که بومرنگ را معمولاً نوعی وسیله‌ی تفریحی می‌دانند، ولی این وسیله ریشه در تکه چوبی دارد که برای شکار استفاده می‌شد. قبایل بومی مختلف، از اشکال متنوعی از چوب‌های بومرنگ مانند استفاده می‌کردند.



### چرا بومرنگ برمی‌گردد؟

بومرنگ‌ها شکل‌ها و سطوح خمیده‌ی مختلفی دارند. این باعث می‌شود وقتی پرتاب می‌شوند، مسیر پروازشان متفاوت باشد. معمولاً یکی از سطوح بومرنگ مسطح است و دیگری خمیده. این ترکیب از سطوح را **ایروفویل** می‌نامند. وقتی ایروفویل هوا را می‌شکافد نیروی بالابرنده‌ای ایجاد می‌کند که بومرنگ را با فشار در مسیری پیش می‌برد که سطح خمیده‌اش رو به آن است. از این منظر، بومرنگ

شبه بال هواپیما است که وقتی حرکت می‌کند، نیروی بالابرنده‌اش آن را در جهت سطح فوقانی و خمیده بال‌ها حرکت می‌دهد. و به این ترتیب، هواپیما به سمت بالا حرکت می‌کند.

بومرنگ به هلیکوپتر نیز شباهت دارد. عمل پرتاب سبب می‌شود بومرنگ درست مثل ملخ هلیکوپتر به سرعت بچرخد. این مسئله سبب می‌شود نیروی وارده بر هر یک از دو سطح بومرنگ متفاوت باشد، که باعث تغییر زاویه بومرنگ در هوا می‌شود. این اثر ژيروسکوپ، بومرنگ را قادر می‌کند که در هوا معلق بماند و مسیر دایره‌ای شکلی را طی کند و به سمت پرتاب‌کننده‌اش بازگردد.

