فصل ۱

فیزیک و اندازه‌گیری

یکی از وجوه مشترک فیزیک و معماری، اندازه‌گیری است. معماران هنرمند ایرانی از صدها سال پیش با بهره‌گیری از روش‌ها و فنون اندازه‌گیری، اثرهای بدیع و ماندگاری به یادگار گذاشته‌اند.

اگر به‌دنبال ردِ پای فیزیک در زندگی خود باشید، لازم نیست جای خیلی دوری بروید؛ زیرا فیزیک با زندگی روزانهٔ ما عجین شده است. وسایل برقی، خودروها، گوشی‌های تلفن همراه و بسیاری از وسایل و ابزارهای ساخته‌شدهٔ اطراف ما، با بهره‌گیری از اصول و قانون‌های فیزیکی ساخته شده‌اند. فیزیک‌دانان، گسترهٔ وسیعی از پدیده‌ها را بررسی می‌کنند. این گستره، اندازه‌های خیلی کوچک (مانند اتم‌ها و ذرات سازندهٔ آنها) تا اندازه‌های خیلی بزرگ (مانند کهکشان‌ها و اجزای تشکیل‌دهندهٔ آنها) را در بر می‌گیرد. در این فصل، پس از آشنایی با فیزیک و نظریه‌های فیزیکی، به اهمیت مدل‌سازی در فیزیک پی‌خواهید برد. با کمیت‌های فیزیکی، دستگاه بین‌المللی یکاها و دقت در اندازه‌گیری آشنا خواهید شد. در پایان فصل نیز نگاهی به چگالی و کاربردهای آن خواهد شد.

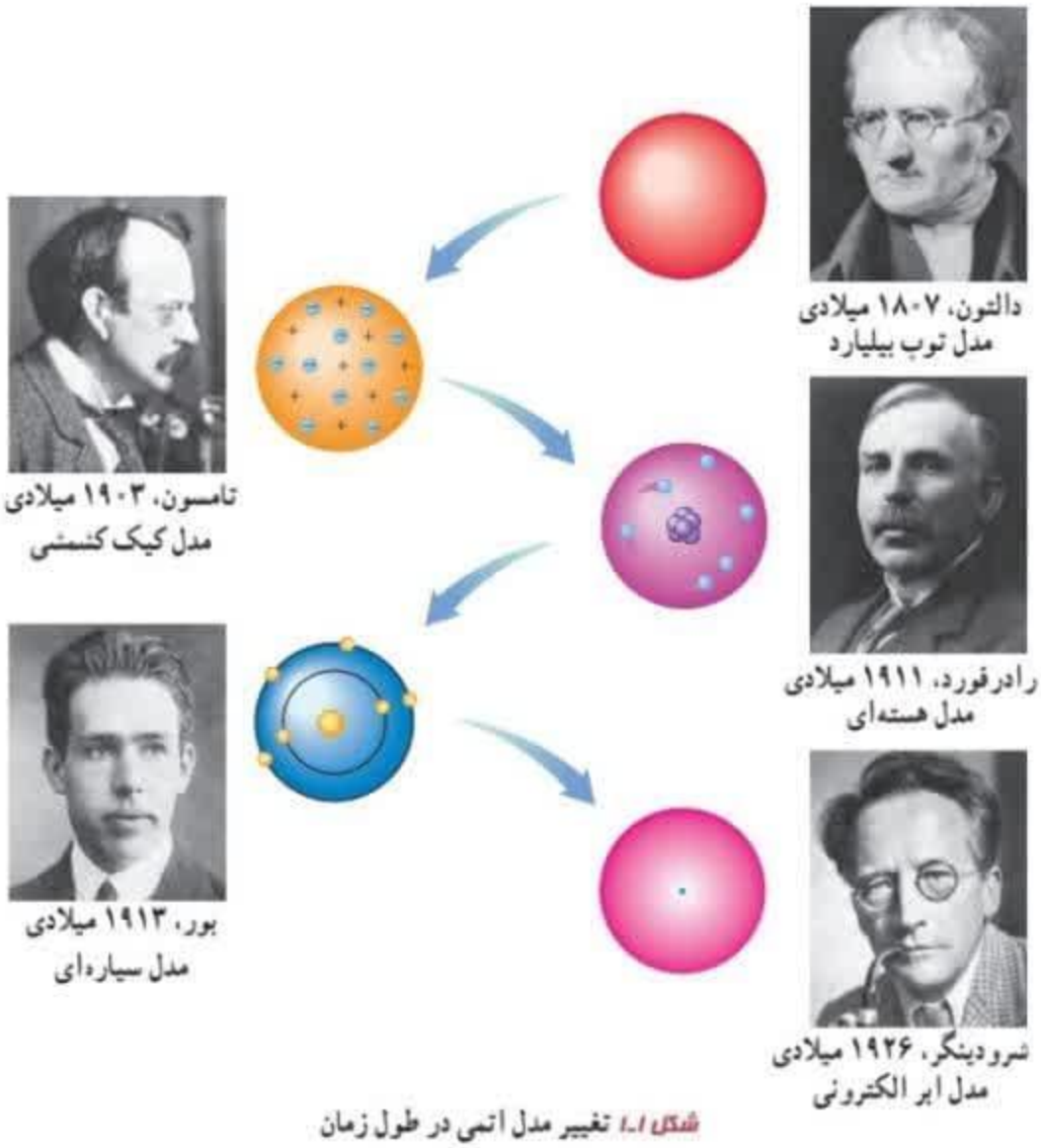
۱ـ۱ فیزیک: دانش بنیادی

آزمایش و مشاهده در فیزیک، اهمیت زیادی دارد؛ اما آنچه بیش از همه در پیشبرد و تکامل علم فیزیک نقش ایفا کرده و می‌کند، تفکر نقادانه و اندیشه‌ورزی فعال فیزیک‌دانان نسبت به پدیده‌هایی است که با آنها مواجه می‌شوند.

مطالعه و یادگیری فیزیک به این دلیل اهمیت دارد که فیزیک از بنیادی‌ترین دانش‌ها و شالودهٔ تمامی مهندسی‌ها و فنّاوری‌هایی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در زندگی ما نقش دارند.

فیزیک‌دانان، پدیده‌های گوناگون طبیعت را مشاهده می‌کنند و می‌کوشند الگوها و نظم‌های خاصی میان این پدیده‌ها بیابند. دانشمندان فیزیک برای توصیف و توضیح پدیده‌های مورد بررسی، اغلب از قانون، مدل و نظریهٔ فیزیکی استفاده می‌کنند. از آنجا که فیزیک، علمی تجربی است، لازم است این قوانین، مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی توسط آزمایش مورد آزمون قرار گیرند.

مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان همواره معتبر نیستند و ممکن است دستخوش تغییر شوند. به بیان دیگر همواره این امکان وجود دارد که نتایج آزمایش‌های جدید منجر به بازنگری مدل یا نظریه‌ای شود و حتی ممکن است نظریه‌ای جدید جایگزین آن شود. مثلاً در دهه‌های آغازین قرن گذشته، نظریهٔ اتمی با توجه به مشاهده‌ها و کسب اطلاعات جدید در خصوص رفتار اتم‌ها، بارها اصلاح شد (شکل ۱ـ۱).



شکل ۱ـ۱ تغییر مدل اتمی در طول زمان

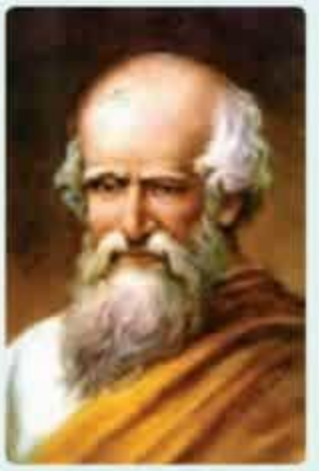
ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های فیزیکی، نقطهٔ قوّت دانش فیزیک است و نقش مهمی در فرایند پیشرفت دانش و تکامل شناخت ما از جهان پیرامون داشته است.

خوب است بدانید [1]

واژهٔ فیزیک، ریشه در یونان باستان دارد و به معنای شناخت طبیعت است. تا آنجا که تاریخ مدون علم نشان می‌دهد، فیلسوفان دوران باستان در سدهٔ هفتم قبل از میلاد مسیح نخستین کسانی بودند که پرسش‌هایی دربارهٔ طبیعت مطرح ساختند.

اندیشه‌های علمی این فیلسوفان در سدهٔ پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در مناطقی مانند مقدونیه، سوریه، مصر و به‌ویژه در شهر اسکندریه پیگیری شد. کارهای ارشمیدس و برخی دیگر از دانشمندان یونان باستان به همین دوره مربوط می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده توسط تاریخ‌نگاران علم نشان می‌دهد روش ارشمیدس به روش‌های علمی امروزه نزدیک بوده است.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان مسلمان و به‌خصوص ایرانی مانند ابوریحان بیرونی، ابن هیثم، خواجه نصیرالدین طوسی، ابن سینا و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم، نورشناسی و مکانیک، دانش فیزیک را گسترش دادند که بعدها بخشی از این نتایج پایه‌ای برای کارهای گالیله و دیگران شد.



ارشمیدس
(۲۸۷ تا ۲۱۲ قبل از میلاد)

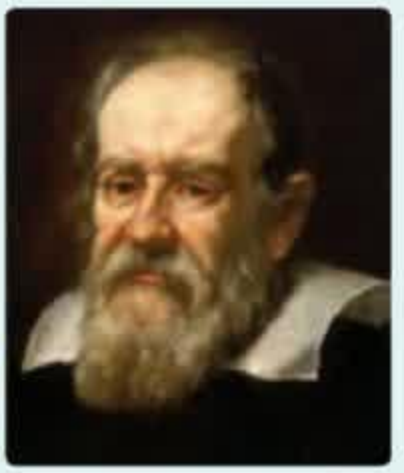
ابن هیثم
(۱۰۴۰ــ ۹۶۵م)

ابوریحان بیرونی
(۱۰۴۸ــ ۹۷۳م)

ابوعلی‌سینا
(۱۰۳۷ــ ۹۸۰م)

خواجه نصیرالدین طوسی
(۱۲۷۴ــ ۱۲۰۱م)

در کتاب‌های تاریخ علم، روایت کرده‌اند که گالیله جسم‌های سبک و سنگین را از بالای برج کج پیزا رها کرد تا دریابد که آیا زمان سقوط آنها یکسان است یا متفاوت. گالیله تشخیص داد که تنها یک بررسی تجربی می‌تواند به این پرسش پاسخ دهد. وی با تعمق زیاد روی نتیجهٔ آزمایش‌های خود، گام بلندی به سوی این اصل برداشت که شتاب جسم در حال سقوط، مستقل از جرم آن است.

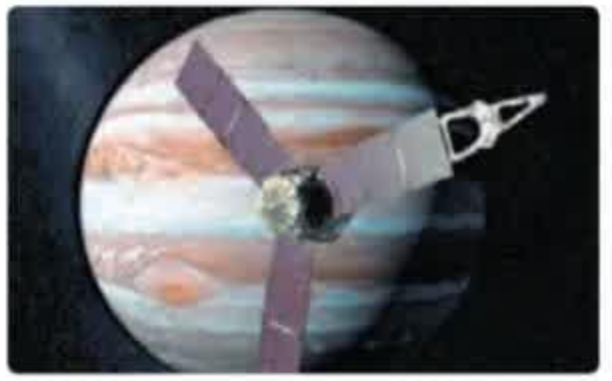


گالیلئو گالیله
(۱۶۴۲ــ ۱۵۶۴م)

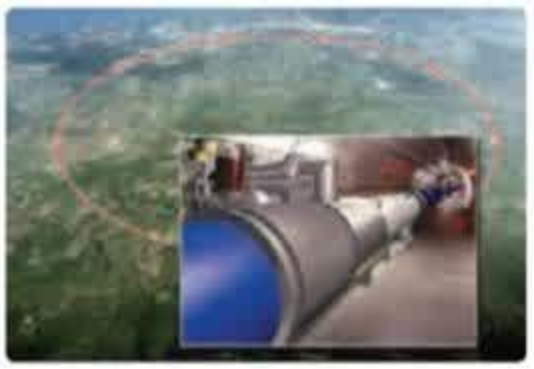
برج کج پیزا واقع در فلورانس ایتالیا

فیزیک، پایه و اساس تمامی مهندسی‌ها و فنّاوری‌هاست. هیچ مهندسی نمی‌توانست بدون آنکه نخست قانون‌های اساسی فیزیک را درک کند، یک تلویزیون با صفحهٔ تخت، یک فضاپیمای میان‌سیاره‌ای، یک لامپ کم‌مصرف LED یا حتی یک ابزار ساده طراحی کند. شکل ۱ــ۲ الف تا ج، بخش بسیار کوچکی از دستاوردهای دانش و فنّاوری‌های نوین را نشان می‌دهند که فیزیک، شالودهٔ تمامی آنهاست.

۱ــ تمامی مطالب «خوب است بدانید» در تمامی فصل‌های کتاب، جزء ارزشیابی نیستند.



(الف)



(ب)

(پ)

(ت)

(ث)

(ج)

شکل ۱ـ۶ (الف) جُونو (Juno)، کاوشگری که ناسا به سوی مشتری (برجیس)، بزرگ‌ترین سیارهٔ منظومهٔ شمسی پرتاب کرد و پس از پنج سال، در اوایل تابستان ۱۳۹۵ به مداری نزدیک این سیاره رسید. این مدارگرد که به ابزارهای پیشرفته‌ای مجهز شده، اطلاعاتی دربارهٔ جوّ مشتری، ویژگی‌های مغناطیسی و گرانشی و همچنین چگونگی شکل‌گیری این سیاره به زمین ارسال می‌کند. (ب) شتاب‌دهندهٔ ذرات سازندهٔ اتم در تونلی به طول ۲۷ کیلومتر که در عمق ۱۷۵ متری زمین و در مرز کشورهای فرانسه و سوئیس ساخته شده است. در این مرکز پژوهشی بیش از ۳۰۰۰ دانشمند و فیزیک‌دان مشغول به‌کارند. بزرگ‌ترین دستاورد این آزمایشگاه تاکنون، کشف ذرهٔ بوزون هیگز است که خبر تأیید آن در تابستان ۱۳۹۱ اعلام شد. (پ) سامانهٔ موقعیت‌یابی جهانی (GPS) مکان اجسام را با دقت قابل ملاحظه‌ای روی زمین پیدا می‌کند. بخشی از دقت این سامانه، به این دلیل حاصل می‌شود که GPS براساس نظریهٔ نسبیت اینشتین کار می‌کند. (ت) ترابری مگ لِو (maglev)، یکی از دستاوردهای فیزیک اَبَررساناست. این وسیلهٔ نقلیه موسوم به قطار مغناطیسی حامل پیچه‌های ابررسانا در زیر خود است. همین امر سبب می‌شود تا قطار چند سانتی‌متر بالاتر از ریل به‌صورت شناور درآید و با تندی‌ای فراتر از ۴۰۰ کیلومتر بر ساعت حرکت کند. (ث) این عکس نمای بزرگ‌شده از یک حشره را نشان می‌دهد که با میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) گرفته شده است. در این نوع میکروسکوپ‌ها، به جای نور مرئی، از باریکه‌ای از الکترون‌ها برای تصویربرداری استفاده می‌شود. (ج) پردازنده یا واحد پردازش مرکزی (CPU) متشکل از صدها میلیون تا چندین میلیارد ترانزیستور بسیار کوچک و ظریف است که در یک محفظهٔ سرامیکی جای گرفته‌اند. این شکل یکی از پردازنده‌های نسل جدید را نشان می‌دهد که فراتر از یک میلیارد ترانزیستور ۲۲ نانومتری در آن به‌کار رفته است.[۱]

فعالیت ۱ـ۱

افزون بر فهرست بالا، شما نیز به اتفاق اعضای گروه خود، فهرست دیگری از کاربردهای فیزیک در فنّاوری تهیه کنید که نقش مهمی در زندگی ما دارند. (این فهرست را می‌توانید به‌صورت پوستر، پرده‌نگار (پاورپوینت)، فیلم‌های کوتاه و ... تهیه و ارائه کنید.)

۱ـ مطالب آمده در شرح قسمت‌های مختلف شکل ۱ـ ۲ جزء ارزشیابی نیست.

۱ـ۲ مدل‌سازی در فیزیک

پدیده‌هایی مانند پرتاب توپ، افتادن برگ درخت، تشکیل رنگین‌کمان، آذرخش و ...، ممکن است برای ما عادی شده باشند؛ ولی بررسی و تحلیل آنها در فیزیک معمولاً با پیچیدگی‌هایی همراه است. به همین دلیل فیزیک‌دانان برای بررسی پدیده‌ها، از مدل‌سازی استفاده می‌کنند. مدل‌سازی در فیزیک فرایندی است که طی آن یک پدیدهٔ فیزیکی، آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

برای شناخت بهتر فرایند مدل‌سازی در فیزیک، حرکت یک توپ پرتاب‌شده را بررسی می‌کنیم (شکل ۱ـ۳ الف). ممکن است در نگاه اول، بررسی و تحلیل حرکت توپ، ساده به نظر برسد، ولی واقعیت برخلاف این است. توپ، یک کرهٔ کامل نیست (درزها و برجستگی‌هایی روی توپ وجود دارد) و در حین حرکت به دور خود می‌چرخد، باد و مقاومت هوا بر حرکت آن اثر می‌گذارند. وزن توپ با تغییر فاصلهٔ آن از مرکز زمین تغییر می‌کند. اگر بخواهیم تمام این موارد را هنگام بررسی و تحلیل حرکت توپ در نظر بگیریم، تحلیل ما پیچیده خواهد شد.

با مدل‌سازی حرکت توپ، می‌توانیم تا حدود زیادی این پیچیدگی‌ها را کاهش دهیم و بررسی و تحلیل حرکت توپ را به‌طور ساده، امکان‌پذیر سازیم. با چشم پوشیدن از اندازه و شکل توپ، آن را به‌صورت یک جسم نقطه‌ای یا ذره در نظر می‌گیریم. همچنین با فرض اینکه توپ در خلأ حرکت می‌کند، از مقاومت هوا و اثر وزش باد صرف‌نظر می‌کنیم. سرانجام فرض می‌کنیم با تغییر فاصلهٔ توپ از مرکز زمین، وزن آن ثابت می‌ماند (شکل ۱ـ۳ ب). اینک مسئلهٔ ما به قدر کافی ساده شده است و می‌توانیم حرکت آن را بررسی و تحلیل کنیم.

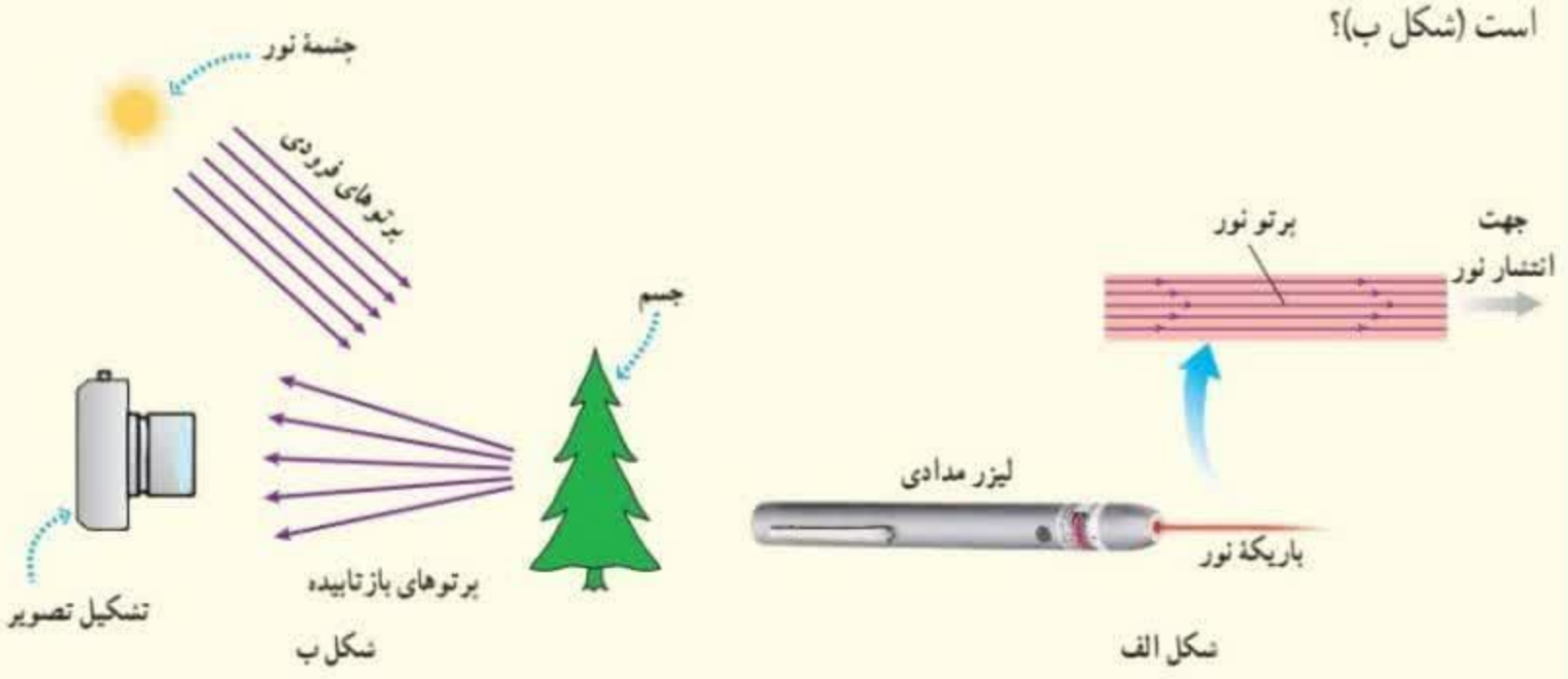
توجه داریم هنگام مدل‌سازی یک پدیدهٔ فیزیکی، باید اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم نه اثرهای مهم و تعیین‌کننده را. برای مثال، اگر به جای مقاومت هوا، نیروی جاذبهٔ زمین را نادیده می‌گرفتیم، آن‌گاه مدل ما پیش‌بینی می‌کرد که وقتی توپی به بالا پرتاب شود در یک خط مستقیم بالا می‌رود!

مکانیک، یکی از شاخه‌های فیزیک است که در آن به بررسی حرکت اجسام و نیروهای واردشده به آنها می‌پردازد. شکل زیر، مثالی ساده از کاربرد مدل‌سازی در مکانیک است. در فصل سوم، از این مدل‌سازی استفادهٔ زیادی خواهیم کرد.

شکل ۱ـ۳ استفاده از یک مدل آرمانی برای ساده‌سازی تحلیل حرکت یک توپ بسکتبال در هوا

پرسش ۱ـ۱

شکل الف براساس آنچه در علوم سال هشتم در زمینهٔ نورشناسی خواندید آمده است. اجزای این شکل را توضیح دهید و بگویید که در آن، چه چیزی مدل‌سازی شده است. این مدل‌سازی چگونه در تشکیل تصویر در یک دوربین عکاسی به‌کار رفته است (شکل ب)؟

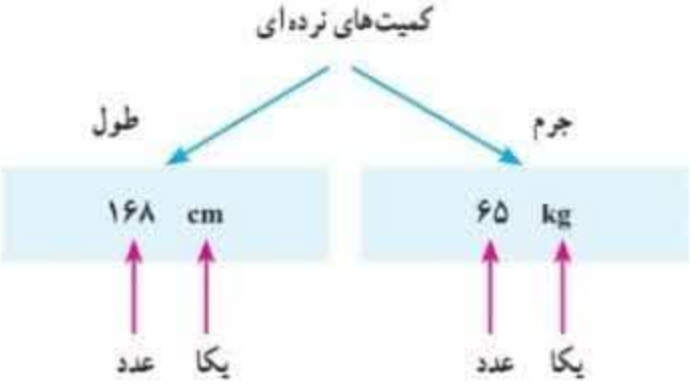


۱ـ۳ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

همان‌طور که پیش از این گفتیم فیزیک علمی تجربی است و هدف آن بررسی پدیده‌های فیزیکی در جهان پیرامون است. اساس تجربه و آزمایش، اندازه‌گیری است و برای بیان نتایج اندازه‌گیری، به‌طور معمول از عدد و یکای مناسب آن استفاده می‌کنیم. در فیزیک به هر چیزی که بتوان آن را اندازه گرفت، مانند طول، جرم، تندی، نیرو و زمان سقوط یک جسم، کمیت فیزیکی گفته می‌شود.

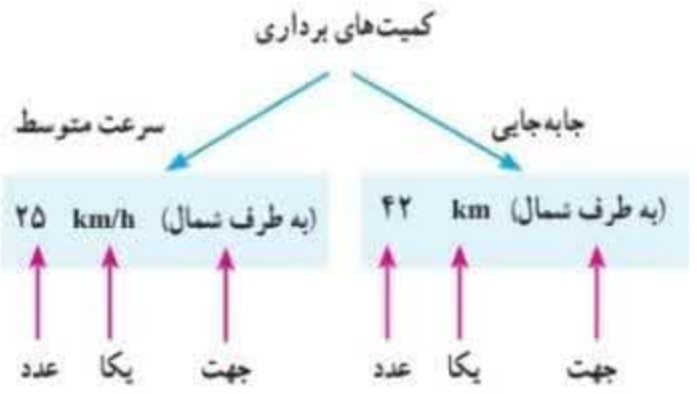
برای بیان برخی از کمیت‌های فیزیکی، تنها از یک عدد و یکای مناسب آن استفاده می‌شود. این گونه کمیت‌ها، **کمیت نرده‌ای** نامیده می‌شوند. برای مثال، وقتی می‌گوییم جرم و طول قد شخصی به ترتیب، ۶۵ kg و ۱۶۸ cm است، از دو کمیت فیزیکی نرده‌ای برای توصیف این شخص استفاده کرده‌ایم (شکل ۱ـ۴). برای بیان برخی دیگر از کمیت‌های فیزیکی، افزون بر یک عدد و یکای مناسب آن، لازم است به جهت آن نیز اشاره کنیم. این دسته از کمیت‌ها را، **کمیت برداری** می‌نامند. با برخی از این کمیت‌ها مانند جابه‌جایی، سرعت، شتاب و نیرو در علوم سال نهم آشنا شدید. برای مثال، وقتی می‌گوییم جابه‌جایی دوچرخه‌سواری ۴۲ km به طرف شمال و سرعت متوسط آن ۲۵km/h به طرف شمال است، از دو کمیت برداری برای توصیف حرکت این دوچرخه‌سوار استفاده کرده‌ایم (شکل ۱ـ۵). برای نوشتن کمیت‌های برداری، مانند نیرو $\vec{F}$ و شتاب $\vec{a}$، از علامت پیکان بالای نماد آن کمیت استفاده می‌کنیم. اگر علامت پیکان بالای یک کمیت برداری نیاید، مانند F و a، تنها اندازهٔ آن کمیت برداری (شامل عدد و یکا) بیان شده است.

کمیت‌های نرده‌ای



شکل ۱ـ۴ هر کمیت نرده‌ای را باید با عدد و یکای مناسب آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی، بدون ذکر یکای آن، معنایی ندارد!

کمیت‌های برداری



شکل ۱ـ۵ هر کمیت برداری را باید با عدد، یکای مناسب و جهت آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی برداری بدون ذکر یکا و جهت آن، معنایی ندارد!

۱ــ۴ اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها

برای انجام اندازه‌گیری‌های درست و قابل اطمینان به یکاهای اندازه‌گیری‌ای نیاز داریم که تغییر نکنند و دارای قابلیت بازتولید در مکان‌های مختلف باشند. دستگاه یکاهایی که امروزه بیشتر مهندسان و دانشمندان علوم در سراسر جهان به‌کار می‌برند را اغلب دستگاه متریک می‌نامند، ولی این دستگاه یکاها از سال ۱۹۶۰ میلادی، به‌طور رسمی، دستگاه بین‌المللی (SI) نامیده شده است[۱].

در سال ۱۹۷۱ میلادی، مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها، هفت کمیت را به‌عنوان کمیت اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می‌دهند (جدول ۱ــ۱). یکای این کمیت‌ها را یکاهای اصلی می‌نامند. سایر یکاهای دیگر را که برحسب یکاهای اصلی بیان می‌شوند، یکاهای فرعی می‌نامند.

تعداد کمیت‌های فیزیکی، بسیار زیاد و سازمان‌دهی آنها دشوار است. خوشبختانه، بسیاری از کمیت‌های فیزیکی مستقل از یکدیگر نیستند و توسط رابطه‌ها و تعریف‌های فیزیکی به یکدیگر وابسته‌اند. این وابستگی به ما کمک می‌کند تا لازم نباشد برای همهٔ کمیت‌های فیزیکی، یکای مستقل تعریف کنیم. برای مثال، همان‌طور که در علوم سال نهم دیدید، تندی متوسط به‌صورت نسبت مسافت به زمان تعریف می‌شود. اگر مسافت را که از جنس طول است، با یکای متر (m) و زمان را با یکای ثانیه (s) بیان کنیم، آن گاه یکای تندی متوسط در SI، متر بر ثانیه (m/s) خواهد شد. به این ترتیب، یکای فرعی متر بر ثانیه (m/s)، با یکاهای اصلی طول (m) و زمان (s) مرتبط می‌شود. در جدول ۱ــ۲ نمونه‌هایی از یکاهای فرعی آمده است که در این کتاب از آنها استفاده می‌کنیم. همان‌طور که در این جدول نیز دیده می‌شود برای برخی از یکاهای پرکاربرد فرعی، نامی مخصوص قرار داده‌اند، مثلاً یکای نیرو ($kg.m/s^2$) را نیوتون(N) نامیده‌اند. در این صورت گفته می‌شود : یکای SI نیرو، نیوتون است. معرفی این یکاهای خاص در SI، ضمن احترام به فعالیت‌های علمی دانشمندان گذشته، سبب سهولت در گفتار و نوشتار نیز می‌شود.

جدول ۱ــ۱ کمیت‌های اصلی و یکاهای اصلی دستگاه بین‌المللی (SI)

کمیت	نام یکا	نماد یکا
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	کِلوین	K
مقدار ماده	مُول	mol
جریان الکتریکی	آمپر	A
شدت روشنایی	کَندِلا (شمع)	cd

جدول ۱ــ۲ چند مثال از یکاهای فرعی دستگاه بین‌المللی (SI)

کمیت	نام یکا	یکای فرعی برحسب یکاهای اصلی
تندی و سرعت	متر بر ثانیه (m/s)	m/s
شتاب	متر بر مربع ثانیه (m/s^2)	m/s^2
نیرو	نیوتون (N)	$kg.m/s^2$
فشار	پاسکال (Pa)	kg/ms^2
انرژی	ژول (J)	$kg.m^2/s^2$

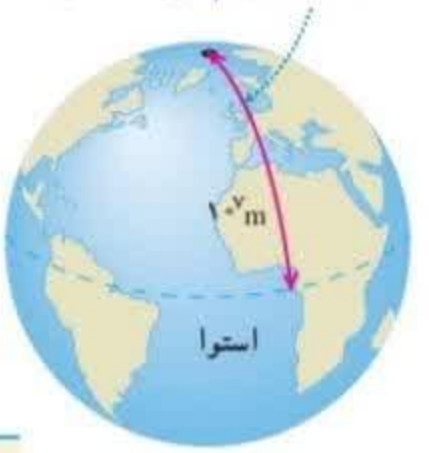
خوب است بدانید

در اواسط قرن نوزدهم نیاز به یک دستگاه مقیاس جهانی کاملاً آشکار شد. در سال ۱۸۷۵ میلادی، همایشی بین‌المللی در پاریس در زمینهٔ سنجش تشکیل شد و ۱۷ دولت قرارداد متر را امضا کردند. امضاکنندگان تصمیم گرفتند که یک مؤسسهٔ علمی دائمی به نام *دفتر بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها* تأسیس کنند. ایران نیز کنوانسیونِ متر را در سال ۱۳۵۴ امضا کرد و به عضویت این دفتر در آمد. مرکز اندازه‌شناسی سازمان ملی استاندارد ایران به‌عنوان نقطهٔ اتصال کشور به دستگاه اندازه‌گیری جهانی، وظیفهٔ ارتباط با این سازمان جهانی را دارد.

۱ــ SI سرحرف عبارت فرانسوی (Systeme International) به‌معنای دستگاه بین‌المللی است.

متر در آغاز به‌صورت یک‌ده‌میلیونیم این فاصله تعریف شد

طول : به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) به‌صورت یک ده میلیونیم فاصلهٔ استوا تا قطب شمال تعریف شد (شکل ۱ــ۶). تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصلهٔ میان دو خط نازک حک‌شده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس پلاتین ــ ایریدیوم، وقتی میله در دمای صفر درجهٔ سلسیوس قرار داشت، برابر یک متر تعریف شده بود. بنابر آخرین توافق جهانی مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برابر مسافتی تعریف شد که نور در مدت زمان $\frac{۱}{۲۹۹۷۹۲۴۵۸}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند. این تعریف، تخصصی است و برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق به‌کار می‌رود[۱]. در جدول ۱ــ۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌ها آمده است.



شکل ۱ــ۶ اولین تعریف متر در سال ۱۷۹۱ میلادی

جدول ۱ــ۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌های اندازه‌گیری‌شده

	طول (m)		طول (m)
فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین کهکشان	$۲/۸\times۱۰^{۲۱}$	طول زمین فوتبال	۹×۱۰^{۱}
فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره	۴×۱۰^{۱۶}	طول بدن نوعی مگس	۵×۱۰^{-۳}
یک سال نوری	۹×۱۰^{۱۵}	اندازهٔ ذرات کوچک گرد و خاک	۱×۱۰^{-۴}
شعاع مدار میانگین زمین به دور خورشید	$۱/۵۰\times۱۰^{۱۱}$	اندازهٔ یاخته‌های بیشتر موجودات زنده	۱×۱۰^{-۵}
فاصلهٔ میانگین ماه از زمین	$۳/۸۴\times۱۰^{۸}$	اندازهٔ بیشتر میکروب‌ها	$۰/۲\text{ــ}۲\times۱۰^{-۶}$
شعاع میانگین زمین	$۶/۴۰\times۱۰^{۶}$	قطر اتم هیدروژن	$۱/۰۶\times۱۰^{-۱۰}$
فاصلهٔ ماهواره‌های مخابراتی از زمین	$۳/۶\times۱۰^{۷}$	قطر هستهٔ اتم هیدروژن (قطر پروتون)	$۱/۷۵\times۱۰^{-۱۵}$

پرسش ۱ــ۲

اگر مطابق شکل روبه‌رو، یکای طول را به‌صورت فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟

تمرین ۱ــ۱

الف) یکای نجومی[۲] برابر میانگین فاصلهٔ زمین تا خورشید است ($۱AU\approx۱/۵۰\times۱۰^{۱۱}m$). با توجه به جدول ۱ــ۳، فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره، بر حسب یکای نجومی چقدر است؟

ب) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌نامند و آن را با نماد ly نمایش می‌دهند[۳]. این فاصله را بر حسب متر محاسبه کنید. تندی نور را در خلأ $۳/۰۰\times۱۰^{۸}$ متر بر ثانیه بگیرید.

پ) اختروش‌ها[۴] دورترین اجرام شناخته‌شده از منظومهٔ شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهدهٔ کیهان قرار دارند. فاصلهٔ اختروش‌ها از منظومهٔ شمسی $۱/۰۰\times۱۰^{۲۶}$ متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید.

۱ــ نیازی به حفظ کردن این تعریف تخصصی نیست.

۲ــ Astronomical Unit

۳ــ light year

۴ــ Quasars

شکل ۱ــ۷ استاندارد ملی کیلوگرم که نسخهٔ دقیقی از استاندارد بین‌المللی سِور فرانسه است. این نمونه، در مرکز اندازه‌شناسی در سازمان ملی استاندارد ایران نگه‌داری می‌شود.

جرم : یکای جرم در SI، کیلوگرم (kg) نامیده می‌شود و به‌صورت جرم استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین ــ ایریدیوم تعریف شده است. جرم این استوانه که به دقت درون دو حباب شیشه‌ای جای گرفته، کیلوگرم استاندارد بین‌المللی است که در موزهٔ سِوْر فرانسه نگه‌داری می‌شود[1]. نسخه‌های کاملاً مشابهی از این نمونه ساخته و برای کشورهای دیگر ارسال شده است (شکل ۱ــ۷).

در علوم سال هفتم با ابزارهای اندازه‌گیری جرم آشنا شدید. مقادیر تقریبی برخی جرم‌ها در جدول ۱ــ۴ آمده است.

جدول ۱ــ۴ مقادیر تقریبی برخی جرم‌های اندازه‌گیری‌شده

	جرم (kg)		جرم (kg)
عالم قابل مشاهده	1×10^{52}	انسان	7×10^{1}
کهکشان راه شیری	7×10^{41}	قورباغه	1×10^{-1}
خورشید	2×10^{30}	پشه	1×10^{-5}
زمین	6×10^{24}	باکتری	1×10^{-15}
ماه	$7/34\times10^{22}$	اتم هیدروژن	$1/67\times10^{-27}$
کوسه	1×10^{3}	الکترون	$9/11\times10^{-31}$

زمان : در طول سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶هـ.ش، یکای زمان، ثانیه (s) به‌صورت $\frac{1}{86400}$ میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد[2]. استاندارد کنونی زمان که از سال ۱۳۴۶هـ.ش به‌کار گرفته شد براساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اتمی تعریف شده است که در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توانید با آن آشنا شوید[3].

در بسیاری موارد نیاز به اندازه‌گیری مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد داریم. این مدت زمان را بازهٔ زمانی می‌نامیم. مقادیر تقریبی برخی بازه‌های زمانی در جدول ۱ــ۵ آمده است.

جدول ۱ــ۵ مقادیر تقریبی برخی از بازه‌های زمانی اندازه‌گیری‌شده

	ثانیه
سن عالم	5×10^{17}
سن زمین	$1/43\times10^{17}$
میانگین عمر یک انسان	2×10^{9}
یک سال	$3/15\times10^{7}$
یک روز	$8/6\times10^{4}$
زمان بین دو ضربان عادی قلب	8×10^{-1}

فعالیت ۱ــ۲

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به‌طور مستند تهیه کنید[4].

مطالب تهیه‌شده را با توجه به مهارت و علاقه‌مندی افراد گروه خود، به یکی از شکل‌های روزنامهٔ دیواری، پاورپوینت، قطعه فیلم کوتاه و... به کلاس درس ارائه دهید.

۱ــ در بیست‌وششمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها که در آبان ۱۳۹۷ برگزار شد تعریف یکاهای کیلوگرم، آمپر، کلوین و مول تغییر کرد. براساس تعریف‌های جدید کیلوگرم براساس ثابت پلانک (h)، آمپر براساس بار بنیادی (e)، کلوین براساس ثابت بولتزمان (k) و مول براساس ثابت آووگادرو (N_A) باز تعریف شدند.

۲ــ یک روز خورشیدی، زمانِ بین ظاهرشدن‌های متوالی خورشید در بالاترین نقطهٔ آسمان در هر روز است.

۳ــ ساعت‌های اتمی پس از چندین میلیون سال، تنها یک ثانیه جلو یا عقب می‌افتند!

۴ــ خوب است نگاهی به وبگاه موزه علوم و فناوری www.irstm.ir نیز داشته باشید.

خوب است بدانید

چندین هزار سال از توجه جوامع بشری به ضرورت اندازه‌گیری و کاربرد آن در زندگی روزمره می‌گذرد. ایجاد تقویم، تعیین زمان، اندازه‌گیری فاصله، مساحت، ساخت وزنه و پیمانه تنها نمونه‌ای از شواهدی هستند که نقش اندازه‌گیری را در زندگی انسان‌های دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. اولین قانون اندازه‌گیری در ایران، سال ۱۳۰۴ هـ.ش به تصویب رسید. با تصویب این قانون دستگاه متریک به‌عنوان دستگاه رسمی اندازه‌گیری در کشور تعیین شد. اجرای قانون اندازه‌گیری در کشور به عهدهٔ *مرکز اندازه‌شناسی سازمان ملی استاندارد ایران* است. این مرکز شامل بخش‌هایی مربوط به اندازه‌گیری‌های مکانیکی، فیزیکی و الکتریکی است.

تبدیل یکاها : اغلب در حل مسئله‌های فیزیک، لازم است یکای کمیتی را تغییر دهیم. برای مثال، ممکن است لازم باشد کیلوگرم (kg) را به میکروگرم (μg)، یا متر بر ثانیه (m/s) را به کیلومتر بر ساعت (km/h) تبدیل کنیم. این کار با روش تبدیل زنجیره‌ای انجام می‌شود. در این روش، اندازهٔ کمیت را در یک ضریب تبدیل (نسبتی از یکاها که برابر عدد یک است) ضرب می‌کنیم. برای مثال، چون ۱ m برابر ۱۰۰ cm است، داریم :

$$\frac{۱\,\text{m}}{۱۰۰\,\text{cm}} = ۱ \qquad \text{و} \qquad \frac{۱۰۰\,\text{cm}}{۱\,\text{m}} = ۱$$

بنابراین، هر دو کسر بالا را که برابر یک هستند می‌توان به‌عنوان ضریب تبدیل به‌کار برد (ذکر یکاها در صورت و مخرج کسر الزامی است.) از آنجا که ضرب کردن هر کمیت در عدد یک، اندازهٔ آن کمیت را تغییر نمی‌دهد، هرگاه ضریب تبدیلی را مناسب بدانیم می‌توان از آن استفاده کرد. برای مثال، یکای cm را در ۸۵cm، به‌صورت زیر به یکای m تبدیل می‌کنیم :

$$۸۵\,\text{cm} = (۸۵\,\text{cm})(۱) = (۸۵\,\text{cm})\left(\frac{۱\,\text{m}}{۱۰۰\,\text{cm}}\right) = ۰/۸۵\,\text{m}$$

ضریب تبدیل ←

همچنین در مثالی دیگر، تبدیل یکای کمیت ۳۶km/h را بر حسب یکای m/s به‌صورت زیر انجام می‌دهیم :

$$۳۶\,\text{km/h} = \left(۳۶\,\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)(۱)(۱) = \left(۳۶\,\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)\left(\frac{۱\,\text{h}}{۳۶۰۰\,\text{s}}\right)\left(\frac{۱۰۰۰\,\text{m}}{۱\,\text{km}}\right) = ۱۰\,\text{m/s}$$

تمرین ۱ـ ۲

در فیزیک، تغییر هر کمیت را نسبت به زمان، معمولاً آهنگ آن کمیت می‌نامیم. از شیلنگ شکل روبه‌رو، آب با آهنگ ۱۲۵cm³/s خارج می‌شود. این آهنگ را به روش تبدیل زنجیره‌ای، برحسب یکای لیتر بر دقیقه (L/min) بنویسید. (هر لیتر معادل ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب است.)

تعالیب ۱ــ ۳

خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای اندازه‌گیری جرم است[1]. این یکاها به‌صورت زیر به یکدیگر مرتبط‌اند :

۱ خروار = ۱۰۰ من تبریز

۱ من تبریز = ۴۰ سیر = ۶۴۰ مثقال

۱ مثقال = ۲۴ نخود = ۹۶ گندم

با توجه به اینکه هر مثقال اندکی بیش از ۴/۶ گرم است، یکاهای سیر و گندم را برحسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

سازگاری یکاها : هر کمیت فیزیکی را با نماد مشخصی نشان می‌دهیم. برای مثال اندازهٔ شتاب را با a و جرم را با m نشان می‌دهیم. همچنین برای بیان ارتباط بین کمیت‌های فیزیکی، از روابط و معادله‌ها استفاده می‌کنیم. یکی از این رابطه‌های فیزیکی، قانون دوم نیوتون، $F = ma$، است که در علوم سال نهم با آن آشنا شدید. هنگام استفاده از این رابطه و جایگذاری اندازهٔ هر کمیت در آن، باید به سازگاری یکاها در دو طرف رابطه توجه کنیم. اگر بخواهیم حاصل دو طرف رابطه برحسب یکاهای SI بیان شود باید یکای کمیت‌های داده شده را نیز به یکاهای SI تبدیل کنیم. برای مثال، اگر جرم جسمی ۳۲۵g و شتاب آن $۱/۷۵\,m/s^۲$ باشد، برای سازگاری یکاها در دو طرف معادله، باید یکای جرم جسم را به کیلوگرم تبدیل کنیم. در این صورت مقدار حاصل را می‌توان برحسب یکای نیوتون بیان کرد.

$$F = ma = (۰/۳۲۵\,kg)(۱/۷۵\,m/s^۲) = ۰/۵۶۹\,N$$

یکای دو طرف معادله با هم سازگار است.
(جدول ۱ــ ۲ را ببینید.)

پیشوندهای یکاها : هرگاه در اندازه‌گیری‌ها با اندازه‌های بسیار بزرگ‌تر یا بسیار کوچک‌تر از یکای اصلی آن کمیت مواجه شویم، از پیشوندهایی استفاده می‌کنیم که در جدول ۱ــ۶ فهرست شده‌اند. همان‌طور که از ضرایب تبدیل جدول پیداست هر پیشوند، توان معینی از ۱۰ را نشان می‌دهد که به‌صورت یک عامل ضرب به‌کار می‌رود (به بزرگ و کوچک بودن حروف نمادها توجه کنید). یعنی وقتی پیشوندی به یکایی افزوده می‌شود، آن یکا در ضریب مربوطه ضرب می‌شود، مثلاً یک میکرومتر (۱μm) که به آن میکرون نیز می‌گویند برابر $۱\times۱۰^{-۶}\,m$ است یا سه مِگاوات (۳MW) برابر $۳\times۱۰^{۶}\,W$ است.

۱ــ در تمامی فصل‌های کتاب، به‌خاطر سپردن یکاهای قدیمی ضرورتی ندارد و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد.

جدول ۱ــ۶ پیشوندهای یکاها

ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
10^{24}	یوتا	Y	10^{-24}	یوکتو	y
10^{21}	زِتا	Z	10^{-21}	زِپتو	z
10^{18}	اِگزا	E	10^{-18}	آتو	a
10^{15}	پِتا	P	10^{-15}	فِمتو	f
10^{12}	تِرا	T	10^{-12}	پیکو	p
10^{9}	گیگا (جیگا)	G	10^{-9}	نانو	n
10^{6}	مِگا	M	10^{-6}	میکرو	μ
10^{3}	کیلو	k	10^{-3}	میلی	m
10^{2}	هِکتو	h	10^{-2}	سانتی	c
10^{1}	دِکا	da	10^{-1}	دِسی	d

پیشوندهایی که کاربرد بیشتری دارند و بهتر است آنها را به خاطر بسپارید با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

نمادگذاری علمی: در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سر و کار داریم؛ مثلاً برای نوشتن جرم زمین برحسب کیلوگرم باید تعداد ۲۲ صفر را بعد از عدد ۵۹۸ بنویسیم یا برای نوشتن جرم یک الکترون برحسب کیلوگرم باید بعد از ممیز، ۳۰ عدد صفر قرار دهیم و پس از آن عدد ۹۱۰۹ را بنویسیم.

بدیهی است نوشتن چنین عددهایی به‌صورت اعشاری یا با صفرهای زیاد، علاوه بر دشواری در خواندن و نوشتن، احتمال اشتباه را نیز افزایش می‌دهد. از این رو، با استفاده از روشی که آن را نمادگذاری علمی می‌نامند، نوشتن و محاسبهٔ مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک ساده‌تر می‌شود.

اندازهٔ هر کمیت فیزیکی، که به‌صورت نمادگذاری علمی بیان می‌شود، باید شامل سه قسمت باشد. قسمت‌های اول و دوم، در برگیرندهٔ حاصل ضرب عددی از ۱ تا ۱۰ در توان صحیحی از ۱۰ است و در قسمت سوم، یکای آن کمیت نوشته می‌شود. برای آشنایی بیشتر با نمادگذاری علمی، به مثال‌های جدول ۱ــ۷ توجه کنید.

جدول ۱ــ۷ بیان اندازهٔ چند کمیت به‌صورت نمادگذاری علمی

نمونه	اندازهٔ کمیت (شامل عدد و یکا)	بیان به‌صورت نمادگذاری علمی
حجم بنزین مصرفی در ایران در سال ۱۳۹۴	۲۶ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ L	$2/60 \times 10^{10}$ L
تندی نور در هوا	۳۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ m/s	$3/00 \times 10^{8}$ m/s
طول کل خطوط انتقال نفت خام، گاز و سایر فراورده‌های سوختی در ایران	۳۸۹۰۰ ۰۰۰m	$3/89 \times 10^{7}$ m
حجم یک بشکه نفت	۱۵۹L	$1/59 \times 10^{2}$ L
قطر موی انسان	۰/۰۰۰ ۰۰۸۰۱ m	$8/01 \times 10^{-6}$ m
قطر اتم هیدروژن	۰/۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۱۰۶ m	$1/06 \times 10^{-10}$ m

مثال ۱ـ۱

مقدار بار الکتریکی الکترون $۱۶۰\times۱۰^{-۱۵}\mu C$ است. مقدار این بار را برحسب کولن و با نمادگذاری علمی بنویسید.

پاسخ : با توجه به جدول ۱ـ۶، پیشوند میکرو (μ) برابر $۱۰^{-۶}$ است. به این ترتیب داریم :

$$۱۶۰\times۱۰^{-۱۵}\,\mu C = ۱۶۰\times۱۰^{-۲۱}C = ۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}C$$

پرسش ۱ـ۲

کدام گزینه جرم یک زنبور عسل (۰/۰۰۰۱۵ kg) را به‌صورت نمادگذاری علمی درست بیان می‌کند؟

☐ $۰/۱۵\times۱۰^{-۲}kg$ ☐ $۱/۵\times۱۰^{-۴}kg$ ☐ $۱/۵\times۱۰^{-۵}kg$ ☐ $۱۵\times۱۰^{-۵}kg$

تمرین ۱ـ۲

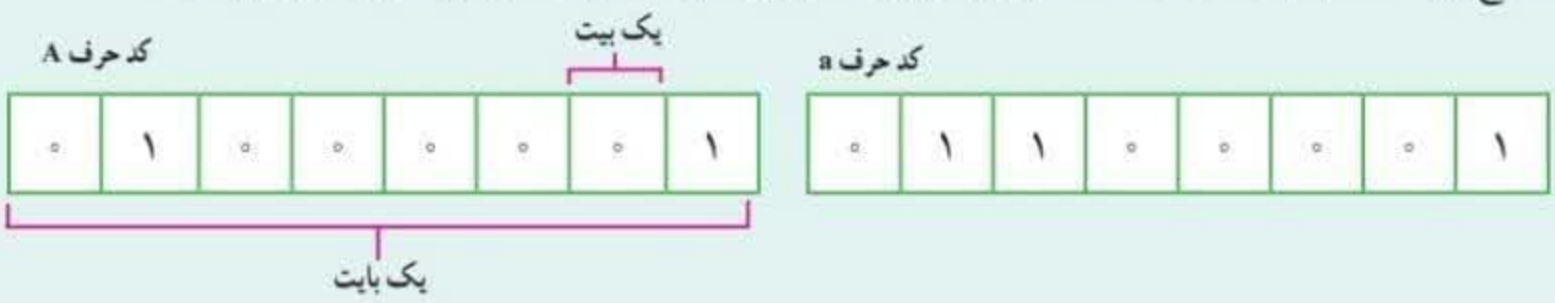
با توجه به پیشوندهای یکاهای SI و نمادگذاری علمی جدول زیر را کامل کنید.

..... μm	..... mm	$۷/۰\times۱۰^{-۶}m$	قطر میانگین یک گویچهٔ (گلبول) قرمز	
..... fm	..... pm	$۱/۱۷\times۱۰^{-۱۲}m$	قطر هستهٔ اتم اورانیوم	
..... mg	..... g	$۱/۰\times۱۰^{-۴}kg$	جرم یک گیرهٔ کاغذ	
..... ns	..... μs	$۱/۰\times۱۰^{-۹}s$	زمانی که نور مسافت ۰/۳ متر را در هوا طی می‌کند.	
..... μs	..... ms	$۱/۰\times۱۰^{-۳}s$	زمانی که صوت مسافت ۰/۳۵ متر را در هوا طی می‌کند.	

خوب است بدانید

یکای پایه یا بنیادی اطلاعات در رایانه و ارتباطات، بیت (bit) است. هر بیت تنها با دو مقدار ۰ و ۱ تعریف می‌شود. این دو مقدار می‌توانند به‌صورت مقدارهای منطقی (درست/ نادرست، آری/ نه)، علائم جبری (−/+) یا حالت‌های راه‌اندازی (روشن/ خاموش) تفسیر شوند.

به دسته‌های ۸ تایی از بیت‌ها، بایت می‌گویند ($۱B = ۸b$). یک بایت می‌تواند نشان‌دهندهٔ یک کاراکتر (یک حرف، یک عدد صحیح بین ۰ تا ۹، یا یک علامت نشانه‌گذاری و غیره) باشد. برای مثال، کد حرف A و a به‌صورت‌های زیر است :



با کمی دقت متوجه می‌شویم که هر بایت می‌تواند ۲۵۶ ترکیب ۸ تایی از صفرها و یک‌ها بسازد که هر کدام نمایندهٔ یک نویسه (کاراکتر) هستند.

پیشوندهای بزرگ‌تر یکای بنیادی اطلاعات به‌صورت کیلوبیت (kb)، مگابیت (Mb)، گیگابیت (Gb)، ترابیت (Tb) و غیره است. بر خلاف پیشوندهای یکای SI که در آن هر کیلو برابر 10^3 است در مبنای دوتایی هر کیلو برابر $1024=2^{10}$ است (جدول روبه‌رو را ببینید).

توجه داشته باشید که ظرفیت ذخیره داده و اطلاعات در حافظه‌های SD، USB، DVD و ... را برحسب پیشوندهایی از بایت (B) اعلام می‌کنند.

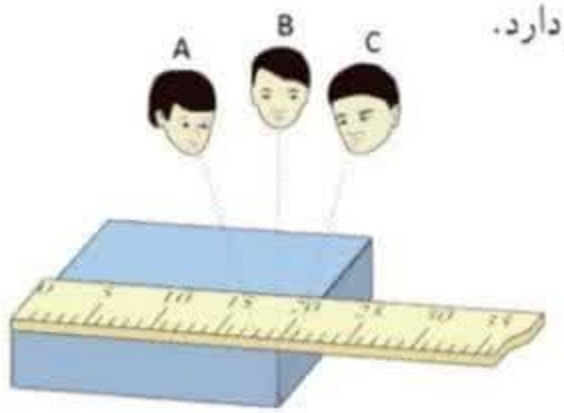
کیلو بیت	2^{10} b = 1024 b = 1 kb
مگا بیت	2^{20} b = 1024 kb = 1 Mb
گیگا بیت	2^{30} b = 1024 Mb = 1 Gb
ترا بیت	2^{40} b = 1024 Gb = 1 Tb
پتا بیت	2^{50} b = 1024 Tb = 1 Pb
اگزا بیت	2^{60} b = 1024 Pb = 1 Eb
زتا بیت	2^{70} b = 1024 Eb = 1 Zb
یوتا بیت	2^{80} b = 1024 Zb = 1 Yb

۱ــ۵ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

در اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی مانند طول، جرم، زمان و ... قطعیت وجود ندارد و همواره مقداری خطا وجود دارد. با انتخاب وسیله‌های دقیق و روش صحیح اندازه‌گیری، تنها می‌توان خطای اندازه‌گیری را کاهش داد، ولی هیچ گاه نمی‌توان آن را به صفر رساند. با وجود این، توجه به عوامل زیر نقش مهمی در افزایش دقت اندازه‌گیری دارد.

۱ــ دقت وسیلهٔ اندازه‌گیری : یکی از عوامل مهم در دقت اندازه‌گیری، دقت و حساسیت وسیلهٔ اندازه‌گیری است. برای مثال، دقت خط‌کشی که تا میلی‌متر مدرج شده، بیشتر از دقت خط‌کشی است که تا سانتی‌متر درجه‌بندی شده است.

۲ــ مهارت شخص آزمایشگر : یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار روی دقت اندازه‌گیری، مهارت‌های شخص آزمایشگر است. یکی از این مهارت‌ها، نحوهٔ خواندن نتیجهٔ اندازه‌گیری است. شکل ۱ــ۸ تأثیر اختلاف منظر در خواندن نتیجهٔ اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. خواندن نتیجهٔ اندازه‌گیری از منظرهای A و C خطا را افزایش می‌دهد در حالی که گزارش شخصی که از منظر B نتیجهٔ اندازه‌گیری را می‌خواند دقت بیشتری دارد.



شکل ۱ــ۸ خطای مشاهده، ناشی از اختلاف منظر، در خواندن و گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری تأثیر مهمی دارد.

دقت ابزارهای اندازه‌گیری مدرج، برابر کمینهٔ درجه‌بندی آن ابزار است. برای مثال، دقت خط‌کشی که کمینهٔ درجه بندی آن مطابق شکل زیر تا میلی‌متر است برابر ۱mm است.

۳ــ تعداد دفعات اندازه‌گیری : برای کاهش خطا در اندازه‌گیری هر کمیت، معمولاً اندازه‌گیری آن را چند بار تکرار می‌کنند. میانگین عددهای حاصل از اندازه‌گیری به‌عنوان نتیجهٔ اندازه‌گیری گزارش می‌شود. البته در میان عددهای متفاوت، اگر یک یا دو عدد اختلاف زیادی با بقیه داشته باشند در میانگین‌گیری به حساب نمی‌آیند (شکل ۱ــ۹).

شکل ۱ــ۹ نتایج اندازه‌گیری شده حول اندازهٔ واقعی. هر نشانهٔ قرمز رنگ، نشان‌دهندهٔ نتیجهٔ یک اندازه‌گیری است.

دقت اندازه‌گیری در ابزارهای رقمی (دیجیتال)، برابر یک واحد از آخرین رقمی است که آن ابزار می‌خواند. برای مثال، آخرین رقمی که دماسنج شکل زیر نشان می‌دهد $0/2\ ^\circ C$ و دقت آن $0/1\ ^\circ C$ است.

فعالیت ۱ــ۴

الف) آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان جرم و حجم یک قطره آب را اندازه‌گیری کرد.

ب) تکه‌ای سیم لاکی نازک یا نخ قرقره به طول تقریبی یک متر تهیه کنید. آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک یک خط‌کش میلی‌متری بتوان قطر این سیم یا نخ را اندازه‌گیری کرد.

خوب است بدانید

تفاوت دقت و درستی : دقت همواره به معنای صحت و درستی نیست. برای مثال، یک ساعت رقمی معمولی که ۱۰ :۳۵ :۱۷ را نشان می‌دهد بسیار دقیق است (زمان را تا ثانیه اعلام می‌کند)، ولی اگر این ساعت چند دقیقه آهسته کار کند، دیگر مقداری که نشان می‌دهد درست نیست. از سوی دیگر، یک ساعت قدیمی دیواری ممکن است زمان صحیح را نشان دهد، ولی اگر این ساعت عقربهٔ ثانیه‌شمار نداشته باشد دقت آن کم است. اندازه‌گیری‌های با کیفیت بالا نظیر اندازه‌گیری‌هایی که برای تعریف استانداردها صورت گرفته‌اند هم دقیق و هم درست‌اند. برای درک بهتر تفاوت دقت و درستی، به مثالی از بازی پرتاب دارت توجه کنید. در شکل (الف)، دقت و درستی، در شکل (ب) تنها دقت و در شکل (پ) نه دقت و نه درستی وجود دارد.

(الف) (ب) (پ)