

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَّآلِ مُحَمَّدٍ وَّعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



# فیزیک

شاخه فنی و حرفه‌ای و کاردانش

دوره دوم متوسطه

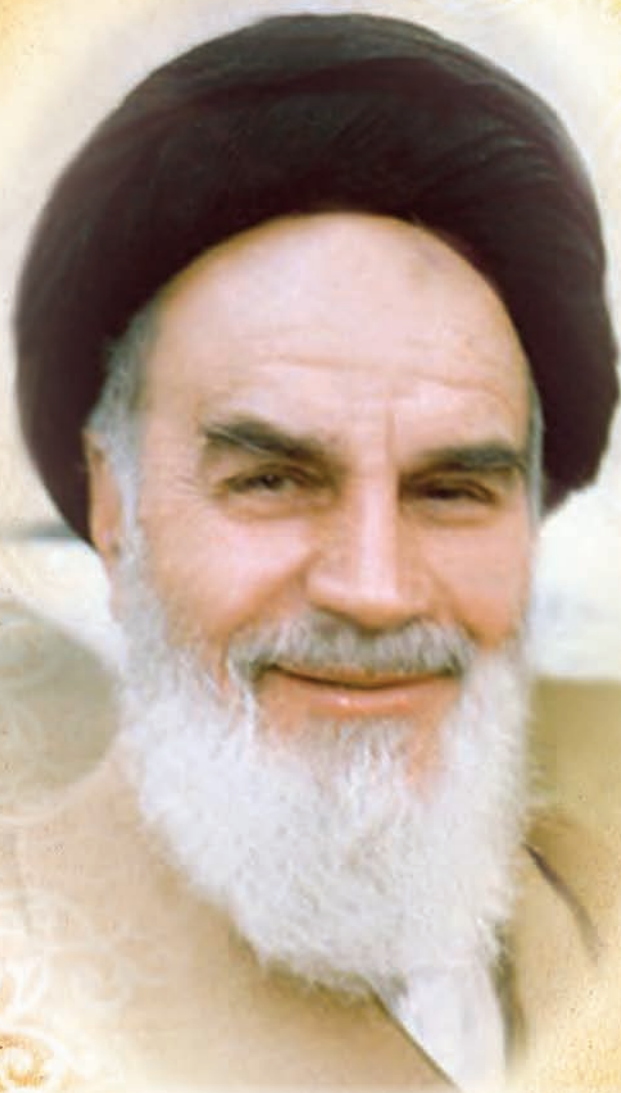


وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



- نام کتاب: فیزیک - ۲۱۰۱۴۶
- پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
- شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: افشار بهمنی، مجتبی جهانی‌فر، مریم رحمانی بلداجی، نسرین طاهری اصغری، محمدرضا فرخ‌نیا و محمد نوروزخانی (اعضای شورای برنامه‌ریزی و گروه تألیف) - حسین داوودی (ویراستار)
- مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
- شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) - راحله زادفتح‌اله (صفحه‌آرا) - فاطمه رئیس‌یان فیروزآباد (رسم)
- نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
- تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
- وب‌گاه: [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir) و [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)
- ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)
- تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹-۳۷۵۱۵
- چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
- سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ پنجم ۱۳۹۹

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



ما باید زحمت بکشیم تا در همهٔ جناح‌ها خودکفا باشیم. امکان ندارد که استقلال به‌دست بیاید، قبل از اینکه استقلال اقتصادی داشته باشیم. اگر ما بنا باشد که در اقتصاد احتیاج داشته باشیم، در چیزهای دیگر هم وابسته خواهیم شد و همین‌طور اگر در فرهنگ، ما وابستگی داشته باشیم، در اساس مسائل وابستگی پیدا می‌کنیم.

امام خمینی «قُدَسَ سِرُّهُ»



## فصل ۱- فیزیک و اندازه‌گیری

۲	۱-۱ فیزیک چیست؟
۳	۱-۱-۱ اهمیت اندازه‌گیری در علم فیزیک
۴	۲-۱ کمیت‌های فیزیکی و یکاها
۶	۱-۲-۱ کمیت‌ها و یکاهای اصلی
۸	۲-۲-۱ کمیت‌ها و یکاهای فرعی
۹	۳-۲-۱ تبدیل یکاها و پیشوندها
۱۲	۴-۲-۱ نمادگذاری علمی
۱۳	۳-۱ اندازه‌گیری کمیت‌ها
۱۵	۱-۳-۱ وسایل اندازه‌گیری
۱۷	۴-۱ کمیت‌های برداری و نرده‌ای
۱۸	۱-۴-۱ نمایش کمیت‌های برداری
۲۰	۲-۴-۱ قواعد جمع برداری
۲۴	جمع‌بندی - نقشه مفهومی
۲۵	چندپرسش و چند مسئله
۲۷	پروژه پایانی

## فصل ۲- مکانیک

۳۱	۱-۲ حرکت
۳۳	۲-۲ نمودار مسیر حرکت و مفهوم سرعت
۳۴	۳-۲ تعادل اجسام
۳۵	۱-۳-۲ قانون اول نیوتن دربارهٔ حرکت اجسام
۳۷	۲-۳-۲ حرکت یکنواخت
۳۹	۴-۲ حرکت غیریکنواخت اجسام
۴۰	۱-۴-۲ قانون دوم نیوتن
۴۳	۵-۲ نیروهای کنش و واکنش
۴۳	۱-۵-۲ قانون سوم نیوتن
۴۴	۶-۲ معرفی چند نیرو
۴۴	۱-۶-۲ نیروی گرانش و نیروی وزن
۴۵	۲-۶-۲ نیروی عمودی تکیه گاه
۴۷	۳-۶-۲ نیروی اصطکاک
۵۰	جمع‌بندی - نقشه مفهومی



۵۱	چندپرسش و چند مسئله
۵۲	پروژه پایانی

### فصل ۳- حالت‌های ماده و فشار

۵۴	۱-۳ حالت‌های مختلف ماده
۵۶	۲-۳ مواد در مقیاس نانو
۵۷	۳-۳ چگالی
۵۹	۴-۳ مفهوم فشار
۶۰	۵-۳ فشار شاره‌ها
۶۱	۱-۵-۳ محاسبه اختلاف فشار دو نقطه در مایع ساکن
۶۲	۲-۵-۳ فشار هوا
۶۲	۳-۵-۳ آزمایش تورپچی
۶۴	۴-۵-۳ محاسبه فشار در یک نقطه در داخل شاره
۶۶	۵-۵-۳ اصل پاسکال
۶۹	جمع بندی - نقشه مفهومی
۷۰	چندپرسش و چند مسئله
۷۱	پروژه پایانی

### فصل ۴- دما و گرما

۷۴	۱-۴ دما
۷۴	۱-۱-۴ مفهوم دما
۷۴	۲-۱-۴ اندازه گیری دما
۷۵	۳-۱-۴ مقیاس‌های دما
۷۷	۲-۴ گرما
۷۷	۱-۲-۴ مفهوم گرما
۷۷	۲-۲-۴ محاسبه مقدار گرما
۸۰	۳-۴ انتقال گرما
۸۰	۱-۳-۴ رسانش گرمایی
۸۱	۲-۳-۴ محاسبه آهنگ رسانش گرمایی
۸۳	۳-۳-۴ همرفت
۸۴	۴-۳-۴ تابش
۸۴	۴-۴ انبساط گرمایی

۸۵	۱-۴-۴ تأثیر گرما بر اندازه مواد
۸۶	۲-۴-۴ محاسبه مقدار انبساط
۸۸	جمع بندی - نقشه مفهومی
۸۹	چندپرسش و چند مسئله
۹۰	پروژه پایانی

## فصل ۵- جریان و مدارهای الکتریکی

۹۳	۱-۵ الکترون آزاد
۹۳	۲-۵ شدت جریان الکتریکی
۹۶	۳-۵ مدار الکتریکی
۹۶	۴-۵ اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولتاژ)
۹۸	۵-۵ مقاومت الکتریکی
۹۸	۱-۵-۵ قانون اهم
۱۰۰	۲-۵-۵ عوامل مؤثر بر مقاومت رساناهای فلزی در دمای ثابت
۱۰۲	۳-۵-۵ انواع مقاومت
۱۰۵	۶-۵ انرژی الکتریکی مصرفی
۱۰۵	۱-۶-۵ توان مصرفی
۱۰۶	۷-۵ نحوه به هم بستن مقاومت ها
۱۰۶	۱-۷-۵ به هم بستن سری
۱۰۸	۲-۷-۵ به هم بستن موازی
۱۱۰	جمع بندی - نقشه مفهومی
۱۱۱	چندپرسش
۱۱۲	چند مسئله
۱۱۲	پروژه عملی
۱۱۴	لغت نامه
۱۱۶	منابع

### سخنی با دبیران محترم

علم تجربی حاصل تلاش انسان برای درک دنیای اطراف و دانشی آزمودنی است که با ظهور شواهد و دلایل جدید در معرض تغییر قرار گرفته است و از گستره وسیعی از روش‌های تحقیق بهره می‌برد. در حوزه علوم پایه، اندیشمندان مسلمان، مباحثی را بنیان‌گذاری نمودند که نشان از اهمیت آن دارد. علوم پایه نظری، بنیان و ارکان تمامی شاخه‌های دانش بشری و رشته‌های دانشگاهی محسوب می‌شود. بسیاری از دانشگاه‌های کشورهای توسعه یافته سالانه با بهره‌جویی از علوم پایه، زمینه‌های توسعه را در قلمرو صنعتی، علمی و فنی به وجود آورده و توانسته‌اند با بهره‌مندی از این حوزه، شاخص تولید علم را توسعه دهند.

از نظر بیشتر کارشناسان و نخبگان علمی کشور توجه به اهمیت و جایگاه علوم پایه است که تولید علم را برای کشور در پی خواهد داشت. این امر زمانی میسر می‌شود که جایگاه واقعی خود را در نظام آموزشی پیدا کند و اصلاحات جدی در شیوه‌ها و روش‌های یاددهی - یادگیری و تکنیک‌های آموزشی و نیز استفاده از ابزار و تجهیزات آزمایشگاهی در این دروس انجام شود.

در چارچوب ایده والای «نهضت تولید علم» که از سوی رهبر فرزانه انقلاب اسلامی مطرح شده است، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش خوشه دروس شایستگی‌های پایه فنی را در برنامه‌های درسی رشته‌های فنی و مهارتی طراحی و محتوای بسته یادگیری آن را تولید نمود. درس فیزیک از جمله دروس این خوشه می‌باشد که برنامه درسی آن برای رشته‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش طراحی و تدوین شده است. بسته یادگیری درس فیزیک شامل کتاب درسی برای هنرجویان عزیز و کتاب راهنمای معلم برای دبیران محترم می‌باشد. محتوای کتاب با مثال‌ها و فعالیت‌های کاربردی و هنرجومحور، فعال و متناسب با رشته‌های فنی و مهارتی توسط مؤلفان گروه فیزیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش طراحی و تدوین شده است.



یادگیری علوم تجربی، بینش عمیق نسبت به درک دنیای اطراف و زمینه ساز شکر خالق متعال از طریق فهم عظمت خلقت خواهد بود. به فرموده رهبر فرزانه انقلاب اسلامی ایران : وقتی به دنیا که نگاه می‌کنیم، می‌بینیم آن چیزی که کشورهای پیشرفته را توانسته به این اوج و قله برساند، ریاضی، فیزیک، شیمی و علوم زیستی است؛ لذا اهمیت و جایگاه این دروس را مشخص و مبرز می‌کند؛ علوم کاربردی را نمی‌شود از قلم انداخت، باید به آن اهمیت داد لکن اساس کار، علوم پایه است. علوم پایه عنصر اصلی در پیمودن مسیر ما به سمت قله افتخار و عزت علمی کشور است و برای رسیدن به آن روز باید به گونه‌ای علوم پایه را گسترش بدهیم که دانستن علوم مثل ریاضیات، فیزیک و شیمی به یک عرف تبدیل شود. کتاب پیش‌رو از مجموعه خوشه دروس شایستگی‌های پایه فنی است که در برنامه درسی رشته شما طراحی و تألیف شده است. درس فیزیک یکی از این شایستگی‌های پایه فنی است که برای شما هنرجوی عزیز برنامه‌ریزی شده است. و بسته آموزشی آن شامل کتاب درسی و فیلم آموزشی و کتاب کار است.

## اهداف فعالیت‌ها

**الف) تصویر اول فصل:** هر فصل با نمایش تصویری از کاربردهای مرتبط با موضوع آن فصل شروع می‌شود. هدف آن، درگیر کردن دانش‌آموزان با موضوع فصل و ایجاد انگیزه در آنها است. برای رسیدن به این اهداف، تشویق دانش‌آموزان برای بیشتر دانستن و پرورش مهارت مشاهده در آنها، پرسش‌هایی مطرح شده است که هنرجویان باید در قالب فعالیت گروهی به آنها پاسخ دهند. با تلفیق پرسش‌های هنرجویان با این گونه پرسش‌ها می‌توان آنها را به بحث و گفتگو واداشت. شما می‌توانید از تصاویر مناسب دیگری نیز استفاده کنید؛ به این طریق از دانسته‌های قبلی هنرجویان آگاه می‌شویم و آنها را برای یادگیری موضوع مورد نظر آماده می‌کنیم.

**ب) فکر کنید:** این گونه پرسش‌ها برای مشارکت هرچه بیشتر هنرجویان در فرایند یاددهی - یادگیری در نظر گرفته شده است. لذا شایسته است برای آشنا شدن با دانش جدید، استفاده از شبکه‌های اطلاعاتی، افزایش خلاقیت، افزایش قدرت استدلال، ایجاد انگیزه، درگیر کردن هنرجویان با موضوع درسی و ایجاد حس همکاری در دانش‌آموزان حتماً این بخش‌ها مورد توجه همکاران گرامی قرار گیرد.

**پ) بیشتر بدانید:** برای آشنایی بیشتر هنرجویان با برخی از موضوعات مرتبط با بخش، این قسمت‌ها تدارک دیده شده است. ذکر این نکته قابل توجه است که ارزشیابی از این مباحث انجام نمی‌شود.

**ت) تمرین کنید:** برای افزایش مهارت هنرجویان در حل مسئله و افزایش قدرت استدلال آنها، این بخش‌ها تدارک دیده شده است.

**ث) دانسته‌های قبلی:** این قسمت که توسط آیکنی مشخص گردیده، دانسته‌های قبلی هنرجویان که در پایه‌های تحصیلی پایین‌تر مطرح شده و مرتبط با بحث است، برای یادآوری آورده شده است.

**ج) نکته:** برای برجسته‌نمودن بعضی از مباحث مهم و گاهی جلوگیری از کج‌فهمی‌های هنرجویان، بعضی از نکات قابل توجه، تحت عنوان «نکته» ارائه گردیده است.




**چ) آزمایش کنید:** قسمت عمده‌ای از یادگیری توسط انجام دادن آزمایش و کارهای عملی صورت می‌گیرد. لذا این فعالیت هم باید به طور عملی در آزمایشگاه و توسط هنرجویان در گروه‌های آنها انجام گیرد و هم در صورت دسترسی به رایانه، و نرم افزارهای مربوطه به طور مجازی انجام شود.

**ح) تجربه کنید:** این بخش‌ها به منظور هدایت هنرجویان برای کسب مهارت‌های عملی ارائه گردیده است. تفاوت این بخش با بخش آزمایش کنید در این است که هنرجو با خلاقیت خود مواد و وسایل لازم را تدارک دیده و کار عملی انجام می‌دهد.

خ) کاربرد در صنعت: از آنجا که هدف این کتاب آموزش مفاهیمی است که هنرجو را با دنیای واقعی خود ارتباط دهد، قرار دادن این بخش به هنرجویان کمک می‌کند تا ارتباط آموزش‌های خود را با دنیای اطراف برقرار نمایند.

د) پروژه انتهایی فصل: در پایان هر فصل به منظور هدایت هنرجویان به انجام کار عملی و افزایش حس کار گروهی، پروژه‌های عملی طراحی گردیده است. لازم به ذکر است که انجام هر کدام از این پروژه‌ها در ارزشیابی تأثیر دارد.

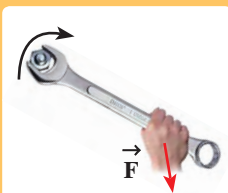
#### راهنمای استفاده از آیکون‌ها

رجوع به سی دی و مشاهده کتاب و یا فصل مرتبط با متن که در سال‌های گذشته هنرجو با آنها آشنا شده است.	
رجوع به سی دی و مشاهده فیلم‌های آموزشی مربوط به آن موضوع	
رجوع به سی دی و اجرای آزمایشگاه مجازی مربوط به آن موضوع، شبیه سازی مسئله مورد بحث	



# فصل اول

## فیزیک و اندازه‌گیری



کمیت‌های برداری و نرده‌ای



آشنایی با وسایل اندازه‌گیری و مفاهیم مرتبط با آنها



کمیت‌های اصلی و فرعی

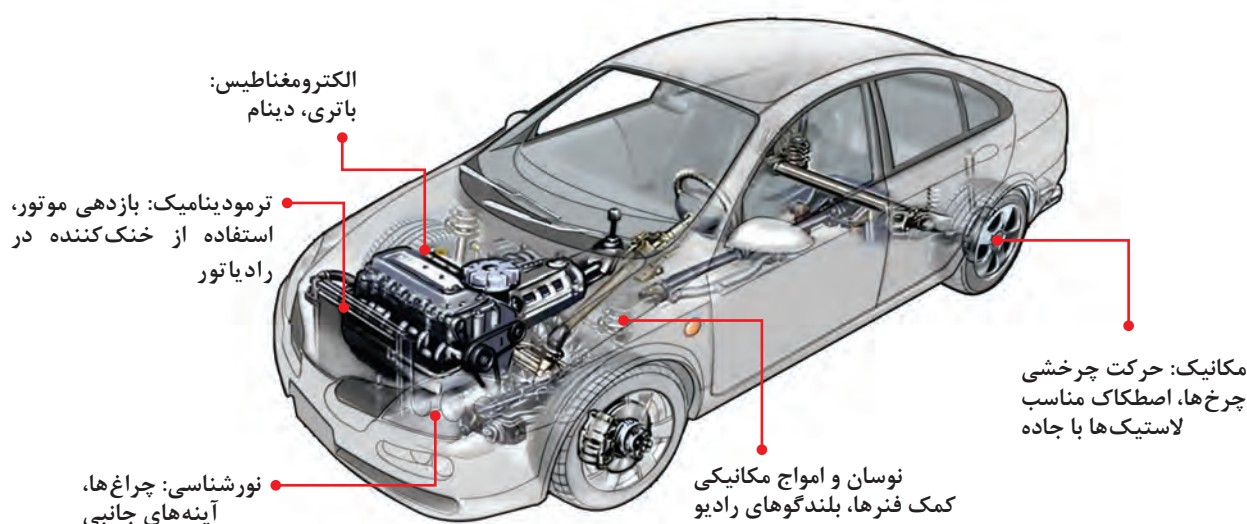


علم فیزیک و اهمیت اندازه‌گیری

## ۱-۱ فیزیک چیست؟

بسیاری از افراد تصور می‌کنند علم فیزیک، علمی پیچیده و دشوار است و با زندگی واقعی آنها هیچ ارتباطی ندارد. البته شاید این تصور ناشی از آن باشد که بسیاری از دانشمندان مشهور این حوزه، با استفاده از ابزارهای پیچیده، در خصوص مفاهیمی همچون ساختار جهان و یا ذرات بسیار کوچک درون اتم‌ها مطالعه و پدیده‌های مورد مشاهده خود را اندازه‌گیری می‌کنند.

اما باید قبول کرد که همه پدیده‌های پیرامون شما را می‌توان با استفاده از علم فیزیک مورد بررسی قرار داد. اگر به معنای لغوی این علم دقت کنیم، واژه فیزیک برگرفته از واژه یونانی *Physis* به معنای **طبیعت** است. همان گونه که از معنای این واژه نیز مشخص است، هدف اصلی علم فیزیک این است که با استفاده از تعداد اندکی مفاهیم پایه، معادلات و فرضیات، طبیعت پیرامون بشر را توصیف نماید. در واقع با استفاده از اصول و قوانین موجود در علم فیزیک، می‌توان در مورد گستره وسیعی از پدیده‌ها، به پیش‌بینی‌های دقیق پرداخت و از آنها در ساخت ابزار و وسایلی که لازمه زندگی انسان‌هاست، استفاده نمود. برای مثال شما با مشاهده شکل ۱-۱ متوجه خواهید شد که چگونه حوزه‌های مختلف این علم در ساخت یک خودرو تأثیرگذار بوده است.



**شکل ۱-۱** در ساخت یک خودرو، حوزه‌های مختلفی از علم فیزیک کاربرد دارند.



**شکل ۲-۱** ناوچه دماوند (جماران ۲)

ما در زندگی روزمره خود با انواعی از قوانین و اصول فیزیکی مواجه‌ایم و به همین دلیل است که بسیاری از افراد در مورد این علم بیش از آنچه که تصور می‌کنند، اطلاعات دارند. برای مثال هنگامی که شما بستنی را در فریزر یخچال می‌گذارید، به خوبی از این قانون فیزیک مطلع هستید که اگر بستنی را به مدت طولانی در فضای اتاق نگه دارید، ذوب خواهد شد!

طراحان کشتی‌ها، ناوچه‌های جنگی (شکل ۲-۱) و قایق‌ها نیز، به استفاده از قوانین فیزیک در مورد شاره‌ها (فصل ۳ همین

کتاب) نیاز دارند. آنها می‌کوشند تا با استفاده از اصول و قوانین این حوزه، کشتی‌ها و قایق‌ها را به گونه‌ای بسازند که به راحتی بر روی آب شناور شوند و بتوانند به بهترین و سریع‌ترین شکل ممکن بر روی آب حرکت کنند.



در واقع شاخه‌های مختلف علم فیزیک، بازخوانی و کشف برخی از حقایق و قوانین است، که خداوند حکیم برای بندگانش در طبیعت خلق کرده است.

**۱-۱ اهمیت اندازه‌گیری در علم فیزیک:** فیزیک‌دان‌ها برای بررسی فرضیات خود در مورد این موضوع که تغییرات یک متغیر در یک حالت ویژه، چگونه متغیر دیگری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، دست به انجام آزمایش می‌زنند و برای آنکه فرایند آزمایش و نتایج آن از لحاظ علمی قابل قبول باشد، لازم است در حین اجرای این آزمایش‌ها دست به اندازه‌گیری‌های عددی بزنند.



الف) اندازه‌گیری قطر یک قطعه توسط ریزسنج (میکرومتر)



ب) اندازه‌گیری فشار هوای درون لاستیک خودرو



ج) دستگاه اسیدسنج خاک

اندازه‌گیری‌های عددی با اعدادی که شما در کلاس‌های ریاضی با آنها روبه‌رو می‌شوید، متفاوت هستند. در ریاضیات، از عددی مانند ۷ می‌توان به‌تنهایی یا در درون یک معادله به‌راحتی استفاده نمود ولی در علم فیزیک، اندازه‌گیری چیزی فراتر از یک عدد است. برای مثال همان‌طور که در شکل آغازین فصل آمده است، اگر شما بگویند که نتیجه یک اندازه‌گیری ۱۰۰ است، این گفته باعث به‌وجود آمدن سؤالات بسیاری در ذهن شنونده خواهد شد. چه کمیت فیزیکی (طول، جرم، زمان و ...) را اندازه‌گیری کرده‌اید؟ اگر پاسخ شما کمیت طول است در این صورت یکای اندازه‌گیری شما چه بوده است؟ (متر، فوت، اینچ و ...).

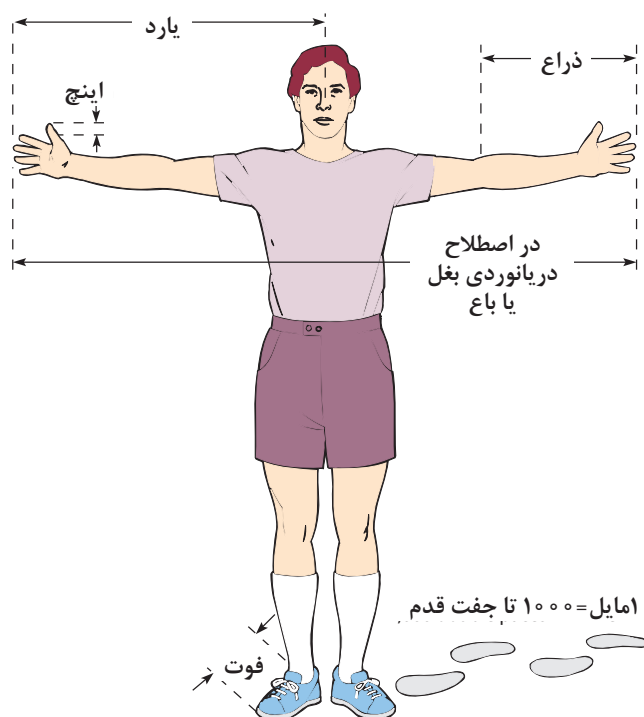
همه ما می‌دانیم که نیازهای آدمی از طریق ارتباط با محیط و دادوستد با یکدیگر برآورده می‌شود. ارتباط با محیط و جامعه از راه حواس صورت می‌گیرد، از جمله هنگامی که اجسام را می‌بینیم، آنها را لمس می‌کنیم و از بو و مزه آنها آگاه می‌شویم و همچنین صداهای اطراف را می‌شنویم. به بیان دیگر اطلاعاتی که ما از پیرامون خود به‌دست می‌آوریم، در اثر مقایسه اجسام با یکدیگر حاصل می‌شود. رنگ اجسام، زبری، نرمی، کوتاهی، بلندی، دوری، نزدیکی، سردی، گرمی، شیرینی، تلخی و بسیاری از اطلاعات دیگر از راه مقایسه آنها با هم یا مقایسه آنها با مجموعه‌ای از اجسام و استانداردهای مشخص و معین صورت می‌گیرد.

به‌طور کلی مقایسه‌ای را که نتیجه آن به‌دست آوردن عدد باشد، **اندازه‌گیری می‌نامند**. اندازه‌گیری در حیات انسان نقش مهمی دارد. اندازه‌گیری اساس کارهای صنعتی، علمی و پژوهشی است. در

کشاورزی دانستن زمان کاشت، مقدار بذر، سطح زیر کشت و دوره‌های آبیاری اهمیت دارد. هر قدر که هر یک از این کمیت‌ها مشخص‌تر و دقیق‌تر باشند، بهره‌وری بیشتر خواهد شد. در کارهای مهندسی و فنی نیز با اندازه‌گیری قطر پیچ و مهره‌ها، فشار هوای درون لاستیک اتومبیل، نیروی کشش قطارها و ... سر و کار داریم و در کارهای علمی و پژوهشی به اندازه‌گیری دنیای بی‌نهایت کوچک درون اتم و سلول تا دنیای بی‌نهایت بزرگ جهان می‌پردازیم (شکل ۱-۳).



در گذشته انسان‌ها کمیت‌هایی را که به‌طور مستقیم با آنها سروکار داشتند (مانند طول)، با مقایسهٔ مستقیم آنها با اعضای بدن خود مانند دست، پا و ... اندازه‌گیری می‌کردند، در واقع اعضای بدن آنها نقش استاندارد و وسیله اندازه‌گیری را ایفا می‌نمود (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱ نمونه‌هایی از یکاهای قدیمی طول

با تشکیل گروه‌هایی از هم‌کلاسی‌های خود، در مورد مشکلات اندازه‌گیری توسط اعضای بدن در زمان قدیم بحث و تبادل نظر کنید و در نهایت، نتیجه را در قالب یک گزارش یک صفحه‌ای به دبیر خود ارائه دهید.

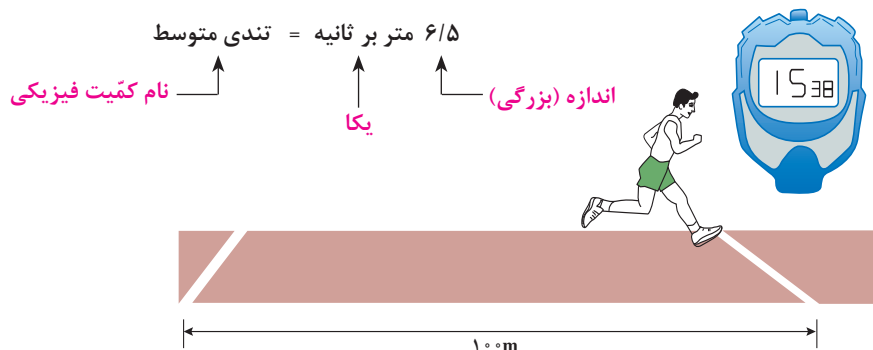
فکر کنید



## ۲-۱ کمیت‌های فیزیکی و یکاها

همان‌گونه که در بخش ۱-۱-۱ آموختیم، فیزیک علمی تجربی است. تجربه‌ها (آزمایش‌ها) نیازمند اندازه‌گیری هستند و عموماً برای توصیف نتایج اندازه‌گیری‌ها از اعداد استفاده می‌کنیم. در نتیجه کمیت‌های فیزیکی، ویژگی‌های فیزیکی مربوط به یک پدیده، جسم و یا ماده هستند که از طریق اندازه‌گیری و آزمایش می‌توان به آنها عدد نسبت داد. برای مثال، دو کمیت فیزیکی که از ویژگی‌های فیزیکی شما به حساب می‌آیند، وزن و ارتفاع (قد) شما هستند. در این میان برخی از کمیت‌های فیزیکی هستند که از طریق نحوه محاسبه آنها توسط دیگر کمیت‌های قابل اندازه‌گیری تعریف می‌شوند. برای مثال، همان‌گونه که از **علوم تجربی پایه نهم** به یاد دارید، تندی متوسط از تقسیم کمیت فیزیکی مسافت پیموده شده به زمان صرف شده به دست می‌آید و آن را مسافت پیموده شده در واحد زمان تعریف می‌کنند.

باید توجه داشت که هر کمیت فیزیکی متشکل از دو بخش، یعنی اندازه و یکای مربوط به آن کمیت است. به عنوان مثال در شکل ۵-۱ هنگامی که گفته می‌شود تندی متوسط دونده ۶/۵ متر بر ثانیه است، داریم:



شکل ۵-۱ محاسبه تندی متوسط دونده

یکای هر کمیت، مقدار معین و ثابتی از همان کمیت است.

نکته



شکل ۶-۱ استاندارد کیلوگرم فلزی از جنس پلاتین-ایریدیوم می‌باشد که به صورت قراردادی جرم آن را معادل ۱ کیلوگرم تعریف کرده‌اند.

در اندازه‌گیری هر کمیت، اندازه آن را با اندازه یکای همان کمیت مقایسه می‌کنند، تا مشخص شود که اندازه و بزرگی آن چند برابر یکایش است.

نتیجه این مقایسه عددی است که اندازه (مقدار یا بزرگی) آن کمیت نام دارد. برای مثال یکی از یکاهای مرسوم اندازه‌گیری جرم، کیلوگرم است. در تمام دنیا برای تعریف یک کیلوگرم، استاندارد را تعریف نموده‌اند (شکل ۶-۱). در نتیجه تمامی اندازه‌گیری‌هایی که با مقایسه جرم جسم با جرم این استاندارد صورت می‌پذیرد بر حسب یکای کیلوگرم گزارش می‌شوند. هنگامی که گفته می‌شود جرم یک هنرجو ۶۰ کیلوگرم است، یعنی جرم آن ۶۰ برابر جرم استاندارد تعیین شده برای یکای کیلوگرم است.

با تشکیل گروه‌هایی سه نفره از هم کلاسی‌های خود و مشورت با یکدیگر به این سؤال پاسخ دهید که استاندارد تعیین شده برای اندازه‌گیری یک کمیت، چه ویژگی‌هایی باید داشته باشد؟

فکر کنید



اکنون، پس از آشنایی با تعریف دقیق کمیت‌ها در فیزیک، اگر به دوره اول متوسطه بازگردید، متوجه خواهید شد که در درس علوم تجربی با کمیت‌های مختلفی چون طول، جرم، زمان، چگالی، سرعت و ... آشنا شده‌اید. همان گونه که می‌دانید، در پیرامون ما کمیت‌های قابل اندازه‌گیری بسیاری وجود دارد که اگر بخواهیم تمامی آنها را جمع‌آوری کنیم به رقمی بیش از ۱۰۰ کمیت فیزیکی خواهیم رسید و در نتیجه برای

تعیین و اندازه‌گیری هر یک از آنها نیز باید بیش از ۱۰۰ یکای ویژه تعیین کنیم، که عملاً کاری سخت و شاید امکان‌ناپذیر باشد. ولی همان‌طور که در ابتدای بحث آمد، برخی از کمیت‌های فیزیکی هستند که وابسته به کمیت‌های فیزیکی دیگرند (به‌عنوان مثال چگالی که از تقسیم کمیت فیزیکی جرم به حجم به‌دست می‌آید). فیزیک‌دان‌ها بر اساس این واقعیت، کمیت‌های فیزیکی را به دو دسته کلی **کمیت‌های اصلی و فرعی** تقسیم کرده‌اند که در ادامه با آنها آشنا خواهید شد.

بیشتر بدانید



نماد علمی کمیت‌ها، معمولاً بر اساس حرف اول نام لاتین آنهاست. به‌عنوان مثال برخی از کمیت‌های فیزیکی که در این کتاب با آنها آشنا خواهید شد در جدول زیر آمده است:

نماد	نام لاتین کمیت	کمیت	نماد	نام لاتین کمیت	کمیت
V	Volume	حجم	L	Length	طول
$\rho$	Density	چگالی	m	mass	جرم
v	Velocity	سرعت	t	time	زمان
a	acceleration	شتاب	T	Temperature	دما
F	Force	نیرو	I	Current Intensity	شدت جریان الکتریکی
W	Weight	وزن	R	Resistance	مقاومت الکتریکی
P	Pressure	فشار	V	Voltage	اختلاف پتانسیل الکتریکی
Q	Thermal Energy	انرژی حرارتی	A	Area	مساحت

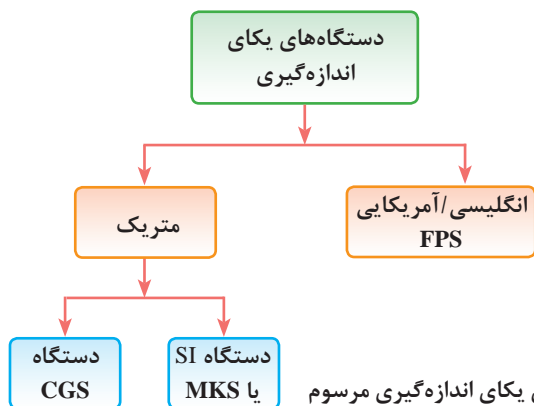
**۱-۲-۱ کمیت‌ها و یکاهای اصلی: کمیت‌های اصلی** مجموعه‌ای از کمیت‌های مستقل فیزیکی هستند که دیگر کمیت‌ها به کمک آنها به‌دست می‌آیند. با توجه به این تقسیم‌بندی، فیزیک‌دان‌ها، هفت کمیت فیزیکی را در قالب کمیت‌های اصلی در نظر گرفته‌اند و یکای مرتبط با آنها را **یکاهای اصلی** نامیده‌اند. شما در کتاب‌های **علوم تجربی دوره اول متوسطه** با برخی از آنها همچون طول، جرم، زمان، دما آشنا شده‌اید. باید در نظر داشت که نکته مهم در تعیین کمیت‌های اصلی انتخاب یک استاندارد مناسب برای اندازه‌گیری این کمیت‌ها است، زیرا در دنیای علم و ارتباطات یکی از ملزومات اصلی برای برقراری رابطه میان افراد و دادوستدهای معنی‌دار، وجود یک قرارداد و استاندارد مناسب میان افراد است که حوزه اندازه‌گیری در علم نیز نیازمند این قراردادهای استاندارد و جهان شمول است.



با گروه‌هایی از هم‌کلاسی‌های خود، راجع به اهمیت تعیین یکا و استاندارد در علم اندازه‌گیری بحث کنید و با در نظر گرفتن محیط زندگی، آموزشگاه، کارگاه‌ها و ... به چند مورد از مشکلات ناشی از نداشتن یکا و استاندارد یکسان در اندازه‌گیری اشاره نمایید.

فکر کنید





شکل ۷-۱ دستگاه‌های یکای اندازه‌گیری مرسوم

به این منظور و هم‌زمان با پیشرفت روزافزون مطالعات در علم، نیاز به داشتن یک دستگاه بین‌المللی یکاها شدت گرفت؛ دستگاهی متشکل از یکاهای کمیت‌های فیزیکی که بتوان به آنها در همهٔ جهان استناد نمود. در نتیجهٔ این نیاز، دو دستگاه رایج را برای بیان یکاهای اندازه‌گیری معرفی نمودند، که در شکل ۷-۱ آمده است.

بیشتر بدانید



برای نام‌گذاری این دستگاه‌ها، ابتدای نام یکاهای سه کمیت اصلی طول، جرم و زمان درون آن دستگاه به ترتیب از چپ به راست استفاده شده است. به عنوان مثال در دستگاه انگلیسی آمریکایی، جهت نام‌گذاری از حرف ابتدای نام یکاهای اندازه‌گیری طول، جرم و زمان در این دستگاه استفاده نموده است:

FPS: Foot/Pound/ Second

و یا در دستگاه‌های دیگر داریم:

MKS: Meter/Kilogram/Second

CGS: Centimeter/Gram/Second

از میان دستگاه‌های معرفی شده و بر اساس دو ویژگی مهم و اساسی، دستگاه بین‌المللی یکاها (SI)<sup>۱</sup> مورد اقبال و پذیرش همگانی قرار گرفت. اولین ویژگی این دستگاه این است که اندازهٔ کمیت‌های فیزیکی در آن را می‌توان بر اساس **توان‌هایی بر پایهٔ ۱۰** اندازه‌گیری کرد و ارائه داد. دیگر اینکه در این دستگاه، مجموعه‌ای سازماندهی شده از **پیشوندها** برای نمایش اندازه کمیت‌های مختلف فیزیکی فراهم گردیده است که در بخش ۱-۲-۳ به آن اشاره می‌کنیم.<sup>۲</sup>

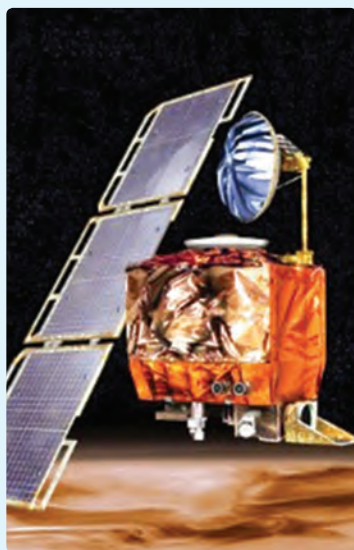
دستگاه بین‌المللی یکاها در سال ۱۹۶۰ در یازدهمین کنفرانس بین‌المللی اوزان و اندازه‌ها تصویب گردید و نام اختصاری آن در تمام جهان «SI» نامیده شد. در این دستگاه، که بر اساس ۷ کمیت اصلی پایه‌ریزی گردیده، برای هر یک از این ۷ کمیت یک یکا و یک استاندارد (همانند شکل ۱-۶) تعریف شده است. در جدول ۱-۱ با یکای برخی از مهم‌ترین کمیت‌های اصلی مورد بحث در این کتاب در دستگاه بین‌المللی یکاها آشنا خواهید شد.

جدول ۱-۱ یکاهای کمیت‌های اصلی در دستگاه بین‌المللی یکاها (SI)

نام کمیت و نماد	یکای آن در SI	نماد یکا
طول (L)	متر	m
جرم (m)	کیلوگرم	kg
زمان (t)	ثانیه	s
دما (T)	کلوین	K
شدت جریان الکتریکی (I)	آمپر	A

۱- System International

۲- در کتاب ریاضی پایه دهم با دستگاه انگلیسی/آمریکایی بیشتر آشنا خواهید شد.



در سال ۱۹۹۸ میلادی کاوشگری با نام Mars Climate Orbiter، با مأموریت تحقیق بر روی آب و هوا و تعیین مقدار دی اکسید موجود در جو مریخ و همچنین بررسی وجود آب در این سیاره به فضا فرستاده شد اما این کاوشگر هنگامی که می‌خواست در مدار خود قرار بگیرد، در اتمسفر مریخ بسیار پایین آمد و سقوط کرد.

علت این حادثه نقص فنی کاوشگر نبود. بلکه تفاوت در دستگاه‌های اندازه‌گیری سازندگان این وسیله، باعث این سقوط گردید. در واقع یکی از پیمانکاران که در ساخت این کاوشگر همکاری کرده بود از دستگاه اندازه‌گیری انگلیسی/آمریکایی استفاده می‌کرده است ولی کاوشگر بر مبنای دستگاه اندازه‌گیری متریک ساخته و برنامه‌ریزی شده بود و این تفاوت در دستگاه‌های اندازه‌گیری باعث گردید کاوشگر در تشخیص فشار هوا اشتباه کند.



با مراجعه به لوح فشرده و مشاهده فیلم مربوط به دقیق‌ترین ساعت اختراع‌شده در جهان (NIST-F2) گزارشی را در رابطه با ویژگی‌های منحصر به فرد این ساعت و کاربردهای آن تهیه کرده و در کلاس ارائه دهید.

**۲-۲-۱ کمیت‌ها و یکاهای فرعی:** همان‌طور که در ابتدای بحث اشاره شد، تعیین یکا برای تمامی کمیت‌ها در علم، کار سخت و امکان‌ناپذیری است اما با در نظر گرفتن این واقعیت که برخی از کمیت‌های فیزیکی را می‌توان توسط کمیت‌های دیگر به دست آورد، باعث گردید تا **یکاهای فرعی** معرفی شوند. در نتیجه یکاهای فرعی، یکاهای مربوط به **کمیت‌های فرعی** هستند. این کمیت‌ها را می‌توان بر اساس اندازه‌گیری کمیت‌های دیگر و به‌خصوص کمیت‌های اصلی به دست آورد. برای مثال کمیت سرعت از تقسیم دو کمیت اصلی جابه‌جایی (طول) به زمان به دست می‌آید، یا کمیت شتاب از تقسیم یک کمیت فرعی سرعت به یک کمیت اصلی زمان حاصل می‌شود. برای آشنایی بیشتر با کمیت‌های فرعی به مثالی که در ادامه آورده شده است، توجه کنید.



در دستگاه بین‌المللی یکاها نیرو را به دست آورید.

**پاسخ:** نیرو یک کمیت فرعی است زیرا به کمیت‌های دیگری وابسته است. در **علوم تجربی سال نهم** آموختید:

$$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

حال اگر بخواهیم یکای نیرو را به عنوان یک کمیت فرعی در دستگاه بین‌المللی یکاها به دست آوریم می‌بایست با توجه به محل قرارگیری هر یک از کمیت‌ها در رابطه بالا، یکای آنها را در محل خود قرار دهیم، یعنی:

$$(F) = \text{یکای نیرو} = \text{kg} \times \frac{\text{s}}{\text{s}} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



توجه داشته باشید که در این کتاب تغییرات یک کمیت را با علامت  $\Delta$  نشان می‌دهیم. در نتیجه در رابطه صفحه قبل  $\Delta v$  به معنی تغییرات سرعت و  $\Delta t$  به معنی تغییرات زمانی است.



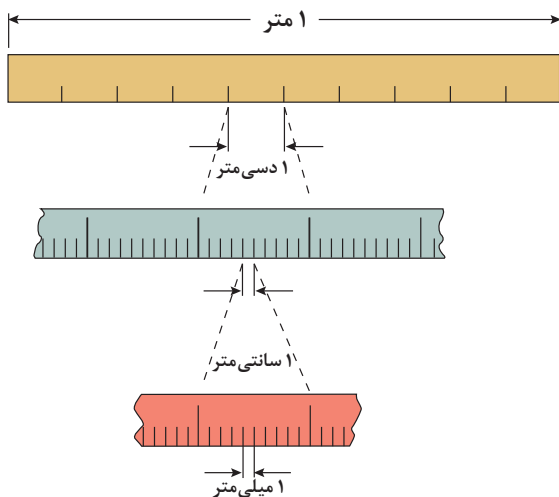
البته باید در نظر داشت که برای برخی از کمیت‌های فرعی نیز در علم فیزیک به‌منظور قدردانی از کسانی که برای کشف یا تشریح آن کمیت تلاش نموده‌اند، یکاهای معادل با یکای آنها، با در نظر گرفتن اسم آن شخص تعریف می‌کنند. به‌عنوان مثال در فیزیک،  $\frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$  را با حرف N نشان می‌دهند و آن را **نیوتن** می‌خوانند.

**۳-۲-۱ تبدیل یکاها و پیشوندها:** در بخش پیش اشاره گردید که یکی از فواید استفاده از دستگاه بین‌المللی یکاها این است که می‌توان در آن، اندازه‌گیری‌ها را بر اساس توانی از  $10$  نمایش داد. به همین منظور برای توضیح اینکه چه توانی از  $10$  را باید برای آن اندازه‌گیری در نظر گرفت، می‌توان از پیشوندها استفاده نمود.

پیشوندهای عددی عباراتی هستند که با خود اعداد بسیار بزرگ و یا بسیار کوچک را به‌همراه می‌آورند، به‌عنوان نمونه کیلو یعنی هزار و میلی یعنی یک هزارم. این پیشوندها می‌توانند همراه کمیت‌های فیزیکی مانند گرم یا متر و ... بیایند (شکل ۸-۱). پیشوندها به‌خصوص در زمانی که اندازه‌گیری‌ها خیلی کوچک و یا خیلی بزرگ باشند قابل استفاده‌اند، در جدول ۲-۱ برخی از پرکاربردترین پیشوندها و معنی آنها آورده شده است.

جدول ۲-۱ پیشوندهای مورد استفاده در دستگاه SI

پیشوندهای کوچک‌کننده			پیشوندهای بزرگ‌کننده		
نماد	پیشوند	مضرب	نماد	پیشوند	مضرب
a	آتو	$10^{-18}$	E	اگزا	$10^{+18}$
f	فمتو	$10^{-15}$	P	پنتا	$10^{+15}$
p	پیکو	$10^{-12}$	T	ترا	$10^{+12}$
n	نانو	$10^{-9}$	G	گیگا	$10^{+9}$
$\mu$	میکرو	$10^{-6}$	M	مگا	$10^{+6}$
m	میلی	$10^{-3}$	k	کیلو	$10^{+3}$
c	سانتی	$10^{-2}$	H	هکتو	$10^{+2}$
d	دسی	$10^{-1}$	da	دکا	$10^{+1}$



شکل ۸-۱ پیشوندهای کوچک‌کننده یکای متر



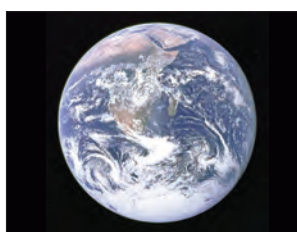
علم و فناوری نانو (نانو تکنولوژی) توانایی به دست گرفتن کنترل ماده را در ابعاد نانومتری (مولکولی) و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های این بعد در مواد، ابزارها و سیستم‌های نوین را دارد.

این حوزه نوظهور از علم، باعث پیشرفت‌های بسیاری در حوزه پزشکی، داروسازی، صنعت و ... گردیده است که کشور ایران نیز سهم بسیار مهمی در پیشرفت آن داشته است.

در شکل ۹-۱ مجموعه‌ای از طول‌های متفاوت، از خیلی کوچک تا خیلی بزرگ که در اطراف ما وجود دارد، نمایش داده شده است. با در نظر گرفتن این گستره طول‌ها، به اهمیت استفاده از دستگاه بین‌المللی یکاها و پیشوندهای آن پی می‌بریم.



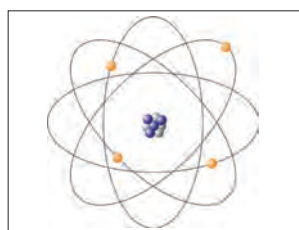
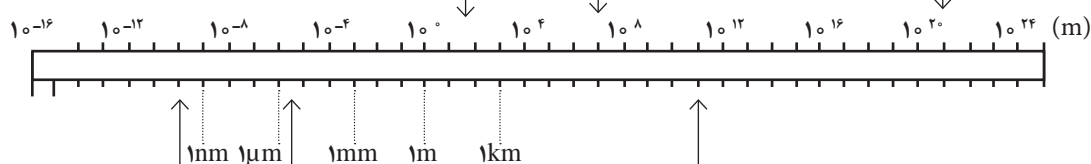
اندازه وال  
تقریباً (۳/۵ m)



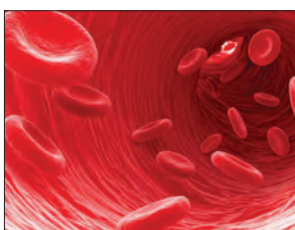
اندازه کره زمین  
تقریباً ( $1/3 \times 10^7 \text{ m}$ )



فاصله تا یک منظومه شناخته شده  
تقریباً ( $2/4 \times 10^{21} \text{ m}$ )



اندازه ساختار اتم  
تقریباً ( $1/5 \times 10^{-10} \text{ m}$ )



اندازه گلبول‌های قرمز خون  
تقریباً ( $8/5 \times 10^{-6} \text{ m}$ )



فاصله زمین و خورشید  
تقریباً ( $100 \times 10^{11} \text{ m}$ )

شکل ۹-۱ گستره طولی جهان پیرامون ما

حال که با مفهوم و معنای پیشوندها در دستگاه بین‌المللی یکاها آشنا شدیم، یادآور می‌شویم که در فیزیک و در برخی مسائل، ما ناچار به تغییر پیشوند یکای اندازه‌گیری‌های انجام شده هستیم، برای این منظور باید از **ضرایب تبدیل** استفاده نماییم. ضرایب تبدیل، کسرهایی هستند که توسط آنها پیشوندهای قبلی حذف و پیشوندهای موردنظر جایگزین می‌شوند. برای آشنایی با شیوه ساخت و کاربرد این ضرایب به مثال زیر دقت کنید.

نکته



مقدار کسرهای ضریب تبدیل برابر یک است و تنها برای تبدیل یکا استفاده می‌شوند.

مثال



تبدیل یکاهای زیر را انجام دهید.

الف)  $10^{-6} \text{ g} = ? \text{ mg}$

**پاسخ:** برای یافتن ضریب تبدیل مورد نیاز، با رجوع به جدول ۱-۲ در می‌یابیم که ۱ میلی‌گرم (mg) معادل  $10^{-3} \text{ g}$  است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g} \Rightarrow \frac{1 \text{ mg}}{10^{-3} \text{ g}} = 1 \quad \text{یا} \quad \frac{10^{-3} \text{ g}}{1 \text{ mg}} = 1$$

حال با توجه به اینکه در تبدیل یکای خواسته شده، باید یکای گرم (g) حذف و به جای آن یکای میلی‌گرم (mg) قرار گیرد، کافی است ضریب تبدیل مناسب آن را در مقدار عددی سؤال ضرب کنیم:

$$10^{-6} \text{ g} = ? \text{ mg} \Rightarrow 10^{-6} \text{ g} \times \frac{1 \text{ mg}}{10^{-3} \text{ g}} = 10^{-3} \text{ mg}$$

ب)  $25 \text{ mm} = ? \mu\text{m}$

**پاسخ:** در این مثال ابتدا می‌بایست، پیشوند یکای میلی (m) برداشته شود و به جای آن پیشوند میکرو (μ) قرار گیرد. در نتیجه با دو ضریب تبدیل مختلف روبه‌رو هستیم:

$$25 \text{ mm} = ? \mu\text{m} \Rightarrow 25 \text{ mm} \times \frac{10^{-3} \text{ m}}{1 \text{ mm}} \times \frac{1 \mu\text{m}}{10^{-6} \text{ m}} = 25 \times 10^{-3+6} \mu\text{m}$$

نکته



۱- تنها یکاهای مربوط به یک کمیت را می‌توان به یکدیگر تبدیل نمود. یعنی هیچ‌گاه نمی‌توان یکای زمان را به جرم تبدیل نمود.

۲- در تبدیل پیشوند یکاهای توان‌دار، مانند (مساحت  $\text{m}^2$ ) یا حجم ( $\text{m}^3$ ) و ... ضرایب تبدیل نیز باید به همان توان برسند و در عدد اصلی ضرب شوند.

۳- در تبدیل پیشوند یکاهای کسری باید برای تبدیل هریک از پیشوندهای صورت و یا مخرج از ضریب تبدیل جداگانه‌ای استفاده نماییم.

مثال



تبدیل یکاهای خواسته شده را انجام دهید.

الف)  $30 \text{ cm}^3 = ? \text{ nm}^3$

پاسخ:

$$30 \text{ cm}^3 \times \left(\frac{10^{-9} \text{ m}}{1 \text{ cm}}\right)^3 \times \left(\frac{1 \text{ nm}}{10^{-9} \text{ m}}\right)^3 = 30 \times 10^{-27} \text{ nm}^3$$

ب)  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = ? \frac{\text{m}}{\text{s}}$

پاسخ:

$$72 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

نکته



برای تبدیل یکای اندازه گیری می توان از قاعده زیر نیز استفاده نمود، البته باید در نظر داشت که اصلی ترین راه تبدیل یکاها در فیزیک، استفاده از ضرایب تبدیل است. این قاعده را با حل یک مثال توضیح می دهیم:

$$25 \text{ mm} = ? \mu\text{m} \Rightarrow 25 \text{ mm} = x \mu\text{m} \Rightarrow x = \frac{25 \times 10^{-3} \text{ m}}{10^{-6} \text{ m}} = 25 \times 10^3$$

$$\Rightarrow 25 \text{ mm} = 25 \times 10^3 \mu\text{m}$$

تمرین کنید



همان گونه که در بخش معرفی دستگاه های اندازه گیری گفته شد، یکی از دستگاه های اندازه گیری کمیت ها در فیزیک دستگاه انگلیسی / آمریکایی است. در این دستگاه یکای طول فوت، یکای جرم پوند و یکای زمان ثانیه است<sup>۱</sup>. با در نظر گرفتن ضرایب تبدیل زیر، تبدیل یکاهای خواسته شده را انجام دهید.

$$1 \text{ ft} \cong 0.305 \text{ m} \text{ و } 1 \text{ lb} \cong 0.454 \text{ kg} = 454 \text{ g}$$

$$12 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \cong ? \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$50 \text{ g} \cong ? \text{ ft}$$

$$1 \text{ lb} \cong ? \text{ cm}$$

تحقیق کنید



با بررسی و جست و جو در کتاب های تخصصی رشته خود و به کمک دبیر، یکاهای رایج در رشته خود را شناسایی کنید و رابطه تبدیل آنها را بر حسب یکاهای SI به دست آورده و به کلاس ارائه دهید.

## ۱-۲-۴ نمادگذاری علمی: همان گونه که اشاره شد، در فیزیک کمیت های بسیار زیادی برای اندازه گیری

وجود دارد و با اندازه گیری هر یک از این کمیت ها با اعداد کوچک و بزرگ متفاوتی روبه رو می شویم. برای مثال فاصله میان ماه تا زمین در حدود ۳۸۴،۴۰۰،۰۰۰ متر است و یا اندازه یک باکتری، کوچک تر از ۰/۰۰۰۰۰۲ متر است. همان طور که مشاهده می کنید به خاطر سپردن این اعداد کمی مشکل و حتی مقایسه آنها با یکدیگر از لحاظ بزرگی و کوچکی بسیار سخت است. برای حل این مشکل می توان تمام اندازه گیری های گزارش شده در فیزیک را به صورت نمادگذاری علمی و بر اساس توانی بر پایه ۱۰ ارائه نمود.

به این منظور کافی است از قاعده زیر پیروی کنیم :

$$[x = m \times 10^n \quad (1 \leq m < 10)]$$

۱- lb معادل یکای پوند و ft معادل یکای فوت می باشد.

که  $n$  یک عدد صحیح مثبت (به ازای تعداد اعشارهایی که به سمت چپ می‌رود) یا منفی (به تعداد اعشارهایی که به سمت راست می‌رود) است. با این شرایط می‌توان گفت که در گزارش یک عدد به صورت نماد علمی لازم است تنها یک عدد صحیح در سمت چپ اعشار قرار گیرد. حال برای تبدیل فاصله میان ماه تا زمین می‌بایست به تعداد ۸ اعشار به سمت چپ برویم تا به یک عدد صحیح (۳) میان ۱ تا ۱۰ برسیم پس خواهیم داشت:

$$3/844 \times 10^8 \text{ m}$$

یا در نوشتن اندازه یک باکتری کوچک بر اساس نمادگذاری علمی باید به تعداد ۶ اعشار به سمت راست برویم تا به یک عدد صحیح (۲) میان ۱ تا ۱۰ برسیم، پس خواهیم داشت:

$$2 \times 10^{-6} \text{ m}$$

نمایش اعداد توان‌دار، به خصوص در صفحات دیجیتالی کوچک همانند ماشین حساب‌های مهندسی، همیشه امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل در این گونه ابزارها، نمادگذاری علمی را در قالب  $mEn$  نمایش می‌دهند که به معنای  $m \times 10^n$  می‌باشد، برای مثال می‌دانیم که یک مول از هر ذره (اتم، مولکول یا یون) به تعداد عدد آووگادرو از آن ذره است، این عدد (  $6/02205 \times 10^{23}$  ) به صورت نمادگذاری علمی در یک ماشین حساب مهندسی به این شکل نمایش داده می‌شود:

6.02E23

بیشتر بدانید



## ۱-۳ اندازه‌گیری کمیت‌ها



**شکل ۱-۱۰** این حادثه، نتیجه یک **خطای بسیار کوچک** در تخمین مسافت توقف در پایان یک سفر طولانی است.

دانشمندان حوزه‌های مختلف علم (فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و...) برای اثبات فرضیه‌های خود دست به انجام آزمایش می‌زنند و لازمه انجام بسیاری از آزمایش‌ها در علم، اندازه‌گیری می‌باشد. هرچه اندازه‌گیری‌های صورت گرفته دقیق‌تر باشند، نتایج حاصل از آن آزمایش‌ها نیز قابل اعتمادتر خواهند بود. در واقع هیچ‌گاه نمی‌توان ادعا نمود که مقدار دقیق یک کمیت را اندازه‌گیری کرده‌ایم زیرا همواره عواملی همچون خطای ناشی از محدودیت وسایل اندازه‌گیری، خطای فرد آزمایشگر، خطای وسایل اندازه‌گیری به دلیل کالیبره نبودن و... بر نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها تأثیرگذار هستند (شکل ۱-۱۰).

در این راستا و در علم اندازه‌گیری ما با دو عبارت **دقت**<sup>۱</sup> و **صحت**<sup>۲</sup> برخورد خواهیم کرد. به بیان ساده، **دقت به معنای نزدیک بودن مقادیر اندازه‌گیری به همدیگر است**، خواه این مقادیر واقعیت را نشان بدهد یا

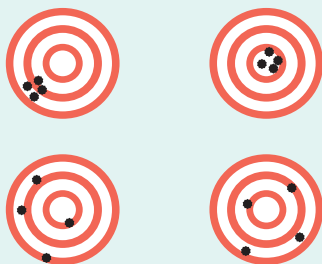
خیر و **صحت به معنای نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری شده به مقدار واقعی است**. البته همان‌طور که در بالا اشاره گردید، در علم فیزیک مقدار واقعی یک کمیت، قابل اندازه‌گیری نیست ولی می‌توان مقدار استاندارد یا مرجعی را که برآمده از نتایج آزمایشگاه‌ها و مؤسسات استاندارد مرجع است، به منزله مقدار واقعی آن کمیت در نظر گرفت. برای درک بهتر تفاوت میان دقت و صحت به مثالی که در ادامه آمده است، توجه کنید.



فکر کنید



چهار نفر توسط تفنگ‌های بادی به سیبل‌هایی مطابق شکل‌های زیر شلیک کرده‌اند، اگر مبنای شلیک، برخورد گلوله به وسط سیبل باشد، چه توضیحی در رابطه با میزان دقت و صحت هر یک از این افراد وجود دارد؟

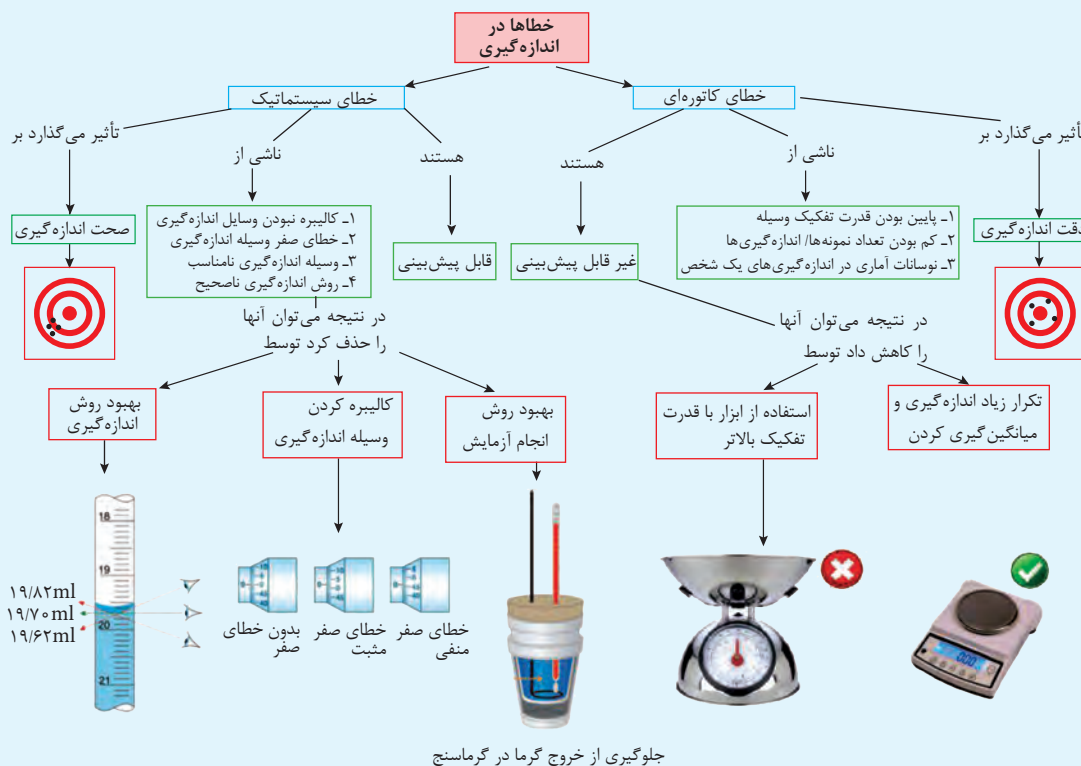


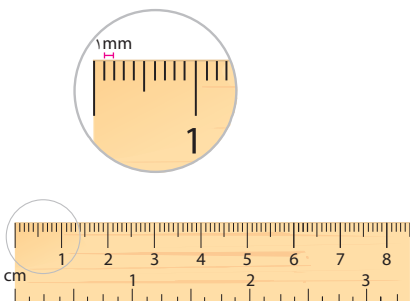
روشن است که «دقت» و «صحت» را برای هر اندازه‌گیری، باید به‌طور همزمان در نظر بگیریم. اگر دریابیم که نتیجه یک اندازه‌گیری صحت بسیار پایینی دارد، تلاش برای به دست آوردن دقت بالا چیزی جز اتلاف وقت و انرژی نیست و برعکس، نتیجه اندازه‌گیری نمی‌تواند صحت بالایی داشته باشد هنگامی که دقت آن اندازه‌گیری پایین باشد.

بیشتر بدانید



**انواع خطا در اندازه‌گیری:** هنگامی که یک آزمایشگر در محل آزمایشگاه به بررسی فرضیه خود از طریق انجام آزمایش و اندازه‌گیری کمیت‌ها می‌پردازد، عواملی وجود دارد که مانع از رسیدن او به مقدار واقعی آن کمیت می‌شود که این عوامل را در اصطلاح **عوامل خطا** می‌نامند. در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان عوامل خطا را به دو دسته کلی خطای **کاتوره‌ای**<sup>۱</sup> و **خطاهای سیستماتیک**<sup>۲</sup> نسبت داد. با رجوع به نقشه مفهومی زیر می‌توانید با تعریف هر یک از این خطاها، انواع مختلف آنها و نحوه تأثیر آنها بر دقت و صحت یک اندازه‌گیری آشنا شوید.





یکی از روش‌های کاهش خطادر اندازه‌گیری، استفاده از وسایل اندازه‌گیری با **قدرت تفکیک** بالا است. منظور از قدرت تفکیک یا رزولوشن<sup>۱</sup> یک وسیله اندازه‌گیری، کوچک‌ترین تقسیم‌بندی آن وسیله است. به‌عنوان مثال کوچک‌ترین درجه‌بندی یک خط‌کش معمولی، ۱ میلی‌متر است در نتیجه قدرت تفکیک آن ۱ mm خواهد بود.

کوچک‌ترین تقسیم‌بندی یک وسیله اندازه‌گیری را **قدرت تفکیک** یا **رزولوشن**<sup>۱</sup> آن وسیله می‌نامیم.

نکته



### کاربرد در صنعت و فناوری



در صنعت و به‌خصوص در حوزه قطعه‌سازی همواره به‌دنبال استفاده از دقیق‌ترین ابزارها برای اندازه‌گیری و تراش قطعات هستیم. یکی از دستگاه‌های تراش که از دقت بالایی نیز برخوردار هستند، دستگاه تراش CNC است. این دستگاه‌ها با استفاده از رایانه و امکانات حافظه‌ای خود اطلاعات وارد شده را پردازش می‌کنند و این اطلاعات توسط ریزپردازنده‌ها (میکروپروسورها) به علائم کنترل برای ماشین‌های افزار (دستگاه‌های ویژه کارهای مختلف صنعتی) تبدیل می‌شود. همچنین از این تکنولوژی در ساخت دستگاه‌های برش پارچه، کارتن، چوب و ... نیز استفاده می‌کنند که با بالا بردن دقت، محصول نهایی از کیفیت ظاهری به تناسب بالاتری برخوردار خواهد بود.

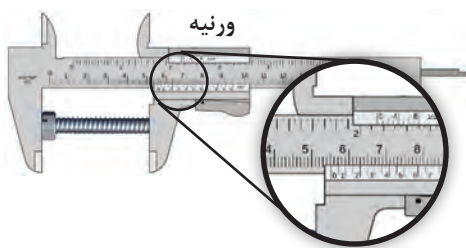
**۱-۳-۱ وسایل اندازه‌گیری:** در فیزیک و در هر علمی برای اندازه‌گیری کمیت‌های مخصوص آن علم از وسایل اندازه‌گیری متناسب با آن کمیت‌ها استفاده می‌کنیم. در کتاب‌های **علوم تجربی دوره اول متوسطه** با برخی از مهم‌ترین وسایل اندازه‌گیری کمیت‌هایی نظیر طول (خط‌کش، متر، ...)، جرم (ترازو) و ... آشنا شده‌اید. در برخی محیط‌های صنعتی که **دقت اندازه‌گیری** از اهمیت بالایی برخوردار است، برای اندازه‌گیری‌ها سعی می‌شود از ابزاری با **قدرت تفکیک بالاتر** استفاده کنند. برای مثال در تراشکاری‌ها، برای اندازه‌گیری طول قطعه مورد نظر معمولاً از وسایلی مانند **کولیس** و **ریزسنج** استفاده می‌شود. زیرا این وسایل از قدرت تفکیک بالاتری برخوردارند و می‌توانند مقادیر کوچک‌تری از طول را اندازه‌گیری کنند. به این منظور در این بخش به بررسی ساختمان این وسایل و نحوه استفاده از آنها می‌پردازیم.



با مراجعه به یک طلافروشی و یا یک مغازه فروش ادویه‌های غذایی در مورد وسایل و یکاهای اندازه‌گیری به کاررفته در این اصناف برای سنجش جرم و قدرت تفکیک این وسایل، گزارشی تهیه و به کلاس ارائه دهید.

تجربه کنید





شکل ۱۱-۱ ساختمان کولیس

همان طور که در شکل ۱۱-۱ مشاهده می کنید، کولیس از یک خط کش معمولی ساخته شده که قدرت تفکیک این خط کش ۱ میلی متر (mm) است و بر روی این خط کش قطعه‌ای به نام **ورنیه** قرار گرفته است. وظیفه ورنیه افزایش قدرت تفکیک خط کش است و با توجه به تعداد تقسیم‌بندی‌های روی ورنیه، قدرت تفکیک کولیس‌های مرسوم ۰/۱ میلی متر، ۰/۰۵ میلی متر و ۰/۰۲ میلی متر است.



به نظر شما چگونه می توان ضخامت یک ورقه کاغذ A۴ را با استفاده از یک خط کش میلی متری اندازه گیری کنیم؟ این کار را انجام داده و نتیجه آن را به کلاس خود گزارش دهید.

تجربه کنید



یکی دیگر از وسایل اندازه گیری دقیق طول در محیط‌ها و آزمایشگاه‌های صنعتی «**ریزسنج**» یا «**میکرومتر**» است. به کمک دبیر خود و با دیدن فیلم آموزشی شیوه کاربرد کولیس و ریزسنج، آزمایش زیر را برای آشنایی بیشتر با این دو وسیله انجام دهید.

آزمایش کنید



**عنوان آزمایش:** اندازه گیری ضخامت یک ورقه کاغذ A۴

**وسایل اندازه گیری:** کولیس، ریزسنج، ورقه کاغذ A۴

**روش آزمایش:** ابتدا به کمک یک کولیس و به کمک فک‌های اندازه گیری بیرونی، ضخامت یک ورقه کاغذ A۴ را ۳ بار اندازه گیری کنید و سپس میانگین مقادیر اندازه گیری شده را به عنوان مقدار صحیح ضخامت کاغذ یادداشت کنید. سپس همین کار را با استفاده از ریزسنج انجام دهید. پس از اتمام اندازه گیری‌ها به سؤالات زیر پاسخ دهید.



۱- با توجه به عددهای به دست آمده در هر مرحله، قدرت تفکیک کولیس و ریزسنج در آزمایشگاه مدرسه شما چه اندازه است؟

۲- به نظر شما و با توجه به اعداد به دست آمده در هر مرحله، دقت اندازه گیری با کدام وسیله، بیشتر است؟

وسایل اندازه گیری ثابت، آن دسته از وسایل اندازه گیری هستند که توسط آنها، تنها می توان فقط یک بُعد و یا یک مقدار خاص را اندازه گیری نمود، مانند شابلون‌ها، شعاع سنج، فیلر، شابلون میله و ...

بیشتر بدانید



شابلون میله  
(اندازه گیری قطر میله‌ها)



شابلون فیلر  
(اندازه گیری شکاف‌ها و شیارها)



شابلون زاویه  
(اندازه گیری زاویه قطعات)

## ۴-۱ کمیت‌های برداری و نرده‌ای

در ریاضیات، هنگامی که می‌گویید من ۵ کتاب، ۶ سیب و ۱ دوچرخه دارم، اعداد ۵، ۶ و ۱ بیانگر تعداد اشیایی است که شما داشته‌اید. در فیزیک نیز با کمیت‌های بسیاری روبه‌رو هستیم که با بیان اندازه و یکای مناسب، به‌طور کامل مشخص می‌شوند. برای مثال، هنگامی که گفته می‌شود مساحت این کلاس ۱۲ مترمربع و یا دمای هوای اتاق ۲۵ درجه سانتی‌گراد است، شما با بیان یک عدد به‌عنوان اندازه و یک یکای متناسب با آن کمیت، منظور خود را به‌طور کامل رسانده‌اید. این دسته از کمیت‌ها در فیزیک را کمیت‌های **اسکالر**، **نرده‌ای** و یا **عددی** می‌نامیم.

### کمیت نرده‌ای

کمیتی است که برای مشخص شدن، تنها به تعیین **اندازه** و **یکای مناسب** نیاز دارد و از **روش‌های جمع و تفریق جبری (ریاضی)** پیروی می‌کند.

نکته



اما برای تعیین همه کمیت‌های فیزیکی بیان اندازه و یکای مناسب کافی نیست. قبل از ورود به بحث و آشنایی با نوع دیگر کمیت‌ها به مثال زیر دقت کنید.

تصور کنید شما در کلاس ایستاده‌اید و چشمان خود را بسته‌اید. آنگاه از دوست خود می‌خواهید مکان قرارگیری میز کار را برای شما مشخص کند. اگر او به شما بگوید: کافی است ۴ متر جابه‌جا شوید، به نظر شما یافتن مکان میز، کار ساده‌ای خواهد بود؟ به احتمال زیاد پاسخ شما به این سؤال خیر است. به بیان دیگر برای آنکه مکان میز کار خود را بیابید؛ دوست شما باید علاوه بر تعیین مقدار و یکای مناسب برای کمیت جابه‌جایی، جهت حرکت شما را نیز تعیین می‌کرد. برای مثال می‌گفت: ۴ متر به طرف جلو یا ۴ متر به طرف راست و ... جابه‌جا شوید.

همان‌طور که از مثال بالا می‌توان نتیجه گرفت برای تعیین برخی از کمیت‌های فیزیکی علاوه بر تعیین اندازه و یکای مناسب، تعیین جهت نیز الزامی است، این دسته از کمیت‌ها را **کمیت‌های برداری** می‌نامیم (شکل ۱-۱۲).



**شکل ۱-۱۲** سرمای هوا در یک روز زمستانی، هم به دمای هوا ( $-2^{\circ}\text{C}$ ) به‌عنوان یک کمیت

نرده‌ای و همچنین سرعت باد ( $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  به طرف شرق) به‌عنوان یک کمیت برداری بستگی دارد.

شما در درس **علوم تجربی پایه نهم** با مفهوم **تندی** و **سرعت** آشنا شده‌اید. با این توضیحات درخواهید یافت که «تندی» کمیتی نرده‌ای است، زیرا تنها با بیان یک اندازه و یکای مناسب تعریف می‌شود ولی «سرعت» کمیتی برداری است، زیرا برای تعیین آن علاوه بر مشخص کردن تندی حرکت، باید جهت حرکت را نیز مشخص کنیم.

برای مثال هنگامی که گفته می‌شود یک اتومبیل با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در یک بزرگراه از طرف شمال به جنوب در حال حرکت است، شما با بیان ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، اندازه و یکای سرعت را مشخص کرده‌اید و با بیان از شمال به جنوب جهت حرکت آن را نیز تعیین نموده‌اید.



همه شما در بزرگراه‌ها با تابلوهایی به شکل روبه‌رو که محدوده سرعت را در آن بزرگراه تعیین نموده‌اند، آشنا شده‌اید. به نظر شما منظور از نصب این تابلوها اعلام تندی یا سرعت مجاز برای حرکت انواع خودروها است؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

فکر کنید



### کمیت برداری

کمیتی است که علاوه بر تعیین **اندازه** و **یکای مناسب**، به **تعیین جهت** نیز نیاز دارد و از **روش‌های جمع و ضرب برداری** پیروی می‌کند.

نکته

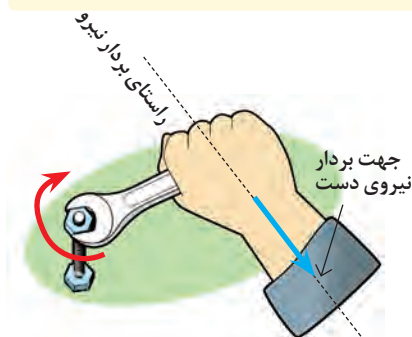


با تشکیل گروه‌هایی از هم‌کلاسی‌های خود، تمامی کمیت‌هایی که در کتاب‌های **علوم تجربی دوره اول متوسطه** خوانده‌اید را شناسایی کرده و در جدول زیر وارد نمایید. سپس با توجه به ویژگی‌های هر یک از این کمیت‌ها، تعیین کنید که هر کدام جزو کدام دسته از کمیت‌های تعیین شده در این فصل‌اند.

تجربه کنید



نام کمیت	کمیت اصلی	کمیت فرعی	کمیت نرده‌ای	کمیت برداری



شکل ۱۳-۱ راستا و جهت یک بردار

### ۱-۴-۱ نمایش کمیت‌های برداری: با توجه به اینکه کمیت‌های

برداری با کمیت‌های نرده‌ای تفاوت دارند، نمایش آنها نیز از روش‌های ویژه پیروی می‌کند. برای نمایش ریاضی کمیت‌های برداری، لازم است **نماد آن کمیت را نوشته و در بالای آن علامت بردار** بگذاریم.

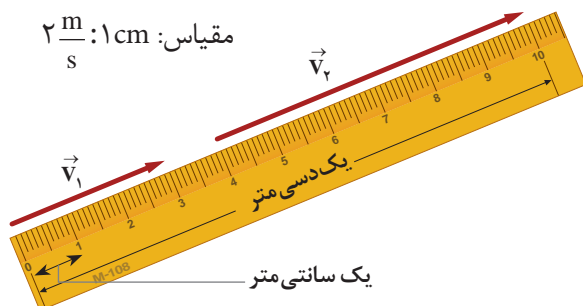
برای مثال نیرو یکی از کمیت‌های برداری در فیزیک است (چرا؟) که آن را به صورت  $\vec{F}$  نشان می‌دهند. همچنین برای نشان دادن مقدار (یا اندازه) یک کمیت برداری، از **علامت قدر مطلق** استفاده می‌شود. یعنی اندازه یک بردار نیرو را به این صورت  $|\vec{F}|$  یا بدون علامت بردار  $F$  نشان می‌دهند.

همان گونه که اشاره گردید، کمیت‌های برداری، **کمیت‌هایی جهت‌دار** هستند. در نتیجه آنها را با **پاره‌خط‌های جهت‌دار** (پیکان) نمایش می‌دهیم. می‌دانیم که هر پیکان دارای اندازه (طول پیکان) و جهت (جهت نمایش داده شده توسط نوک پیکان) و راستای مشخصی است (شکل ۱۳-۱).



در نتیجه طول هر پیکان باید بیانگر مقیاسی از اندازه آن کمیت برداری و جهت و راستای آن بیانگر جهت و راستای آن کمیت برداری باشد. برای فهم بهتر این موضوع به مثالی که در ادامه آمده است، توجه کنید.

مثال



می‌دانیم، سرعت کمیتی برداری است. در نتیجه برای نمایش آن از پاره‌خط‌های جهت‌دار استفاده می‌شود. بر این اساس اگر بخواهیم دو بردار هم‌جهت سرعت با اندازه‌های  $v_1 = 6 \frac{m}{s}$  و  $v_2 = 12 \frac{m}{s}$  را نشان دهیم، خواهیم داشت:

در مسائل برای بیان جهت یک بردار قواعد بسیاری وجود دارد. یکی از ساده‌ترین قواعد تعیین جهت به صورت زیر است:

- نیروی ۴ نیوتن از چپ به راست به جسمی وارد می‌شود.
  - بالنی به سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت به طرف بالا در حرکت است.
- همچنین از دیگر راه‌های نمایش جهت یک بردار، استفاده از جهت‌های اصلی شمال، جنوب، غرب و شرق است. ولی اگر برداری دقیقاً در راستای یکی از این جهات قرار نگیرد، چگونه باید جهت آن بردار را مشخص نمود؟ برای پاسخ به این سؤال به مثال زیر توجه کنید.

مثال

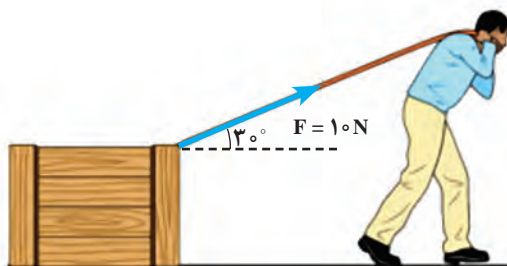


جهت بردارهای خواسته شده را مشخص کنید.

الف) بردار نیرو

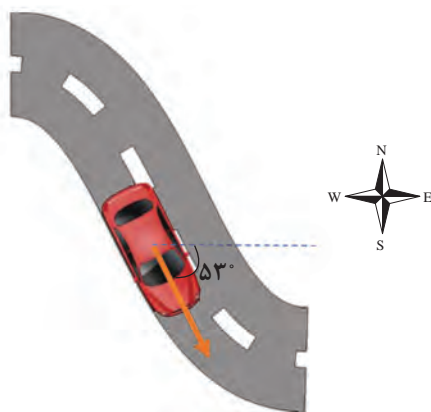
پاسخ:

با توجه به شکل، شخص بردار نیرویی به اندازه ۱۰ نیوتن و تحت زاویه ۳۰ درجه بالای افق به جعبه وارد می‌کند.



ب) بردار سرعت

در شکل زیر، خودرویی با سرعت  $60 \frac{km}{h}$  در جهت ۵۳° جنوب شرق در حال حرکت است.





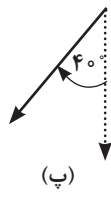
جهت هر یک از پیکان‌های ترسیم‌شده را با استفاده از قواعد گفته شده مشخص کنید.



(الف)



(ب)



(پ)



## نکته

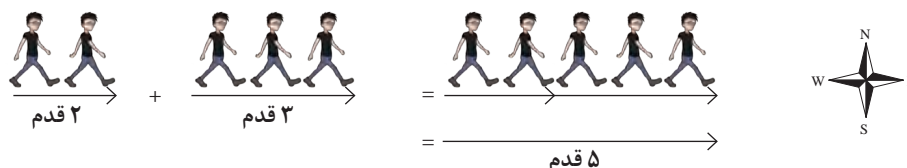


با توجه به قواعدی که در بالا به آن اشاره گردید، می‌توان نتیجه گرفت که برای رسم یک کمیت برداری، باید مراحل زیر انجام شود:

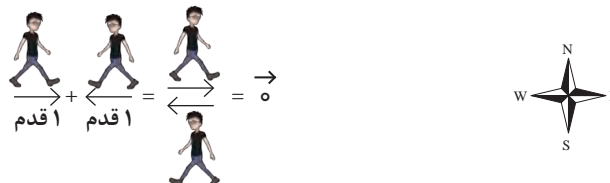
- ۱- مقیاسی را برای رسم آن کمیت برداری در نظر بگیرید.
- ۲- طول بردار معرف آن کمیت را با مقایسه اندازه آن کمیت با مقیاس در نظر گرفته شده، تعیین کنید.
- ۳- بر اساس جهت داده شده و با توجه به قواعد رسم بردارها، بردار آن کمیت را رسم کنید.

**۱-۴-۲ قواعد جمع برداری:** همان‌گونه که قبلاً گفته شد، بر خلاف کمیت‌های نرده‌ای مانند دما، انرژی، مسافت و ... که برای جمع و تفریق از قواعد جبری پیروی می‌کنند، برای تعیین کمیت‌های برداری، علاوه بر اندازه و یکای مناسب، تعیین جهت نیز الزامی است. این کمیت‌ها باید برای جمع و تفریق با یکدیگر از دستورهایی پیروی کنند که در آن جهت کمیت برداری نیز لحاظ شده باشد.

برای مثال می‌دانیم جابه‌جایی کمیتی برداری است. فرض کنید شما بر روی یک مسیر مستقیم، دو قدم به طرف شرق برداشته‌اید و سپس سه قدم دیگر در همان جهت برمی‌دارید، در آن صورت اگر از شما بپرسند که از نقطه شروع تا پایان حرکت چند قدم برداشته‌اید خواهید گفت پنج قدم به طرف شرق. اگر بخواهیم جابه‌جایی‌های شما را با بردار نمایش دهیم، خواهیم داشت:



حال شرایط دیگری را در نظر بگیرید. اگر شما یک قدم به طرف شرق برداشته و سپس یک قدم به طرف غرب بردارید، جابه‌جایی شما صفر خواهد بود در حالی که شما به اندازه دو قدم مسافت پیموده‌اید، در نتیجه خواهیم داشت:



با این مثال، بردار برآیند را این‌گونه تعریف می‌نماییم:

بردار برآیند چند بردار، برداری است که اثر آن به تنهایی مشابه حالتی است که تمامی آن بردارها همراه با هم اثر کنند. اگر بردار برآیند دو بردار  $A$  و  $B$  را با بردار  $R$  نمایش دهیم، خواهیم داشت:

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$$

تجربه کنید



یک مسابقه طناب‌کشی میان دو گروه از هم‌کلاسی‌های خود ترتیب دهید و پس از پایان بازی و معلوم شدن گروه برنده، دربارهٔ بزرگی بردار برایندهای گروه برنده و بازنده، با یکدیگر مشورت کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

تمرین کنید



تصور کنید که بر روی یک مسیر مستقیم، ابتدا ۱۰ متر به طرف راست حرکت کرده‌اید و سپس از همان نقطه، ۲ متر به طرف چپ حرکت می‌کنید، در پایان شما چند متر جابه‌جا شده‌اید و در این حرکت چقدر مسافت پیموده‌اید؟

حال که با مفهوم جمع برداری آشنا شده‌اید، می‌توان قواعد جمع کمیت‌های برداری را با جزئیات بیشتری و برای موقعیت‌های پیچیده‌تری (مثلاً حرکت در راستاهای متفاوت) شرح داد. برای این منظور به شرح دو **روش جمع هندسی بردارها** که عبارت‌اند از جمع برداری به **روش چندضلعی** و به **روش متوازی‌الاضلاع** می‌پردازیم.

**الف) جمع کمیت‌های برداری به روش چندضلعی:** یکی از روش‌های استاندارد جمع کمیت‌های برداری روش چندضلعی است. این روش مخصوص زمانی است که با بیش از دو کمیت برداری روبه‌رو می‌شویم. البته از این روش برای جمع دو بردار نیز می‌توان استفاده کرد که در این صورت آن را «**روش مثلثی**» می‌نامیم. برای جمع چند بردار به روش چندضلعی مراحل زیر را طی خواهیم کرد:

- ۱ برداری **هم‌سنگ**<sup>۱</sup> با بردار اول رسم می‌کنیم.
  - ۲ از انتهای بردار اول برداری هم‌سنگ با بردار دوم را رسم می‌کنیم و این عمل را تا آخرین بردار ادامه می‌دهیم.
  - ۳ در این صورت بردار برایندهای بردارها از لحاظ هندسی، برداری است که از ابتدای بردار اول شروع می‌شود و به انتهای بردار آخر ختم می‌گردد.
  - ۴ اگر در ترسیم بردارها، روش اشاره شده در مورد تعیین مقیاس را اجرا کنیم، در آن صورت با اندازه‌گیری طول بردار براینده می‌توان اندازه آن کمیت برداری را به دست آورد.
- برای درک بهتر این روش به مثال زیر دقت کنید.

مثال

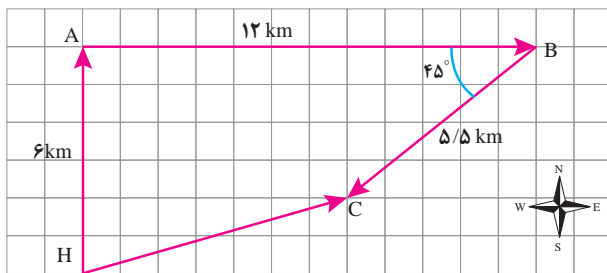


تصور کنید که می‌خواهید از منزل خود برای خرید به یک فروشگاه بروید. برای این منظور شما ابتدا به اندازه ۶ کیلومتر به طرف شمال حرکت کرده‌اید و سپس به اندازه ۱۲ کیلومتر به طرف شرق و در نهایت به اندازه ۵/۵ کیلومتر در جهت ۴۵ درجه جنوب غرب حرکت کرده و به فروشگاه می‌رسید. در این صورت مسافت پیموده شده در کل حرکت و جابه‌جایی کل انجام شده توسط شما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

● **مسافت طی شده:** همان‌طور که می‌دانید، مسافت، کمیتی نرده‌ای است و از قواعد جمع جبری (ریاضی) پیروی می‌کند، در نتیجه برای محاسبهٔ مسافت طی شده تنها باید تمامی مسافت‌های طی شده را بدون در نظر گرفتن جهت با یکدیگر جمع کنیم:

$$d = 6 + 12 + 5/5 = 23/5 \text{ km}$$

۱- برداری هم‌اندازه، هم‌راستا و هم جهت با یک بردار را هم‌سنگ آن بردار می‌نامیم.



### ● جابه‌جایی کل انجام شده:

همان‌طور که می‌دانید، جابه‌جایی کل، جمع برداری جابه‌جایی‌های انجام شده است. در این صورت با استفاده از دستور جمع برداری به روش چندضلعی، خواهیم داشت:

بردار HC بردار برابری سه بردار

جابه‌جایی HA، AB و BC است. در نتیجه طول آن برابر با جابه‌جایی کل انجام شده توسط شما است. برای رسم این بردارها هر دوخانه کاغذ شطرنجی را معادل ۲ کیلومتر جابه‌جایی در نظر گرفته‌ایم (مقیاس انتخابی در این شکل تقریبی است) در نتیجه با اندازه‌گیری طول بردار برابری و مقایسه آن با مقیاس انتخابی خواهیم داشت:

$$\frac{(\text{طول دوخانه}) 1 \text{ cm}}{3 / 6 \text{ cm}} = \frac{2 \text{ km}}{x} \rightarrow x = \frac{2 \text{ km} \times 3 / 6 \text{ cm}}{1 \text{ cm}} = 7 / 2 \text{ km}$$

تمرین کنید



تصور کنید برای جابه‌جایی میان دو نقطه، ابتدا به اندازه ۳ کیلومتر به طرف شرق و در ادامه، به اندازه ۴ کیلومتر به طرف شمال حرکت کرده‌اید. با استفاده از کاغذ شطرنجی و تعیین یک مقیاس مناسب، اندازه جابه‌جایی کل صورت گرفته و جهت آن را با استفاده از روش چندضلعی و به کمک خط کش و نقاله، به دست آورید.

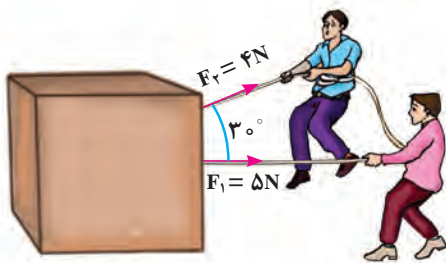
فکر کنید



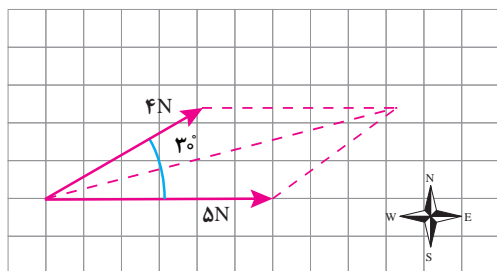
به نظر شما با یادآوری روش فیثاغورس در ریاضیات چگونه می‌توانیم اندازه بردار جابه‌جایی برابری در تمرین بالا را بدون استفاده از خط کش و مقیاس به دست آوریم؟

**ب) روش جمع هندسی دو بردار به شیوه متوازی الاضلاع:** از این روش معمولاً برای جمع دو بردار استفاده می‌شود و در صورتی که با بیش از دو بردار مواجه گردیم، بهتر است از روش قبل استفاده کنیم. برای آشنایی بهتر با این روش به مثالی که در ادامه آمده است، توجه کنید.

مثال



تصور کنید شما و دوستتان برای جابه‌جا کردن یک جعبه توسط دو ریسمان، مطابق شکل نیروهای ۴ و ۵ نیوتن را به جعبه وارد نموده‌اید، در آن صورت همان‌طور که خواهید دید جعبه نه در جهت نیروی ۴ نیوتن حرکت می‌کند و نه در جهت نیروی ۵ نیوتن. بلکه این جعبه در راستای نیروی برابری این دو نیرو جابه‌جا خواهد شد! برای محاسبه اندازه و جهت این نیروی برابری به روش

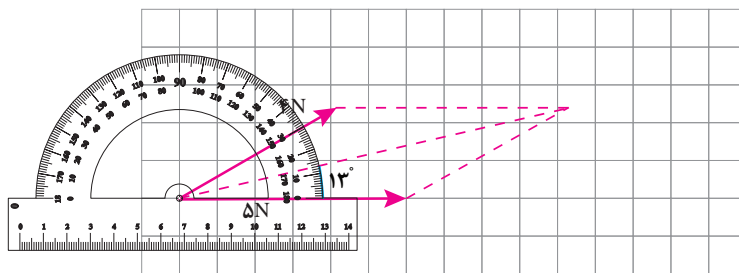


متوازی‌الاضلاع به صورت زیر عمل خواهیم کرد:  
**۱- ابتدا هم‌سنگ دو بردار را از یک نقطه رسم می‌کنیم و خط‌چین‌ها را نیز رسم می‌کنیم تا یک متوازی‌الاضلاع تشکیل شود. در آن صورت بردار برآیند برداری است که از ابتدای دو بردار شروع و به محل برخورد نقطه‌چین‌ها ختم می‌شود.**

**۲- همان‌گونه که مشاهده می‌کنید، برای رسم هر بردار از این مقیاس که هر ۱/۲ سانتی‌متر معادل ۲ نیوتن باشد، استفاده کرده‌ایم. در نتیجه با توجه به اینکه طول بردار برآیند به‌دست آمده در این شکل تقریباً معادل ۴/۸ سانتی‌متر شده است، در آن صورت اندازه این نیرو تقریباً معادل ۸ نیوتن خواهد بود.**

$$\frac{1/2 \text{ cm}}{2 \text{ N}} = \frac{4/8 \text{ cm}}{x} \rightarrow x = 8 \text{ N}$$

**۳- برای محاسبه جهت نیروی برآیند نیز کافی است به کمک نقاله، زاویه آن را با راستای افق (یعنی بردار ۵ نیوتنی) رسم تصویر با قرار دادن نقاله اندازه بگیریم، که در این صورت تقریباً معادل ۱۳ درجه بالای افق، یعنی در جهت شمال شرق خواهد بود.**



با استفاده از قواعد جمع هندسی برداری نشان دهید بردار حاصل از هر دو روش متوازی‌الاضلاع و چندضلعی با یکدیگر برابر می‌باشد و این دو روش معادل یکدیگرند.

تمرین کنید

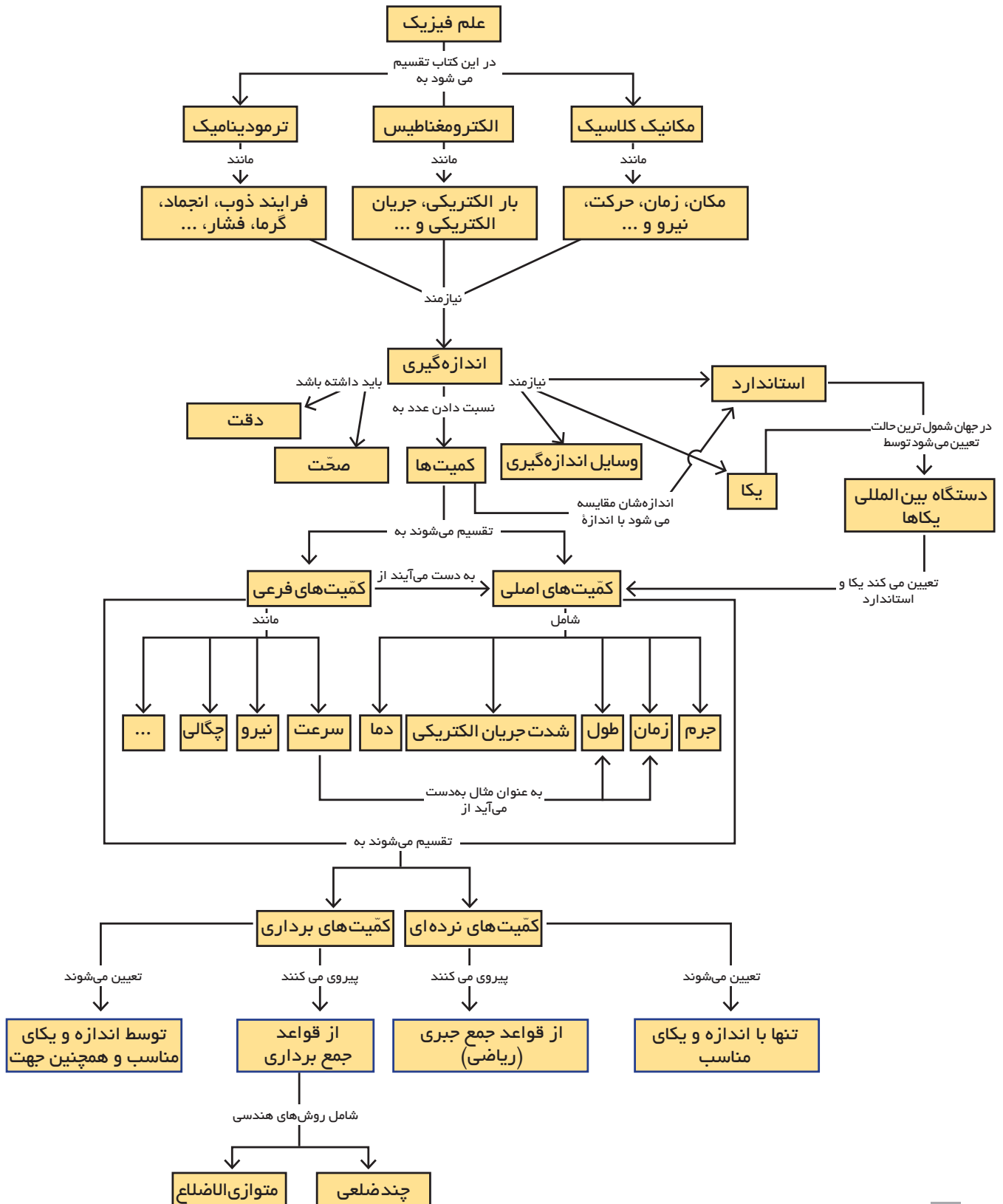


همان‌گونه که در درس ریاضی پایه هشتم خوانده‌اید، منظور از بردار  $\vec{a}$  - برداری قرینه بردار  $\vec{a}$  است، یعنی برداری هم‌راستا، هم‌اندازه ولی در خلاف جهت بردار  $\vec{a}$ . در این صورت هنگامی که گفته می‌شود، حاصل عبارت  $\vec{b} - \vec{a}$  یعنی تفاضل بردار  $\vec{b}$  از  $\vec{a}$  را به‌دست آورید به لحاظ ریاضی به چه معنی است؟  
 با توجه به پاسخ خود به سؤال بالا و روش‌های هندسی جمع بردارها، چه راهی را برای تفاضل هندسی دو بردار پیشنهاد می‌دهید؟

فکر کنید







## چندپرسش

۱- یکای حجم در SI چیست؟ تصور کنید شخصی ادعا می‌کند که می‌توان حجم یک استوانه به ارتفاع  $h$  و شعاع  $r$  را از رابطه  $\pi r^3 h$  محاسبه کند. با توجه به پاسخ خود در قسمت اول، توضیح دهید که چرا این رابطه نمی‌تواند درست باشد؟

۲- با توجه به پاسخ پرسش ۱، آیا می‌توان این‌گونه ادعا کرد اگر هر رابطه‌ای از لحاظ یکا با کمیت مورد محاسبه همخوانی داشته باشد، رابطه‌ی درستی است؟ پاسخ خود را توضیح دهید و برای آن دلیل بیاورید.

۳- به نظر شما منظور از نصب تابلوهای مشابه شکل روبه‌رو در کنار جاده‌های بیرون از شهر چیست؟ این موضوع چه ارتباطی با کمیت‌های برداری دارد؟



۴- اعداد زیر را برحسب اندازه از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین مقدار منظم کنید:

$$۰/۰۳۲ \text{ kg} \quad \text{و} \quad ۱۵ \text{ g} \quad \text{و} \quad ۲/۷ \times ۱۰^{-۵} \text{ mg} \quad \text{و} \quad ۴/۱ \times ۱۰^{-۸} \text{ Gg} \quad \text{و} \quad ۲/۷ \times ۱۰^{-۸} \mu\text{g}$$

۵- سه هنرجو چگالی یک تکه فلز را سه بار اندازه‌گیری نموده‌اند. چگالی واقعی این قطعه  $۱۱/۳۴ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  است. با در نظر گرفتن اندازه‌های به‌دست آمده برای هر هنرجو، نتایج حاصل شده برای کدام هنرجو دقیق و برای کدام هنرجو صحیح و برای کدام هنرجو هم صحیح و هم دقیق است؟

$$۱- \text{افشین: } ۱۱/۳۲ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, ۱۱/۳۵ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, ۱۱/۳۳ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$۲- \text{آرش: } ۱۱/۴۳ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, ۱۱/۴۴ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, ۱۱/۴۲ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$۳- \text{سروش: } ۱۱/۰۴ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, ۱۱/۳۴ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, ۱۱/۵۵ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

۶- به نظر شما می‌توان دو بردار با طول‌های متفاوت یافت که جمع برداری آنها صفر شود؟ در مورد سه بردار چگونه؟ (پاسخ خود را با رسم شکل توضیح دهید)

۷- به نظر شما اگر  $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$  باشد، تحت چه شرایطی برابر با  $C = A + B$  خواهد بود؟

## چندمسئله

۱- تبدیل یکاهای زیر را انجام دهید.

$$۷/۲ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = ? \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$۱۰ \text{ inch} = ? \text{ cm}$$

$$۲۵ \frac{\text{ft}}{\text{s}} = ? \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۲- گالن از یکاهای مرسوم حجم به حساب می‌آید که معادل  $۳/۷۸$  لیتر است. بر این اساس، تبدیل خواسته شده زیر را انجام دهید.

$$۱۰ \frac{\text{gal}}{\text{h}} = ? \frac{\text{lit}}{\text{s}}$$

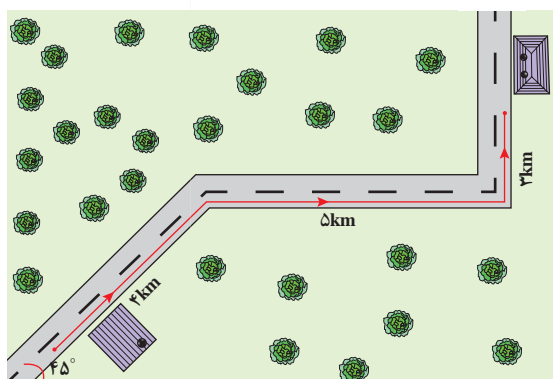
۳- یک قوطی رنگ با حجم  $7/5 \times 10^{-3} m^3$  دیواری به مساحت سطح  $25 m^2$  را می پوشاند. ضخامت رنگ بر روی دیوار بر حسب سانتی متر چقدر خواهد بود؟

۴- ویتامین D یکی از ویتامین های ضروری بدن است که برای جذب کلسیم، رشد استخوان ها و کارکرد بهتر و مؤثرتر سیستم ایمنی بدن و ... به آن نیاز داریم. میزان استاندارد مصرف ویتامین D در هر روز برابر  $15 mg$  است<sup>۱</sup>. اگر بخواهیم این میزان از ویتامین D را تنها از طریق مصرف یک قرص مولتی ویتامین که حاوی  $100 IU$  ویتامین D است، به دست آوریم، به نظر شما چند عدد از این قرص را باید در طول روز مصرف کنیم؟  
( $1 IU = 0.025 mg$ )

۵- با استفاده از قواعد هندسی جمع دو بردار نشان دهید جمع برداری از خاصیت جابه جایی (همانند جمع جبری) پیروی می کند:

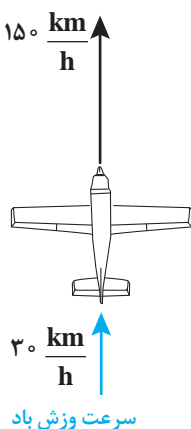
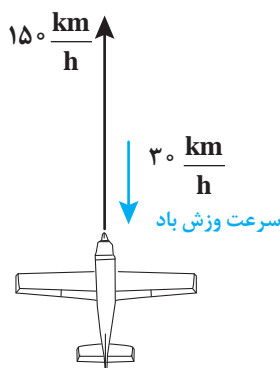
$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$$

۶- شخصی فاصله میان محل زندگی و محل کار خود را به صورت زیر می پیماید. اگر کل این جابه جایی در مدت ۲۵ دقیقه انجام گرفته باشد،



الف) اندازه جابه جایی این شخص را با رسم برداری و تعیین مقیاس بر روی کاغذ شطرنجی به دست آورید.

ب) اندازه سرعت شخص چند  $\frac{km}{h}$  بوده است؟



۷- یکی از کاربردهای عملی قواعد جمع برداری را می توان در پرواز و هدایت هواپیماها مشاهده نمود. خلبان ها می بایست در طول پرواز تحت هر شرایط اندازه و جهت بردار سرعت هواپیما را در جهت مقصد حفظ نمایند که این موضوع با استفاده از قواعد جمع برداری و البته به کمک سیستم ناوبری الکترونیکی هواپیما صورت می پذیرد. حال بر اساس شکل های روبه رو و با استفاده از قواعد برداری نشان دهید چه تغییری در وضعیت حرکت هواپیما در اثر وزیدن باد رخ می دهد و خلبان باید چه تغییری در وضعیت حرکت خود بدهد؟

۱- پیشنهاد می شود در رابطه با منابع طبیعی ویتامین D در مواد غذایی که در طول روز مصرف می کنید، تحقیق انجام دهید.

## پروژه پایانی

همان‌طور که در ابتدای بحث اشاره شد، برخی از یکاهای اندازه‌گیری طول در قدیم بر اساس طول بخش‌هایی از بدن انتخاب شده‌اند. برای مثال طول بند انگشت شست معادل ۱ اینچ و یا اندازه کف پا معادل یک فوت حساب می‌شود. با در نظر گرفتن این معادل‌ها، مطلوب است:

**الف)** رابطه تبدیل میان یارد و اینچ را بر حسب اندازه بند انگشت شست دست و فاصله نوک بینی تا نوک انگشت میانی خود به دست آورید.

**ب)** رابطه میان فوت و اینچ را به شیوه بالا محاسبه کنید.

**ج)** رابطه میان یارد و فوت را به شیوه بالا محاسبه کنید.

**د)** اکنون روابط به دست آمده در سه قسمت نخست خود را با هم‌کلاسی‌های خود در میان بگذارید و همچنین مقدار دقیق این تبدیلات را مقایسه کنید. از این مقایسه چه نتیجه‌ای خواهید گرفت؟ به نظر شما چرا داشتن یک استاندارد مناسب برای اندازه‌گیری هر کمیتی اهمیت دارد؟





## فصل دوم

## مکانیک

چرا برخی ماشین‌های مسابقه در پایان مسیر حرکت چتر عقب خود را باز می‌کنند؟



نیروی اصطکاک



نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه



حرکت یکنواخت و حرکت شتاب‌دار

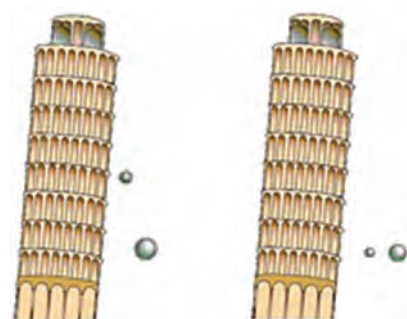


نیرو، شتاب و قوانین حرکت



حرکت، جابه‌جایی و سرعت

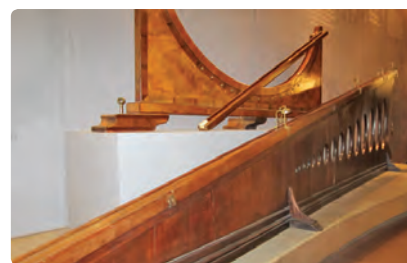
مکانیک یکی از قدیمی‌ترین و آشناترین شاخه‌های علم فیزیک است. این شاخه با اجسام در حال سکون یا در حال حرکت و همچنین شرایط سکون و حرکت آنها تحت تأثیر نیروها سروکار دارد. قوانین مکانیک به بررسی حرکت در تمام گستره جهان هستی، از الکترون‌ها در اتم گرفته تا سیارات در فضا و حتی کهکشان‌های دوردست می‌پردازد. مکانیک توضیح می‌دهد که چرا اجسام حرکت می‌کنند و یا اینکه جسم در وضعیت معینی چگونه حرکت خواهد کرد و این حرکت را چگونه می‌توان توصیف کرد. علم مکانیک را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: **سینماتیک و دینامیک**. سینماتیک به توصیف حرکت اجسام و مسیر آنها، بدون توجه به نیروهایی که این حرکت را ایجاد کرده‌اند می‌پردازد و با مفاهیم مکان، سرعت، شتاب، زمان و روابط بین آنها سروکار دارد. دینامیک به نیروهایی که موجب تغییر حرکت یا تغییر خواص دیگر از قبیل شکل و اندازه اجسام می‌شوند، می‌پردازد. این بخش از مکانیک ما را به مفاهیم نیرو و جرم و قوانین حاکم بر حرکت اجسام هدایت می‌کند. در زمان ارسطو فرایند فکری مربوط به مکانیک گسترش سریعی پیدا کرد. اما از قرن هفدهم به بعد بود که مکانیک توسط گالیله<sup>۱</sup>، هویگنس<sup>۲</sup> و نیوتن<sup>۳</sup> به درستی پایه‌گذاری شد. ارسطو معتقد بود که برخی حرکت‌ها در طبیعت اجسام وجود دارد، دود به خاطر سبکی بالا می‌رود و تخته‌سنگ‌های بزرگ به خاطر سنگینی سقوط می‌کنند، همچنین حرکت ستارگان در آسمان شب به‌طور طبیعی رخ می‌دهد. در مقابل حرکت طبیعی، برخی دیگر از حرکت‌ها اجباری است و به وسیله هل دادن و کشیدن اجسام رخ خواهد داد، یعنی اجسامی که حرکت غیر طبیعی دارند حتماً کشیده یا هل داده شده‌اند، ارسطو بر این باور بود که قوانین طبیعت را تنها می‌توان از طریق **استدلال منطقی** کشف کرد. ادعاهای ارسطو برای نزدیک به ۲۰۰۰ سال ادامه داشت، ادعای اول او این بود که اجسام سنگین همواره سریع‌تر از اجسام سبک حرکت می‌کنند و ادعای دوم برای اینکه حرکت جسم ادامه پیدا کند، باید نیروی خارج از جسم مداوم بر آن اثر کند. این ادعاهای ارسطو در قرن هفدهم میلادی توسط گالیله رد شدند، گالیله بر این باور بود که **آزمایش‌های تجربی** برای کشف قوانین طبیعت بر باورهای ذهنی و استدلال‌های منطقی برتری دارند. او به بالای برج مشهور و کج پیزا رفت و دو جسم با جرم‌های مختلف را رها کرد و نشان داد در غیاب مقاومت هوا آن دو با هم سقوط خواهند کرد (شکل ۱-۲). گالیله توانست ایده‌های انقلابی خود را به وسیله آزمایش‌های گوناگونی که با حرکت توپ روی سطح شیب‌دار با زاویه‌های مختلف انجام می‌داد به اثبات برساند، او از این آزمایش‌ها **چنین نتیجه گرفت که برای حرکت مداوم یک جسم لزومی به وارد کردن دایمی نیرو بر آن نیست**. در یک بیان ساده می‌توان نیرو را هل دادن یا کشیدن در نظر گرفت. گالیله نشان داد اگرچه برای شروع حرکت نیاز به وارد کردن نیرو وجود دارد ولی در غیاب اصطکاک، برای ادامه حرکت جسم نیازی به وارد کردن نیرو نیست (شکل ۲-۲).



از دیدگاه ارسطو

از دیدگاه گالیله

**شکل ۱-۲** گالیله با آزمایش نشان داد که در غیاب مقاومت هوا گلوله‌های کوچک سبک و سنگین با هم سقوط می‌کنند.



**شکل ۲-۲** نمونه‌ای از دستگاه‌هایی که گالیله برای آزمایش بر روی حرکت اجسام به کار می‌برد.

۱- Galileo Galilei

۲- Christian Huygens

۳- Isaac Newton



شما هم می‌توانید آزمایش گالیله را تجربه کنید. یک سیب و یک برگ کاغذ بردارید. بالای پله‌ها بایستید (یا هر جایی که از سطح زمین ارتفاع داشته باشد) سپس دو تجربه زیر را انجام دهید:

**(الف)** با دو دست برگه کاغذ و سیب را در یک ارتفاع مشخص بالای سرتان نگه داشته و هم‌زمان هر دو را رها کنید.

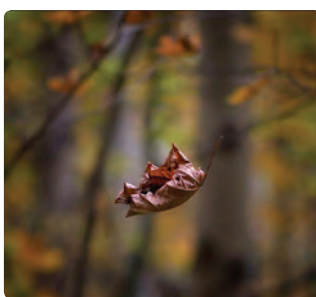
**(ب)** کاغذ را مچاله کنید و آن را هم‌زمان با سیب در یک ارتفاع مشخص بالای سرتان نگه داشته و هم‌زمان هر دو را رها کنید. آیا تفاوتی در دو تجربه مشاهده می‌کنید؟

در درس **علوم تجربی پایه نهم** با برخی از کمیت‌های مربوط به حرکت و همچنین قوانین حرکت آشنایی پیدا کرده‌اید. در این فصل ضمن آشنایی بیشتر با این کمیت‌ها با برخی از انواع حرکت نیز آشنا خواهید شد، همچنین با گستردگی بیشتری به بررسی قوانین حرکت و نیروها می‌پردازیم.



## ۲-۱ حرکت

خداوند متعال در دهه‌ها آیه از قرآن کریم به نشانه‌های رحمت خود از جمله حرکت اشیا در طبیعت اشاره کرده است.<sup>۱</sup> اگر به پیرامون خود نگاه کنید، حرکت را به گونه‌های مختلف در همه جا خواهید دید، مثل حرکت یک قطار تندرو روی خط ریل مستقیم، حرکت خمیده توپ بسکتبال در هنگام پرتاب، حرکت پیچیده یک برگ و حرکت چرخشی آب در هنگام خروج از آب‌پاش (شکل ۲-۳). برخی حرکت‌ها که در بالا به آنها اشاره شد پیچیده و برخی دیگر ساده هستند. بهتر است از حرکت‌های ساده‌تر شروع کنیم و با آنچه که در بررسی حرکت‌های ساده می‌آموزیم، می‌توانیم آموخته‌های خود را به موارد پیچیده‌تر نیز گسترش دهیم. برخی حرکت‌ها در طبیعت هم زیبا و هم نشانه‌هایی از خالق زیبایی‌ها هستند.



شکل ۲-۳ نمونه‌هایی از انواع حرکت

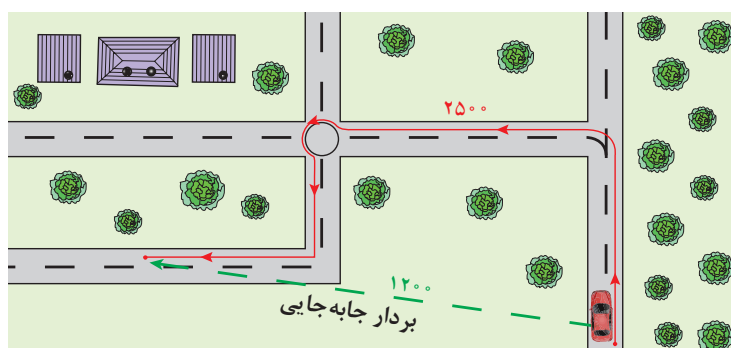
توضیح یک حرکت همواره به مکان و زمان وابسته است، برای توصیف و شناخت حرکت شما همواره باید بتوانید به این سؤال پاسخ دهید که جسم در یک لحظه معین در چه مکانی قرار دارد؟ سرعت و شتاب آن چقدر است؟ در این صورت است که می‌توانید حرکت آن را توصیف کنید، در ادامه درس **علوم تجربی پایه نهم**، در این فصل ضمن یادآوری کوتاه از مفاهیم مکان، سرعت و شتاب، شما را با نمودار مسیر حرکت، حرکت‌های یکنواخت و شتاب‌دار و قوانین حرکت و نیروها آشنا خواهیم کرد که بتوانید حرکت اجسام روی خط راست را بهتر بشناسید و آن را توصیف کنید.



۱- سوره مبارکه روم، آیه ۴۶؛ سوره مبارکه فاطر، آیه ۹.



**بردار مکان:** همان گونه که در درس علوم تجربی پایه نهم آموختید، موقعیت هر جسم را می توان در لحظه های مختلف حرکتش توسط بردار مکان نشان داد، برداری که از مبدأ مختصات به مکان جسم رسم شده است را بردار مکان جسم می نامیم. طول این بردار، فاصله جسم تا مبدأ را مشخص می کند. بردار جابه جایی: برداری که نقطه شروع حرکت هر جسم را به نقطه پایان حرکت آن وصل می کند، بردار جابه جایی آن جسم می گویند (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴ تفاوت بین مسافت و جابه جایی

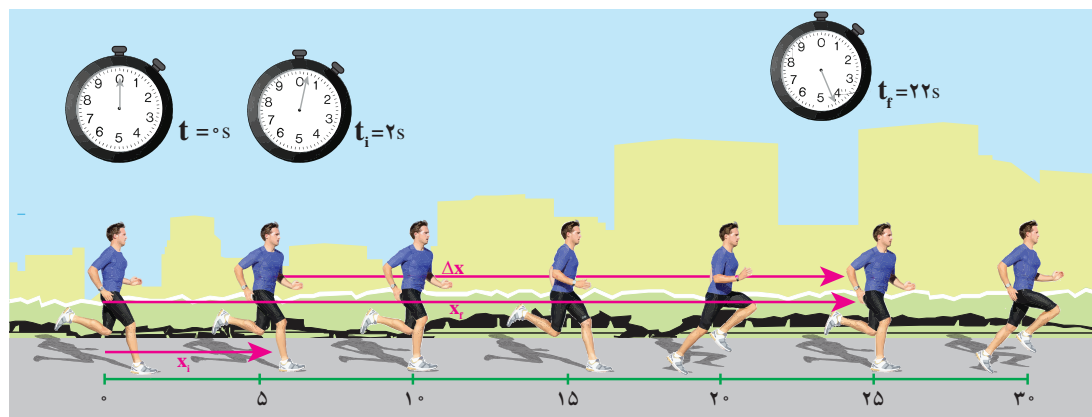
اگر مکان جسم در نقطه شروع حرکت را با نماد  $x_i$  و مکان جسم در انتهای حرکتش را با نماد  $x_f$  نمایش دهیم، برای اندازه جابه جایی روی خط راست خواهیم داشت<sup>۱</sup>:

$$\Delta x = x_f - x_i \quad (۱-۲)$$

زمانی را که جسم در شروع حرکتش قرار دارد  $t_i$  و زمانی را که جسم در پایان حرکتش قرار دارد  $t_f$  نام گذاری می کنیم، تفاضل این دو مقدار را یک **بازه زمانی** می نامیم و آن را با نماد  $\Delta t$  نمایش می دهیم، رابطه ریاضی بازه زمانی به صورت رابطه ۲-۲ تعریف می شود.

$$\Delta t = t_f - t_i \quad (۲-۲)$$

شکل ۲-۵ مسیر حرکت را برای دوندهای نشان می دهد که در مدت زمان ۲۰ ثانیه از مکان ۵ متری مبدأ تا مکان ۲۵ متری مبدأ جابه جا شده و اندازه بردار جابه جایی حرکت او ۲۰ متر است.



شکل ۲-۵ دونده در مکان ها و لحظه های مختلف نشان داده شده است

۱- از حرف اول کلمه های initial به معنی اولیه و final به معنی نهایی استفاده کرده ایم.



## ۲-۲ نمودار مسیر حرکت و مفهوم سرعت



شکل ۲-۶ نمودار مسیر حرکت برای ورزشکاری که در حال پرش است.

حرکت یک دونده در مسیر مستقیم، یک مثال ساده از حرکت روی خط راست است. یکی از راه‌ها برای نمایش دادن حرکت این دونده تهیه عکس‌هایی است که در بازه‌های زمانی مساوی، مکان دونده را مشخص می‌کند (همانند شکل‌های ۲-۶ و ۲-۷). فرض کنید دوربین را عمود بر جهت حرکت دونده، ثابت نگه داشته‌اید و در حین حرکت در مکان‌های مختلف از دونده عکس گرفته‌اید. شکل ۲-۷ عکس‌های گرفته شده از این دونده را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. شما در این عکس پنج تصویر پشت سر هم از این دونده را مشاهده می‌کنید که در بازه‌های زمانی مساوی گرفته شده‌اند. به این عکس، نمودار مسیر حرکت می‌گوییم.



شکل ۲-۷ نمودار مسیر حرکت یک دونده در بازه‌های زمانی مساوی

مکان دونده در هر لحظه را می‌توان با یک نقطه روی شکل مشخص کرد، می‌توانید قبل از گرفتن عکس روی زمین و در طول مسیر حرکت دونده وسیله اندازه‌گیری طول، مانند متر نواری قرار دهید، این متر نواری مکان جسم را پس از عکس‌برداری به شما نشان خواهد داد. با استفاده از نمودار مسیر حرکت شما توانسته‌اید مکان حرکت را اندازه بگیرید، آیا این اطلاعات برای به‌دست آوردن سرعت اجسام قابل استفاده است؟

با استفاده از نرم افزار Motion Shot، نمودار مسیر حرکت خود و یا هم‌کلاسی‌هایتان را تهیه کنید.

تجربه کنید

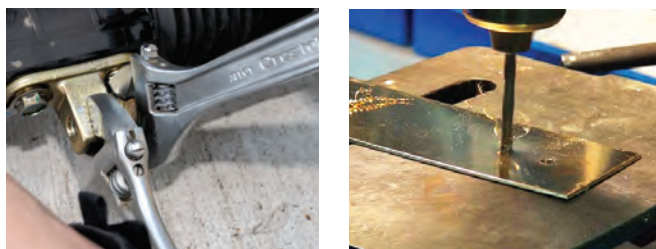


در درس **علوم تجربی پایه نهم** با مفهوم تندی متوسط و لحظه‌ای آشنا شده‌اید، در اینجا از کمیت سرعت نام می‌بریم، این کمیت جهت و اندازه تغییر مکان جسم نسبت به زمان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در فصل ۱ اشاره کردید، سرعت کمیتی برداری است. به حاصل تقسیم جابه‌جایی به بازه زمانی که این جابه‌جایی اتفاق افتاده است **سرعت متوسط حرکت** می‌گوییم. سرعت متوسط را با  $\bar{v}$  نمایش داده و یکای اندازه‌گیری آن  $\frac{m}{s}$  (متر بر ثانیه) است. در این صورت اندازه سرعت متوسط را می‌توان توسط رابطه ۲-۳ به‌دست آورد:

$$\bar{v} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (۲-۳)$$

## ۳-۲ تعادل اجسام

در کتاب‌های علوم تجربی سال‌های گذشته با مفهوم نیرو آشنا شده‌اید. وقتی توپ را شوت یا آن را متوقف می‌کنید در حال وارد کردن نیرو به آن هستید. بلند کردن اجسام از روی زمین یا هل دادن آنها، حرکت کردن یک چرخ، بستن یک پیچ، سوراخ کردن قطعات همه نیازمند وارد کردن نیرو هستند (شکل ۲-۸). مفهوم نیرو معمولاً با هل دادن، کشیدن، خم کردن، برش دادن و تغییر سرعت همراه است.



شکل ۲-۸ نمونه‌هایی از وارد کردن نیرو به اجسام مختلف

نیرو کمیتی برداری است که با نماد  $\vec{F}$  نمایش داده می‌شود. یکای اندازه‌گیری آن  $N$  (نیوتن) است.

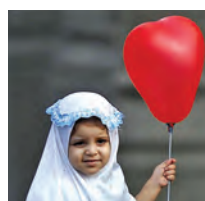
نکته



### اسحاق نیوتن

فیزیک‌دان، ریاضی‌دان، ستاره‌شناس، فیلسوف انگلیسی بوده است. وی در سال ۱۶۸۷ میلادی شاهکار خود «اصول ریاضی فلسفه طبیعی» را به نگارش درآورد. او مفهوم گرانش عمومی را مطرح ساخت و با تشریح قوانین حرکت اجسام، علم مکانیک کلاسیک را پایه گذاشت. از دیگر کارهای مهم او بنیان‌گذاری حساب دیفرانسیل و انتگرال است.

در این فصل هرگاه از کلمه نیرو استفاده می‌کنیم منظورمان برآیند نیروهای وارد بر جسم است. در بیشتر اوقات بیش از یک نیرو به جسم وارد می‌شود، به عنوان مثال هنگامی که یک توپ فوتبال را شوت می‌کنید، علاوه بر نیروی وارد شده از طرف پای شما، نیروهایی مانند وزن توپ، اصطکاک سطح زمین بازی و همچنین مقاومت هوا نیز بر توپ وارد می‌شوند، منظور از نیروی وارد شده بر این توپ همان برآیند نیروهایی است که بر توپ وارد می‌شده و باعث تغییر در وضعیت حرکتی توپ می‌شود. همان‌گونه که در علوم تجربی پایه نهم دیدید، اگر جسمی در حال تعادل باشد، برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹ برآیند نیروهای وارد بر بادکنک، هواپیما و کشتی صفر است.



به طور کلی هرگاه جسم ساکن باشد آن را در حال «تعدادل استاتیکی» و هرگاه با سرعت ثابت در حال حرکت باشد آن را در حال «تعدادل دینامیکی» می نامیم. در هر دو نوع تعدادل، برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر است. در نتیجه شرط تعدادل استاتیکی و دینامیکی به صورت زیر است:

$$\vec{F}_T = 0 \quad (4-2)$$

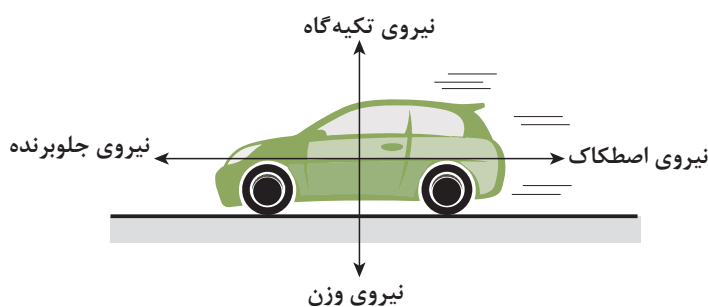
نماد  $T$  به کار رفته در رابطه ۴-۲ به معنی جمع برداری یا همان برآیند است. این رابطه بیان می کند که جمع برداری نیروهای وارد شده به جسم در حال تعدادل، برابر صفر است.

سرعت یک کمیت برداری است، وقتی می گوئیم سرعت جسم ثابت است، یعنی هم اندازه و هم جهت آن ثابت است.

نکته



شکل ۲-۱۰ صخره ای را نشان می دهد که در حال تعدادل استاتیکی است، شکل ۲-۱۱ خودرویی را نشان می دهد که با سرعت ثابت در حال حرکت است، این خودرو نیز در حال تعدادل دینامیکی است.



شکل ۲-۱۱ تعدادل دینامیکی خودرو

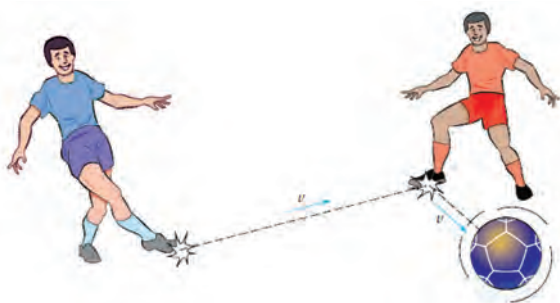


شکل ۲-۱۰ صخره در حال تعدادل

اجسام تمایل دارند تعدادل استاتیکی و یا دینامیکی خود را تا زمانی که نیرویی از بیرون به آنها وارد نشود، حفظ کنند. این گفته بیان قانون اول نیوتن درباره حرکت اجسام است.

### ۲-۳-۱ قانون اول نیوتن درباره حرکت اجسام:

این قانون که بیشتر به قانون لختی (اینرسی) مشهور است، در واقع بیان دیگری از نظر گالیله درباره حرکت اجسام است. هر جسمی حالت سکون خود را حفظ خواهد کرد و یا به حرکت با سرعت ثابت بر روی خط راست ادامه خواهد داد، مگر اینکه تحت تأثیر نیروی خارجی قرار گیرد (شکل ۲-۱۲).



شکل ۲-۱۲ تا زمانی که به جسم نیرویی وارد نشود به حرکت یکنواخت روی خط راست ادامه می دهد.

نکته کلیدی در این قانون مفهوم ادامه داشتن است. جسم اگر در حال سکون باشد همچنان تمایل دارد ساکن بماند. همچنین جسمی که در حال حرکت بر روی مسیری مستقیم است، تا زمانی که برآیند نیروهای خارجی وارد بر آن صفر باشد، به حرکت با سرعت ثابت در مسیر مستقیم ادامه خواهد داد، همان طور که کاوشگرهای فضایی در فضای میان ستارگان بدون تغییر در اندازه و جهت سرعت، حرکت می کنند.

این ویژگی اجسام را که در مقابل تغییر سرعت از خود مقاومت نشان می دهند، **لختی (اینرسی)** می نامند. همه اجسام دارای «لختی» هستند و مقدار این لختی به جرم جسم بستگی دارد. **هر اندازه جرم یک جسم بیشتر باشد، لختی آن نیز بیشتر خواهد بود**، به بیان ساده جرم معیاری برای مقاومت جسم در مقابل تغییر سرعت است.



تحقیقات نشان داده است که پستی سر صندلی های خودرو در هنگام تصادفات و برخوردهای ناگهانی، تا ۴۰ درصد از آسیب های وارده بر گردن و ستون فقرات سرنشینان به دلیل تغییر وضعیت های ناگهانی ناشی از لختی، می کاهد. در شکل مقابل فاصله مناسب پشت سر نشان داده شده است.

بیشتر بدانید



تصور کنید درون یک اتوبوس در حال توقف ایستاده اید، ناگهان اتوبوس شروع به حرکت می کند و شما به طرف عقب پرتاب می شوید. به نظر شما این اتفاق چه ارتباطی به قانون اول نیوتن دارد؟

فکر کنید



مطابق شکل سکه ای را روی یک تکه مقوا قرار دهید و آن را روی دهانه لیوان بگذارید، سعی کنید به مقوا ضربه بزنید. چه اتفاقی می افتد؟

تجربه کنید



وزنه ای به جرم ۲۵۰ گرم را مطابق شکل به وسیله نخ نازکی به سقف یا روی دستگاه پایه و گیره آویزان کنید. یک بار نخ را سریع به سمت پایین بکشید و بار دیگر نخ را به آرامی بکشید. در اجرای هر بار این آزمایش چه چیزی مشاهده می کنید؟ نتیجه هر حالت آزمایش را با دلیل توضیح دهید.

آزمایش کنید





شکل ۲-۱۳ حرکت قطار بین دو ایستگاه در یک مسیر مستقیم، حرکت یکنواخت است. این قطار در حال تعادل دینامیکی است.

۲-۳-۲ حرکت یکنواخت: همان گونه که اشاره شد، خودرو شکل ۲-۱۱ در حال تعادل دینامیکی است و حرکتش با سرعت ثابت انجام می‌گیرد، این گونه حرکت‌ها را **حرکت یکنواخت روی خط راست** می‌نامیم. در حرکت یکنواخت، اندازه و جهت بردار سرعت لحظه‌ای متحرک، در تمام لحظات یکسان است (شکل ۲-۱۳). **سرعت لحظه‌ای سرعت جسم در هر لحظه است** که آن را با نماد  $v$  نمایش می‌دهیم و یکای اندازه‌گیری آن  $\frac{m}{s}$  (متر بر ثانیه) است. در این نوع حرکت اندازه سرعت لحظه‌ای و اندازه سرعت متوسط باهم برابرند (چرا؟)، در نتیجه داریم:

$$\bar{v} = v \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (۵-۲)$$

در رابطه ۲-۵ اگر مکان را در لحظه صفر برابر با  $x_0$  و مکان متحرک را  $t$  ثانیه پس از شروع حرکت با  $x$  نمایش دهیم (شکل ۲-۱۴)، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$x = vt + x_0 \quad (۶-۲)$$

رابطه ۲-۶ را **معادله مکان - زمان** (حرکت) برای حرکت یکنواخت می‌نامیم.



شکل ۲-۱۴ نمودار مسیر حرکت یکنواخت

حرکت یکنواخت:

- ۱- فاصله متحرک از مبدأ مکان ( $x$ ) از رابطه  $x = vt + x_0$  به دست می‌آید.
- ۲- در این رابطه مکان بر حسب متر ( $m$ ) و سرعت بر حسب  $(\frac{m}{s})$  و زمان بر حسب ( $s$ ) جاگذاری می‌شود.

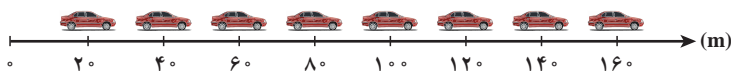
نکته



مثال



نمودار زیر، مسیر حرکت خودرویی است که با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است. اگر فاصله زمانی بین هر دو نقطه یک ثانیه باشد:



الف) معادله مکان - زمان حرکت را به دست آورید.

ب) با توجه به معادله مکان - زمان محاسبه کنید که خودرو چند ثانیه پس از شروع حرکت به اندازه ۲۰۰ متر جابه‌جا شده است.

**پاسخ:** با توجه به اطلاعات نمودار مسیر حرکت مکان اولیه خودرو ۲۰ متری مبدأ بوده است، و می توان سرعت متوسط (که برابر با سرعت لحظه ای می باشد) آن را محاسبه کرد:

$$\left. \begin{array}{l} t_i = 0 \text{ s}, x_i = 20 \text{ m} \\ t_f = 2 \text{ s}, x_f = 60 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow \bar{v} = v = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{60 \text{ m} - 20 \text{ m}}{2 \text{ s} - 0} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

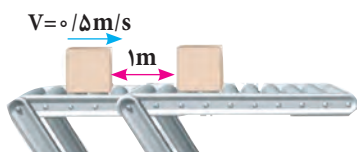
با توجه به معادله ۲-۶ خواهیم داشت:

$$\left. \begin{array}{l} x_0 = 20 \text{ m} \\ v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{array} \right\} \Rightarrow x = vt + x_0 \Rightarrow x = 20t + 20$$

(ب) با توجه به معادله ۱-۲ می توان نوشت:

$$\Delta x = x_f - x_i \Rightarrow 20 \text{ m} = x_f - 20 \text{ m} \Rightarrow x_f = 40 \text{ m}$$

$$x = vt + x_0 \Rightarrow 40 \text{ m} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} t + 20 \text{ m} \Rightarrow t = 1 \text{ s}$$

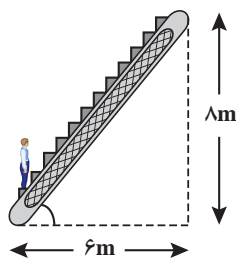


در یک کارخانه تولید قطعه های لوازم خانگی بسته های تولیدی روی تسمه نقاله مطابق شکل با سرعت ثابت ۰/۵ m/s در حال حرکت هستند. اگر فاصله بین هر دو بسته ۱ m باشد، فاصله زمانی برداشتن بسته ها چند ثانیه باید باشد تا بسته ای روی تسمه نقاله باقی نماند.

مطابق رابطه ۲-۵ خواهیم داشت:

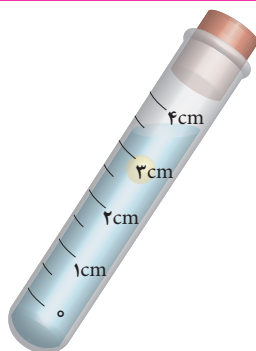
$$\left. \begin{array}{l} \Delta x = 1 \text{ m} \\ \bar{v} = v = 0.5 \text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{1 \text{ m}}{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2 \text{ s}$$

مثال



فاصله دو طبقه فروشگاهی مطابق شکل روبه رو ۸ متر است. اگر شخص در مدت ۱۰ s فاصله این دو طبقه را با سرعت ثابت طی کند، تعیین کنید سرعت پلکان برقی چند متر بر ثانیه بوده است.

تمرین کنید



روی لوله آزمایشی به فواصل نیم سانتی متر برچسب بزنید، سپس آن را از آب پر کنید و درون آن یک قطره روغن ماشین بریزید، سر این لوله را با چوب پنبه یا درپوش پلاستیکی ببندید و با سروته کردن لوله، سعی کنید قطره روغن را در داخل لوله حرکت دهید، با استفاده از زمان سنج و اندازه های روی لوله، حرکت قطره روغن را در طول لوله بررسی کنید. آیا می توانید سرعت متوسط قطره روغن را محاسبه کنید؟ چگونه می توانید یکنواخت بودن حرکت روغن را با این آزمایش نشان دهید؟

آزمایش کنید



## ۲-۴ حرکت غیر یکنواخت اجسام



الف) دوندگان دوی سرعت پس از رسیدن به خط پایان سرعت خود را کاهش می‌دهند تا از حرکت بایستند.



ب) فضا پیما در حال بلند شدن از سطح زمین و تا لحظاتی پس از آن سرعتش را افزایش می‌دهد.

شکل ۲-۱۵ حرکت غیر یکنواخت

هرگاه برابری نیروهای وارد بر جسمی غیر صفر نباشد، حرکت آن یکنواخت نیست و سرعت جسم تغییر می‌کند. در شرایطی که جسم در مسیر مستقیم در حرکت باشد، سرعت می‌تواند افزایش و یا کاهش یابد. حرکتی که با تغییر سرعت همراه باشد **غیر یکنواخت** می‌نامیم. حرکت خودرو بعد از ترمز، فضاپیما در حال بلند شدن از سطح زمین و توقف دوندگان دو سرعت در خط پایان نمونه‌هایی از حرکت‌های غیر یکنواخت هستند (شکل ۲-۱۵). در تمامی این حرکت‌ها وارد شدن نیرو به جسم باعث تغییر در سرعت آن می‌شود.

شما می‌توانید تفاوت بین حرکت یکنواخت و غیر یکنواخت را شروع و توقف حرکت یک آسانسور یا ترمز خودرو احساس کنید. برای اینکه تفاوت بین حرکت‌ها را بیشتر توضیح داده باشیم به شکل ۲-۱۶ دقت کنید. در این شکل به سه نوع حرکت اشاره شده است، شکل شامل عکس‌هایی است که در بازه‌های زمانی مساوی از دونده گرفته شده است در ادامه به توضیح آن می‌پردازیم:



الف) در این شکل، فاصله بین عکس‌های مختلف و در لحظه‌های متفاوت ثابت باقی می‌ماند، پس دونده در حال دویدن با سرعت ثابت می‌باشد. حرکت او یکنواخت و برابری نیروهای وارده بر آن صفر است. دونده در این حالت دارای **تعادل دینامیکی** است.

ب) در این شکل، فاصله بین عکس‌ها در طول زمان در حال افزایش است. این به آن معناست که سرعت دونده در طول زمان افزایش یافته است. این حرکت را **غیر یکنواخت** و **تندشونده** می‌نامیم.

پ) در این شکل، فاصله بین عکس‌ها در طول زمان در حال کاهش است، به این معنا که سرعت دونده در طول زمان کاهش یافته است، این حرکت را **غیر یکنواخت** و **کندشونده** می‌نامیم.

از کتاب **علوم تجربی پایه نهم** به خاطر دارید که شتاب متوسط یک جسم تغییر سرعت جسم در یک بازه زمانی است، در نتیجه حرکت‌هایی نظیر شکل ۲-۱۶ ب و پ را می‌توان حرکت‌های شتاب‌دار نامید. شتاب متوسط این حرکت‌ها از تقسیم اندازه تغییرات سرعت به بازه زمانی آن تغییرات به دست می‌آید. شتاب متوسط



را با نماد  $\bar{a}$  نشان می‌دهیم و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (۷-۲)$$

نکته



- ۱- نیرو باعث تغییر وضعیت حرکت جسم و بردار سرعت (اندازه و جهت) آن می‌شود.
- ۲- شتاب، کمیتی برداری است و یکای اندازه‌گیری آن متر بر مجذور ثانیه ( $\frac{m}{s^2}$ ) است.

تمرین کنید



یوزپلنگ ایرانی می‌تواند در مدت زمان ۲ ثانیه، سرعت خود را از صفر به ۹۶ کیلومتر بر ساعت برساند، در صورتی که یکی از سریع‌ترین خودروهای جهان می‌تواند همین افزایش سرعت را در مدت ۲/۵ ثانیه انجام دهد. شتاب متوسط این دو را با هم مقایسه کنید.

آیا تاکنون این سؤال را از خود پرسیده‌اید که برای انجام حرکت تندشونده و یا کندشونده نیروی برآیند باید در چه جهتی بر جسم وارد شود؟ به عنوان مثال در شکل ۲-۱۶-پ که حرکت جسم شتابدار است، نیروی برآیند وارد بر جسم به کدام جهت وارد شده است؟ به این منظور به شکل ۲-۱۷ دقت کنید.



۲-۱۷ حرکت‌های یکنواخت، تندشونده و کندشونده دوچرخه

اگر به طول بردارهای نیروی رسم شده در این شکل دقت کنید، متوجه خواهید شد که در شکل ۲-۱۷-الف اندازه نیروی جلو برنده با نیروی مقاوم زمین و هوا که با حرکت دوچرخه مخالفت می‌کنند، برابر است و در این حالت برآیند نیروهای وارد بر دوچرخه صفر بوده و حرکت آن یکنواخت است. در شکل ۲-۱۷-ب نیروها دیگر متوازن نیستند و برآیند نیروها در جهت حرکت است و همان‌طور که می‌بینید حرکت دوچرخه تندشونده است، در شکل ۲-۱۷-پ نیز برآیند نیروها صفر نیست ولی برآیند نیروها خلاف جهت حرکت دوچرخه است، و حرکت دوچرخه کندشونده است. برای اینکه به رابطه بین جهت نیرو و جهت شتاب جسم پی ببریم خوب است که قانون دوم نیوتن را معرفی کنیم.

۲-۴-۱ قانون دوم نیوتن: قانون دوم نیوتن چنین بیان می‌کند که:

اگر به جسمی نیروی خارجی وارد شود، شتابی می‌گیرد که اندازه آن با اندازه نیرو رابطه مستقیم و با جرم



جسم رابطه عکس دارد. در آن صورت خواهیم داشت:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_T}{m} \quad (۸-۲)$$

با توجه به قانون دوم نیوتن و رابطه ۷-۲ در حرکت شتاب‌دار، دو یکا برای کمیت شتاب به دست آورید.

تمرین کنید



نکته



مثال



بر طبق رابطه ۸-۲ می‌توان نتیجه گرفت که بردار شتاب همواره هم جهت با بردار نیروی برآیند وارد بر جسم است (چرا؟)

با توجه به شکل آغاز فصل اگر نیروی مقاوم برای هر دو چتر یکسان باشد، چه تفاوتی در شتاب کندشونده خودرو برای حالتی که یک چتر باز شود یا اینکه دو چتر باز شود وجود خواهد داشت؟  
**پاسخ:** جرم خودرو را  $m$  و نیروی وارد شده از طرف هر چتر بر اتومبیل  $F$  است در حالتی که یکی از چترها باز شود:

$$a_1 = \frac{F}{m}$$

در حالتی که هر دو چتر باز شود:

$$a_2 = \frac{2F}{m}$$

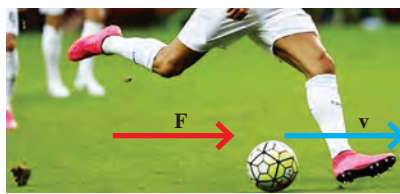
شتاب در حرکت کندشونده حالت دوم دو برابر شتاب در حالت اول است.

اکنون می‌توان به سؤال مطرح شده در قسمت قبل پاسخ داد که نیروی وارد شده بر جسم چه موقعی می‌تواند باعث حرکت تند شونده و چه موقعی باعث حرکت کند شونده اجسام شود:

هرگاه بردار نیروی برآیند در خلاف بردار سرعت جسم متحرکی باشد، سرعت آن را کاهش داده و حرکت آن کندشونده خواهد بود و هرگاه بردار نیروی برآیند هم جهت با بردار سرعت به جسمی وارد شود، حرکت تند شونده خواهد بود. به شوت کردن توپ در بازی فوتبال دقت کنید شکل ۲-۱۸-الف، توپ در حال حرکت رو به جلو است، و بازیکن نیز در همان جهت به آن نیرو وارد کرده و توپ در همان جهت شتاب می‌گیرد، حرکت او باعث افزایش اندازه سرعت توپ و تند شونده شدن حرکت آن می‌شود و در مقابل دروازه‌بان برای کنترل توپ، خلاف جهت حرکت توپ به آن نیرو وارد کرده و شتابی مخالف جهت حرکت توپ به آن می‌دهد، این کار باعث کاهش سرعت توپ و حرکت کند شونده و در نهایت توقف توپ خواهد شد (شکل ۲-۱۸-ب).



ب) متوقف کردن توپ توسط دروازه‌بان فوتبال یک حرکت کند شونده است.



الف) توپ فوتبال در لحظه شوت کردن توسط بازیکن حرکتش تندشونده است.

شکل ۲-۱۸ نمونه‌هایی از حرکت تندشونده و کندشونده



یکی از متداول ترین حرکت هایی که در طبیعت به صورت شتاب دار انجام می گیرد، حرکت با شتاب ثابت روی خط راست است، هرگاه بردار برآیند نیروهای وارد بر یک جسم تغییر نکند، بردار شتاب نیز بدون تغییر باقی می ماند و حرکت با شتاب ثابت انجام خواهد گرفت. در این حالت سرعت به طور یکنواخت تغییر می کند، و مقدار شتاب در لحظه های مختلف حرکت یکسان است.

**شتاب لحظه ای همان شتاب جسم در یک لحظه معین است** که آن را با نماد  $a$  نمایش می دهیم. در حرکت شتاب ثابت روی خط راست، اندازه شتاب متوسط و شتاب لحظه ای باهم برابر هستند.

یعنی:

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (9-2)$$

اگر در رابطه ۹-۲ سرعت در لحظه شروع حرکت  $v_0$  و  $t$  ثانیه پس از شروع حرکت برابر با  $v$  باشد، آنگاه برای شتاب حرکت چنین می توان نوشت:

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad (10-2)$$

همچنین با کمی تغییر در رابطه ۱۰-۲ می توان **معادله سرعت - زمان** حرکت با شتاب ثابت را به شکل زیر نوشت:

$$v = at + v_0 \quad (11-2)$$



شکل روبه رو بازی چوگان ایرانی را نشان می دهد، اگر توپ چوگان حرکت خود را با سرعت  $4 \text{ m/s}$  و با شتاب ثابت  $10 \text{ m/s}^2$  آغاز کرده باشد، سرعت آن  $2 \text{ s}$  پس از شروع حرکت چقدر خواهد شد؟ برآیند نیروهای وارد بر این توپ  $127 \text{ g}$ ، چقدر است؟  
**پاسخ:**

$$v = v_0 + at$$

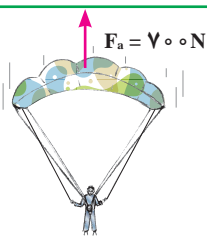
$$\left. \begin{array}{l} v_0 = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ a = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{array} \right\} \Rightarrow v = v_0 + at \Rightarrow v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} + (10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(2\text{s}) = 24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$m = 127 \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 127 \times 10^{-3} \text{ kg} = 1/27 \times 10^{-1} \text{ kg}$$

$$F = ma = 1/27 \times 10^{-1} \text{ kg} \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1/27 \frac{\text{kg.m}}{\text{s}^2} = 1/27 \text{ N}$$

مثال





جرم چتربازی به همراه تجهیزات برابر با  $80 \text{ kg}$  است، اگر نیروی مقاومت هوا در برابر حرکت چترباز در لحظه‌های اولیه سقوط برابر با  $700 \text{ N}$  باشد، شتاب تند شونده این چترباز را محاسبه کنید.

## ۲-۵ نیروهای کنش و واکنش



الف) حرکت قایق‌های پارویی در آب



ب) حرکت شناگران در آب

شکل ۲-۲۰ نمونه‌هایی از نیروهای کنش و واکنش

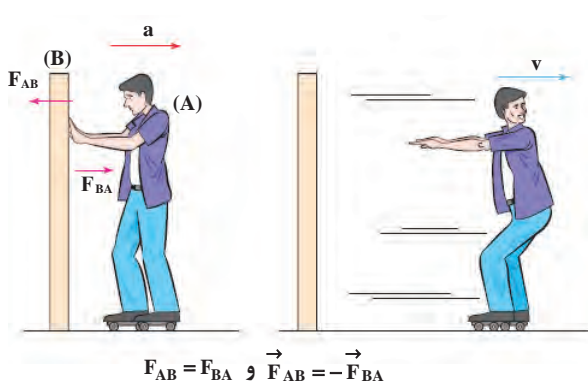
آیا تاکنون به حرکت قایق‌های پارویی درون آب دقت کرده‌اید؟ قایق سوار با پارو زدن به سمت عقب قایقش را به سمت جلو می‌راند و یا یک شناگر در حین شنا، آب را با دستان خود به عقب می‌راند در حالی که خود به سمت جلو حرکت می‌کند (شکل ۲-۲۰). در این نوع مثال‌ها و نمونه‌های مشابه با نیروهای کنش و واکنش سروکار داریم. با بررسی قانون سوم نیوتن می‌توانیم نیروهای کنش و واکنشی را که اجسام به همدیگر وارد می‌کنند بهتر بشناسیم و در بررسی حرکت از این قانون بهره ببریم.

**۲-۵-۱ قانون سوم نیوتن:** هرگاه یک جسم نیرویی به جسم دیگر وارد کند، آن جسم نیز نیرویی به همان اندازه ولی در خلاف جهت به جسم اول وارد خواهد کرد. وقتی روی کف اتاق قدم برمی‌دارید، با آن برهم کنش

انجام می‌دهید، شما به کف اتاق و کف اتاق به شما نیرو وارد می‌کند، این جفت نیرو به طور هم‌زمان اعمال می‌شوند. تایرهای خودرو به کف خیابان نیرو وارد می‌کنند و کف خیابان هم به تایر به همان اندازه اما در خلاف جهت، نیرو وارد می‌کند.

برای تشخیص نیروهای کنش و واکنش از همدیگر در ابتدا بر هم کنش اجسامی را که به هم نیرو وارد می‌کنند تشخیص می‌دهیم، مثلاً هرگاه با دست خود به دیوار نیرو وارد می‌کنید، این برهم کنش بین دست شما و دیوار است.

دست شما به عنوان جسم A نیروی کنش را به دیوار، وارد می‌کند و دیوار به عنوان جسم B، نیروی واکنش را به دست شما در جهت مخالف ولی به همان اندازه وارد خواهد کرد. در شکل ۲-۲۱ اسکیت باز نیرویی را به دیوار روبه‌روی خود وارد می‌کند، طبق قانون سوم نیوتن دیوار نیز همان نیرو را در جهت مخالف به اسکیت باز وارد خواهد کرد، نیروی وارد شده بر اسکیت باز به او شتاب می‌دهد، این کار باعث حرکت اسکیت باز به سمت عقب خواهد شد.



شکل ۲-۲۱ حرکت اسکیت باز به عقب بر اثر نیروی واکنش دیوار

نکته



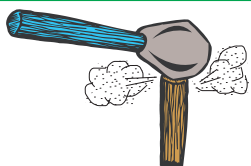
- ۱- انتخاب یک نیرو به عنوان کنش و دیگری به عنوان واکنش کاملاً اختیاری است.
- ۲- نیروهای کنش و واکنش به طور هم زمان به وجود می آیند و هم زمان نیز از بین می روند.
- ۳- نیروهای کنش و واکنش بر دو جسم مختلف اثر می کنند در نتیجه اثر یکدیگر را خنثی نمی کنند.

فکر کنید



چرا وقتی روی صندلی چرخ دار در پشت میز کار خود قرار دارید، با هل دادن میز کار، به سمت عقب حرکت می کنید؟

تمرین کنید



در شکل مقابل نیروهای کنش و واکنش را به صورت جداگانه رسم کنید.

فکر کنید



آیا هنگام شلیک توپ جنگی، نیروی وارد شده از طرف توپ جنگی به گلوله با نیروی وارد شده از طرف گلوله به توپ جنگی باهم برابرند؟ چرا شتاب حرکت توپ از شتاب حرکت گلوله کمتر است؟

## ۲-۶ معرفی چند نیرو

همان گونه که در ابتدای بحث گفته شد، نیرو نقش تعیین کننده ای در وضعیت حرکتی یک جسم دارد، به همین دلیل و در ادامه به معرفی برخی از مهم ترین نیروها می پردازیم.

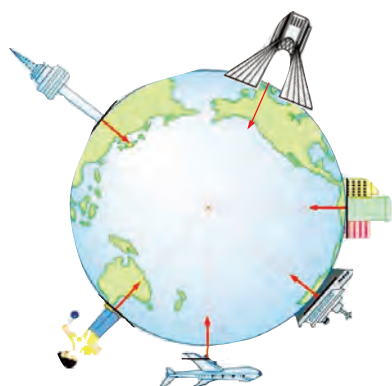
**۲-۶-۱ نیروی گرانش و نیروی وزن:** به خوبی می دانیم که همه اجسام به سمت زمین جذب می شوند. نیروی جاذبه ای را که به وسیله زمین بر اشیا وارد می شود «نیروی گرانشی» زمین می نامیم. این نیرو به سمت مرکز زمین و بر سطح زمین عمود است. **اندازه این نیرو را وزن جسم می نامیم** و آن را با نماد  $W$  نشان می دهیم. کره زمین اجسام را با شتاب ثابت به سمت مرکز خود جذب می کند،

مقدار این شتاب در نزدیکی سطح زمین تقریباً برابر  $\frac{9}{8} \frac{N}{kg}$  است، این شتاب را با نماد  $g$  نمایش می دهند (شکل ۲-۲۲).

با قرار دادن شتاب گرانشی  $g$  و نیروی وزن  $W$  در رابطه ۲-۸ خواهیم داشت:

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

$$g = \frac{W}{m} \Rightarrow W = mg \quad (۲-۱۲)$$



شکل ۲-۲۲ همه اجسام به سمت زمین جذب می شوند.

مثال



شتاب گرانشی سیارات مختلف، به دلیل جرم و شعاع متفاوتی که دارند، متفاوت است برای مثال شتاب گرانشی در کره ماه تقریباً برابر با  $\frac{1}{6} \frac{N}{kg}$  است. وزن یک فضاورد با تجهیزات را در کره زمین و ماه با هم مقایسه کنید. جرم فضاورد به همراه تجهیزات برابر  $1/2 \times 10^2 \text{ kg}$  است.

$$W = mg = 1/2 \times 10^2 \text{ kg} \times 9/8 \frac{N}{kg} = 1/176 \times 10^3 \text{ N}$$

وزن فضاورد در کره زمین برابر است با:

$$W' = mg' = 1/2 \times 10^2 \text{ kg} \times 1/66 \frac{N}{kg} = 1/992 \times 10^2 \text{ N}$$

وزن فضاورد در کره ماه برابر است با:

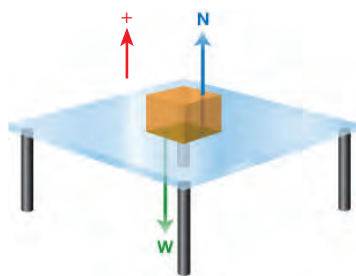
$$\frac{W'}{W} = \frac{1/992 \times 10^2 \cancel{N}}{1/176 \times 10^3 \cancel{N}} \cong \frac{1}{6}$$

وزن فضاورد در کره ماه تقریباً یک ششم وزن آن در کره زمین است.

فکر کنید



یک سندان آهنگری را که جرم آن تقریباً  $60 \text{ kg}$  است، در نظر بگیرید. اگر به این سندان بر روی کره زمین با پا ضربه بزنیم، درد بیشتری احساس می‌کنیم یا بر روی کره ماه؟ دلیل خود را با مشورت با دوستان به کلاس ارائه دهید.



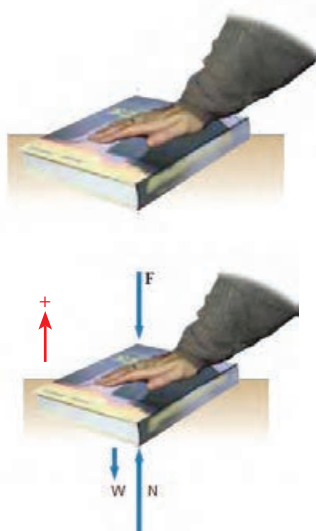
شکل ۲-۲۳ نیروی عمودی تکیه‌گاه

**۲-۶-۲ نیروی عمودی تکیه‌گاه:** جعبه‌ای را در نظر بگیرید که بدون حرکت روی میز قرار دارد، این جعبه در حال تعادل استاتیکی است. چه نیروهایی بر این جعبه اثر می‌گذارند؟ یکی از این نیروها به گرانش زمین مربوط است، یعنی همان نیروی وزن جعبه. اما چون جعبه در حال تعادل استاتیکی است نیروی دیگری به آن وارد می‌شود تا اثر نیروی وزن را خنثی کند. این نیرو را که میز به‌طور عمود بر جعبه وارد می‌کند، «نیروی عمودی تکیه‌گاه» می‌نامیم (شکل ۲-۲۳). در این صورت خواهیم داشت:

$$\vec{F}_T = 0 \Rightarrow \vec{N} + \vec{W} = 0 \quad (\text{برایند نیروهای وارد بر جعبه}) \quad (2-13)$$

$$N + (-W) = 0 \Rightarrow N = W = mg$$

در این حالت اندازه نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه باهم برابر هستند.



مطابق شکل کتاب روی میز قرار دارد و شخصی با دست خود به کتاب نیروی عمودی وارد می‌کند. نیروی عمودی تکیه‌گاه را در این حالت محاسبه کنید.

**پاسخ:** نیروهای وارد شده بر کتاب در شکل نمایش داده شده‌اند.  $F$  نیرویی است که دست شخص به طور عمودی بر کتاب وارد می‌کند.  $N$  نیروی عمودی‌ای است که تکیه‌گاه (میز) بر کتاب وارد می‌کند.  $W$  نیروی وزن کتاب است که از طرف زمین بر کتاب وارد می‌شود.

$$\vec{F}_T = 0 \Rightarrow \vec{N} + \vec{W} = 0$$

$$\Rightarrow N + (-F) + (-W) = 0 \Rightarrow N = F + W$$

در این حالت، اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه از نیروی گرانشی بیشتر است.

## کاربرد در صنعت و فناوری



هنگامی که روی ترازوی فنری ایستاده‌اید و می‌خواهید وزن خود را اندازه بگیرید، دو نیرو به شما وارد خواهد شد. یکی نیروی گرانشی زمین (نیروی وزن) است، و دیگری نیروی تکیه‌گاه است که ترازوی فنری به شما وارد خواهد کرد.

نیروی عمودی تکیه‌گاه ( $N$ ) را نیروی کنش فرض می‌کنیم و نیرویی که شما به ترازو وارد می‌کنید ( $N'$ )، نیروی واکنش خواهد بود. همین نیروی واکنش، فنر ترازو را فشرده می‌کند و ترازو اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه را که با نیروی وزن شما برابر است، نشان خواهد داد. به شرطی نیروی عمودی تکیه‌گاه با وزن شما برابر است که روی ترازوی فنری بی‌حرکت ایستاده باشید و ضمناً به جسم دیگری تکیه نکرده باشید.

روی یک ترازوی فنری ساکن بایستید، وزن خود را اندازه بگیرید. سپس ترازو را به کنار میز ببرید و یک بار در حالی که به میز به طور عمودی و به سمت پایین نیرو وارد می‌کنید وزن خود را اندازه بگیرید و بار دیگر در حالی که به لبه میز به سمت بالا نیرو وارد کرده‌اید وزن خود را اندازه بگیرید. تفاوتی مشاهده می‌کنید؟

تجربه کنید

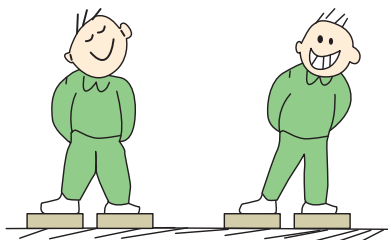


آیا راهی وجود دارد که با آن بتوان با استفاده از خود ترازو، وزن ترازو را اندازه گرفت؟

تحقیق کنید







دو ترازوی فنری مهیا کنید و پای راست خود را روی یکی از آنها و پای چپ خود را روی ترازوی دیگر، مطابق شکل، قرار دهید. ترازوها چه عددی را نشان می‌دهند؟ اگر بیشتر وزن خود را روی پای چپ بیندازید، چه تغییری در اعداد نمایش داده شده می‌بینید؟ دلیل مشاهدات خود را توضیح دهید.



شکل ۲-۲۴ قسمت‌هایی از فلز به دلیل اصطکاک هنگام برش ذوب و بریده می‌شوند.

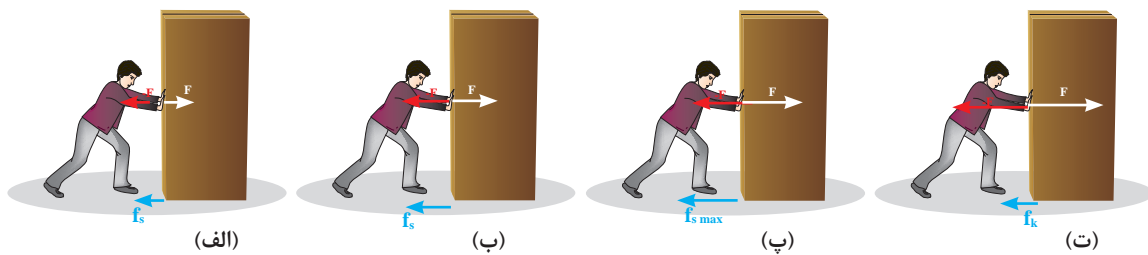


شکل ۲-۲۵ از نیروی اصطکاک برای ساختن آتش استفاده می‌شود.

**۲-۶-۳ نیروی اصطکاک:** هرگاه جسمی بخواهد روی سطحی حرکت کند، همواره سطح در مقابل حرکت آن، مقاومت نشان می‌دهد. به این مقاومت سطح در مقابل حرکت جسم «نیروی اصطکاک» گفته می‌شود. این نیرو همواره با سطح‌هایی که روی هم مالش داده می‌شوند موازی است، و نقش مهمی را در حرکت اجسام دارد. در واقع نیروهای اصطکاک هستند که به ما امکان حرکت می‌دهند و چرخ‌های خودروها با کمک همین نیرو لیز نمی‌خورند و خودرو حرکت می‌کند. در شکل ۲-۲۴، اصطکاک بین صفحه دستگاه برش و فلز به ایجاد گرمای شدید منجر می‌شود که سبب برش فلز می‌شود. همچنین از این نیرو می‌توان برای ایجاد آتش نیز استفاده نمود (شکل ۲-۲۵).

موقع هل دادن یک کمد سنگین روی کف اتاق، این نیرو را می‌توان حس کرد. شما برای حرکت دادن این کمد ابتدا نیرویی به آن وارد می‌کنید، این نیرو برای حرکت دادن کمد کافی نیست، چرا که به همان اندازه که شما برای هل دادن، نیرو به کمد وارد می‌کنید، کف اتاق نیروی اصطکاک را در جهت مخالف نیروی شما، به کمد وارد می‌کند و همچنان نیروی برابری وارد شده صفر بوده و کمد حرکت نمی‌کند. به این نیروی مقاوم، نیروی اصطکاک ایستایی می‌گوییم (شکل ۲-۲۶ الف). اما شما ناامید نمی‌شوید و

نیروی بیشتری را وارد می‌کنید، باز هم کمد حرکت نمی‌کند، این بار نیروی اصطکاک کف اتاق بیشتر می‌شود تا با نیروی شما هم اندازه گردد (شکل ۲-۲۶ ب). اما مقاومت سطح در مقابل حرکت کمد ادامه‌دار نیست، و سرانجام شما نیروی وارد شده را به حدی می‌رسانید که کمد در آستانه حرکت قرار گیرد، در این حالت کف اتاق بیشترین مقاومت خود را در مقابل حرکت نشان داده است. به این نیرو «نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه» یا «نیروی اصطکاک آستانه حرکت» می‌گوییم (شکل ۲-۲۶ پ). سرانجام با وارد کردن کمی نیروی بیشتر حرکت کمد در کف اتاق شروع می‌شود. اما هنوز هم هل دادن آن آسان نیست. اصطکاک در حال حرکت هم وجود دارد ولی دیگر به اندازه حالت بیشینه، بزرگ نیست. کمد به حرکت خود ادامه می‌دهد، نیروی اصطکاک وارد شده در این حالت به کمد را نیروی اصطکاک جنبشی می‌نامیم (شکل ۲-۲۶ ت).



شکل ۲-۲۶ مراحل مختلف به حرکت در آوردن کمد در کف اتاق با وجود نیروی اصطکاک<sup>۱</sup>

اندازه نیروی اصطکاک جنبشی و نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه با اندازه نیروی عمودی (تکیه‌گاه) متناسب‌اند. نیروی اصطکاک ایستایی را با نماد  $f_s$ ، نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه را با نماد  $f_{s \max}$  و نیروی اصطکاک جنبشی را با نماد  $f_k$  نمایش می‌دهیم. تجربه نشان می‌دهد:

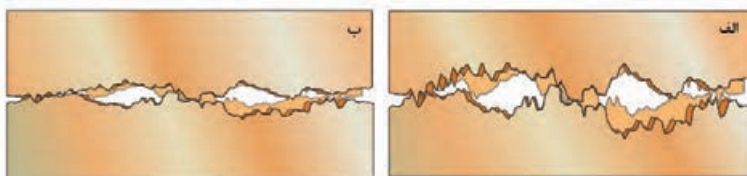
**الف)** جهت نیروی اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح خلاف جهت برآیند نیروی وارد بر جسم خواهد بود. **ب)** اندازه نیروی اصطکاک ایستایی برابر با اندازه نیرویی است که سعی دارد جسم را حرکت دهد و اندازه آن همواره از نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه کمتر است.

$$f_s \leq f_{s \max} \quad (۱۴-۲)$$

**ج)** اندازه نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه با اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه متناسب می‌شود. اندازه این نیرو از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$f_{s \max} = \mu_s N \quad (۱۵-۲)$$

در رابطه ۱۵-۲ کمیت  $\mu_s$  همان ضریب اصطکاک ایستایی است و  $N$  اندازه نیروی تکیه‌گاه است. هر چه نیروی عمودی تکیه‌گاه بیشتر باشد، نیروی اصطکاک آستانه حرکت نیز بزرگ‌تر است (شکل ۲-۲۷).



شکل ۲-۲۷ این شکل تأثیر نیروی عمودی تکیه‌گاه بر نیروی اصطکاک را نشان می‌دهد. در شکل الف نیروی عمودی تکیه‌گاه کمتر از شکل ب است و سطح تماس در مقیاس ریز کمتر بوده و نیروی اصطکاک کمتر است.

**د)** اندازه نیروی اصطکاک جنبشی بین دو سطح نیز با اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه متناسب است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$f_k = \mu_k N \quad (۱۶-۲)$$

$\mu_k$  را ضریب اصطکاک جنبشی می‌نامیم.

۱- به تغییر طول بردارها در هر شکل توجه کنید.

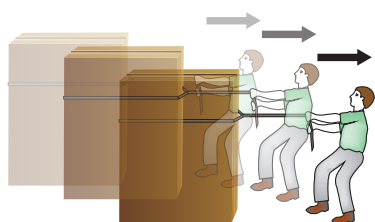
مقادیر  $\mu_s$  و  $\mu_k$  به ویژگی سطح‌هایی بستگی دارند که روی هم مالش داده می‌شوند و از مساحت سطح‌هایی که روی هم مالش داده می‌شوند مستقل هستند و در حالت مقدار  $\mu_k$  از  $\mu_s$  کوچک‌تر است.



یکای ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی را به‌دست آورید.



نیروی اصطکاک هنگام دویدن و قدم زدن چگونه است؟ در شکل، نیروهای وارد بر شخص را به هنگام راه رفتن رسم کنید.



اگر یک جعبهٔ چوبی به جرم ۱۲ کیلوگرم را با نیروی افقی ۳۰ نیوتن و با سرعت ثابت روی زمین بکشیم ضریب اصطکاک جنبشی بین جعبه و زمین چه اندازه خواهد بود؟  
**پاسخ:** همان‌طور که در متن مثال آمده است، جعبه با سرعت ثابت حرکت می‌کند، پس در حال تعادل دینامیکی است. و برآیند نیروهای وارد بر آن صفر خواهد بود.

$$F_{Ty} = N - W = N - mg = 0 \Rightarrow N = mg = 12 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 117.6 \times 10^3 \text{ N}$$

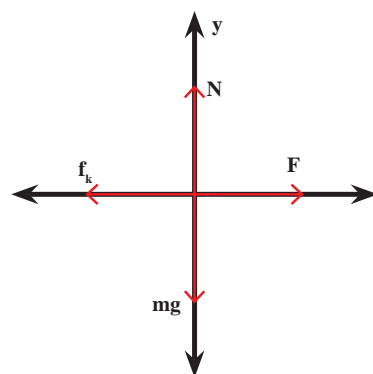
$$f_k = \mu_k N \quad (1)$$

$$F_{Tx} = F - f_k = 0 \Rightarrow F = f_k \quad (2)$$

$$1, 2 \Rightarrow F = \mu_k N \Rightarrow \mu_k = \frac{F}{N} = \frac{30 \cancel{\text{N}}}{117.6 \cancel{\text{N}}} = 0.25$$

برایند نیروها روی محور x ها:  $F_{Tx}$

برایند نیروها روی محور y ها:  $F_{Ty}$

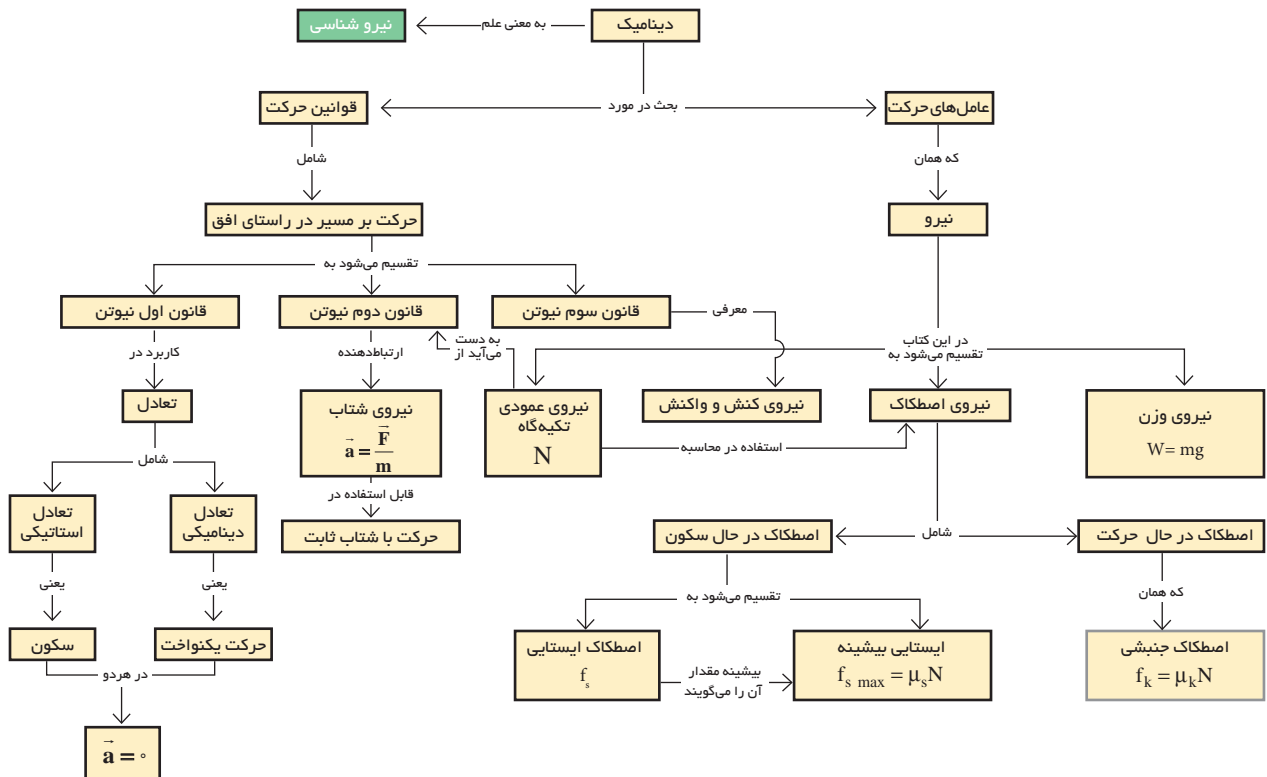
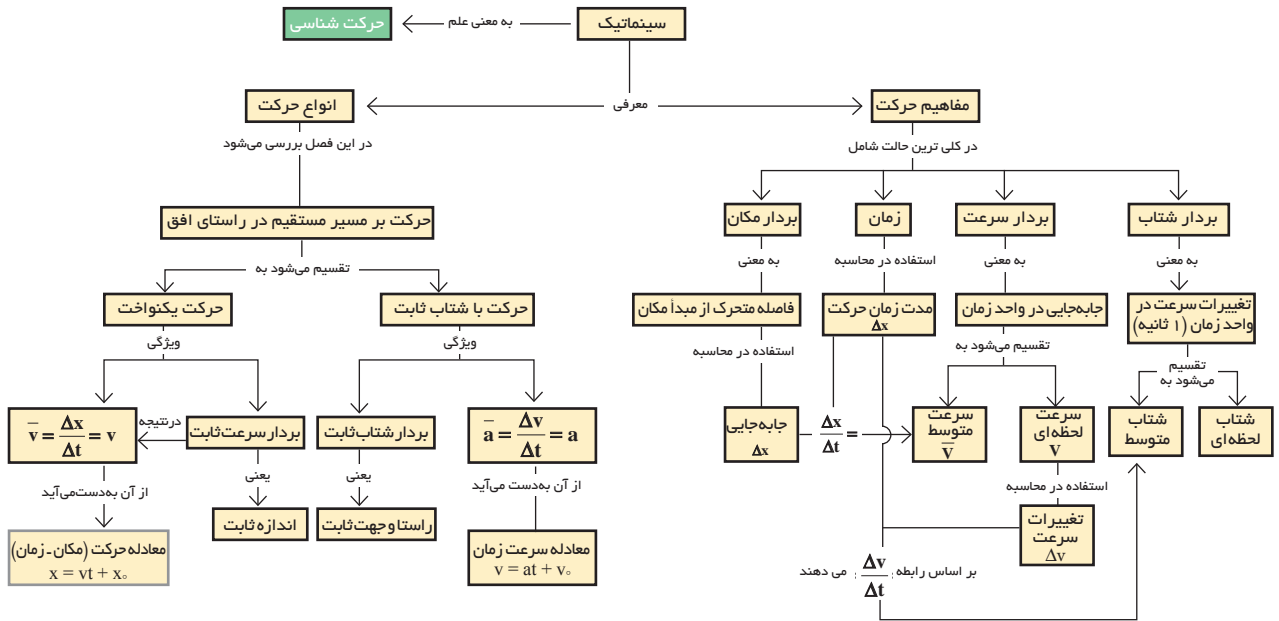


نمودار جسم آزاد

### نمودار جسم آزاد (Free body diagram)

نمودار جسم آزاد یا نمودار نیرو، نماد تصویری است که معمولاً برای تحلیل نیروهای وارد شده بر یک جسم، توسط فیزیک‌دان‌ها و مهندسان به کار می‌رود. در رسم نمودار جسم آزاد در یک مسئله، کافی است تمامی نیروهای خارجی وارد بر جسم را در یک دستگاه مختصات و با حفظ جهت و اندازه آنها رسم کنیم.





## چندپرسی

۱- هدف از رسم نمودار مسیر چیست؟ چگونه می‌توان از نمودار مسیر برای بررسی حرکت استفاده کرد؟

۲- چه تفاوتی بین کمیت‌های فیزیکی مکان، مسافت و جابه‌جایی وجود دارد؟

۳- حرکت یک چتر باز را در اثر نیروهای وارد بر آن در حالت‌های زیر توصیف کنید:

(الف) از لحظه پرش به بیرون از هواپیما تا قبل از باز کردن چتر

(ب) پس از باز کردن چتر

۴- شکل مقابل دو جعبه ساکن را نشان می‌دهد که روی میز قرار دارند. نیروهای وارد بر جعبه‌ها و میز را به طور جداگانه رسم کنید و سپس جسم‌ها را بر حسب نیروی عمودی تکیه‌گاه وارد بر آنها مرتب کنید.



۵- در شکل روبه‌رو صحنه برخورد دو خودرو را مشاهده می‌کنید، نیروی وارد شده از طرف خودروی A به B بیشتر است یا نیروی وارد شده از طرف خودرو B به A؟ علت پاسخ خود را شرح دهید.



۶- اسب درشکه را روی سطح افقی می‌کشد، و درشکه شتاب می‌گیرد، طبق قانون سوم نیوتن درشکه هم نیرویی برابر و در خلاف جهت به اسب وارد می‌کند. پس چرا درشکه شتاب می‌گیرد؟ آیا براینده نیروها در این حالت صفر نیست؟

## چندمسئله

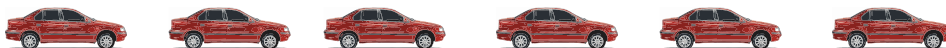
۱- شما و دوستان هر کدام قصد دارید مسافت  $50 \text{ km}$  رانندگی کنید. شما با سرعت  $90 \text{ km/h}$  و دوستان با سرعت  $95 \text{ km/h}$  رانندگی می‌کنند. چه مدت دوست شما باید صبر کند تا شما نیز به پایان مسیر سفر خود برسید؟

۲- دوچرخه سواری با سرعت ثابت  $5 \text{ m/s}$  و از  $250 \text{ m}$  مبدأ مکان، شروع به حرکت می‌کند.

(الف) مکان دوچرخه را در پایان  $60 \text{ s}$  اول حرکت مشخص کنید.

(ب) جابه‌جایی از  $t_1 = 0$  تا  $t_2 = 60 \text{ s}$  چقدر بوده است؟

۳- شکل زیر قسمتی از مسیر حرکت یک خودرو را در جاده‌ای مستقیم با تقسیمات زمانی ۲s نشان می‌دهد. در چه لحظه‌ای این خودرو به  $220\text{ m}$  مبدأ می‌رسد؟ فاصله نقاط ۶۰ متر است.



۴- خودرویی به جرم  $873\text{ kg}$  از حالت سکون شروع به حرکت می‌کند و بعد از  $0.59\text{ s}$  سرعتش به  $26/3\text{ m/s}$  می‌رسد. شتاب حرکت خودرو ثابت است. بزرگی نیروی برآیند که در این مدت به خودرو وارد می‌شود چقدر است؟



۵- یک بالگرد به جرم  $4500\text{ kg}$  با شتاب  $2\text{ m/s}^2$  در حال بلند شدن از سطح زمین است. نیروی بالا برنده این بالگرد چقدر است؟ از مقاومت هوا صرف نظر کنید.

۶- جسمی به جرم  $50\text{ kg}$  بر روی سطح پوشیده از برف به صورت افقی کشیده می‌شود. اگر ضریب اصطکاک ایستایی  $0/3$  و ضریب اصطکاک جنبشی  $0/1$  باشد.

الف) اندازه نیروی وزن جسم چند نیوتن است؟

ب) چه اندازه نیرو لازم است تا جسم شروع به حرکت کند؟

پ) چه اندازه نیرو لازم است تا جسم با سرعت ثابت حرکت کند؟

ت) در هنگام حرکت، نیروی افقی وارد بر جسم چقدر باشد تا شتاب آن  $3\text{ m/s}^2$  شود؟

۷- در شکل زیر، دو ورزشکار قایق‌ران را می‌بینید، که جرم یکی از آنها  $70\text{ kg}$  و جرم دیگر  $75\text{ kg}$  می‌باشد. قایق‌رانی که در جلو نشسته می‌تواند با پارو زدن به اندازه  $400\text{ N}$  و قایق‌رانی که در عقب قایق نشسته می‌تواند با پارو زدن  $420\text{ N}$  نیرو را برای جلو بردن قایق به آب وارد کند. اگر جرم این قایق کانو  $20\text{ kg}$  بوده و نیروی مقاومت آب در مقابل حرکت آن  $380\text{ N}$  باشد، شتاب اولیه این قایق را محاسبه کنید.



## پروژه پایانی



با استفاده از نرم‌افزار video point که در لوح فشرده همراه کتاب موجود است و آموخته‌های این فصل مقدار تقریبی ضریب اصطکاک بین لاستیک خودرو و کف خیابان را محاسبه کنید. برای این کار از دبیر خود کمک بگیرید.



## فصل سوم

# حالت‌های ماده و فشار

چرا بسیاری از کوهنوردان در ارتفاع زیاد (معمولاً بیشتر از ۵۰۰۰ متر) ناچار به استفاده از کپسول اکسیژن می‌شوند؟



اصل پاسکال



فشار در شاره‌ها



مفهوم فشار و ارتباط آن با نیرو

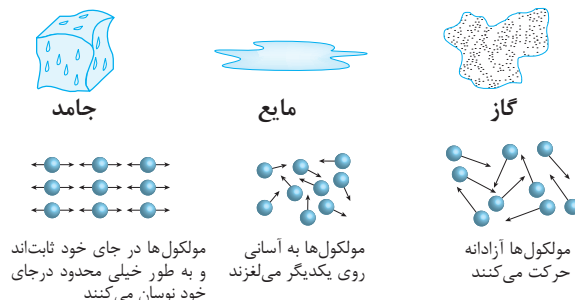


مفهوم جرم، حجم و چگالی



حالت‌های ماده

در کتاب **علوم تجربی پایه نهم**، با برخی پدیده‌هایی که به موضوع فشار مربوط می‌شود آشنا شده‌اید. در این فصل هم با طرح پرسش‌های دیگر (شکل ۱-۳)، ابتدا به حالت‌های مختلف مواد، با توجه به میزان تراکم‌پذیری و چگالی آنها، پرداخته می‌شود. سپس پدیده‌ها و مثال‌های دیگری درباره فشار، با کمی دقت بیشتر، مورد بررسی قرار می‌گیرد.



پ) چرا در قله‌های مرتفع کوه نفس کشیدن دشوارتر از سطح زمین است؟

الف) ویژگی‌های مواد در حالت‌های مختلف جامد، مایع و گاز چگونه است؟

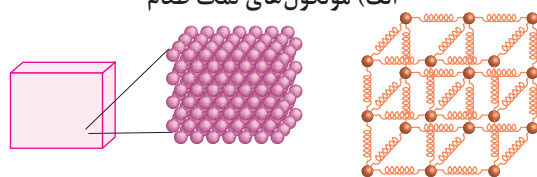
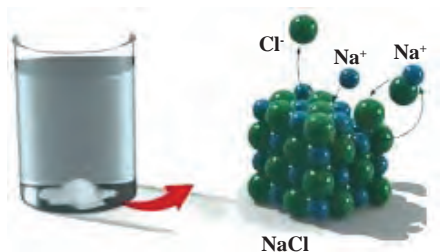


ت) اصل پاسکال چگونه برای بالابرها کاربرد دارد؟

ب) چرا بالن هوای داغ به سمت بالا می‌رود؟

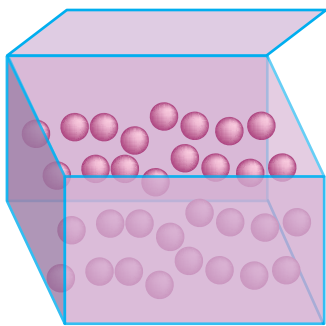
شکل ۱-۳ پرسش‌هایی که در این فصل بررسی خواهند شد

## ۳-۱ حالت‌های مختلف ماده



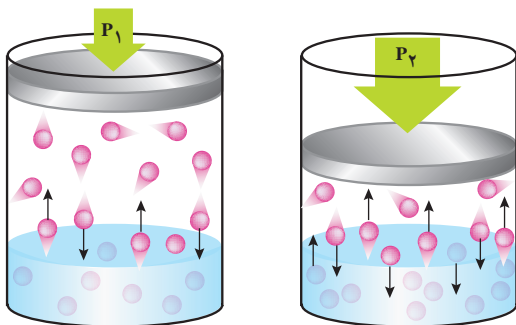
شکل ۲-۳ حالت جامد

**الف) حالت جامد:** در اجسام جامد فاصله مولکول‌ها از یکدیگر (در حدود یک آنگستروم یا  $10^{-10} \text{ m}$ ) مانند فاصله مولکول‌ها در حالت مایع است. در این حالت فاصله مولکول‌ها بسیار کمتر از فاصله مولکول‌ها در حالت گاز است (شکل ۲-۳ الف). مولکول‌های جامد به دلیل نیروی بین مولکولی قوی در جای خود قرار دارند و تنها در محل خود دارای حرکت رفت و برگشت (نوسانی) هستند، به همین دلیل تراکم‌پذیر نیستند و حجم و شکل معینی دارند (شکل ۲-۳ ب).



شکل ۳-۳ حالت مایع

**ب) حالت مایع:** فاصله بین مولکول‌های مایع کمی از فاصله بین آنها در حالت جامد بیشتر است، این فاصله نیز تقریباً یک آنگستروم ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ) است. به دلیل کاهش نیروی بین مولکولی در مایعات، مولکول‌ها روی یکدیگر و درون مایع می‌لغزند و حرکت می‌کنند. مایعات به شکل ظرف خود در می‌آیند و تقریباً تراکم‌ناپذیرند (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۴ حالت گاز

**ج) حالت گاز:** فاصله بین مولکول‌ها در فاز گاز، آنقدر زیاد می‌شود که نیروی بین مولکولی از بین می‌رود، در نتیجه مولکول‌ها آزادانه به اطراف در حرکت‌اند و با یکدیگر و با دیواره ظرف خود برخورد می‌کنند. گازها شکل ثابت و حجم معینی ندارند و همواره تمام حجم ظرف خود را اشغال می‌کنند. بنابراین حجم گاز برابر حجم ظرف است (شکل ۳-۴).



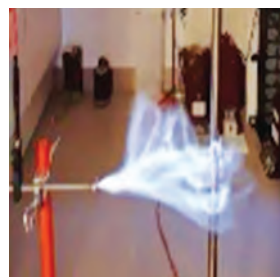
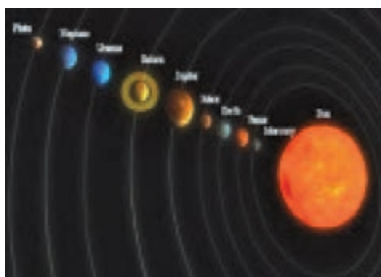
چرا متراکم کردن یک بطری پلاستیکی در بسته پر از هوا، ساده‌تر از متراکم کردن یک بطری پلاستیکی در بسته محتوی آب است؟

فکر کنید

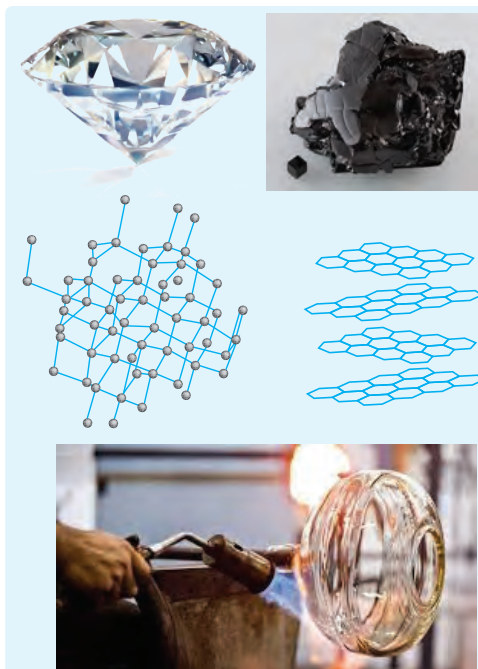


### کاربرد در صنعت و فناوری: حالت چهارم «پلازما»

وقتی گازی تا دماهای بالا گرم می‌شود، بسیاری از الکترون‌هایی که هر اتم را احاطه کرده‌اند، از هسته آزاد می‌شوند. این حالت که مجموعه‌ای از ذرات، بار الکتریکی دارند (مقادیر مساوی الکترون‌های بار منفی و یون‌های بار مثبت) پلازما نامیده می‌شود. (شعله آتش، درون ستارگان و اطراف آنها، گاز داخل یک لامپ نئون، چاقوی پلازما، دستگاه برش «CNC» و ... گونه‌هایی از پلازما و کاربرد آن هستند).



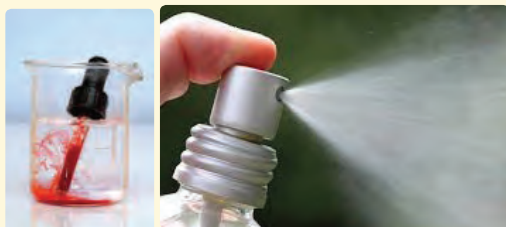




### انواع جامدات

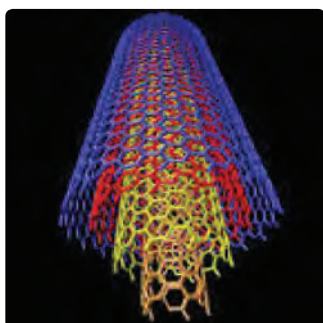
**الف) جامد بلورین یا کریستال:** هرگاه مایعی را به آرامی سرد کنیم تا به جامد تبدیل شود، مولکول‌هایش برای قرار گرفتن در یک طرح منظم زمان لازم را دارند و جامد بلورین تشکیل می‌شود. فلزات، نمک‌ها و الماس از این نوع جامدات به‌شمار می‌روند.

**ب) جامد بی‌شکل:** هرگاه یک مایع را به‌سرعت سرد کنیم تا به جامد تبدیل شود، مولکول‌های آن برای قرار گرفتن در یک طرح منظم زمان لازم را ندارد و جامد بی‌شکل تشکیل می‌شود. شیشه از این نوع جامدات است. جامدهای بی‌شکل مثل شیشه و قیر، که «آمورف» نامیده می‌شوند، در پیوندهایشان ساختارهای مولکولی طولانی و منظم وجود ندارد و حالت‌شان به‌هنگام ذوب یا انجماد تغییر نمی‌کند و فقط سفت یا شل می‌شوند.

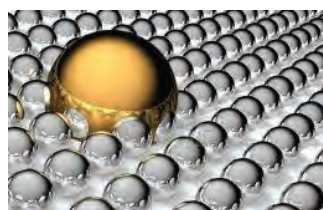


مقداری جوهر را درون لیوان محتوی آب بریزید. مقداری افشانه خوشبوکننده نیز درون هوای اتاق پخش کنید. الف) مشاهده خود را شرح دهید. ب) از پدیده‌های اشاره شده، که پخش نام دارند، در مورد حرکت مولکول‌ها چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

## ۳-۲ مواد در مقیاس نانو



الف) نانو لوله کربنی



ب) نظم اتمی در ساختار نانویی  
شکل ۳-۵ مواد در ابعاد نانو

علم و فناوری نانو، توانایی در اختیار گرفتن ماده در ابعاد نانو (۵ تا ۱۰ اتم در کنار هم تقریباً به طول ۱ نانومتر هستند) و بهره‌برداری از خواص جدید فیزیکی و شیمیایی این بُعد از مواد در ابزارها و دستگاه‌های نوین است (شکل ۳-۵). در واقع فناوری نانو به معنی انجام مهندسی مواد در ابعاد اتمی - مولکولی و در نتیجه ساخت موادی با خواص متفاوت در ابعاد نانو است. به بیان دیگر اگر ماده‌ای را تا حد یک دانه شکر کوچک کنیم، خواص آن تقریباً مشابه همان ماده اولیه است؛ اما وقتی میزان کوچک‌تر شدن (حتی فقط در یک بعد از سه بعدش) به ابعاد نانومتری برسد، خواص ماده به گونه‌ای تغییر می‌کند که دیگر قوانین معمولی فیزیک خواص آن را توجیه نمی‌کند زیرا این تغییرات می‌تواند شامل تغییر رنگ، شفافیت، واکنش‌پذیری و خواص مغناطیسی و... باشد؛ مثلاً رنگ نانو ذرات طلا می‌تواند آبی، زرد یا قرمز باشد (شکل ۳-۶) و یا نقطه ذوب قطعه نانویی طلا  $427^{\circ}\text{C}$  است، در صورتی که نقطه ذوب طلای معمولی  $1062^{\circ}\text{C}$  است.



شکل ۳-۶ رنگ نانو ذرات طلا

یکی از ویژگی‌های مهم علم نانو میان رشته‌ای بودن آن است. تحقیق کنید آیا در رشته تحصیلی شما، این علم کاربردی دارد؟ نمونه‌ای از آن را، به کلاس ارائه دهید.

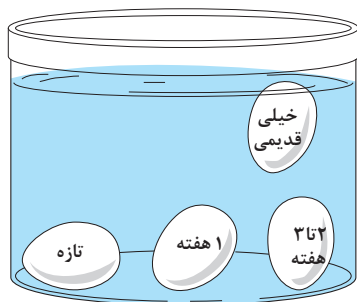
تحقیق کنید



## ۳-۳ چگالی

یک عدد تخم مرغ را درون لیوانی با آب معمولی بیندازید و بار دیگر همین تخم مرغ را در داخل لیوانی که آب آن با دو قاشق سوپ خوری از نمک شور شده است، بیندازید. در این دو حالت چه تفاوتی مشاهده می‌کنید؟ چه دلیلی برای آن می‌توان مطرح کرد؟

تجربه کنید



الف) استفاده از مفهوم چگالی در تشخیص میزان تازگی تخم مرغ



ب) تفاوت محل قرارگیری چوب پنبه و آهن در داخل آب

شکل ۳-۷ تصویر اجسام مختلف در داخل آب

در کتاب **علوم تجربی پایه هفتم**، نسبت جرم به حجم چند جسم را محاسبه کردید و با مفهوم چگالی آشنا شدید. همچنین دیدید هنگامی که چند جسم مختلف در داخل آب قرار داده می‌شوند، چه اتفاقی می‌افتد (شکل ۳-۷). در این بخش نیز بیشتر با این مفهوم آشنا خواهید شد.

**مفهوم و رابطه چگالی:** یکی از ویژگی‌های فیزیکی هر ماده در همه فازها (جامد، مایع، گاز) چگالی است. جرم اتم‌ها و فاصله بین آنها (حجم یا فضای اشغال شده) در یک ماده، چگالی آن را تعیین می‌کند. چگالی معیاری از تراکم ماده و مقدار جرمی است که در فضایی مشخص وجود دارد. نسبت جرم (با نماد  $m$ ) به حجم (با نماد  $V$ ) هر جسمی را چگالی (با نماد  $\rho$ ) آن جسم می‌نامند.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (۱-۳)$$

یکای چگالی در SI، با توجه به رابطه (۱-۳)، کیلوگرم بر مترمکعب ( $\frac{kg}{m^3}$ ) است.

نکته



**چگالی نسبی:** نسبت چگالی یک جسم به چگالی جسم دیگر، چگالی نسبی نامیده می‌شود و کمیتی بدون یکا است. معمولاً چگالی جامدات و مایعات را با چگالی آب خالص ( $4^\circ C$ ) مقایسه می‌کنند و چگالی گازها را با چگالی هوا مقایسه می‌کنند.

$$d = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (۲-۳)$$



شکل ۳-۸ شناوری روغن بر روی آب

درمایعی با مواد مخلوط نشدنی، اجسام با چگالی بیشتر پایین تر از اجسام با چگالی کمتر، قرار می گیرند. به همین دلیل از آنجا که چگالی آب (۴°C) برابر  $1 \frac{g}{cm^3}$  است، هر جسم با چگالی کمتر از آن روی آب شناور می شود. مطابق شکل ۳-۸ روغن به دلیل چگالی کمتر از آب، روی آب قرار می گیرد.

### چگالی مخلوط یا آلیاژ

اگر دو یا چند جسم را با جرم های  $m_1, m_2, \dots$  و حجم های  $V_1, V_2, \dots$  با هم مخلوط کنیم و هنگام مخلوط شدن کاهش حجمی رخ ندهد، چگالی مخلوط از رابطه زیر به دست می آید:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots}$$

بیشتر بدانید



چرا ورزشکاران در هنگام استراحت های کوتاه، باید به جای آب از نوشیدنی های معدنی ویژه استفاده کنند؟

فکر کنید



در یک آزمایش تشخیص طبی، قند خون ناشتای شخصی  $(\frac{mg}{dlit})$  میلی گرم دسی لیتر  $78$  است. مفهوم این نتیجه آزمایش چیست؟

فکر کنید



جدول ۳-۱ چگالی چند ماده مختلف در فشار یک اتمسفر بر حسب  $(\frac{kg}{m^3})$

جامد	چگالی	مایع	چگالی	گاز (در دمای ۲۰°C)	چگالی
طلا	۱۹۳۲۰	جیوه	۱۳۶۰۰	کلر	۲/۹۹۴
سرب	۱۱۳۰۰	گلیسرین	۱۲۶۰	کربن دی اکسید	۱/۹۸
مس	۸۹۰۰	خون	۱۰۵۰	کربن مونو اکسید	۱/۴۶۵
فولاد	۷۹۰۰	چدن مذاب	۶۸۰۰	اکسیژن	۱/۴۳
آلومینیوم	۲۷۰۰	آب در ۴°C	۱۰۰۰	هوا	۱/۲۹
پودرسیمان	۱۸۰۰	آلومینیوم مذاب	۲۳۵۰	آمونیاک	۰/۷۷
یخ	۹۲۰	روغن ذرت	۹۰۰	متان	۰/۶۶۸
چوب گردو	۶۵۰	نفت	۸۳۰	هلیوم	۰/۱۶۶
چوب پنبه	۲۵۰	الکل	۸۰۰	هیدروژن	۰/۰۸۹



مثال

حجم بتن مصرفی در یک ستون ۵/۲ مترمکعب است. اگر چگالی آن  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 10^3 \times 2/4$  باشد، وزن این ستون چند نیوتن است؟ ( $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ )



پاسخ: از رابطه ۳-۱ داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \frac{2/4 \times 10^3 \text{ kg}}{\text{m}^3} = \frac{m}{2/5 \text{ m}^3} \Rightarrow m = 2/5 \text{ m}^3 \times 2/4 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow W = mg = 6 \times 10^3 \text{ kg} \times 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 6 \times 10^4 \text{ N}$$

تمرین کنید



الف) چگالی چوب پنبه و مس را، با توجه به مقادیر جدول ۳-۱، بر حسب ( $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ) محاسبه کنید.

ب) حجم ۱ kg چوب پنبه بیشتر است یا ۱ kg مس؟

پ) جرم  $1 \text{ cm}^3$  چوب پنبه بیشتر است یا  $1 \text{ cm}^3$  مس؟

تمرین کنید



درون یک بوتۀ ذوب فلزات  $24/2 \text{ kg}$  از آلومینیوم مذاب پر شده است. با توجه به جدول ۳-۱ تعیین کنید:

الف) حجم داخلی این بوتۀ بر حسب دسی متر مکعب

ب) در این بوتۀ به جای آلومینیوم مذاب چند کیلوگرم چدن مذاب جای می‌گیرد؟

پ) اگر تمام آلومینیوم مذاب در داخل یک قالب ریخته شود، حجم آن پس از سرد شدن چند  $\text{cm}^3$  خواهد شد؟

## ۳-۲ مفهوم فشار



شکل ۳-۹ ارتباط فشار و سطح

شاید کاربرد پمپ را در منازل، به ویژه در آپارتمان‌ها دیده باشید، یا وقتی دهانۀ لوله خروجی هوای یک تلمبه دستی دوچرخه را می‌بندید و پیستون تلمبه را به سمت داخل می‌برید، فشار هوای محبوس در تلمبه را احساس کرده باشید. در شکل ۳-۹ هر چه سطح تماس فرد با میخ‌ها بیشتر باشد، اثر میخ‌ها را کمتر احساس می‌کند. این مثال‌ها کفایت می‌کند تا مفهوم فشار و تفاوتش با نیرو را به خوبی درک کنیم.



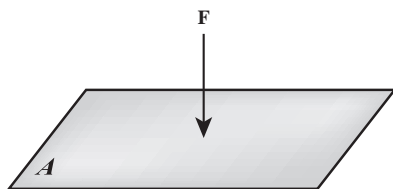
تجربه کنید



در یک تخته با ابعاد ( $10 \text{ cm}$  و  $10 \text{ cm}$ ) به فاصلۀ هر سانتی متر میخ‌هایی وارد کنید. سپس بادکنکی را باد کرده و بر میخ‌ها فشار دهید. این حالت را با حالتی که فقط یک میخ به بادکنک فشار می‌آورد، مقایسه کنید. چه تفاوتی مشاهده می‌شود؟ با توجه به مثال‌ها و تجربه بالا، عوامل مؤثر بر فشار را بررسی کنید.



در درس علوم تجربی پایه نهم دیدید که جامدها بر سطح تکیه‌گاه خود و شاره‌ها بر دیواره ظرفشان و بر سطح هر جسمی که در داخل آنها قرار گیرد، فشار وارد می‌کنند. فشار برابر است با بزرگی نیرویی که عمود بر یکای سطح وارد می‌شود.



$$P = \frac{F}{A} \quad \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \quad (3-3)$$

در این رابطه،  $F$  نیروی عمودی از طرف جسم جامد، و  $A$  یا شاره بر حسب نیوتن ( $\text{N}$ ) و  $A$  مساحت سطح تماس بر حسب مترمربع ( $\text{m}^2$ ) است.

فشار کمیتی نرده‌ای و فرعی با یکای پاسکال ( $\text{Pa}$ ) است. یعنی یک پاسکال برابر با نیروی عمودی  $1\text{ N}$  وارد بر سطح  $1\text{ m}^2$  است که برای اندازه‌گیری فشارهای بسیار کم از آن استفاده می‌شود؛ مثلاً فشار یک برگ اسکناس روی میز، حدود یک پاسکال است. در این فصل با واحدهای بزرگ‌تر، که در صنعت نیز کاربرد دارند، آشنا خواهید شد.

مثال



فشار هوای درون یک هواپیمای مسافربری در ارتفاع  $7/5 \times 10^3\text{ m}$  از سطح دریا، تقریباً  $0/4$  اتمسفر از فشار هوای بیرون آن، بیشتر است. در این صورت چه نیرویی بر حسب نیوتن به هر پنجره ( $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ ) آن وارد می‌شود؟ ( $1\text{ atm} \cong 10^5\text{ Pa}$ )

**پاسخ:** بیشتر بودن فشار هوای درون هواپیما نسبت به بیرون آن عامل وارد شدن نیرویی به درها و پنجره‌های آن از داخل هواپیما می‌شود، و براساس رابطه (3-3) این نیرو برابر است با:

$$A = 30\text{ cm} \times 30\text{ cm} = 9 \times 10^2\text{ cm}^2 = 9 \times 10^2 \times 10^{-4}\text{ m}^2 = 9 \times 10^{-2}\text{ m}^2$$

$$P = 0/4\text{ atm} = 0/4 \times 10^5\text{ Pa}$$

$$F = P \times A = 0/4 \times 10^5\text{ Pa} \times 9 \times 10^{-2}\text{ m}^2 = 3/6 \times 10^3\text{ N}$$

تحقیق کنید



حادثه‌ای که در عکس مشاهده می‌کنید، در آوریل سال ۱۹۸۸ میلادی، وقتی هواپیمای بویینگ ۷۳۷ در ارتفاع  $7/3 \times 10^3$  متری، پرواز می‌کرد، رخ داده است، تحقیق کنید که این حادثه، به چه علت رخ داده و چه ارتباطی با مفهوم فشار داشته است؟

## ۳-۵ فشار شاره‌ها

در بخش اول این فصل اشاره شد، شاره‌ها حتی اگر ساکن هم باشند، مولکول‌های آنها در حرکت‌اند و همین برخورد مولکول‌ها به اطراف خود، سبب به‌وجود آمدن نیروی شاره می‌گردد. این نیرو نیز عامل به‌وجود آورنده فشار است، که مقدارش بر هر سطح فرضی درون شاره، از رابطه (3-3) قابل محاسبه است. در این بخش، ابتدا با فشار در مایعات آشنا می‌شوید، سپس با توجه به ویژگی مشترک شاره‌ها، می‌توانید فشار در گازها را نیز بررسی کنید.



## ابوریحان بیرونی

فیزیک‌دان (طبیعی‌دان) مسلمان  
هم‌عصر ابن‌سینا، ابوریحان محمد بیرونی  
از دانشمندان بزرگ اسلامی است.  
او در علم فیزیک به‌خصوص  
در مباحث حرکت و تعادل شاره‌ها  
شهرت یافت. بیرونی با امکانات  
محدود آن زمان توانست اختلاف  
چگالی آب در دماهای مختلف را  
دریابد. او در کتاب «الآثار الباقیه عن  
القرون الخالیه» به بحث از تعادل  
شاره‌ها و نیز شرح پدیده‌هایی که  
مبنتی بر فشار شاره‌ها و توازن و  
تعادل آنهاست پرداخته است.

تجربه کنید

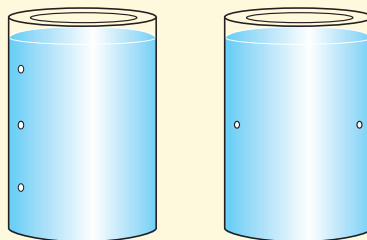


۱- دو بطری آب معدنی خالی را تهیه کنید. سه سوراخ کوچک در  
نقاط هم‌ارتفاع سه طرف بطری آب معدنی خالی اول و سه سوراخ دیگر  
در سه نقطه هم‌ارتفاع با راستا با ارتفاع متفاوت از بطری آب معدنی خالی دوم  
ایجاد کنید. سپس در هر کدام آب بریزید و نقاط بالای آنها را بفشارید.  
الف) سرعت و فاصله افقی آب خارج شده سه سوراخ هم‌ارتفاع بطری  
اول چه ارتباطی با هم دارند؟

ب) سرعت و فاصله افقی آب خارج شده سه سوراخ در نقاط با ارتفاع  
مختلف بطری دوم چه ارتباطی با هم دارند؟

ج) با فشار دادن نقاط بالای هر کدام از بطری‌ها، مشاهده خود را با  
ذکر دلیل شرح دهید.

۲- این فعالیت را با مایعی که چگالی متفاوت با آب دارد تکرار کنید  
و به سؤالات بالا در این حالت نیز پاسخ دهید.



## ۳-۵-۱ محاسبه اختلاف فشار دو نقطه در مایع ساکن: همانند

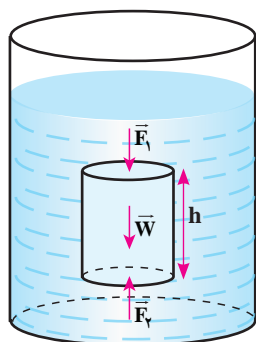
شکل ۳-۱۰ در ظرفی محتوی مایع ساکن با چگالی  $\rho$ ، یک استوانه فرضی به  
ارتفاع  $h$  و مساحت قاعده  $A$  در نظر می‌گیریم. با توجه به تعادل مایع، برآیند  
نیروهای وارد بر این استوانه در راستای قائم (و هر راستای دلخواه) یعنی  
وزنش ( $W$ ) و نیروها  $F_1$  و  $F_2$ ، که از پایین و بالا از طرف مایع زیرین و رویی  
این استوانه بر آن وارد می‌شوند، صفر است. بر مبنای آنچه از برآیند بردارها در  
فصل اول آموخته‌اید می‌توان نوشت:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_2 - F_1 - W = 0$$

$$W = mg = (\rho V)g = (\rho Ah)g \rightarrow P_2 A - P_1 A = \rho gh A$$

$$P_2 - P_1 = \rho gh$$

$$(4-3)$$



شکل ۳-۱۰ استوانه فرضی

مثال

فشار در عمق ۹ متری آب درون یک دریاچه، چه مقدار از فشار در عمق ۱ متری بیشتر است؟

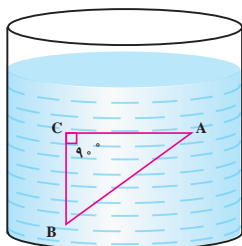
(چگالی آب دریاچه را  $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$  در نظر بگیرید.)

پاسخ:

$$h = 9m - 1m = 8m$$

$$P_2 - P_1 = \rho gh \Rightarrow P_2 - P_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 10 \frac{N}{kg} \times 8m = 8 \times 10^4 Pa$$





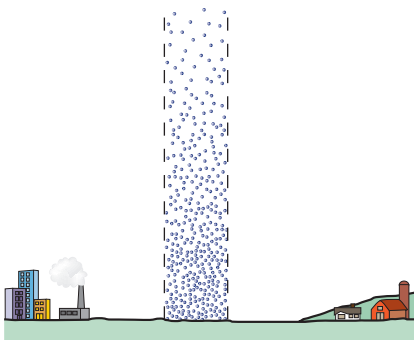
در شکل رو به رو، اختلاف فشار بین دو نقطه A و B چند کیلوپاسکال است؟

چگالی مایع  $8 \times 10^2 \frac{\text{g}}{\text{Lit}}$ ،  $AB = 13 \text{ cm}$ ،  $AC = 12 \text{ cm}$  است.

### ۳-۵-۲ فشار هوا



یک لیوان را پر از آب کنید و یک صفحه مقوایی، که تمام دهانه لیوان را می پوشاند، روی دهانه لیوان را محکم نگه دارید، آنگاه درحالی که صفحه مقوایی را با دست نگه داشته اید، لیوان را وارونه کنید. چرا مقوا و آب درون لیوان سقوط نمی کنند؟



شکل ۳-۱۱ فشار هوا

### فشار هوا چگونه به وجود می آید؟ همان طور که فشار

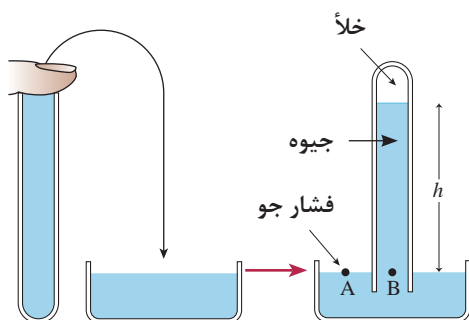
آب را وزن مولکول های آب به وجود می آورد، اطراف کره زمین نیز، تا ارتفاع معینی مولکول های هواست و چون هوا دارای جرم است، به علت وزنش فشاری وارد می کند که «فشار هوا» نام دارد (شکل ۳-۱۱). روش های مختلفی برای اندازه گیری فشار هوا وجود دارد. یکی از مهم ترین روش ها، آزمایش توریچلی<sup>۱</sup> است.

### ۳-۵-۳ آزمایش توریچلی: براساس طرح آزمایش توریچلی

(شکل ۳-۱۲)، لوله یک سر بسته ای به طول حدود ۱ متر را از جیوه پر کرده و با بستن دهانه آن به کمک دست لوله را برمی گردانیم و در ادامه، دهانه آن را در داخل تشتکی محتوی جیوه فرو می بریم. برداشتن دست خود از دهانه لوله مقداری جیوه از لوله پایین می آید و در ارتفاع معینی ثابت می ماند. اگر آزمایش در سطح دریای آزاد و در هوای آرام انجام شده باشد، این ارتفاع ۷۶ سانتی متر خواهد شد. در شکل ۳-۱۳، فشار نقطه A، فشار هوا است و به دلیل هم تراز بودن نقاط A و B، که هر دو به مایع جیوه مربوط اند، می توان نوشت:

$$P_A = P_B = P_0$$

از طرفی فشار  $P_B$  همان فشار ستون جیوه مربوط به بالای نقطه B است:

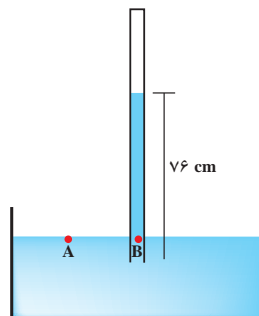


شکل ۳-۱۲ آزمایش توریچلی

$$P_0 = P_B = \rho gh = (13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}) \times (0.76 \text{ m})$$

$$\rightarrow P_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 1.01 \text{ bar}$$

شکل ۳-۱۳ محاسبه فشار هوا  
توسط آزمایش توربیجلی



۷۰ cmHg چند پاسکال و چند کیلوپاسکال است؟

پاسخ:

$$P_P = (\rho_{Hg})(g)(h_{Hg}) = (13600 \frac{kg}{m^3}) \times (9.8 \frac{N}{kg}) \times (0.76 m) \cong 9.8 \times 10^4 Pa = 98 kPa$$

مثال



نکته



از سطح زمین به سمت ارتفاعات بالاتر، تراکم و تعداد مولکول‌های هوا کمتر می‌شود، در نتیجه در نزدیکی سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر ۱۰ متر افزایش ارتفاع، ۱ میلی‌متر جیوه کاهش می‌یابد.

مثال



شهرکرد با ارتفاع ۲۰۶۰ متری از سطح دریا از میان مراکز استان‌ها به‌عنوان مرتفع‌ترین شهر از سطح دریا به‌حساب می‌آید که به‌همین علت آن را بام ایران نیز می‌خوانند. اگر فشار هوا در سطح دریا ۷۶ cmHg باشد، فشار هوا در این شهر چند cmHg است؟

پاسخ:

$$\frac{2060 m}{10 m} = 206 \xrightarrow{\text{با توجه به نکته بالا}} \Delta P \cong -206 mmHg = -20.6 cmHg \Rightarrow P_0 \cong 76 - 20.6 = 55.4 cmHg$$

تمرین کنید



فشار مایعی در کف ظرف ۱۵۰ cmHg است. بررسی کنید نیرویی که از مایع به کف ظرف وارد می‌شود چند نیوتون است؟

$$(\rho_{Hg} = 13600 \frac{kg}{m^3}, g = 9.8 \frac{N}{kg}, A = 20 cm^2)$$

نکته



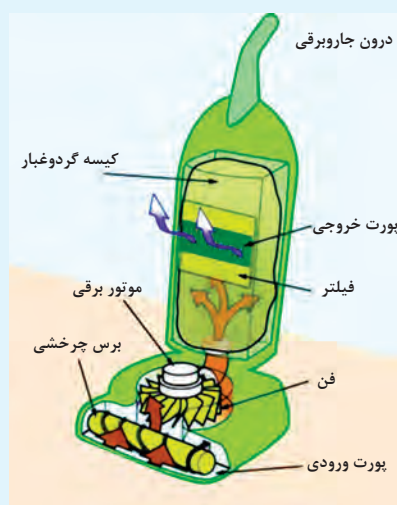
فشار هوا در سطح آزاد دریا تقریباً با مقادیر زیر برابر است:

$$P_0 = 10^5 Pa = 1 atm = 76 cmHg = 760 mmHg$$

فکر کنید



ارتفاع قله اورست، در حدود ۸۸۴۸ متر است. به کوهنوردانی که قصد صعود به این قله را دارند، همواره توصیه می‌شود که حتماً کیسول اکسیژن به همراه داشته باشند. به نظر شما، این موضوع چه ارتباطی به مفهوم فشار هوا دارد؟



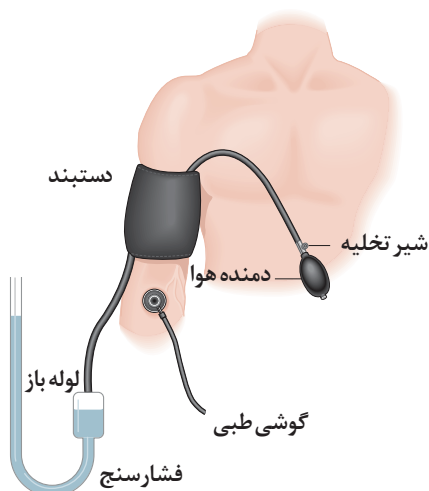
### جارو برقی چگونه کار می‌کند؟

در یک جارو برقی، مشابه مکش با یک نی نوشیدنی (البته کمی پیچیده‌تر)، عمل می‌شود. وقتی جاروبرقی روشن می‌شود، با به کار افتادن موتور و چرخش فن متصل به آن با پره‌های زاویه‌دار (مانند پروانه هواپیما)، هوا را مطابق شکل، به سمت درگاه (پورت) خروجی می‌برد. هنگامی که ذرات هوا رو به جلو حرکت می‌کنند، تراکم ذرات (و در نتیجه فشار هوا) در جلوی فن افزایش می‌یابد و در ناحیه پشت فن، کاهش می‌یابد. افت فشار پشت فن، مانند افت فشاری است که در پشت نی، بعد از مکیدن ایجاد می‌شود و در نتیجه خلأ جزئی ایجاد شده درون جارو برقی، هوای محیط اطراف، به سمت جارو برقی (از مسیر درگاه ورودی) هل داده می‌شود. جریان هوا نیز، ذرات ریز را از روی فرش یا موکت و... جمع‌آوری می‌کند.

**۳-۵-۴ محاسبه فشار در یک نقطه در داخل شاره:** در بخش ۳-۵-۱ نشان داده شد که اختلاف فشار دو نقطه درون مایع از رابطه  $P_2 - P_1 = \rho gh$  محاسبه می‌شود. حال اگر نقطه ۱ را در سطح آزاد مایع در نظر بگیریم ( $P_1 = P_0$ )، در این صورت فشار در هر نقطه در عمق  $h$ ، از سطح آزاد مایع (مانند نقطه ۲) از رابطه زیر به دست می‌آید که آن را فشار کل یا واقعی شاره در نقطه ۲ می‌نامیم:

$$P_2 = \rho gh + P_0 \quad (۵-۳)$$

فشار هوا بر سطح مایعی به چگالی  $\frac{4}{5} \frac{g}{cm^3}$  برابر با  $75 cmHg$  است. اگر چگالی جیوه  $13.6 \times 10^3 \frac{g}{cm^3}$  و  $g = 10 \frac{N}{kg}$  باشد، فشار کل در عمق  $40 cm$  مایع، چند کیلوپاسکال و چند سانتی‌متر جیوه است؟



### فشار پیمانه‌ای: در اندازه‌گیری فشارخون (شکل ۳-۱۴)

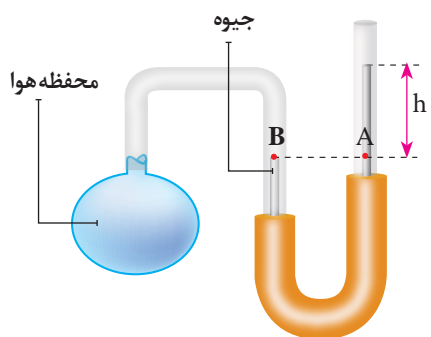
یا فشار باد لاستیک‌ها در واقع اختلاف فشار شاره با فشار هوای محیط محاسبه می‌شود. مثلاً اگر گفته شود فشار هوای درون یک لاستیک ۲ اتمسفر ( $2 atm$ ) است، یعنی فشار هوای داخل لاستیک ۲ اتمسفر از فشار هوای بیرون آن، بیشتر است. به این اختلاف فشار، «فشار پیمانه‌ای» گفته می‌شود:

$$P - P_0 = \text{فشار پیمانه‌ای} \quad (۶-۳)$$

فشار شاره
فشار هوای محیط

شکل ۳-۱۴ دستگاه اندازه‌گیری فشار خون

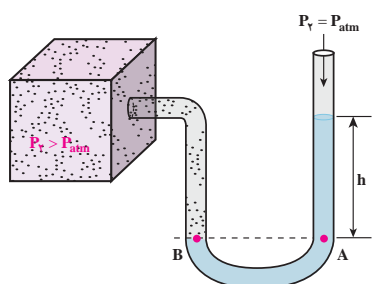




شکل ۳-۱۵ فشار سنج‌های U شکل

در فشارسنج‌های U شکل (شکل ۳-۱۵) که درون آنها مایعی به چگالی  $\rho$  است، یک دهانه لوله به مخزن یا محفظه شاره بسته می‌شود. حال اختلاف ارتفاع مایع در دو شاخه ( $h$ )، معرف اختلاف فشار شاره موردنظر با هواست. یعنی:

$$P - P_0 = \rho gh$$



مطابق شکل روبه‌رو، فشارسنج ساده‌ای را به مخزن گازی وصل و شیر مخزن را باز می‌کنیم، مشاهده می‌شود سطح جیوه در شاخه‌ای که دهانه آن باز است،  $47/5 \text{ cm}$  بالاتر از سطح جیوه در شاخه دیگر قرار می‌گیرد.

$$(g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}, P_0 = 76 \text{ cmHg})$$

الف) فشار پیمانه‌ای گاز را بر حسب سانتی‌متر جیوه و پاسکال محاسبه کنید.

ب) فشار مخزن گاز چند سانتی‌متر جیوه است؟

**پاسخ:** الف) چون نوع مایع جیوه است، اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه لوله، یعنی  $h$  معرف فشار پیمانه‌ای بر حسب سانتی‌متر جیوه است:

$$\Delta P = 47/5 \text{ cmHg}$$

$$\Rightarrow \Delta P = \rho gh = (10/36 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}) (47/5 \times 10^{-2} \text{ m}) = 6/46 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = P_{\text{گاز}} - P_0 \Rightarrow P_{\text{گاز}} = \Delta P + P_0 = 47/5 \text{ cmHg} + 76 \text{ cmHg} = 123/5 \text{ cmHg}$$

مثال

+ -  
× ÷



### کاربرد در صنعت و فناوری: انواع فشارسنج‌ها

۱- فشارسنج‌هایی که فشار را براساس ارتفاع مایع درونشان اندازه‌گیری می‌کنند:

الف) مانومترها که اختلاف فشار دو شاره را بر حسب اختلاف ارتفاع مایع درون خود اندازه می‌گیرند.

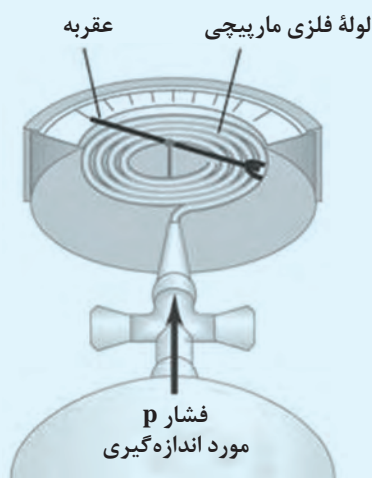
ب) انواع U شکل، تفاضلی، پیزومتر).

ب) بارومترها که فقط فشار هوا را اندازه می‌گیرند (خشک، جیوه‌ای).

۲- فشارسنج بوردون برای اندازه‌گیری فشار پیمانه‌ای شاره‌ها به کار می‌رود (برای مثال در اندازه‌گیری باد لاستیک وسیله‌های نقلیه).

۳- فشار سنج‌های دیجیتالی که تا ده بار را در دماهایی بین یک تا  $50^\circ \text{C}$  درجه سلسیوس اندازه‌گیری می‌کنند.  
نکته ۱: فشارسنج‌ها فشار پیمانه‌ای، یعنی اختلاف فشار میان فشار واقعی شاره و فشار جو را اندازه می‌گیرند و طوری درجه‌بندی شده‌اند، که در فشار جو، عدد صفر را نشان می‌دهند.

نکته ۲: در اکثر فشارسنج‌های صنعتی، فشار بر حسب psi و bar اندازه‌گیری می‌شود، که رابطه تبدیل آنها به صورت  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$  و  $1 \text{ psi} \cong 6890 \text{ Pa}$  است.



### ساختمان فشارسنج‌های بوردون

برخی از فشارسنج‌ها، از یک لوله مسدود قابل انعطاف، استفاده می‌کنند، تغییر فشار درون یا بیرون لوله، یا هر دو، سبب تغییر در ابعاد آن می‌شود.

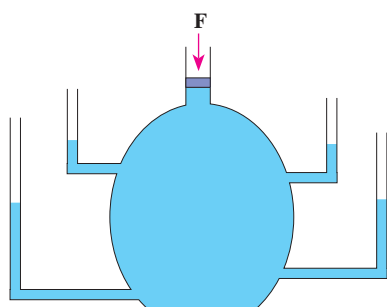
این تغییر به صورت نوری، الکتریکی، یا مکانیکی آشکار می‌شود. در این نوع فشارسنج‌ها وقتی فشار درون لوله فلزی مارپیچی افزایش می‌یابد، لوله اندکی راست می‌شود و عقربه متصل به آن را منحرف می‌کند.

از این نوع فشارسنج‌ها معمولاً برای اندازه‌گیری فشار گاز درون مخزن‌ها استفاده می‌کنند.

### نکته



رابطه اختلاف فشار شاره‌ها  $P_2 - P_1 = \rho gh$  برای تمام شاره‌های در حال تعادل، به کار می‌رود. بنابراین می‌توان، اختلاف فشار بین دو نقطه درون یک گاز را که در محفظه‌ای به حال سکون قرار دارد، از این رابطه محاسبه کرد. چون چگالی گازها کمتر از مایعات است، مقدار این اختلاف فشار، ناچیز است، به همین دلیل، فشار گاز درون یک کپسول گاز یا درون یک اتاق، در تمام نقاط آن، تقریباً یکسان فرض می‌شود.

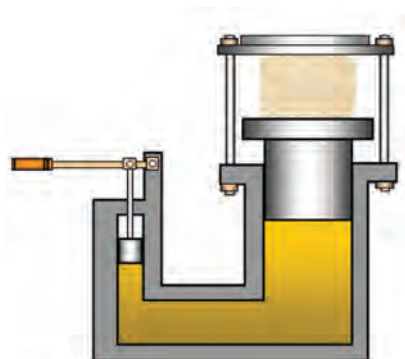


شکل ۱۶-۳ انتقال فشار

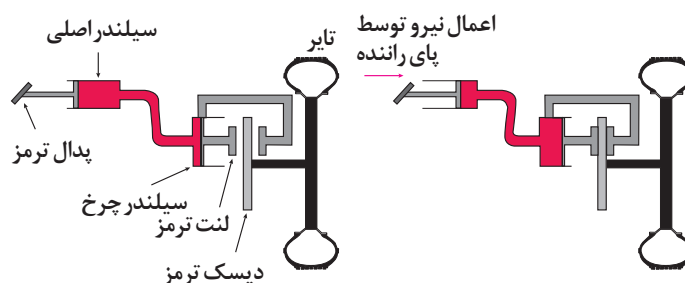
### ۳-۵-۵ اصل پاسکال: بر طبق این اصل، تغییر فشار در هر

نقطه از شاره محبوس، ساکن و تراکم‌ناپذیر بدون تغییر به تمام نقاط شاره و دیواره‌های اطراف منتقل می‌شود. وقتی در مرکز پمپاژ آب شهر، فشار ۱۰ واحد زیاد شود، فشار در همه لوله‌های متصل به این دستگاه، به شرط اینکه آب لوله‌ها ساکن باشد، ۱۰ واحد زیاد می‌شود (شکل ۱۶-۳).

از دیگر کاربردهای فراوان این اصل می‌توان در ترمز روغنی خودروها، لوله‌های کرم یا خمیردندان، دستگاه منگنه آبی یا خرد کردن کاغذ (شکل ۱۷-۳) و ... را نام برد. همچنین در شکل ۱۸-۳ شیوه عملکرد ترمز یک خودرو را از نمایی نزدیک‌تر مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۷-۳ دستگاه منگنه آبی

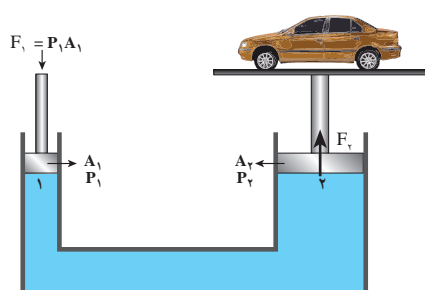


شکل ۱۸-۳ شیوه عملکرد ترمز خودرو



## چرا مایعات تراکم ناپذیرند؟

وقتی مولکول‌ها به هم بسیار نزدیک شوند، یک نیروی دافعه قوی، میان آنها ایجاد می‌شود که از نزدیک شدن بیشتر آنها جلوگیری می‌کند. وقتی که بطری پر از آب را متراکم می‌کنیم مولکول‌ها آن قدر به هم نزدیک می‌شوند که نیروی رانشی بین آنها ایجاد می‌گردد و این نیرو مانع از تراکم بیشتر آب می‌گردد. نیروی رانشی بین مولکول‌ها عاملی است که مایعات را تراکم‌ناپذیر می‌سازد.



شکل ۱۹-۳ بالابر هیدرولیکی

یک کاربرد اصل پاسکال را می‌توان در بالابرهای خودرو (دستی یا کمپرسوری) مورد بررسی قرار داد. در شکل ۱۹-۳ مشاهده می‌کنید که نیروی  $F_1$ ، به پیستونی به مساحت  $A_1$  وارد می‌شود و فشار مایع در همه جا به میزان  $\frac{F_1}{A_1}$  زیاد می‌شود. در نتیجه با توجه به اصل پاسکال در محل پیستون به مساحت  $A_2$  خواهیم داشت:

$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (۷-۳)$$



در یک کارگاه مکانیکی از یک بالابر هیدرولیکی، برای بالا بردن خودروها استفاده می‌شود. در این بالابر، یک محفظه شامل هوای فشرده شده، نیرویی را بر پیستون کوچک به شعاع ۵ cm وارد می‌کند. این فشار توسط یک مایع تراکم‌ناپذیر به پیستون بزرگی به شعاع ۱۵ cm منتقل می‌شود. هوای فشرده شده درون محفظه باید چه نیرویی را به پیستون کوچک وارد کند تا خودرویی به وزن  $1/8 \times 10^4 \text{ N}$  را بالا ببرد؟

پاسخ:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_1 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right) F_2 = \left(\frac{\pi(5 \times 10^{-2} \text{ m})^2}{\pi(15 \times 10^{-2} \text{ m})^2}\right) \times 1/8 \times 10^4 \text{ N} = 2 \times 10^3 \text{ N}$$

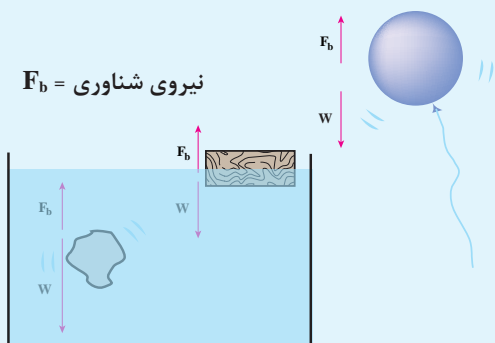
در مثال قبل، فشار مخزن هوای متصل به پیستون کوچک، هنگام بلند کردن خودرو، چند پاسکال است؟





## نیروی شناوری

$F_b$  = نیروی شناوری

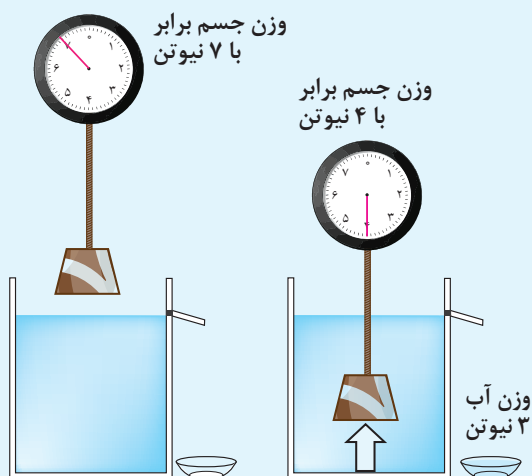


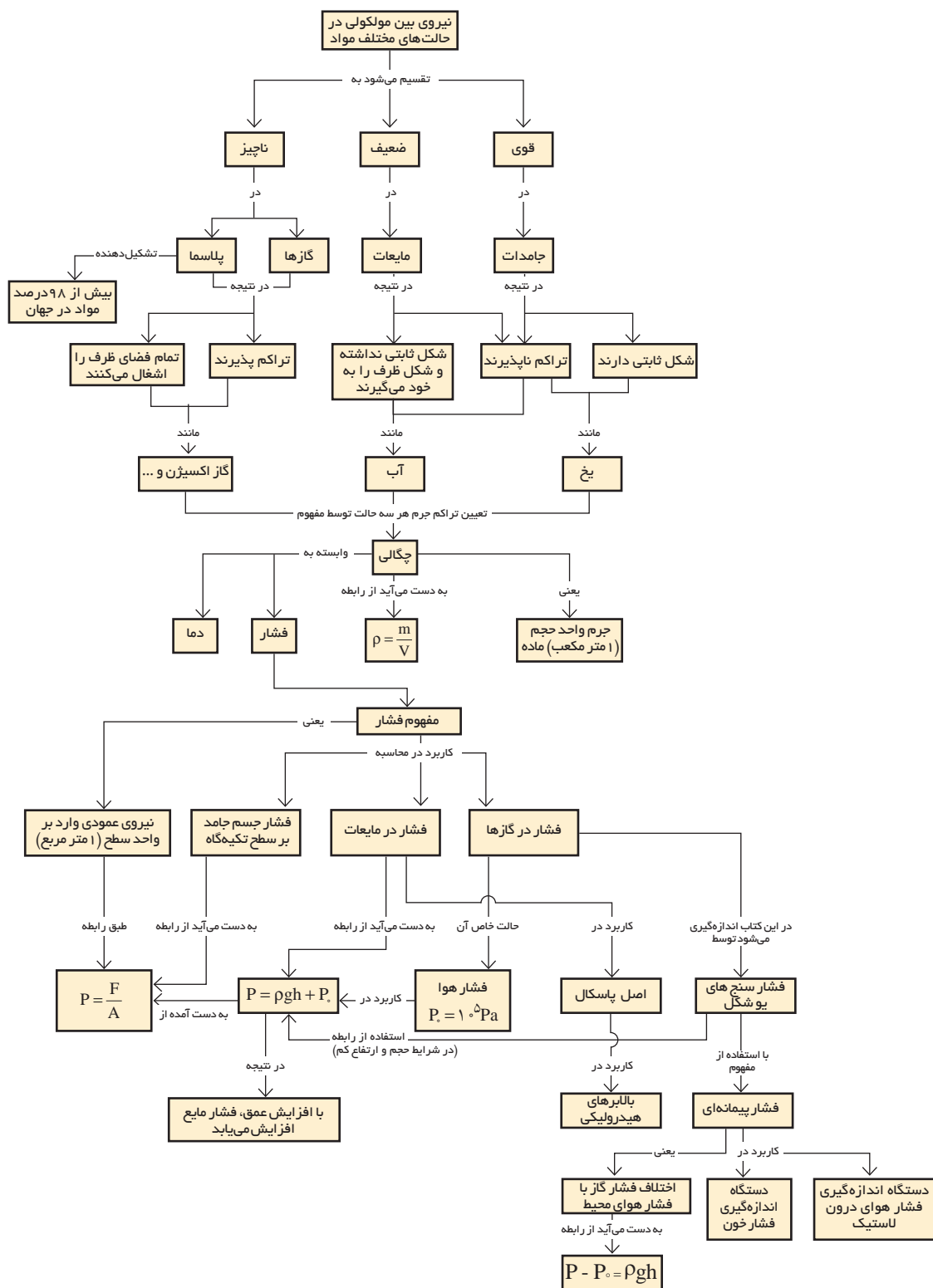
چرا یک قطعه چوب یا یک کشتی نفت کش روی آب دریا شناور می ماند، ولی یک تکه سنگ به ته ظرف محتوای آب می رود؟ و یا چرا یک بادکنک محتوای گاز هلیوم، در هوا به سمت بالا حرکت می کند؟ تمامی این موارد و موارد مشابه به مفهومی به نام نیروی شناوری برمی گردد. در واقع چون فشار در شاره با افزایش عمق زیاد می شود، نیروی بالاسویی که بر سطح زیرین جسم غوطه ور

وارد می آید، بزرگ تر از نیروی پایین سویی است، که بر سطح بالایی جسم وارد می آید و در نتیجه یک نیروی شناوری بالاسو به جسم وارد می شود. در برخی از موارد این نیرو با وزن جسم برابر و در نتیجه جسم بر روی سطح شاره شناور می ماند. در برخی مواقع این نیرو از نیروی وزن جسم کمتر بوده و جسم درون شاره غرق می شود و در مواردی همچون بادکنک حاوی گاز هلیوم، این نیرو از نیروی وزن گاز محبوس در بادکنک، بیشتر بوده و آن را به طرف بالا هدایت می کند.

## اصل ارشمیدس

اگر تمام یا بخشی از جسم، درون شاره ای (مایع یا گاز) فرو رود، نیروی بالاسویی از شاره به جسم وارد می شود، که اندازه اش با وزن شاره جابه جا شده، برابر است. یک نتیجه جالب اصل ارشمیدس این است که وزن اجسام در هوا، بیشتر از وزن آنها، در آب است. در شکل روبه رو مشاهده می شود، وزن قطعه ۷ نیوتنی وقتی کامل در آب فرو می رود، با نیروسنج، ۴ نیوتن اندازه گیری می شود. در واقع این ۳ نیوتن وزن گمشده، برابر با وزن آب جابه جا شده است.

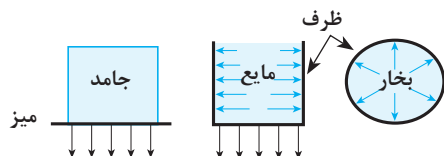




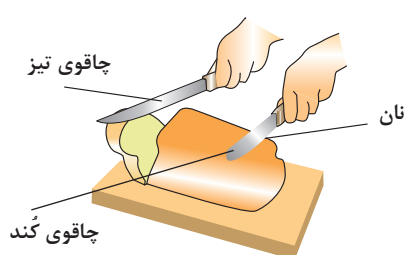
## چندپرسی



۱- با استفاده از جدول ۱-۳ چه ارتباطی بین چگالی یک ماده و حالت‌های مختلف آن (مانند آب، بخار آب و یخ) وجود دارد؟



۲- در شکل روبه‌رو فشار در حالت‌های مختلف باهم مقایسه شده است، برداشت خود را بیان کنید.



۳- به کمک مفاهیم فشار و نیرو، تفاوت چاقوی تیز و کند را در برش مواد غذایی بیان کنید.

۴- با استفاده از یک فشارسنج چگونه می‌توان ارتفاع یک آسمان خراش را اندازه‌گیری کرد؟

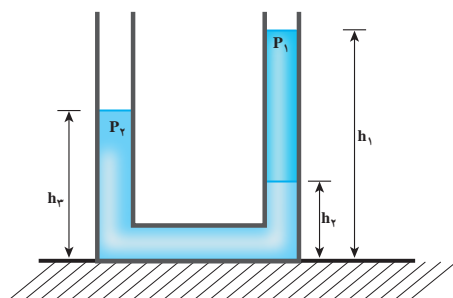
۵- با تحقیق توضیح دهید، که در هر یک از وسایل زیر، چگونه فشار هوا یا اصل پاسکال، تأثیرگذار است؟  
(الف) پمپ خلأ (ب) پمپ مایع دستشویی (ج) سرنگ (د) دستگاه منگنه آبی

۶- چرا طبق اصول ایمنی آتش‌نشانی بر روی آتش ناشی از نفت و بنزین، نباید آب پاشید؟

## چندمسئله

۱- میانگین چگالی لایه‌های مختلف زمین  $\frac{5}{3} \frac{g}{cm^3}$  و شعاع زمین تقریباً  $6380 \text{ km}$  است. جرم زمین چند کیلوگرم است؟

۲- حجم داخلی مخزنی برابر  $60 \text{ Lit}$  است و با مایعی که چگالی نسبی آن (نسبت به آب)  $0.72$  است، پر شده است. جرم این مایع چند کیلوگرم است؟ ( $1 \frac{g}{cm^3}$  چگالی آب است).



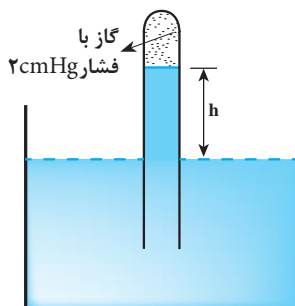
۳- دستگاه شکل روبه‌رو در تعادل است.

نسبت چگالی دو مایع ( $d = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ ) چه اندازه است؟

$$(h_1 = 30 \text{ cm}, h_2 = 12 \text{ cm}, h_3 = 20 \text{ cm})$$



۴- فشار در سطح آب و در کف دریاچه‌ای به ترتیب  $95 \text{ kPa}$  و  $610 \text{ kPa}$  است. اگر چگالی آب دریاچه  $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  و  $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$  باشد، عمق دریاچه چند متر است؟



۵- در شکل مقابل درون ظرف، مایعی با چگالی  $6/8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  و فشار هوا  $72 \text{ cmHg}$  است. ارتفاعی که این مایع در لوله بالا رفته است ( $h$ )، چند سانتی متر است؟

## پروژه پایانی

### پروژه : ساخت موشک آبی

روش ساخت موشک آبی را تحقیق کنید و با رعایت نکات ایمنی آن را در یک گروه بسازید. پس از ساخت به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

- ۱- کدام یک از نکات و قوانین فیزیکی، که در این کتاب آموختید، در ساخت آن به کار می‌رود. آنها را شرح دهید.
- ۲- برای ساخت موشک، چه مهارت‌هایی را آموختید؟



توجه: هنرجویان عزیز می‌توانند، به جای پروژه بالا، پروژه ساخت پمپ خلأ ساده را انتخاب کنند و باز هم به پرسش‌های مشابه ذکر شده در بالا پاسخ دهند. (نمونه ویدئوی ساخت پمپ خلأ ساده، را مشاهده کنید).





## فصل چهارم

### دما و گرما

درز انبساط پل در عملکرد سازه پل بسیار مهم است. وقتی که درز عملکرد مناسب خود را از دست بدهد، می تواند مشکلاتی بزرگ تر از اندازه خودش به وجود آورد. به نظر شما چرا انتخاب درز انبساط مناسب در سازه اهمیت بسیاری دارد؟ و این درزها چگونه عمل می کنند؟



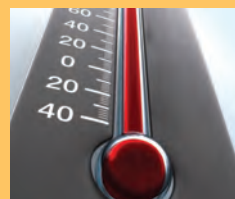
انبساط گرمایی



انتقال گرما



گرما



دما

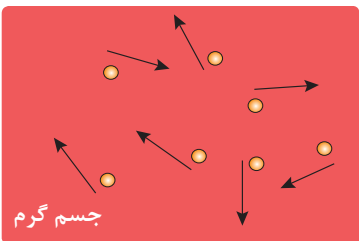
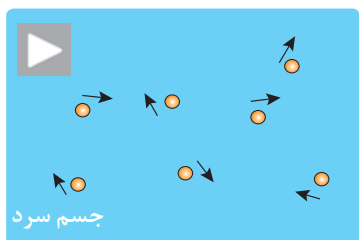


در کتاب **علوم تجربی پایه هفتم** با موضوعاتی نظیر دما، دماسنجی، گرما و روش‌های انتقال گرما آشنا شدید. در این فصل به برخی از این مفاهیم در ابعاد میکروسکوپی و اندازه‌گیری محاسبه مقدار آنها می‌پردازیم. همچنین با پدیده دیگری به نام «انبساط گرمایی» آشنا خواهید شد.

## ۴-۱ دما



**شکل ۱-۴** جرقه‌های فشفشه دارای دمای بالاتر از ۲۰۰۰ درجه سلسیوس هستند.



**شکل ۲-۴** نمایش میکروسکوپی دما

فشفشه‌هایی که در جشن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، دمای بالایی دارند (شکل ۱-۴). گرچه دمای این جرقه‌ها از ۲۰۰۰ درجه سلسیوس تجاوز می‌کند، اما گرمایی که هنگام برخورد به پوست کودک منتقل می‌کنند بسیار کم است. این تجربه نشان می‌دهد که دما و گرما مفاهیمی متفاوت‌اند.

**۴-۱-۱ مفهوم دما:** اگر بخواهید در مورد مقدار گرمی یا سردی اجسام صحبت کنید، چگونه آن را توصیف می‌کنید؟ احتمالاً از کلماتی مثل داغ، گرم یا سرد استفاده می‌کنید. اما این واژگان نمی‌توانند اطلاع دقیقی از میزان گرمی یا سردی اجسام بدهند. کمیت فیزیکی مناسب برای این منظور، «دما» است. **دما کمیتی مقایسه‌ای است که میزان گرمی یا سردی اجسام را نشان می‌دهد.** همان‌طور که در فصل ۳ آموختید همه مواد (جامد، مایع، گاز) از اتم‌ها یا مولکول‌هایی تشکیل شده‌اند که همواره در حرکتند. اتم‌ها و مولکول‌های ماده به دلیل این حرکت دارای انرژی جنبشی هستند. **میانگین انرژی جنبشی ذرات ماده تعیین‌کننده دمای آن است،** یعنی هرچه میانگین انرژی جنبشی ذرات ماده بیشتر باشد، دمای آن نیز بیشتر خواهد بود (شکل ۲-۴). مثلاً ضربه زدن به فلز با چکش باعث سرعت بیشتر ذرات تشکیل‌دهنده فلز می‌شود و در نتیجه دمای آن را بالاتر می‌برد.

تجربه کنید



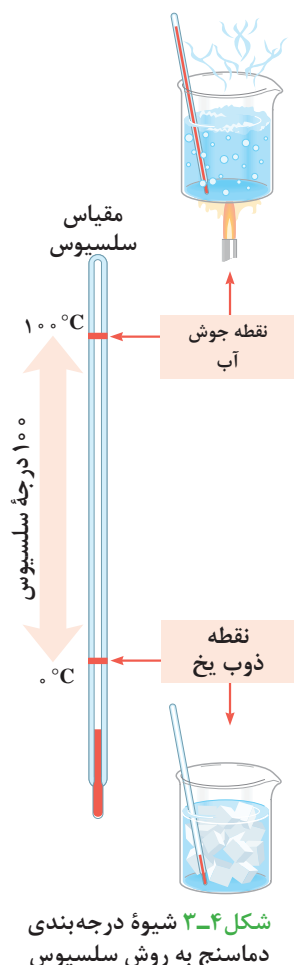
آب داغ و آب سرد را در لیوان‌های جداگانه‌ای بریزید. سپس با قطره‌چکان به اندازه مساوی در آنها جوهر بریزید. پیش‌بینی می‌کنید چه اتفاقی بیفتد؟ دلیل این اتفاق چیست؟

**۴-۱-۲ اندازه‌گیری دما:** اولین وسیله اندازه‌گیری دما یا همان دماسنج، را گالیله در سال ۱۶۰۲ اختراع کرد. دماسنج‌های معمولی گیوه‌ای و الکلی، هفتاد سال بعد از آن کاربرد گسترده‌ای یافتند.





در کتاب **علوم تجربی پایه هفتم** با انجام دادن آزمایشی دیده‌اید که حس لامسه برای اندازه‌گیری دقیق دما مناسب نیست. با توجه به معیارهای تعریف یک کمیت فیزیکی که در فصل ۱ به آن پرداخته شده است، فکر می‌کنید چرا این روش مناسب نیست؟



شکل ۳-۴ شیوه درجه‌بندی دماسنج به روش سلسیوس

با شیوه درجه‌بندی و ساخت دماسنج در کتاب علوم هفتم آشنا شدید. در این نوع مدرج‌سازی، طبق قرارداد، عدد ۰ مربوط به دمایی است که یخ ذوب می‌شود و عدد ۱۰۰ به دمای جوشیدن آب خالص در فشار هوای استاندارد اختصاص دارد. فاصله بین این دو، به ۱۰۰ قسمت مساوی به نام سانتی‌گراد تقسیم شده است (شکل ۳-۴). اکنون به افتخار آندرس سلسیوس، منجم سوئدی، کسی که اولین بار این مقیاس را پیشنهاد داد، آن را درجه سلسیوس می‌نامند و این یکا را با نماد °C نشان می‌دهند.

لوله دماسنج معمولاً بلند و نازک انتخاب می‌شود تا یک تغییر کوچک در حجم جیوه یا الکل بتواند به تغییر ارتفاع قابل ملاحظه‌ای در لوله بینجامد.

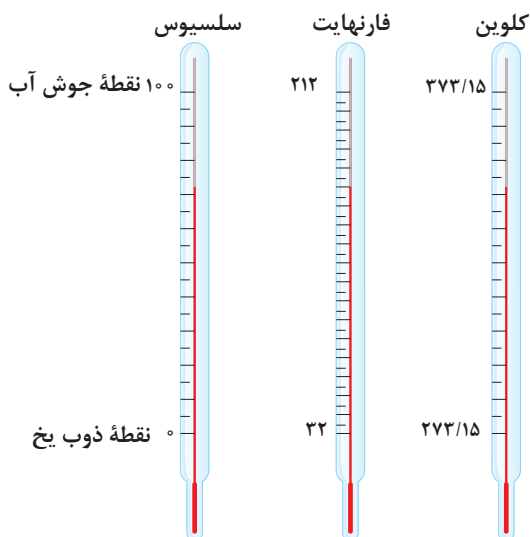


**۳-۱-۴ مقیاس‌های دما:** با متداول‌ترین مقیاس دما یعنی سلسیوس در قسمت قبل آشنا شدید. دمایی که بر حسب سلسیوس بیان شده باشد با نماد  $\theta$  (تتا) نوشته می‌شود. مثلاً اگر دمای آب رادیاتور یک خودرو ۸۰ درجه سلسیوس باشد آن را به صورت  $\theta = 80^\circ\text{C}$  نشان می‌دهیم. مقیاس دیگر دما، که از آن در صنعت بیشتر استفاده می‌شود. مقیاس فارنهایت است. در این مقیاس عدد ۳۲ به دمای ذوب یخ اختصاص دارد و عدد ۲۱۲ به دمای جوش آب خالص نسبت داده شده است. این مقیاس به افتخار گابریل دانیل فارنهایت، پایه‌گذار آن، نام‌گذاری شده و با نماد F نشان داده می‌شود. با کمک رابطه زیر می‌توان ارتباط دما در مقیاس سلسیوس و دما در مقیاس فارنهایت را برقرار کرد:

$$F = \frac{9}{5}\theta + 32 \quad (۱-۴)$$

بنابر آنچه در فصل اول نیز گفته شد، مقیاس پذیرفته شده برای اندازه‌گیری در SI مقیاس کلون است. در این مقیاس نقطه پایینی را دمایی در نظر می‌گیریم که انرژی ذرات ماده کمترین مقدار خود را دارند و به آن عدد ۰ را نسبت می‌دهیم در نتیجه عدد ۰ مربوط به پایین‌ترین دمای ممکن (صفر مطلق) است. صفر مطلق<sup>۱</sup> برابر  $273^\circ\text{C}$  - است. در مقیاس کلون هیچ عدد منفی وجود ندارد. دما در مقیاس کلون را با نماد T و کلون را با نماد K نشان می‌دهند. مثلاً دمای ذوب یخ، یعنی ۲۷۳ کلون را به شکل

۱- مقدار دقیق صفر کلون  $273/15^\circ\text{C}$  - است.



زیر نمایش می‌دهند:

$$T = 273K$$

برای ارتباط دما در مقیاس کلوین و سلسیوس می‌توان نوشت:

$$T = \theta + 273 \quad (2-4)$$

شکل ۴-۴ مقایسه مقیاس‌های دما

مثال



در موتور خودرو اگر حرارت توسط دستگاه خنک کننده گرفته نشود، به موتور آسیب خواهد رسید. از طرفی کمبود حرارت نیز باعث خرابی موتور می‌شود. دمای مناسب موتور خودرو بین  $9^{\circ}C$  تا  $90^{\circ}C$  است. این بازه دمایی را در مقیاس کلوین و فارنهایت محاسبه و باهم مقایسه کنید.

پاسخ:

$$\theta_1 = 9^{\circ}C \text{ و } \theta_2 = 90^{\circ}C \Rightarrow \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 90 - 9 = 81^{\circ}C$$

با توجه به رابطه ۲-۴ داریم:

$$T = \theta + 273 \Rightarrow T_1 = \theta_1 + 273 = 9 + 273 = 282K$$

$$T_2 = \theta_2 + 273 = 90 + 273 = 363K \Rightarrow \Delta T = T_2 - T_1 = 363 - 282 = 81K$$

با توجه به رابطه ۱-۴ داریم:

$$F = \frac{9}{5}\theta + 32 \Rightarrow F_1 = \frac{9}{5}\theta_1 + 32 = \frac{9}{5} \times 9 + 32 = 16/2 + 32 = 48/2^{\circ}F$$

$$F_2 = \frac{9}{5}\theta_2 + 32 = \frac{9}{5} \times 90 + 32 = 162 + 32 = 194^{\circ}F$$

$$\Delta F = F_2 - F_1 = 194 - 48/2 = 145/2^{\circ}F$$

با توجه به ارتباط مقیاس‌های دما، جدول زیر را کامل کنید.

تمرین کنید



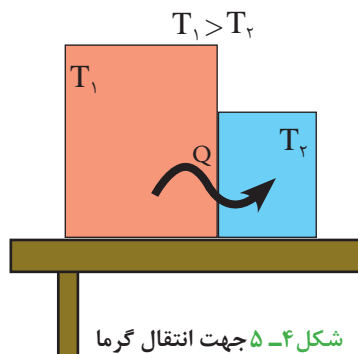
جسم	دما بر حسب درجه سلسیوس	دما بر حسب کلوین	دما بر حسب درجه فارنهایت
دمای سطح خورشید	.....	۵۷۷۸	.....
دمای جوش روغن سرخ کردنی	۲۲۰	.....	.....
دمای آب در حال جوش	.....	.....	۲۱۲
دمای یخ در حال ذوب	۰	.....	.....
دمای صفر مطلق	-۲۷۳	۰	.....





همان طور که در مثال بالا و شکل ۴-۴ می‌بینید بازه‌های دمایی در مقیاس کلوین و سلسیوس یکسان‌اند. اما در مقیاس فارنهایت به دلیل کوچک‌تر بودن فواصل درجات، مقدار بیشتری برای آن بازه دمایی به دست آمده است.

## ۴-۲ گرما



شکل ۴-۵ جهت انتقال گرما

اگر دست خود را زیر آب گرم بگیرید، دست شما گرم می‌شود چون آب گرم‌تر از دست شما است. اما اگر قطعه یخی را لمس کنید، دست شما سرد می‌شود و گرما از دست شما به یخ که سردتر است منتقل می‌شود. جهت انتقال گرما چگونه است؟ آیا قانون ویژه‌ای بر تمام موارد حاکم است؟ باید گفت بله، جهت شارش گرما به‌طور خودبه‌خودی همواره از جسم با دمای بیشتر (گرم‌تر) به جسم با دمای کمتر (سردتر) است (شکل ۴-۵).

**۴-۲-۱ مفهوم گرما:** ماده دارای گرما نیست بلکه دارای انرژی درونی است. مجموع انرژی جنبشی مولکولی و پتانسیل مولکولی ذرات جسم را انرژی درونی می‌نامند، که هنگام انتقال از جسمی به جسم دیگر اصطلاحاً گرما گفته می‌شود. در واقع انرژی‌ای را که بر اثر اختلاف دما از جسمی به جسم دیگر جابه‌جا می‌شود، گرما می‌نامند و آن را با نماد  $Q$  نمایش می‌دهند. یکای گرما در SI، ژول است.

بیشتر بدانید



**کالری (Calorie)** برای اولین بار در سال ۱۸۲۴ میلادی توسط نیکلاس کلمان به‌عنوان واحدی از گرما تعریف شد. واژه کالری از واژه لاتین Calor به معنی گرما گرفته شده است. کالری به دو صورت تعریف می‌شود:

- **کالری کوچک** یا گرم کالری با نماد cal که برابر است با مقدار انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای ۱ گرم آب در فشار هوای ۱ atm به اندازه  $1^\circ\text{C}$ .
- **کالری بزرگ** یا کیلوگرم کالری با نماد Cal یا kcal که همان **کالری غذایی** است و مقدار آن برابر است با مقدار انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای  $1^\circ\text{C}$  یک کیلوگرم آب. یک کالری بزرگ برابر است با ۱۰۰۰ کالری کوچک. میزان انرژی غذایی که می‌خوریم با کیلو کالری اندازه‌گیری می‌شود.

نکته



همان طور که تاریکی از نبودن نور است، سرما نیز ناشی از نبودن گرما است. در فیزیک کمیتی به نام سرما وجود ندارد.

## ۴-۲-۲ محاسبه مقدار گرما: به نظر شما مقدار گرمای منتقل شده به جسم به چه عواملی ارتباط دارد؟

اگر بخواهید چای را فوری درست کنید ترجیح می‌دهید آب گرم در کتری بریزید یا آب سرد؟ چرا؟

تجربه کنید



در عمل می‌بینید که هرچه اختلاف دمای اولیه و پایانی جسم بیشتر باشد، باید مقدار گرمای بیشتری به جسم داده شود. علاوه بر مقدار تغییر دما، مقدار گرما با مقدار ماده نیز ارتباط دارد. مثلاً بشکه‌ای پر از آب، بیشتر از یک فنجان آب نیاز به گرما دارد تا دمای آنها به یک اندازه بالا برود.



یک میخ کوچک و یک پیچ بزرگ آهنی را روی شعله داغ کنید. آنها را داخل ظرف‌های محتوی مقدار آب با دمای یکسان بیندازید، کدام یک، دمای آب را بیشتر بالا می‌برد؟ چرا؟



**جوزف بلک**

جوزف بلک دانشمند و فیزیک‌دان اسکاتلندی و کاشف گاز کربن دی‌اکسید، کاشف گرمای نهان و بنیان‌گذار کمیت فیزیکی ظرفیت گرمایی ویژه بود. او پروفیسور رشته پزشکی در دانشگاه گلاسگو بود و در همان دانشگاه به تدریس شیمی نیز می‌پرداخت. در همان زمان جیمز وات برای دانشگاه گلاسگو ابزارها و ماشین‌آلات آزمایشی می‌ساخت؛ او به کمک جوزف بلک آزمایش‌هایی بر روی بخار انجام داد که در نهایت منجر به اختراع و تکمیل موتور بخار گردید.

حالا باید دلیل اینکه چرا جرقه‌ها دست کودک را نمی‌سوزانند، متوجه شده باشید. دمای جرقه‌ها بسیار زیاد و حدود  $2000^{\circ}\text{C}$  است. این انرژی به‌ازای تعداد اندکی مادهٔ محترقه جرقه تولید می‌شود. گرمای منتقل شده به دست کودک به دلیل جرم کم جرقه، کمتر از آن است که دست او را بسوزاند.

**ظرفیت گرمایی ویژه:** مواد مختلف ظرفیت‌های متفاوتی برای ذخیرهٔ انرژی درونی دارند. بالابردن دمای جرم‌های یکسان از مواد مختلف (مثلاً دو کیلوگرم آب یا آهن) به میزانی مشخص (مثلاً از دمای  $25$  تا  $100$  درجه سلسیوس) به مقدارهای متفاوت گرما نیاز دارد. در این مثال، آب نسبت به آهن مقدار گرمای بیشتری جذب می‌کند و اصطلاحاً می‌گوییم آب دارای ظرفیت گرمایی ویژه بالاتری است. **ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از ماده بدهیم تا یک درجه سلسیوس افزایش دما پیدا کند و با نماد  $C$  نشان داده می‌شود.** همان‌طور که تجربه کردید، سه عامل با مقدار گرمای منتقل شده به جسم در ارتباط است: اختلاف دما - مقدار ماده - ظرفیت گرمایی ویژه (وابسته به جنس ماده) بنابراین معادلهٔ گرما به شکل زیر خواهد بود:

تغییر دما  $\times$  ظرفیت گرمایی ویژه  $\times$  جرم = گرمای منتقل شده

$$Q = mc(\theta_f - \theta_i) = mc\Delta\theta \quad (3-4)$$

براساس رابطهٔ ۳-۴ یکای ظرفیت گرمایی ویژه  $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$  است که مقدار آن را برای مواد مختلف در جدول

۱-۴ مشاهده می‌کنید.

جدول ۱-۴ ظرفیت گرمایی ویژه مواد مختلف بر حسب  $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$

ماده	ظرفیت گرمایی ویژه	ماده	ظرفیت گرمایی ویژه
آب	۴۲۰۰	گرانیت	۸۰
آب دریا	۲۹۰۰	مس	۳۸۰
یخ	۲۱۰۰	سرب	۱۲۶
اتانول	۲۵۰۰	آلومینیوم	۹۰۰
روغن پارافین	۲۱۰۰	سدیم	۱۲۴۰
هیدروژن	۱۴۳۰۰	جیوه	۱۵۰
هوا	۹۹۳	آهن	۲۹۰
هلیوم	۵۲۴۰	فولاد	۴۲۰
اکسیژن	۹۳۰	سنگ مرمر	۹۰۰



**الف)** ظرفیت گرمایی ویژه، یک کمیت فرعی است یا اصلی؟ چرا؟  
**ب)** چرا وقتی یک قاچ هندوانه و یک ساندویچ را در یک روز داغ برای رفتن به گردش از یخچال خارج می‌کنیم، هندوانه، مدت بیشتری نسبت به ساندویچ خنک می‌ماند؟  
**ج)** برای خنک کردن موتور اتومبیل از آب استفاده می‌شود. دلیل این انتخاب چیست؟



**شکل ۴-۶** انرژی مورد نیاز برای گرم کردن ۵ لیوان آب تا نقطه جوش تقریباً برابر با انرژی مورد نیاز برای شتاب گرفتن یک خودرو کوچک تا سرعت تقریباً ۹۶ کیلومتر بر ساعت است.

ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی آب از تمام مواد، بیشتر است. مقدار نسبتاً اندکی آب با تغییر دمای مختصر مقدار زیادی گرما جذب می‌کند (شکل ۴-۶). از این رو، آب عملاً خنک‌کننده مناسبی است. همین طور خنک‌شدن آب نیز با خروج گرمای زیادی از آن همراه است و مدت بیشتری نسبت به بقیه مواد طول می‌کشد تا آب خنک شود. از این واقعیت در کیسه‌های آب جوش سنتی و شفاژ منازل استفاده می‌شود. این ویژگی آب سبب بهبود شرایط زیستی بسیاری از مکان‌ها شده است. مکان‌هایی همچون شمال کشور، که مجاور آب هستند، تغییر دماهای شدید در زمستان و تابستان ندارند. در این مناطق، در ماه‌های تابستان که هوا داغ است، آب با گرفتن مقدار زیادی گرما از هوا، آن را خنک می‌کند و در ماه‌های زمستان که هوا سرد است، آب با دادن مقدار زیادی گرما به ازای تغییر دمای اندک، هوا را گرم می‌کند. دماهای بسیار زیاد در طول روز و دمای خیلی سرد در طول شب برای مناطق کویری، ناشی از نبودن توده‌های بزرگ آب در مجاورت آنهاست.



وسایل مورد نیاز: دو عدد بادکنک، دو عدد شمع، آب یکی از بادکنک‌ها را با آب و دیگری را با هوا پر کنید. سپس هر دو را روی شعله شمع بگیرید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دلیل آن چیست؟

## کاربرد در صنعت و فناوری



صنایع آب‌بر، صنعت‌های بزرگی همچون ذوب آهن، تولید فولاد و پتروشیمی هستند که در بسیاری از فرایندهایشان از آب به عنوان خنک‌کننده یا حلال استفاده می‌کنند. چنین صنعت‌هایی باید در مکان مناسب ساخته شوند تا مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کمبود آب را ایجاد نکنند. بهترین مکان برای احداث این نوع کارخانه‌ها، سواحل و مکان‌های نزدیک به دریا است تا برای تأمین آب آنها مشکلی نباشد.

مثال



اگر بخواهیم دمای  $20^\circ\text{C}$  از یک جسم مجهول را به اندازه  $10^\circ\text{C}$  افزایش دهیم، مقدار  $200\text{ J}$  گرما لازم است. ظرفیت گرمایی ویژه این جسم چقدر است؟

پاسخ:

$$m = 200\text{ g} = 200 \times \frac{1\text{ kg}}{1000\text{ g}} = 0.2\text{ kg} \quad \text{و} \quad \theta_2 - \theta_1 = 10^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad Q = 200\text{ J} = 2 \times 10^2\text{ J} \quad \text{و} \quad c = ?$$

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) \Rightarrow 2 \times 10^2\text{ J} = 0.2\text{ kg} \times c \times 10^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$2 \times 10^2\text{ J} = 2 \times 10^{-1}\text{ kg} \cdot ^\circ\text{C} \Rightarrow c = \frac{2 \times 10^2\text{ J}}{2 \times 10^{-1}\text{ kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

تمرین کنید



آشپزی می‌خواهد زمان لازم برای جوش آمدن آب درون قابلمه را محاسبه کند. توان مصرفی نوشته شده روی اجاق برقی  $1400$  وات است. اگر او  $2\text{ kg}$  آب با دمای  $20^\circ\text{C}$  در این قابلمه بریزد و آب در دمای  $100^\circ\text{C}$  به جوش برسد، مدت زمانی را که او باید منتظر بماند، محاسبه کنید. (از اتلاف گرما صرف نظر کنید)

## ۴-۳ انتقال گرما

در علوم تجربی پایه هفتم دیدید که گرما به‌طور خود به خود همواره از اجسام با دمای بالاتر به اجسام با دمای پایین‌تر منتقل می‌شود. این انتقال به سه روش **رسانش**، **همرفت** و **تابش** صورت می‌گیرد.

**۴-۳-۱ رسانش گرمایی:** دسته یک قاشق فلزی را در دست بگیرید و سر دیگر آن را روی شعله‌ی اجاق قرار دهید. در زمانی کوتاه دسته قاشق که در دست شماست به اندازه‌ی داغ می‌شود که دیگر نمی‌توانید آن را نگه دارید. با توجه به اختلاف دمای دو سر قاشق، گرما از سر داغ به سمت دیگر منتقل می‌شود؛ انتقال گرما به این شیوه را **رسانش** می‌نامند. آتش باعث می‌شود اتم‌های گرم شده‌ی سر قاشق تندتر حرکت کنند. این اتم‌ها، اتم‌های مجاورشان را به ارتعاش بیشتر وادار می‌کنند و آنها هم همین کار را برای اتم‌های مجاور خود انجام می‌دهند.



با توجه به ویژگی‌های حالت‌های مختلف مواد (جامد، مایع، گاز) در فصل ۳، مواد در کدام حالت رسانش گرمایی بیشتری دارند؟ دلیل این امر چیست؟

فکر کنید



**شکل ۴-۷** لحافی از برف روی دانه‌های درون خاک در زمستان

رسانش خوب گرما در یک جسم به پیوندهای اتمی و مولکولی آن جسم بستگی دارد. به عنوان مثال فلزها رساناهای عالی گرما هستند. از طرف دیگر، پشم، شیشه، چوب، کاغذ، و پلاستیک رسانای ضعیف گرما هستند. **رساناهای ضعیف گرما را «عایق» می‌نامند.**

هوا رسانای بسیار ضعیف گرماست. ویژگی‌های اجسامی چون پشم، پر، فایبرگلاس و پشم شیشه به عنوان عایق خوب گرما بیشتر به دلیل هوای موجود در لایه‌های آنهاست.

آب رسانای ضعیف (عایق خوب) گرماست. برف از آب تشکیل شده است پس برف هم عایق خوبی برای گرما است. بنابراین، در فصل زمستان زمین را گرم نگه می‌دارد. دانه‌های برف از بلورهایی تشکیل شده‌اند که شبیه توده‌های



پَر به هم متصل شده و هوا را محبوس می‌سازند، در نتیجه مانع فرار گرما از سطح زمین به هوا می‌شوند. به همین سبب کشاورزان در مناطق سردسیر دانه‌های گندم را در فصل پاییز در خاک می‌پاشند. خاک و برف هردو به خوبی از سرمازدگی دانه‌ها جلوگیری می‌کنند.

آزمایش کنید



**وسایل مورد نیاز:** میله‌های با جنس و طول متفاوت، شعله آتش، موم، خلال دندان  
**شرح آزمایش:** به نوک دو سر میله‌ها و وسط آنها توسط موم خلال دندان بچسبانید. میله‌ها را از یک نقطه روی شعله قرار دهید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ از این مشاهده در مورد عوامل مؤثر بر رسانش گرما چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

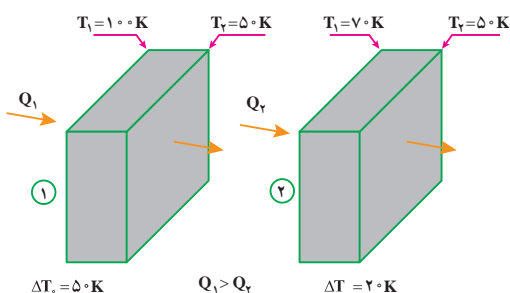
فکر کنید



چرا نانو‌ها می‌توانند دست خود را برای مدتی بدون آسیب در داخل تنور ببرند، اما اگر دستشان به دیواره تنور بخورد، می‌سوزد؟

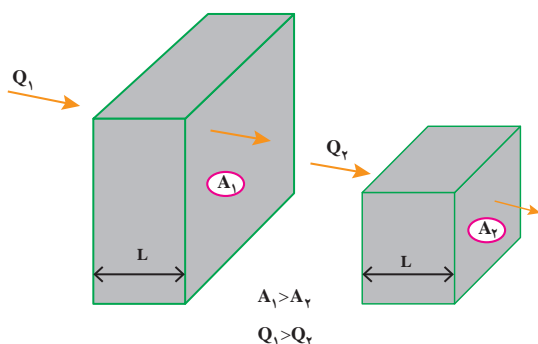
البته هیچ عایقی نمی‌تواند به طور کامل از عبور گرما جلوگیری کند. عایق فقط آهنگ انتقال گرما را کند می‌کند. در زمستان، حتی بهترین خانه‌های گرم عایق‌بندی شده هم به تدریج سرد خواهند شد. عایق‌بندی کردن، انتقال گرما را کند می‌سازد.

**۲-۳-۴ محاسبه آهنگ رسانش گرما: مقدار گرمای انتقال یافته از یک جسم به عوامل زیر بستگی دارد:**



شکل ۴-۸ وابستگی آهنگ رسانش به اختلاف دمای دو سطح

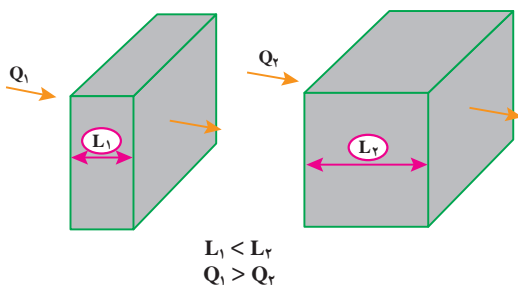
**۱- اختلاف دمای دو سطح (نقطه) گرم و سرد**  $(T_2 - T_1)$  یا  $(\theta_2 - \theta_1)$ : اختلاف دما عامل انتقال گرمات، بنابراین هرچه اختلاف دمای بین دو سطح گرم و سرد بیشتر باشد، گرمای بیشتری جریان می‌یابد. انتقال گرما با اختلاف دمای دو سطح رابطه مستقیم دارد (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۹ وابستگی آهنگ رسانش به سطح مقطع جسم

**۲- سطح مقطع جسم (A):** بدیهی است که هرچه سطح بزرگ‌تر باشد تعداد مولکول‌های بیشتری به طور هم‌زمان کار انتقال گرما را انجام می‌دهند و مقدار گرمای بیشتری منتقل خواهد شد. پس انتقال گرما با سطح مقطع رابطه مستقیم خواهد داشت (شکل ۴-۹).

**۳- ضخامت جسم (L):** هدایت گرما با ضخامت جسم یا به عبارت دیگر، با فاصله بین سطح گرم و سطح سرد جسم رابطه وارون دارد. یعنی هرچه



شکل ۴-۱۰ وابستگی آهنگ رسانش به ضخامت جسم

ضخامت جسم کمتر باشد، هدایت گرما بیشتر خواهد بود (شکل ۴-۱۰).

**۴- زمان عبور گرما (t):** هرچه زمان، بیشتر باشد مقدار گرمای بیشتری عبور خواهد کرد. بنابراین، انتقال گرما با زمان رابطه مستقیم دارد.

**۵- قابلیت هدایت گرمایی یا رسانندگی گرمایی (K):** دیدیم که تمام مواد نمی‌توانند گرما را با آهنگ یکسانی عبور دهند. فلزات رساناهای

خوب گرما هستند و موادی همچون چوب و پلاستیک رساناهای ضعیف گرما هستند و موادی مانند پشم شیشه رساناهای خیلی ضعیف گرما یا عایق گرما هستند. رسانندگی گرمایی برخی از مواد در جدول ۴-۲ آمده است. در نتیجه عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش رسانش را می‌توان در معادله زیر خلاصه کرد:

$$Q = \frac{KA t (T_r - T_l)}{L} = \frac{KA \Delta T}{L} \quad (۴-۴ \text{ الف})$$

اگر مقدار گرمای انتقال یافته در واحد زمان را بخواهیم، معادله فوق بر زمان تقسیم می‌شود و اصطلاحاً **آهنگ رسانش** گرما محاسبه می‌گردد.

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{KA \Delta T}{L} \quad (۴-۴ \text{ ب})$$

جدول ۴-۲ رسانندگی گرمایی مواد

رسانندگی گرمایی ( $\frac{J}{s.m.K}$ )	ماده	رسانندگی گرمایی ( $\frac{J}{s.m.K}$ )	ماده
۸۲	آهن	۳۵	سرب
۴۰۶	نقره	۱	شیشه
۰/۰۲۴	هوا	۰/۰۹	پنبه نسوز
~۰/۶	آجر	۰/۰۴	آب
~۰/۰۸	چوب	۲/۲	یخ
۴۰۰	مس	۰/۰۳	چوب پنبه
		۲۳۸	آلومینیوم

به کمک رابطه ۴-۴ الف، یکای رسانندگی گرمایی را در SI به دست آورید.

تمرین کنید







در ناحیه کویری ایران که روزها گرم و شبها سرد است، در گذشته دیوارهای خانه‌ها را اغلب از گل می‌ساختند.  
(الف) چرا این دیوارها را از گل می‌ساختند؟  
(ب) اهمیت ضخیم بودن دیوارهای گلی چیست؟

فکر کنید



مثال



شیشه تک جداره پنجره یک آشپزخانه با ابعاد  $1\text{ m} \times 2\text{ m}$  و با ضخامت  $2\text{ mm}$  است. در یک روز سرد زمستانی که دمای بیرون  $0^\circ\text{C}$  و دمای اتاق  $20^\circ\text{C}$  است، در مدت  $1\text{ s}$  از این پنجره چه مقدار گرما تلف می‌شود؟ (ضریب رسانش گرمایی شیشه تک جداره تقریباً  $5 \frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$ )

پاسخ:

$$A = 2 \times 1 = 2\text{ m}^2 \quad \text{و} \quad \theta_1 = 0^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad \theta_2 = 20^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad t = 1\text{ s} \quad \text{و} \quad K = 5 \frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$$

$$\text{و} \quad L = 2\text{ mm} = 2 \times 10^{-3}\text{ m}, Q = ?$$

$$Q = \frac{KA t (\theta_2 - \theta_1)}{L} \rightarrow Q = \frac{5 \times 2 \times 1 \times (20 - 0)}{2 \times 10^{-3}} = \frac{2 \times 10^2}{2 \times 10^{-3}} = 10^5\text{ J} = 10^5\text{ J} \times \frac{1\text{ kJ}}{10^3\text{ J}} = 10^2\text{ kJ}$$

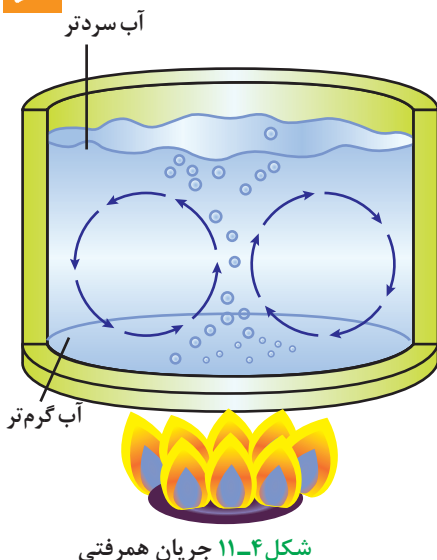
مثال قبل را با استفاده از مقادیر شیشه دوجداره محاسبه نمایید و میزان کاهش اتلاف گرمایی این دو را با هم مقایسه کنید.

تمرین کنید



(ضریب رسانش گرمایی شیشه دوجداره آرگون تقریباً  $1 \frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$  است.)

### ۳-۳-۴ همرفت



شکل ۴-۱۱ جریان همرفتی

مایعات و گازها گرما را بیشتر با روش همرفت منتقل می‌کنند، که ناشی از جابه‌جایی واقعی خود شاره است. در همرفت برخلاف رسانش (که گرما با برخوردهای متوالی الکترون‌ها و اتم‌ها منتقل می‌شود)، حرکت بخش‌های شاره (سیال حرارتی) دخالت دارد. همرفت می‌تواند در همه شاره‌ها، چه مایع و چه گاز، رخ دهد.

در شکل ۴-۱۱ می‌بینید که نقطه‌ای از شاره که گرم می‌شود، مولکول‌هایش تندتر حرکت می‌کنند و بیشتر از هم دور می‌شوند، در نتیجه چگالی آنها کاهش می‌یابد و به بالا رانده می‌شوند. قسمت خنک‌تر شاره که چگال‌تر است جای شاره گرم را می‌گیرد. به این ترتیب، جریان‌های همرفتی به وجود می‌آید. جریان‌های همرفتی در ایجاد بادهای و در آب و هوا مؤثرند.



و تَصْرِيفِ الرِّيَّاحِ آيَاتٌ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ (جاثیه، ۵)  
«و در چرخش بادهای برای افراد اندیشمند استدلال وجود دارد»

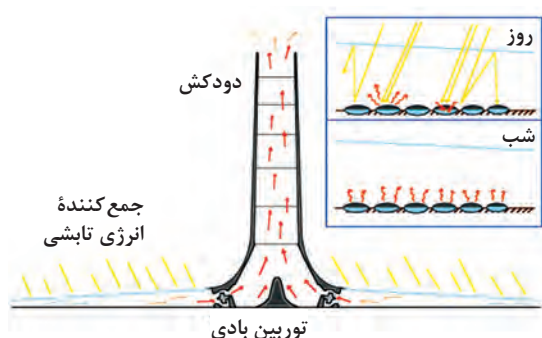
بادهای در یک سیستم جهانی در چرخش اند. آنها هوای گرم را از مناطق استوایی به نواحی قطبی و هوای سرد را از نواحی قطبی به مناطق استوایی منتقل می کنند. به این ترتیب به دمای هوا توازن و تعادل می بخشد. چرخش بادهای چه استدلالی را در بر دارد؟ چیزی که ما امروزه می دانیم این است که چرخش بادهای و وزیدن آنها برخلاف همدیگر باعث می شود ویرانی به بار نیاید. اگر بادهای فقط در یک جهت می وزیدند همه چیز ویران می شد.



شمعی را روشن کرده و به آهستگی دست خود را با احتیاط در نقاط مختلف (از اطراف و بالای شعله) به شعله نزدیک کنید. نتیجه تجربه خود را گزارش دهید.



## کاربرد در فناوری و صنعت



در شکل روبه رو یک گلخانه می بینید که با استفاده از انرژی تابشی گرما می گیرد و هوای گرم داخل گلخانه به دلیل جریان های همرفتی از طریق دودکش بلندی به ارتفاع ۵ متر به بالا رانده می شود. جریان باد توربین های تعبیه شده در مسیر را می چرخاند و برق تولید می کند. برق تولید شده برای استفاده در شب ذخیره می شود.

۴-۳-۴ تابش: انرژی خورشید از فضای خلأ و جو زمین عبور می کند و سطح زمین به واسطه تابیدن نور خورشید گرم می شود. انتقال

این انرژی نه به واسطه رسانش است نه همرفت، زیرا هیچ ماده ای در فضای خلأ وجود ندارد که به این روش ها گرما را منتقل کند. پس انرژی باید به صورت دیگری منتقل شده باشد. این نوع انتقال انرژی که توسط امواج الکترومغناطیسی صورت می گیرد، تابش گرمایی نامیده می شود. همه اجسام می توانند انرژی خود را به صورت امواج تابشی منتشر کنند؛ اما اجسام گرم تر، مقدار بیشتری انرژی تابشی منتشر می کنند؛ مثلاً سطح خورشید که دمای بالایی دارد، انرژی تابشی زیادی گسیل می کند.

## ۴-۴ انبساط گرمایی

مهندسين عمران در طراحی سازه هایی مانند پل های بزرگ فاصله هایی را منظور می کنند و یا یک سر سازه را متحرک و آزاد طراحی می کنند. فکر می کنید دلیل این کار چیست؟ در ادامه این بخش دلیل این موضوع را بیشتر درک خواهید کرد.

**۴-۴-۱ تأثیر گرما بر اندازه مواد:** در ابتدای فصل دیدید که چگونه وقتی دمای ماده‌ای افزایش یابد، مولکول‌ها و اتم‌های آن به طور میانگین تندتر تکان می‌خورند و بنابراین از هم دورتر می‌شوند که نتیجه آن انبساط ماده است؛ معمولاً تمام مواد (جامد، مایع، گاز) به غیر از چند مورد خاص، هنگام گرم شدن منبسط و هنگام سرد شدن منقبض می‌شوند. در بیشتر مواردی که با جامدها سروکار داریم، این تغییرات حجم چندان زیاد نیست، اما با مشاهده دقیق می‌توان آنها را آشکار کرد.

در یک روز گرم تابستان، طول سیم‌های برق بیشتر از یک روز سرد زمستان است و انحنای (شکم) بیشتری دارند. درپوش فلزی شیشه مربا را می‌توان با گرم کردن آن در زیر آب داغ راحت‌تر باز کرد. اگر بخشی از ظرف شیشه‌ای سریع‌تر از بخش دیگر داغ شود، منجر به شکستن شیشه می‌شود، مخصوصاً اگر شیشه ضخیم باشد. دندان‌پزشک باید از ماده پرکننده‌ای استفاده کند که همان میزان انبساط دندان را داشته باشد. مهندسان ساختمان، در سازه‌های بتونی فولادی به کار می‌برند که میزان انبساط برابر با بتون داشته باشد. مهندسان عمران در ساختن پل‌های بزرگ پل را به صورت قطعه قطعه می‌سازند و بین قطعات شیارهای فاصله‌ای منظور می‌کنند که درزهای انبساط نامیده می‌شوند. گاهی مواقع این شیارها را با قیر پر می‌کنند تا بتوانند در تابستان منبسط و در زمستان به راحتی منقبض شود.



در گذشته، خط‌های آهن قطعه‌هایی ۱۱/۹ متری بودند که با میله‌های اتصال به هم وصل می‌شدند و شکاف‌هایی برای انبساط بین این میله‌های بلند وجود داشت. در تابستان که خط‌های آهن منبسط می‌شدند این شکاف‌ها باریک بودند اما در زمستان شکاف‌ها گشاد می‌شدند و باعث صدای تلق تلق بیشتر هنگام حرکت قطار می‌شدند.

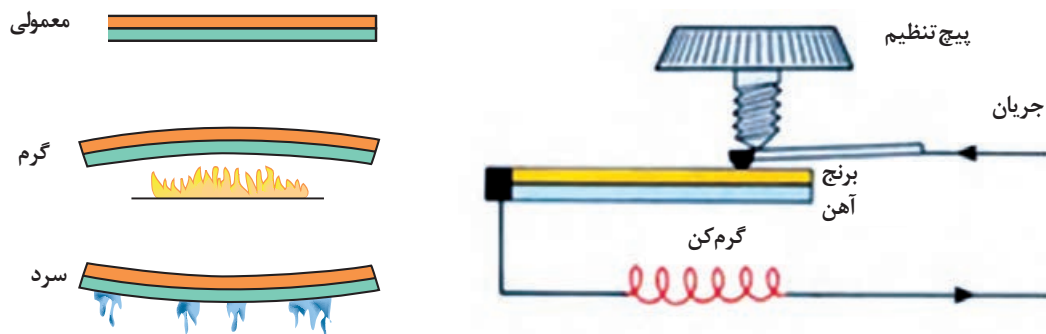
این روزها دیگر صدای تلق تلق را نمی‌شنویم زیرا این اندیشه از ذهن کسی گذشت که با جوش دادن خط‌های آهن به هم این شکاف را حذف کند. به نظر شما آیا انبساط ناشی از گرمای تابستان باعث تاب برداشتن خط‌های آهن به هم جوش داده، مطابق شکل روبه‌رو، نمی‌شود؟ نه! به شرط آنکه خط‌ها در گرم‌ترین روزهای تابستان جوش داده و نصب شوند! کاهش طول خط‌های آهن در هوای سرد باعث کشیدگی آنها می‌شود که کمانش (تاب) به وجود نمی‌آورد و آهن به دلیل خاصیت انعطافی و کششی کشیده شده و مشکلی به وجود نمی‌آورد.

بیشتر بدانید



## کاربرد در فناوری و صنعت

آهنگ انبساط مواد مختلف، متفاوت است. برخی سریع‌تر منبسط شده و برخی کندتر. وقتی دو نوار از فلزهای مختلف - مثلاً برنج و آهن - به هم جوش داده یا پرچ شوند، انبساط بیشتر یکی از آنها باعث خم شدن نوار می‌شود؛ از طرف دیگر، با سرد شدن قطعه، نوار از طرف مقابل خم می‌شود زیرا فلزی که بیشتر منبسط شود، بیشتر هم منقبض می‌شود. از این حرکت نوار می‌توان برای چرخش عقربه، یا خاموش و روشن کردن یک دستگاه استفاده کرد. این قطعه در ترموستات کاربرد یافته است. خم شدن نوار به دو جهت باعث خاموش و روشن شدن مدار الکتریکی می‌گردد. یخچال و اتو به ترموستاتی مجهزند که از سرد یا گرم شدن بیش از حد آنها جلوگیری می‌کند.



۲-۴-۴ محاسبه مقدار انبساط: همان طور که گفتیم، مهندسين عمران بين قطعات پل و ريل‌های آهن فاصله‌هایی را تعبیه می‌کنند. اين فاصله‌ها چقدر باید باشند و چگونه محاسبه می‌شوند؟ در ادامه فصل، میزان انبساط اجسام را بر اثر گرما می‌توانید محاسبه کنید.

**انبساط طولی:** اجسامی که طول آنها نسبت به ابعاد دیگر بسیار بیشتر باشد، انبساط طولی دارند. اگر طول یک میله در دمای  $\theta_1$  برابر  $L_1$  باشد و طول آن در دمای  $\theta_2$  برابر  $L_2$  باشد، میزان تغییر طول این میله یعنی  $L_2 - L_1$  به سه عامل بستگی خواهد داشت: طول اولیه میله ( $L_1$ ) - میزان تغییر دما ( $\Delta\theta$ ) - ضریب انبساط طولی (جنس میله) ( $\alpha$ )

بنابراین معادله انبساط طولی به شکل زیر خواهد بود:

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 \Delta\theta \quad (\text{الف } ۵-۴)$$

$$L_2 = L_1 (1 + \alpha \Delta\theta) \quad (\text{ب } ۵-۴)$$

یکای ضریب انبساط طولی  $\frac{1}{K}$  یا  $\frac{1}{^\circ C}$  است.

نکته



جدول ۳-۴ ضریب انبساط طولی مواد مختلف

ماده	ضریب انبساط طولی ( $\frac{1}{K}$ )
آلومینیوم	$23 \times 10^{-6}$
آجر	$9 \times 10^{-6}$
مس	$17 \times 10^{-6}$
الماس	تقریباً صفر
بتن	$12 \times 10^{-6}$
آهن	$12 \times 10^{-6}$
کوارتز	$0.2 \times 10^{-6}$
روی	$31 \times 10^{-6}$
برنج	$19 \times 10^{-6}$

مثال



طول یک سیم نازک برق از جنس مس در دمای  $30^\circ\text{C}$ ،  $3\text{ m}$  است. اگر در اثر گرما دمای سیم به  $40^\circ\text{C}$  افزایش یابد، طول سیم چقدر افزایش خواهد یافت؟

$$(\alpha = 17 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}})$$

پاسخ:

$$\theta_1 = 30^\circ\text{C} \text{ و } L_1 = 3\text{ m} \text{ و } \theta_2 = 40^\circ\text{C} \text{ و } L_2 - L_1 = ?$$

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 \Delta\theta$$

$$L_2 - L_1 = 17 \times 10^{-6} \times 30 \times (40 - 30) = 2/04 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$= 2/04 \text{ cm}$$

**انبساط سطحی:** همواره انبساط خطی اجسام در همه ابعاد رخ می‌دهد، بنابراین انبساط سطحی و حجمی را می‌توان با استفاده از انبساط خطی در همه ابعاد محاسبه کرد. روابط آنها شبیه به رابطه انبساط طولی است با این تفاوت که ضریب انبساط سطحی دو برابر ضریب انبساط خطی است و به جای طول اولیه و ثانویه، سطح اولیه ( $A_1$ ) و ثانویه ( $A_2$ ) خواهیم داشت:

$$A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta\theta \quad (6-4 \text{ الف})$$

$$A_2 = A_1 (1 + 2\alpha \Delta\theta) \quad (6-4 \text{ ب})$$

**انبساط حجمی:** ضریب انبساط حجمی سه برابر ضریب انبساط خطی است و با  $\beta$  نشان داده می‌شود، بنابراین معادله آن به صورت زیر خواهد بود:

$$V_2 - V_1 = \beta V_1 \Delta\theta = 3\alpha V_1 \Delta\theta \quad (7-4 \text{ الف})$$

$$V_2 = V_1 (1 + 3\alpha \Delta\theta) \quad (7-4 \text{ ب})$$

مثال



دمای یک ورقه را  $25^\circ\text{C}$  افزایش می‌دهیم. مساحت آن یک درصد افزایش می‌یابد. ضریب انبساط خطی آن فلز در SI چقدر است؟

$$A_2 - A_1 = \frac{1}{100} A_1 \text{ و } \Delta\theta = 25^\circ\text{C} \text{ و } \alpha = ? \quad \text{پاسخ:}$$

$$A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta\theta \Rightarrow \frac{1}{100} A_1 = 2\alpha A_1 (25) \Rightarrow$$

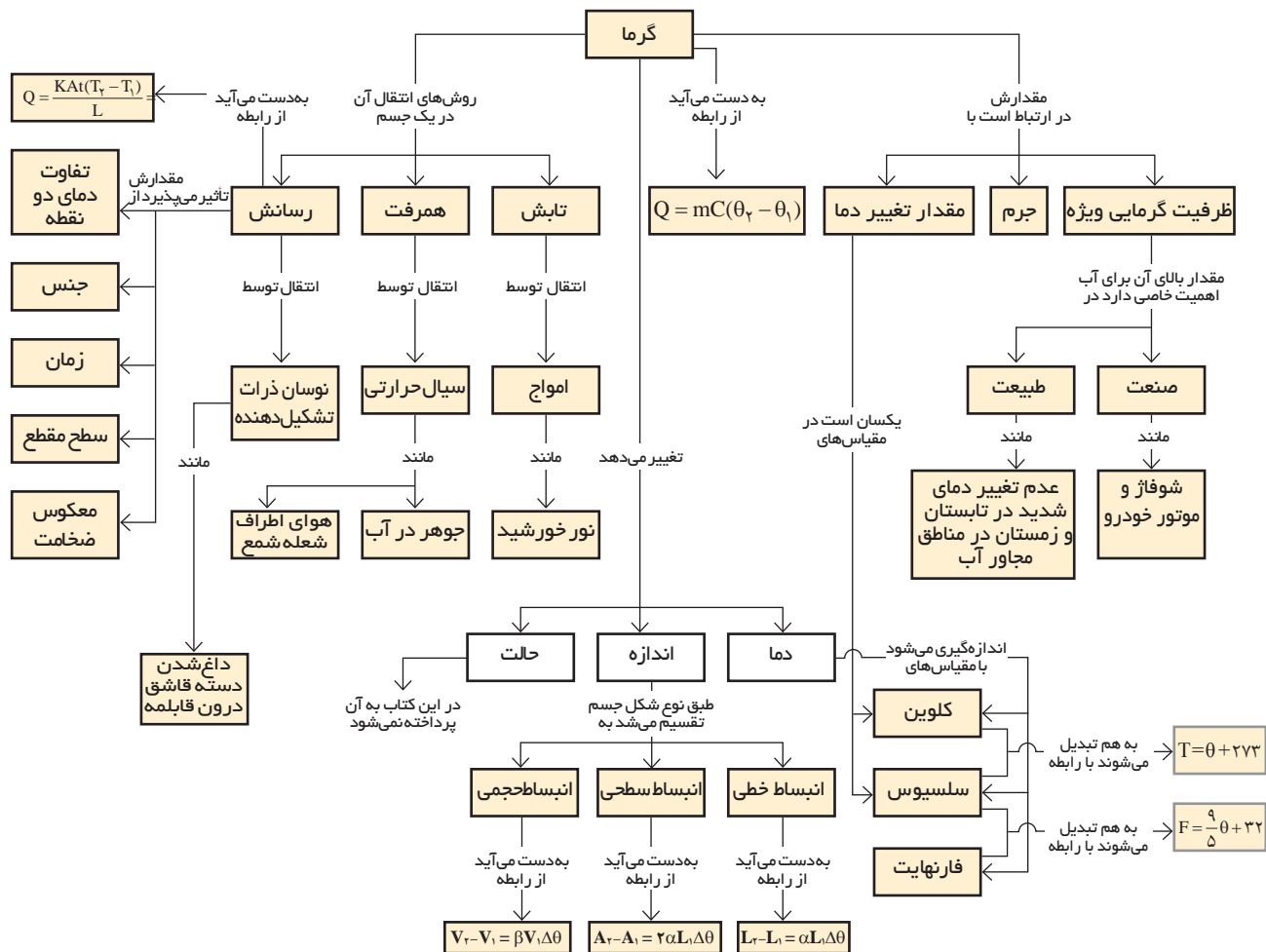
$$\frac{1}{100} = 50\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{1}{100 \times 50} = 0/0002 = 2 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{K}}$$

تمرین کنید



اگر پنجره‌ای با ابعاد  $1 \times 2$  متر ساخته شده باشد و شیشه بر بخواند در زمستان که دمای هوا  $5^\circ\text{C}$  است، شیشه‌ای برای آن نصب کند، چقدر فاصله برای انبساط شیشه در تابستان با دمای  $35^\circ\text{C}$  باید در نظر بگیرد؟

$$(\alpha_{\text{شیشه}} = 3/3 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{K}})$$





## چند پرسش

۱- دو جسم با جرم و دمای متفاوت در تبادل گرما با یکدیگر قرار می گیرند. بهترین گزینه را انتخاب کنید:  
انرژی.....

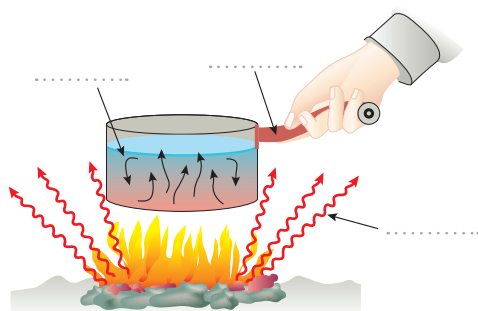
(الف) از جسم با جرم بیشتر به جسم با جرم کمتر منتقل می شود.

(ب) از جسم بزرگ تر به جسم کوچک تر منتقل می شود.

(ج) از جسم با دمای بیشتر به جسم با دمای کمتر شارش می کند.

۲- چرا وقتی سیم های برق و تلفن را در تابستان بین تیرها می کشیم بهتر است بگذاریم کمی شکم دهند و خم داشته باشند؟

۳- در جاهای خالی از سه روش انتقال گرما، روش مناسب را بنویسید.



۴- توضیح دهید چرا در صنعت تراشکاری، هنگام تراش خوردن فلز یا بلور، دائم روی فلز آب ریخته می شود؟

۵- در آب گرم کن ها، چگونه از اتلاف گرمای آب داغ در مخزن جلوگیری می کنند؟

۶- آیا از آب می توان به عنوان مایع دماسنجی استفاده کرد؟ چرا؟

۷- در هوای سرد، تیغه فلزی چاقو از دسته چوبی اش خنک تر به نظر می رسد، چرا؟



## چند مسئله

۱- دمای بدن انسان در حالت طبیعی تقریباً  $37^{\circ}\text{C}$  است. این دما بر حسب کلوین و فارنهایت چقدر است؟

۲- قطعه ای از موتور یک خودرو به جرم  $1/9$  کیلوگرم، که از ترکیب دو فلز آهن و آلومینیوم ساخته شده است که باید در دمای  $150$  درجه سلسیوس کار کند. اگر  $196$  کیلو ژول انرژی لازم باشد تا دمای این آلیاژ را از  $20$  درجه سلسیوس به  $150$  درجه سلسیوس برسد، ظرفیت گرمایی ویژه این آلیاژ چه مقدار است؟

۳- در صنایع فلزی برای خنک کردن و تسهیل فرایند برش از روغن های معدنی استفاده می شود. اگر دمای یک قطعه  $2$  کیلوگرمی آلومینیوم توسط این روغن از  $200$  درجه سلسیوس به  $75$  درجه سلسیوس برسد، در طول این فرایند، آلومینیوم چند ژول گرما از دست داده است؟ (ظرفیت گرمایی ویژه آلومینیوم  $900 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$  است)

۴- طول قطعات یک پل فولادی در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  برابر  $15$  متر است. اگر حداکثر دمای منطقه در تابستان  $50^{\circ}\text{C}$  و حداقل دمای آن در زمستان  $10^{\circ}\text{C}$  - باشد، بیشترین و کمترین طول این قطعات در تابستان و زمستان را حساب کنید.

- ۵ - دو دیسک دایره‌ای شکل A و B به شعاع  $20\text{ cm}$  و  $40\text{ cm}$  به ترتیب در دمای  $200^\circ\text{C}$  و  $100^\circ\text{C}$  وجود دارد. در چه دمایی مقدار انبساط سطحی B دو برابر انبساط سطحی A می‌شود؟
- ۶ - سقف یک خانه به ابعاد  $9 \times 6$  متر از جنس آجر یک لایه با ضخامت  $10\text{ cm}$  است. در یک روز زمستانی دمای بیرون خانه  $15$  درجهٔ سلسیوس کمتر از دمای درون خانه است. اتلاف انرژی از سقف در مدت یک شبانه‌روز چقدر است؟

## پروژه پایانی

- ۱- حسگر (سنسور) حرارتی وسیله‌ای برای هشدار حریق است. در مورد انواع مختلف این حسگرها و شیوه کار آنها تحقیق کنید و نتایج آن را با مباحث فصل تحلیل کنید.
- ۲ - با توجه به آموخته‌های این فصل، در مورد عایق‌های گرمایی تحقیق نمایید و با دانش خود وسیله‌ای (مثلاً فلاسک) طراحی کنید.

## فصل پنجم

# جریان و مدارهای الکتریکی

حتماً تاکنون به ریشه‌هایی که برای تزئین خیابان‌ها و معابر استفاده می‌شود نگاه کرده و متوجه شده‌اید که با وجود سوختن یکی از لامپ‌ها بقیه همچنان روشن هستند. آیا فکر کرده‌اید که چرا چنین است؟ آیا شیوه به هم بسته شدن لامپ‌ها در ریشه‌ها مهم است؟



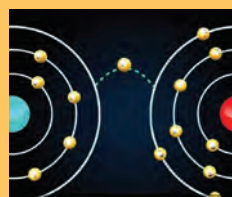
انرژی الکتریکی مصرفی



اختلاف پتانسیل (ولتاژ)  
مقاومت الکتریکی



شدت جریان الکتریکی

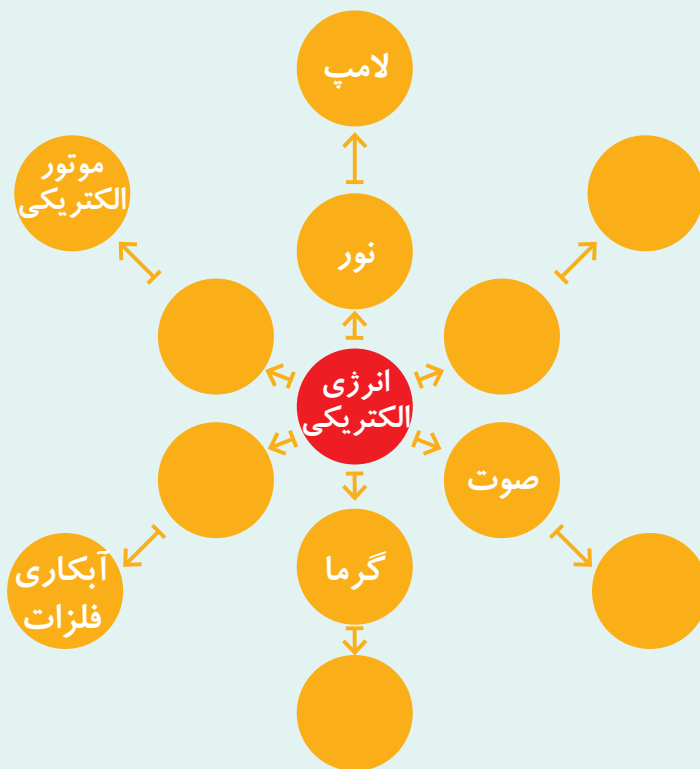


خواص الکتریکی مواد

امروزه انرژی الکتریکی به عنوان مهم ترین منبع انرژی نقش اساسی در زندگی روزمره ایفا می کند. با نگاهی به اطراف خود، متوجه اکثر وسایل خانگی و صنعتی که با انرژی الکتریکی کار می کنند، می شویم.

شکل زیر نمونه هایی از کاربرد انرژی الکتریکی را نشان می دهد. جاهای خالی را با کلمات مناسب پر کنید.

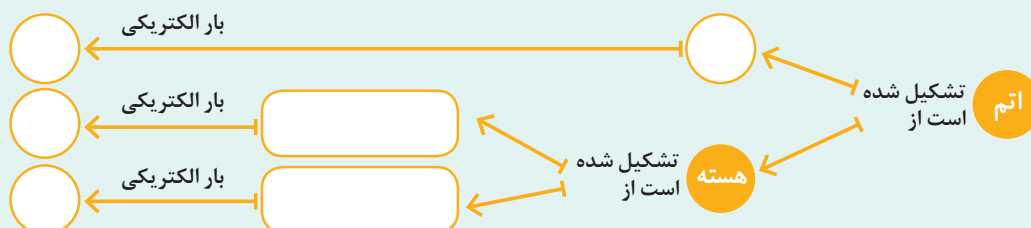
فکر کنید



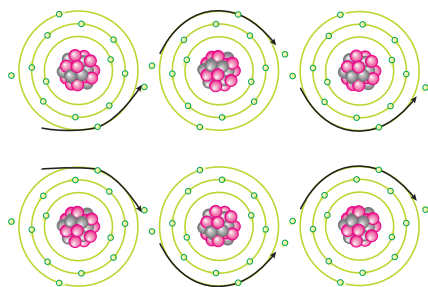
همان طور که از «فکر کنید» متوجه شدید، بدون وجود انرژی الکتریکی تقریباً اکثر فعالیت های صنعتی مختل می شود. اما برق و الکتریسیته چیست؟ و چگونه به وجود می آید؟ و چه استفاده هایی دارد؟ قبل از اینکه به پاسخ این پرسش ها بپردازیم، بهتر است مروری بر دانش خود درباره اتم ها و ساختمان آنها داشته باشیم. در کتاب علوم پایه هشتم با ساختمان اتم آشنا شدید.

جاهای خالی را با کلمات مناسب پر کنید.

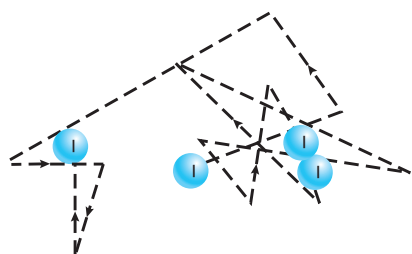
فکر کنید



## ۱-۵ الکترون آزاد



شکل ۱-۵ انتقال الکترون آزاد در یک اتم به اتم دیگر



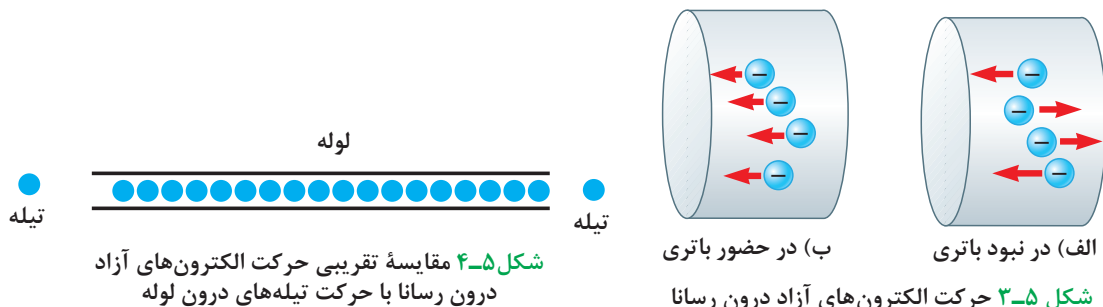
شکل ۲-۵ حرکت کاتوره‌ای الکترون‌های آزاد

همان‌طور که در کتاب علوم تجربی پایه هشتم بیان شده، تفاوت بین مواد رسانا و نارسانا در ساختمان اتمی آنها نهفته است. الکترون‌ها در فضای اطراف هسته قرار دارند. آن دسته از الکترون‌هایی که از هسته دور هستند تحت اثر نیروی جاذبه ضعیفی قرار می‌گیرند. همچنین الکترون‌هایی که در لایه‌های پایین‌تر هستند آنها را دفع می‌کنند. بنابراین الکترون‌های لایه‌های آخر (که به آنها الکترون‌های والانس نیز می‌گویند) بستگی کمتری به اتم‌های خود دارند و با کمترین انرژی از اتم‌ها کنده شده و به شکل توده‌ای از ابر، شبکه‌های اتمی فلزات را در برمی‌گیرند. این الکترون‌ها بدون آنکه به اتم خاصی وابسته باشند آزادانه درون ماده حرکت می‌کنند و پیوسته از اتمی به اتم دیگر منتقل می‌شوند (شکل ۱-۵)؛ بنابراین به آنها الکترون آزاد می‌گویند. همان‌طور که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است، الکترون‌های آزاد به صورت کاتوره‌ای در رساناها حرکت می‌کنند، زیرا الکترون‌ها در اثر برخورد با اتم‌ها، الکترون‌های آزاد دیگر و ... مرتباً مسیر خود را تغییر می‌دهند.

## ۲-۵ شدت جریان الکتریکی

همان‌طور که مولکول‌های آب درون یک لیوان به اطراف خود حرکت دارند و آب در کل ساکن به نظر می‌رسد؛ حرکت کاتوره‌ای الکترون‌ها در درون رسانا نیز باعث ایجاد جریان در رسانا نمی‌گردد. اگر سیم رسانا را با یک صفحه فرضی قطع کنیم و سطح مقطعی از آن را در نظر بگیریم، الکترون‌های آزاد در همه جهت‌ها حرکت می‌کنند و بنابراین هیچ گونه انتقال خالص باری از مقطع معین نداریم و در نتیجه جریانی از سیم نمی‌گذرد (شکل ۳-۵ الف). ولی اگر دو طرف رسانا را به دو پایانه مثبت و منفی باتری وصل کنیم، شارش (حرکت) آرامی از بارها در یک جهت ظاهر می‌شود (شکل ۳-۵ ب). در این حالت انتقال خالصی از بارها به وجود آمده در نتیجه جریان الکتریکی در رسانا ایجاد می‌گردد.

الکترون‌های آزادی که در رسانا حرکت می‌کنند، هرکدام الکترون بعد از خود را هل می‌دهند به‌طوری که همه الکترون‌ها همانند یک گروه حرکت می‌کنند. با استفاده از یک تشبیه می‌توان حرکت الکترون‌های آزاد را شبیه حرکت تیله‌ها در یک لوله پر از تیله در نظر گرفت (شکل ۴-۵).



همانند لوله که پر از تیله است، رسانا نیز پر از الکترون‌های آزادی است که تحت تأثیر باتری برای حرکت آماده است. اگر یک تیله به‌طور ناگهانی از طرف چپ وارد لوله‌ی پر از تیله شود، تیله دیگری سعی می‌کند از سمت راست لوله خارج شود. این حرکت با سرعت بالایی انجام می‌شود در حالی که تیله‌های وسطی با سرعت کمی حرکت می‌کنند. در الکتریسیته نیز انتقال انرژی از یک سر رسانا به سر دیگر آن با سرعت نور ( $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ ) انجام می‌شود، اما الکترون‌ها با سرعت خیلی کمتری ( $10^{-5} \frac{m}{s}$ ) این مسیر را طی می‌کنند.

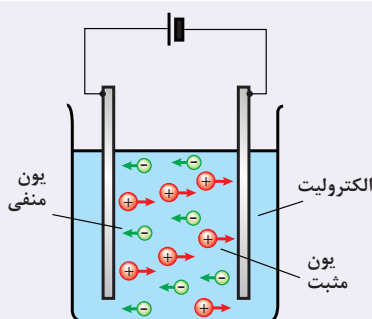
فکر کنید



نکته



چرا هنگامی که کلید لامپ را فشار می‌دهید، بلافاصله لامپ روشن می‌شود؟



حامل‌های بار در رساناها الکترون‌ها هستند. در حالی که در محلول‌های یونی یا نیم‌رساناها، حامل‌های بار متفاوت‌اند؛ مثلاً در محلول‌های یونی که الکترولیت نامیده می‌شوند یون‌های منفی و مثبت حامل‌های بار هستند.



### آندره‌ماری آمپر

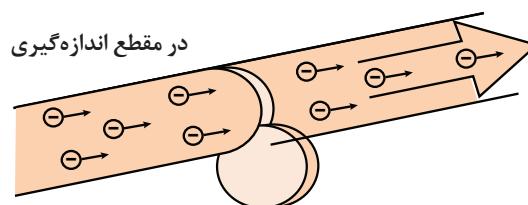
دانشمند فرانسوی در دهکده‌ای نزدیک شهر لیون به دنیا آمد. چون در آن دهکده مدرسه‌ای نبود، آمپر به خودآموزی پرداخت. آمپر استاد ریاضیات در دانشگاه پاریس شد و در تکامل علوم فیزیک، ریاضی و فلسفه سهم بسزایی ایفا کرد. آمپر پس از آزمایش‌های بسیار متوجه شد که دو سیم موازی حامل جریان به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

اکنون می‌خواهیم تعریفی کمی از جریان الکتریکی ارائه نماییم: به مقدار بار الکتریکی خالصی که از یک مقطع رسانا، در زمان معینی عبور می‌کند، شدت جریان الکتریکی متوسط گویند. شدت جریان الکتریکی متوسط را با نماد  $\bar{I}$  نشان می‌دهند و یکای آن آمپر (A) است.

اگر جریان در طول زمان تغییر نکند جریان متوسط و جریان لحظه‌ای با هم برابرند.

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (۱-۵)$$

در رابطه بالا  $\Delta q$  مقدار بار جابه‌جا شده بر حسب کولن (C) و  $\Delta t$  زمان بر حسب ثانیه (s) می‌باشد.



شکل ۵-۵ جریان الکتریکی



## جریان DC

ساده‌ترین نوع جریان الکتریکی جریان مستقیم (Direct Current) است که در آن ولتاژ با گذشت زمان تغییر نمی‌کند؛ بارهای الکتریکی همواره در یک جهت عبور می‌کنند. تمامی باتری‌ها و پیل‌های الکتریکی جریان مستقیم تولید می‌کنند.

بیشتر بدانید



بیشتر بدانید



در رابطه  $\Delta q = \bar{I}(\Delta t)$  اگر  $\bar{I}$  برحسب آمپر و  $\Delta t$  برحسب ساعت باشد، یکای  $\Delta q$  آمپر ساعت می‌شود. باتری خودروها یا گوشی‌های همراه عموماً با آمپر ساعت آنها مشخص می‌شود و هر چه آمپر ساعت یک باتری بیشتر باشد، حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است.

هنگامی که یک ماشین حساب جیبی روشن می‌شود از باتری آن جریان  $15\text{mA}$  می‌گذرد. اگر این ماشین حساب  $10$  دقیقه روشن باشد، چه مقدار بار خالص از مدار ماشین حساب عبور می‌کند؟

مثال



پاسخ:

$$\Delta t = 10 \times 60 = 600 \text{ s}, \quad \bar{I} = 0.015 \text{ A}, \quad \Delta q = ?$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \rightarrow \Delta q = I \Delta t \rightarrow \Delta q = 0.015 \times 10^{-3} \text{ A} \times 600 \text{ s} = 9 \times 10^{-3} \text{ A.s} = 9 \times 10^{-3} \text{ C}$$



در مدارهای الکتریکی برای اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی از وسیله‌ای به نام آمپرسنج استفاده می‌شود.

شکل ۵-۶ نمونه‌هایی از آمپرسنج

## کاربرد در صنعت و فناوری: قوس الکتریکی در جوش کاری



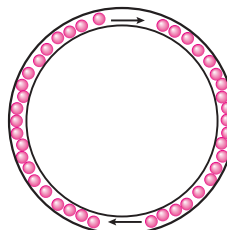
جریان الکتریکی از جاری شدن الکترون‌ها در یک مسیر رسانا به وجود می‌آید. هرگاه در چنین مسیری یک شکاف هوا (گاز) ایجاد شود جریان الکترونی و در نتیجه جریان الکتریکی قطع خواهد شد. چنانچه شکاف هوا به اندازه کافی باریک و اختلاف پتانسیل و شدت جریان زیاد باشد، گاز میان شکاف یونیزه شده و قوس الکتریکی برقرار می‌شود. هنگام جوش کاری نیز، الکتروود انبر نقش پایانه مثبت و قطعه کار نقش پایانه منفی را دارد. زمانی که الکتروود با قطعه کار برخورد می‌کند جرقه‌ای ایجاد می‌شود که همان قوس الکتریکی است.

## ۵-۳ مدار الکتریکی

اگر بخواهیم الکترون‌ها در یک جهت خاص و از مکان معینی شارش کنند، باید مسیر مناسبی برای حرکت آنها ایجاد کنیم، این مسیر باید یک مسیر بسته باشد، که آن را مدار الکتریکی می‌گویند (شکل ۵-۷). هرگونه قطع شدگی در مدار مانع حرکت الکترون‌ها می‌گردد (شکل ۵-۸).

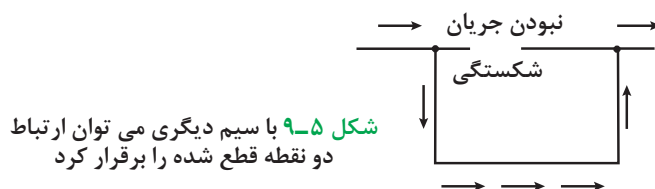


شکل ۵-۸ قطع شدگی در مدار

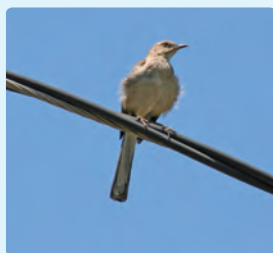


شکل ۵-۷ مسیر بسته برای عبور جریان (مدار)

برای ارتباط دو نقطه قطع شده می‌توانیم از سیم دیگری استفاده کنیم و شارش الکترون‌ها را دوباره برقرار نماییم (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹ با سیم دیگری می‌توان ارتباط دو نقطه قطع شده را برقرار کرد



جریان الکتریکی همواره مسیری را برای عبور انتخاب می‌کند که کوتاه‌ترین و سریع‌ترین مسیر ممکن باشد. از آنجا که ۷۰ درصد بدن ما را آب تشکیل داده و آب رسانای بسیار خوبی برای گذر جریان الکتریکی است، هنگامی که انگشت ما با یک چرخه جریان تماس پیدا می‌کند یعنی کوتاه‌ترین راه برای گذر جریان الکتریکی پیدا شده است. لازمه برق‌گرفتگی، عبور جریان الکتریکی از بدن است. یعنی اگر قسمتی از بدن جاندار، در مسیر ورود جریان الکتریسیته قرار بگیرد ولی جریان از بدن آن خارج نشود، برق‌گرفتگی رخ نخواهد داد؛ زیرا عبور برق است که موجب این امر می‌شود، نه ورود آن. وقتی یک پرنده بر روی سیم حامل جریان می‌نشیند، برق به بدن او وارد شده است، اما راهی برای خروج ندارد. در نتیجه جریان ورودی به بدن رسیده و پدیده برق‌گرفتگی اتفاق نمی‌افتد. در همین موقع، اگر بدن پرنده به هرصورت ممکن با زمین یا دیوار یا سیم دیگر برخورد نماید، دچار برق‌گرفتگی خواهد شد.

بیشتر بدانید

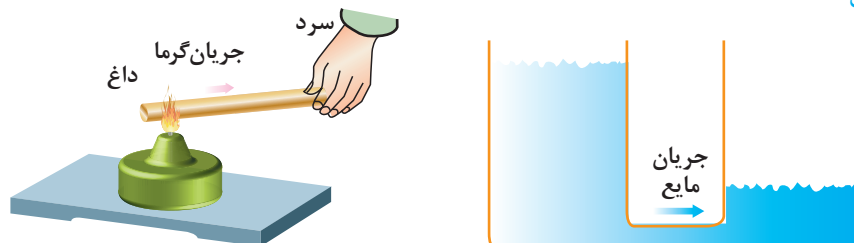


## ۵-۴ اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولتاژ)

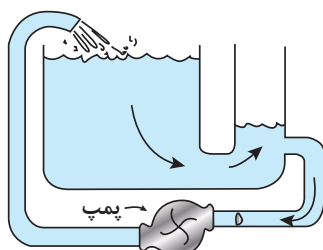
اختلاف پتانسیل الکتریکی را می‌توان با اختلاف دما که سبب انتقال گرما در یک جسم می‌شود یا اختلاف سطح مایع بین دو ظرف به هم پیوسته که سبب جاری شدن مایع بین دو ظرف می‌گردد، مقایسه کرد. همان‌طور که اختلاف دما جهت انتقال گرما و اختلاف فشار مایع جهت حرکت مایع را مشخص می‌کند، اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز جهت جریان را نشان می‌دهد (شکل ۵-۱۰). جریان آب در شکل ۵-۱۰ الف، بعد از

مدتی قطع خواهد شد. برای برقراری مداوم این جریان وجود پمپ الزامی است (شکل ۵-۱۱). باتری خشک، باتری اتومبیل و... منابع تولید اختلاف پتانسیل در مدار هستند، و نقش آنها همانند پمپ آب است که باعث تداوم جریان الکتریکی در مدار می‌شود.

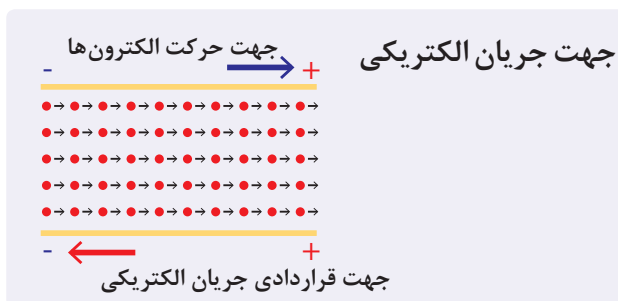
طبق قرارداد، جریان از پتانسیل بیشتر (پایانه مثبت باتری) به سمت پتانسیل کمتر (پایانه منفی باتری) شارش می‌کند.



الف) جریان آب به دلیل اختلاف سطح  
ب) انتقال گرما در میله به دلیل اختلاف دما  
شکل ۵-۱۰ همواره اختلاف پتانسیل بین دو نقطه باعث به وجود آمدن جریان الکتریکی می‌شود.



شکل ۵-۱۱ پمپ آب عامل تداوم جریان



نکته



بیشتر بدانید



پیل الکتریکی در ایران باستان در فاصله سال‌های ۲۵۰ ق.م تا ۲۲۴ پ.م در تیسفون ساخته شده است. در سال ۱۳۱۷ خورشیدی باستان‌شناس آلمانی، ویلهلم کونیک و همکارانش، ابزارهایی را در نزدیکی تیسفون، پایتخت ایران، در زمان اشکانیان یافتند. پس از بررسی معلوم شد، این ابزارها پیل‌های الکتریکی هستند و در دوره اشکانی ساخته شده‌اند. او این پیل‌ها را باتری پارسی نامید که برای آبکاری و انتقال لایه‌ای از طلا یا نقره از سطحی به سطح دیگر به کار می‌رفته است.

## کاربرد در صنعت و فناوری: فازمتر



فازمتر وسیله‌ای برای تشخیص وجود ولتاژ الکتریکی است. برای تشخیص سیم فاز از سیم نول نیز به کار می‌رود. هرگاه نوک فازمتر را داخل یکی از خانه‌های پریز یا سر سیمی که برق در آن جریان دارد بگذاریم و انگشت دست را روی پیچ انتهایی دسته آن قرار دهیم، اگر لامپ آن روشن شد آن سیم فاز است. وقتی که فازمتر را وارد پریز برق می‌نمایید بخش بسیار کمی از الکترون‌ها که از مقاومت فازمتر عبور می‌کنند وارد بدن فرد شده و لامپ درون فازمتر در اثر عبور این جریان کم روشن می‌شود. بدن ما نقش سیم را ایفا می‌کند و زمین نقش نول، اگر ما کفش عایق پوشیده باشیم، ارتباط ما با زمین قطع شده و لامپ روشن نمی‌شود.

## ۵-۵ مقاومت الکتریکی

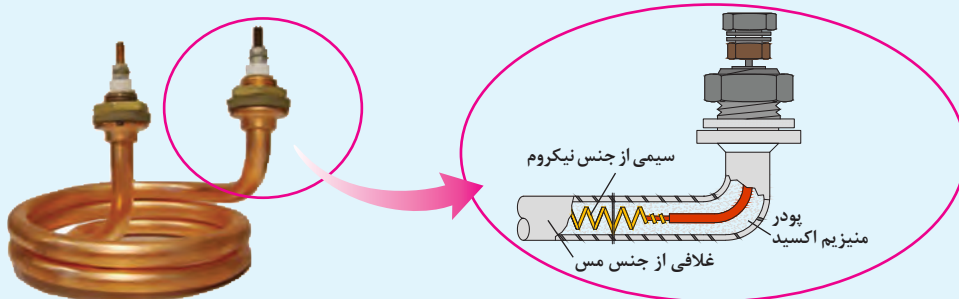


در مسیر حرکت الکترون‌ها درون مواد مواعی وجود دارد (اتم‌های جسم ماده، الکترون‌های آزاد دیگر و ...). هرچه این موانع کمتر باشند عبور جریان بهتر صورت می‌گیرد و می‌گوییم جسم مقاومت کمتری دارد و رسانای بهتری است. الکترون‌ها در مسیر حرکت خود، طی برخوردهایی که با اتم‌های جسم رسانا دارند، با انتقال انرژی جنبشی به اتم‌ها، باعث گرم شدن قطعه می‌شوند (شکل ۵-۱۲). گاهی این گرما به قدری است که باعث تابش نور می‌گردد؛ شکل ۵-۱۲ حرکت همانند نور تابش شده از فیلامان لامپ‌های رشته‌ای. گاهی مقاومت مانند مقاومت سیم‌های الکترون در اتم رابط به صورت ناخواسته و مزاحم باعث اتلاف انرژی الکتریکی می‌شود و گاهی می‌تواند به‌عنوان عاملی از پیش تعیین‌شده به صورت یک مصرف‌کننده در مدارهای الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد، مانند فیلامان داخل سماور برقی، اتو، بخاری برقی و ... که در اثر مقاومت زیاد، گرما ایجاد می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت الکتریکی را با نماد  $R$  نشان می‌دهند و یکای آن اهم است که با حرف یونانی  $\Omega$  نمایش داده می‌شود.

بیشتر بدانید

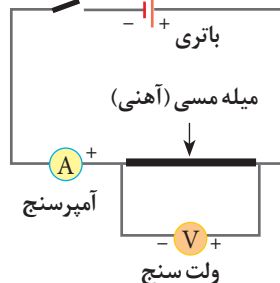


سماورها و کتری‌های برقی یکی از انواع گرم‌کن‌های الکتریکی به‌شمار می‌آیند که با تبدیل انرژی الکتریکی دریافتی به گرما منجر به گرم شدن آب درون مخزن خود می‌شوند. در ساختمان اینگونه گرم‌کن‌ها به‌طور معمول از المنت‌های حرارتی حلزونی شکلی با غلافی از مس استفاده شده است. در درون این غلاف رشته سیمی از جنس نیکروم (معمولاً ۸۰ درصد نیکل و ۲۰ درصد کروم) قرار دارد که وظیفه آن تبدیل انرژی الکتریکی به گرما است. آلیاژ نیکروم به دلیل داشتن نقطه ذوب بالا (در حدود  $1400^{\circ}\text{C}$ )، عدم اکسید شدن، انبساط طولی ناچیز و داشتن مقاومت الکتریکی نسبتاً بالا و ثابت جزء مرسوم‌ترین آلیاژهای انتخابی در ساخت بخش داخلی المنت‌های حرارتی به‌شمار می‌آید. همچنین برای عایق کردن این سیم از بخش بیرونی المنت‌های حرارتی از پودر سفید رنگی به نام منیزیم اکسید استفاده شده است. این پودر یک عایق الکتریکی به‌شمار می‌آید که توانایی انتقال حرارت خوبی دارد و باعث عایق شدن سیم نیکروم و عدم تماس الکتریکی آن با بدنه المنت و آب درون کتری یا سماور می‌شود.



جدول ۵-۱ نمادهای مربوط به مدار

نماد در مدار	قطعه
	باتری
	مقاومت
	آمپرسنج
	ولت‌سنج
	کلید



شکل ۵-۱۳ مدار ساده قانون اهم

## ۵-۵-۱ قانون اهم: شما در کتاب علوم

و کار و فناوری پایه هشتم با قانون اهم آشنا شده‌اید. در این بخش آشنایی بیشتری با این قانون پیدا خواهید کرد. هنرجویی مداری را مطابق شکل ۵-۱۳ بسته و کلید را برای لحظه‌ای کوتاه می‌بندد، سپس اعداد آمپرسنج و ولت‌سنج را یادداشت کرده و بلافاصله کلید را قطع می‌کند. برای بار دوم، او دو باتری را

پشت سرهم قرار داده و آزمایش را تکرار می‌کند. این آزمایش را برای باتری‌های دیگر نیز تکرار کرده ولی در مدت آزمایش، جسمی را که در مدار قرار داده، تغییر نمی‌دهد.

فکر کنید



اعداد آمپرسنج و ولت‌سنج آزمایشی که هنرجو انجام داده در جدول زیر آمده است.

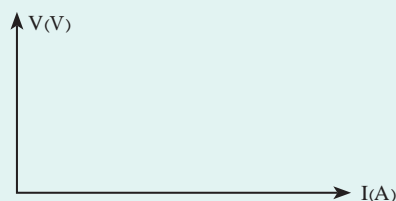
I(A)	V(V)	$\frac{V}{I}$
۰/۲	۲	
۰/۴	۴	
۰/۶	۶	
۰/۸	۸	

**الف)** نمودار زیر را برای اعداد به‌دست آمده در جدول رسم کنید.

**ب)** چه رابطه‌ای بین  $V$  و  $I$  وجود دارد؟

**پ)** خانه‌های ستون سوم جدول را کامل کنید.

**ت)** از محاسبه اعداد ستون سوم چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



همان‌طور که از «فکر کنید» بالا مشخص شد، چنانچه دمای رسانا ثابت باشد و جنس جسم تغییر نکند، نسبت  $\frac{V}{I}$  ثابت است و نمودار  $V$  بر حسب  $I$  خط راستی است که از مبدأ می‌گذرد. جرج سیمون اهم، ریاضی‌دان آلمانی، در سال ۱۸۲۷ براساس تجربیات و آزمایش‌های فراوان ارتباط بین ولتاژ  $V$ ، جریان  $I$  و مقاومت  $R$  را در یک مدار به‌دست آورد. نتایج آزمایش‌های اهم به نام قانون اهم شناخته شده است که رابطه آن چنین بیان می‌شود:

نسبت ولتاژ دوسر مقاومت به شدت جریان گذرنده از آن در دمای ثابت مقدار ثابتی است که این مقدار همان مقاومت الکتریکی است.

$$R = \frac{V}{I} \quad (۲-۵)$$

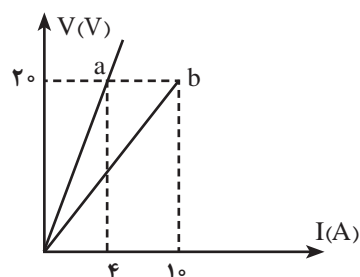
نکته



معادله  $R = \frac{V}{I}$  اشاره به تعریف مقاومت دارد (و نه لزوماً قانون اهم). این معادله برای همه رساناها به

کار می‌رود، خواه آن رسانا از قانون اهم پیروی کند یا پیروی نکند.

مثال



شکل مقابل مربوط به دو نوع رسانا در دمای ثابت است. مقاومت

کدام رسانا بیشتر است؟

**پاسخ:**

$$R_b = \frac{V_b}{I_b} = \frac{2.0V}{1.0A} = 2\Omega \quad R_a = \frac{V_a}{I_a} = \frac{2.0V}{0.4A} = 5\Omega$$

**نتیجه:** مقاومت  $a$  بیشتر شد و همان‌طور که از شکل مشخص

است شیب نمودار  $a$  نیز بیشتر است.

در نتیجه در نمودار  $V-I$  شیب نمودار بیانگر مقاومت است؛ هرچه شیب بیشتر باشد، مقاومت نیز بیشتر است.

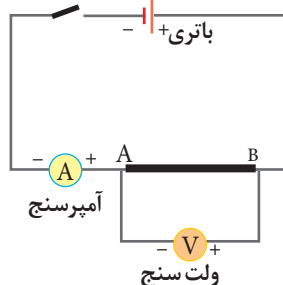
## ۵-۵-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت رساناهای فلزی در دمای ثابت

آزمایش کنید



**وسایل آزمایش:** منبع تغذیه، سیم رابط، سیم‌هایی از جنس تنگستن، نیکروم (یا آلیاژهای مختلف دیگر)، آمپرسنج، ولت‌سنج و کلید.

### شرح آزمایش



۱- در مداری مطابق شکل روبه‌رو بین دو نقطه A و B قطعه‌ای با طول معین مثلاً ۱ متر (از سیم تنگستن) را قرار دهید. پس از بستن کلید، به مدت خیلی کوتاه، اختلاف پتانسیل دو سر سیم (برحسب ولت) و جریانی که از مدار می‌گذرد را (برحسب آمپر)، اندازه بگیرید. سپس با استفاده از تعریف مقاومت  $R = \frac{V}{I}$  مقاومت قطعه سیم را (برحسب اهم) به دست آورید و در جدول زیر ثبت کنید.

۲- آزمایش را اکنون با همان سیم (تنگستن) اما با قطعه‌ای به طول ۲ متر انجام دهید و با اندازه‌گیری I و V مقاومت قطعه اخیر را به دست آورید. نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

۳- حال آزمایش را با دو قطعه سیم هم طول و با سطح مقطع یکسان، یکی از جنس تنگستن و دیگری از جنس نیکروم تکرار کنید و نتیجه را در جدول زیر بنویسید.

۴- سرانجام با انجام دادن آزمایش با سیم‌های هم طول از یک جنس ولی با سطح مقطع‌های متفاوت، به همان ترتیب، نتیجه‌های به دست آمده را با یکدیگر مقایسه کنید و به کلاس گزارش دهید. مقاومت هریک از سیم‌ها را به دست آورید و نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

شماره آزمایش	جنس	طول	سطح مقطع	I	V	$R = \frac{V}{I}$

جدول ۵-۲ مقاومت ویژه مواد مختلف در دمای  $20^\circ\text{C}$

مقاومت ویژه $\rho (\Omega\text{m})$	ماده (رسانای الکتریکی)
$1/62 \times 10^{-8}$	نقره
$1/69 \times 10^{-8}$	مس
$2/35 \times 10^{-8}$	طلا
$2/75 \times 10^{-8}$	آلومینیوم
$5/60 \times 10^{-8}$	تنگستن
$9/68 \times 10^{-8}$	آهن
$10/6 \times 10^{-8}$	پلاتین
$100 \times 10^{-8}$	نیکروم

همان‌گونه که آزمایش نشان می‌دهد، مقاومت رساناهای فلزی در دمای ثابت به طول، سطح مقطع و جنس رسانا بستگی دارد. اگر سطح مقطع سیم در تمام طول آن یکسان باشد، مقاومت سیم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (5-3)$$



شکل ۵-۱۴ عوامل مؤثر بر مقاومت رسانا

که در آن L طول سیم برحسب متر (m) و A مساحت مقطع سیم برحسب مترمربع ( $\text{m}^2$ ) و R مقاومت الکتریکی سیم برحسب اهم ( $\Omega$ ) است. در این رابطه  $\rho$  کمیتی به نام **مقاومت ویژه** رساناست که برای رساناهایی که از قانون اهم پیروی می‌کنند فقط به جنس رسانا و دمای آن بستگی دارد.



وقتی دمای یک رسانای فلزی افزایش می‌یابد ارتعاشات کاتوره‌ای اتم‌ها و یون‌های آن نیز افزایش می‌یابد و موجب افزایش برخورد الکترون‌های آزاد با شبکه اتمی رسانای فلزی می‌شود. به این ترتیب، مقاومت ویژه رسانا در برابر عبور جریان افزایش می‌یابد.

یکای  $\rho$  را با توجه به مطالب فصل اول به دست آورید.

فکر کنید



فکر کنید



فکر کنید



چرا در «آزمایش کنید» صفحه قبل توصیه شده به مدت خیلی کوتاه کلید وصل و سپس قطع شود؟

موادی که دارای مقاومت ویژه کم هستند، مانند نقره و مس در چه مواردی کاربرد دارند؟ موادی که مقاومت ویژه بالایی دارند چه کاربردی می‌توانند داشته باشند؟

**استانداردهای مهندسی سیم‌ها:** در استانداردهای مهندسی، سیم‌ها را برحسب قطر و مساحت مقطع آنها نمره‌بندی می‌کنند. در صنعت تولید سیم، سیم‌ها را با ضخامت‌های معینی می‌سازند و معلوم می‌کنند هر سیم چه جریان بیشینه‌ای را می‌تواند تحمل کند. به هر سیم با ضخامت معین کد مشخصی را اختصاص می‌دهند. جدول زیر برخی از این کدگذاری‌ها با جریان مجاز بیشینه هر سیم را براساس یکی از استانداردها نشان می‌دهد.

جدول ۵-۳ کدگذاری سیم‌ها

نمره سیم	قطر سیم (اینچ)	جریان بیشینه مجاز (آمپر)	نمره سیم	قطر سیم	جریان بیشینه مجاز
۰۰۰۰	۰/۴۶	۳۸۰	۲۱	۰/۰۲۸۴۶	۹
۰۰۰	۰/۴۰۹۶۵	۳۲۸	۲۲	۰/۰۲۵۳۵	۷
۰۰	۰/۳۶۴۸	۲۸۳	۲۳	۰/۰۲۲۵۷	۴/۷
۰	۰/۳۲۴۸۵	۲۴۵	۲۴	۰/۰۲۰۰۱	۳/۵
۱	۰/۲۸۹۳	۲۱۱	۲۵	۰/۰۱۷۹	۲/۷
۲	۰/۲۵۷۶۳	۱۸۱	۲۶	۰/۰۱۵۹۴	۲/۲
۳	۰/۲۲۹۴۲	۱۵۸	۲۷	۰/۰۱۴۲	۱/۷
۴	۰/۲۰۴۳۱	۱۳۵	۲۸	۰/۰۱۲۶۴	۱/۴
۵	۰/۱۸۱۹۴	۱۱۸	۲۹	۰/۰۱۱۲۶	۱/۲
۶	۰/۱۶۲۰۲	۱۰۱	۳۰	۰/۰۱۰۰۲	۰/۸۶
۷	۰/۱۴۴۲۸	۸۹	۳۱	۰/۰۰۸۹۳	۰/۷
۸	۰/۱۲۸۴۹	۷۳	۳۲	۰/۰۰۷۹۵	۰/۵۳
۹	۰/۱۱۴۴۳	۶۴	۳۳	۰/۰۰۷۰۸	۰/۴۳
۱۰	۰/۱۰۱۸۹	۵۵	۳۴	۰/۰۰۶۳	۰/۳۳
۱۱	۰/۰۹۰۷۴	۴۷	۳۵	۰/۰۰۵۶۱	۰/۲۷
۱۲	۰/۰۸۰۰۸	۴۱	۳۶	۰/۰۰۵	۰/۲۱
۱۳	۰/۰۷۱۹۶	۳۵	۳۷	۰/۰۰۴۴۵	۰/۱۷
۱۴	۰/۰۶۴۰۸	۳۲	۳۸	۰/۰۰۳۹۶	۰/۱۳
۱۵	۰/۰۵۷۰۷	۲۸	۳۹	۰/۰۰۳۵۳	۰/۱۱
۱۶	۰/۰۵۰۸۲	۲۲	۴۰	۰/۰۰۳۱۴	۰/۰۹
۱۷	۰/۰۴۵۲۶	۱۹			
۱۸	۰/۰۴۰۰۳	۱۶			
۱۹	۰/۰۳۵۸۹	۱۴			
۲۰	۰/۰۳۱۹۶	۱۱			

\* American Wire Gauge

مثال



سیمی از جنس تنگستن با مقاومت ویژه تقریباً  $5/6 \times 10^{-8} \Omega m$  به طول  $31/4 m$  و به قطر  $0/4 mm$  را در نظر بگیرید. الف) مقاومت الکتریکی سیم چقدر است؟ ب) اگر اختلاف پتانسیل (ولتاژ)  $224 V$  در دو سر سیم برقرار شود چه جریانی از سیم می‌گذرد؟

پاسخ:

$$\rho = 5/6 \times 10^{-8} \Omega m, \quad L = 31/4 m, \quad r = 0/2 mm, \quad V = 224 v, \quad R = ?, \quad I = ?$$

(الف)

$$A = \pi r^2 = 3/14 \times (0/2 \times 10^{-3})^2 = 12/56 \times 10^{-8} m^2$$

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{5/6 \times 10^{-8} \Omega m \times 31/4 m}{12/56 \times 10^{-8} m^2} = 14 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{224 V}{14 \Omega} = 16 A$$

(ب)

مثال



مهندس ناظر برق یک ساختمان در حال ساخت، به استادکار موارد زیر را یادآوری می‌کند:

نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ روشنایی ۱۵ (قطر  $0/5707$  اینچ) معادل  $1/44 \times 10^{-3} m$   
 نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ پریز ۱۳ (قطر  $0/07196$  اینچ) معادل  $1/82 \times 10^{-3} m$   
 نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ برق اصلی ۱۲ (قطر  $0/0808$  اینچ) معادل  $2/05 \times 10^{-3} m$   
 مقاومت  $20 m$  از هر کدام از سیم‌ها، در دمای اتاق چند اهم است؟

$$A = \pi r^2 = \pi \left( \frac{D}{4} \right)^2 = 1/62 \times 10^{-6} m^2 \quad \text{سیم لامپ روشنایی}$$

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{1/69 \times 10^{-8} \times 20}{1/62 \times 10^{-6}} = 2/08 \times 10^{-1} \Omega$$

$$\text{سیم پریز} \quad A = \pi r^2 = 2/6 \times 10^{-6} \Rightarrow R = 1/3 \times 10^{-1} \Omega$$

$$\text{سیم اصلی} \quad A = \pi r^2 = 3/2 \times 10^{-6} \Rightarrow R = 1/05 \times 10^{-1} \Omega$$

## ۵-۳ انواع مقاومت: در بسیاری از مدارها، به خصوص در وسایل الکترونیکی مقاومت‌ها برای کنترل

جریان و ولتاژ استفاده می‌شوند. اندازه یک مقاومت می‌تواند کمتر از ۱ اهم تا میلیون‌ها اهم (مگا اهم) باشد.

مقاومت‌های اهمی با توجه به نوع استفاده به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: الف) **مقاومت‌های ثابت**<sup>۱</sup>

ب) **مقاومت‌های متغیر**<sup>۲</sup> که خود شامل دو دسته هستند: مقاومت‌های معمولی و مقاومت‌های وابسته.

### الف) مقاومت‌های ثابت

همان‌طور که از اسم آنها بر می‌آید، مقاومت‌هایی هستند که مقدار آنها ثابت است. شکل ۵-۱۵ نمونه‌ای از این مقاومت‌ها و ساختار داخلی آنها را نشان می‌دهد. این مقاومت‌ها ترکیبی از کربن با یک نوع چسب هستند که هر اندازه میزان کربن بیشتر باشد، مقاومت کمتر خواهد بود.



شکل ۵-۱۵ انواع مقاومت ثابت



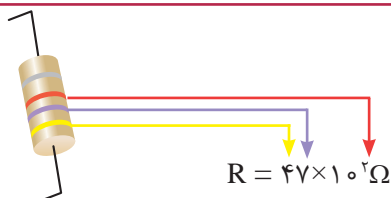
شکل ۵-۱۶ نحوه خواندن مقاومت رنگی

در مقاومت‌هایی که توان بالایی دارند، عدد مقاومت بر روی بدنه نوشته می‌شود ولی در مقاومت‌هایی با توان کمتر از ۲ وات، به دلیل ساخته شدن آنها در ابعاد کوچک، جایی برای نوشتن مقدار مقاومت روی بدنه وجود ندارد. به همین منظور برای تشخیص مقدار مقاومت بر روی بدنه آنها معمولاً از ۴ نوار رنگی استفاده می‌کنند (نوار چهارم درصد خطا را نشان می‌دهد). هر نوار با توجه به رنگ خود، مبین یک کد یا عدد است (شکل ۵-۱۶). برای پیدا کردن عدد مقاومت طبق شکل ۵-۱۶ و با کمک جدول ۴-۵ عمل می‌کنیم.

جدول ۴-۵ کدهای رنگی مقاومت‌ها

رنگ	کد رنگ	درصد خطا
سیاه	۰	-
قهوه‌ای	۱	۱ درصد
قرمز	۲	۲ درصد
نارنجی	۳	۳ درصد
زرد	۴	۴ درصد
سبز	۵	-
آبی	۶	-
بنفش	۷	-
خاکستری	۸	-
سفید	۹	-
طلایی	-	۵ درصد
نقره‌ای	-	۱۰ درصد

با توجه به کد هر رنگ، مقاومت روبه‌رو چند اهم است؟  
**پاسخ:**



مثال



اگر مقدار مقاومت نمایش داده شده در شکل، ۳۴۰۰ اهم باشد، رنگ نوارها را تعیین کنید.



تمرین کنید



## ب) مقاومت‌های متغیر

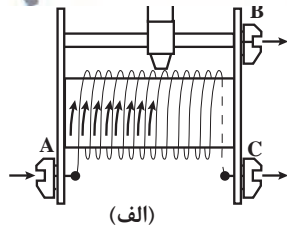
مقاومت‌هایی هستند که مقدار آنها را می‌توان توسط عوامل مختلف مانند تغییر مشخصه مکانیکی (متغیر معمولی)، یا تغییر نور (تابع نور) و حرارت (متغیر وابسته) تغییر داد.

مقاومت‌های متغیر معمولی مقاومت‌هایی هستند که مقدار مقاومت آنها را می‌توان با تغییر مکان یا تغییر زاویه محور متحرکی که دارند تنظیم کرد. یکی از انواع مشهور این نوع از مقاومت‌ها، **رئوستا** نام دارد که در مدارهای الکترونیکی **پتانسیومتر**<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. یک رئوستا از سیمی با مقاومت ویژه نسبتاً زیاد ساخته شده است. این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده و با استفاده از دکمه‌ای لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است می‌تواند قسمت دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهد و بنابراین مقدار مقاومت را تغییر دهد و به این ترتیب جریان را در مدار تنظیم و کنترل کند. شکل ۵-۱۷ طرحی از یک رئوستا را نشان می‌دهد.

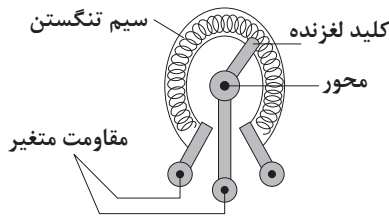
**مقاومت‌های وابسته به حرارت :** به آن دسته از مقاومت‌های متغیری که مقدار آنها توسط عواملی از قبیل نور، حرارت، ولتاژ و ... تغییر می‌کند، **مقاومت وابسته** گفته می‌شود. این مقاومت‌ها به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

**مقاومت‌های وابسته به حرارت:** مقدار این دسته از مقاومت‌ها که به آنها **ترمیستور**<sup>۲</sup> نیز گفته می‌شود وابسته به حرارت است. این مقاومت‌ها در دو شکل NTC و PTC<sup>۳</sup> وجود دارند. مقاومت‌های PTC با افزایش دما مقاومتشان افزایش و با کاهش دما کاهش می‌یابند. مقاومت‌های NTC با افزایش دما مقاومتشان کاهش می‌یابد و برعکس (شکل ۵-۱۸). از این مقاومت‌ها در مدارها به صورت حس‌کننده‌های حرارتی در مسیر دستگاه‌های الکتریکی نظیر موتورهای الکتریکی، کوره‌ها، سیستم‌های تهویه و تبرید استفاده می‌شود. همچنین این مقاومت‌ها برای جریان زیاد در لحظه روشن شدن یک دستگاه به کار می‌رود. به طور کلی ترمیستورها در مدارهایی که دما را اندازه‌گیری یا کنترل می‌کنند به کار می‌روند.

**مقاومت وابسته به نور (LDR):**<sup>۴</sup> این مقاومت‌ها با تغییرات نور تابیده شده به سطح آنها، مقدار مقاومتشان تغییر می‌کند (شکل ۵-۱۹). از این مقاومت در ساخت فوتوسل‌ها یا به عنوان سنسور نور در برخی دستگاه‌ها استفاده می‌شود. همچنین در



(الف)

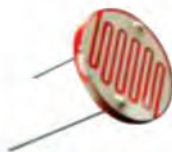


(ب)

شکل ۵-۱۷ نمونه‌ای از الف) رئوستا و ب) پتانسیومتر



شکل ۵-۱۸ مقاومت‌های وابسته به حرارت



شکل ۵-۱۹ مقاومت نوری

۱- Potentiometer

۲- Thermistor

۳- Negative Temperature coefficient

۴- Positive Temperature Coefficient

۵- Light Dependent Resistor

مدارهای الکترونیکی به عنوان تشخیص دهنده نور (نورسنج) مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله کاربردهای دیگر این مقاومت استفاده از آن در دوربین های عکاسی و کلیدهای نوری و چشم های الکترونیکی است. **مقاومت وابسته به ولتاژ (VDR):** ولتاژ و مقدار مقاومت در این نوع مقاومت ها، با هم رابطه عکس دارند. به این صورت که با افزایش ولتاژ دو سر قطعه، مقاومت آن کاهش می یابد. از این مقاومت ها برای محافظت از مدار در برابر ولتاژهای بالای زودگذر ناخواسته استفاده می شود. در ایستگاه تقویت نیروگاهی نیز برای حفاظت شبکه استفاده می شود.

## ۵-۶ انرژی الکتریکی مصرفی

همان طور که در قسمت مقاومت ذکر شد، علت تولید گرما در مقاومت در اثر عبور جریان، آن است که الکترون ها به اتم های درون رسانا برخورد می کنند. این برخوردها انرژی جنبشی اتم ها و در نتیجه دمای مقاومت را افزایش می دهد. هیتتر، بخاری برقی و المنت یک سشوار براساس تبدیل انرژی الکتریکی به گرما طراحی شده اند. مقدار گرمایی که در یک رسانا ایجاد می شود به عوامل زیر بستگی دارد:

- مقاومت رسانا

- مجذور شدت جریان عبوری از رسانا

- مدت زمان عبور جریان

$$U = RI^2t \quad (۴-۵)$$

مقاومت قسمت گرماده یک سماور برقی  $50\Omega$  است. وقتی آن را به برق وصل می کنیم شدت جریان  $4A$  از آن می گذرد. انرژی الکتریکی مصرف شده در آن را در مدت  $5$  دقیقه حساب کنید.

پاسخ:

$$t = 5 \times 60 = 300s, \quad I = 4A, \quad R = 50\Omega, \quad U = ?$$

$$U = RI^2t = (4)^2 \times 50 \times 300 = 2/4 \times 10^5 J$$

مثال



**۵-۶-۱ توان مصرفی:** توان به معنی سرعت تبدیل انرژی است. در دستگاه هایی که برای تبدیل انرژی به کار می روند، هرچه این سرعت بیشتر باشد، قدرت دستگاه نیز بیشتر است. سرعت تبدیل انرژی از تقسیم مقدار انرژی بر زمانی که آن انرژی تبدیل شده (آهنگ مصرف انرژی) به دست می آید. توان مصرفی را با نماد  $P$  نمایش داده و یکای آن وات با نماد  $W$  است.

$$P = \frac{U}{t} \quad (۵-۵)$$

$$P = RI^2 \quad (۶-۵)$$

با استفاده از قانون اهم، رابطه های دیگری برای توان مصرفی به دست آورید.

تمرین کنید



در دستگاه‌هایی مانند لامپ رشته‌ای، اتو، کتری برقی و... که در قسمت اصلی آنها یک سیم گرماده (المنت حرارتی) وجود دارد، توان مصرفی در صورتی برابر توان نوشته شده روی آن (توان اسمی) است که دستگاه به اختلاف پتانسیل نوشته شده بر روی آن (اختلاف پتانسیل اسمی) وصل شده باشد. اگر دستگاه به اختلاف پتانسیل کمتر یا بیشتری وصل شود توان مصرفی دستگاه تغییر می‌کند.

مثال



روی یک آسیاب برقی دو عدد  $800\text{ W}$  و  $200\text{ V}$  نوشته شده است. این آسیاب برقی را به اختلاف پتانسیل  $200\text{ V}$  وصل می‌کنیم.

الف) شدت جریانی که از آن می‌گذرد چند آمپر است؟ ب) انرژی الکتریکی مصرفی ماهانه این دستگاه در صورتی که هفته‌ای دو بار و هر بار به مدت  $20$  دقیقه مورد استفاده قرار گیرد چند ژول و چند کیلووات ساعت<sup>۱</sup> است؟

پاسخ:

$$\text{الف) } P = VI \rightarrow 800 = 200 \cdot I \rightarrow I = 4\text{ A}$$

$$\text{ب) } t = 4 \times 2 \times 20 \times 60 = 9600\text{ s} \approx 2/7\text{ h}$$

$$P = \frac{U}{t} \rightarrow 800\text{ W} = \frac{U}{9600} \rightarrow U = 7/68 \times 10^6\text{ J}$$

$$800\text{ W} = \frac{U}{2/7\text{ h}} \Rightarrow U = 2160\text{ Wh} = 2/16\text{ kWh}$$

روی لامپی دو عدد  $60$  وات و  $220$  ولت نوشته شده است. با فرض ثابت ماندن مقاومت لامپ اگر این لامپ را به اختلاف پتانسیل  $110$  ولت وصل کنیم توان مصرفی آن تقریباً چقدر می‌شود؟

تمرین کنید

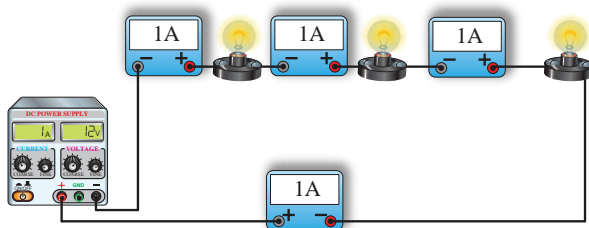


## ۷-۵ نحوه به هم بستن مقاومت‌ها

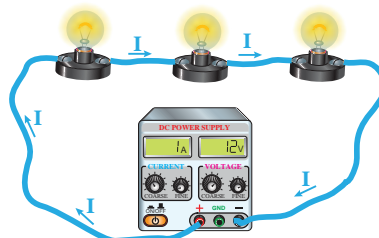
**۷-۵-۱ به هم بستن سری:** اتصال متوالی یا سری به معنی بسته شدن مقاومت‌ها یکی پس از دیگری است به طوری که هیچ انشعابی بین آنها وجود نداشته باشد (شکل ۷-۵-۲)

اگر در مدار شکل ۷-۵-۲ در مسیر هر یک از لامپ‌ها آمپرسنج‌هایی را قرار دهیم (شکل ۷-۵-۲) مشاهده خواهید کرد که همه آمپرسنج‌ها جریان برابری را نشان می‌دهند. پس می‌توان در مدار سری چنین نوشت:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_{eq} \quad (7-5)$$

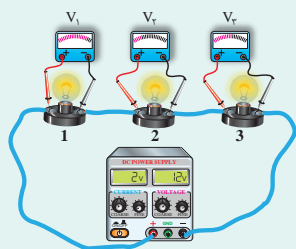


شکل ۷-۵-۲ قرار دادن آمپرسنج در مدار



شکل ۷-۵-۲ لامپ‌هایی که به طور متوالی به هم بسته شده‌اند





هرگاه مطابق شکل، ولت‌سنج‌هایی را به صورت جداگانه به دو سر لامپ‌ها ببندیم، چه مشاهده خواهید کرد؟

فکر کنید

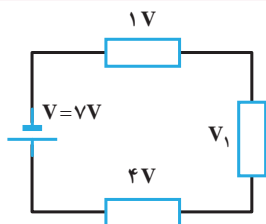


همان طور که از «فکر کنید» متوجه شدید ولتاژ معادل به نسبت مقدار مقاومت‌ها بین آنها تقسیم می‌شود، بر پایه همین مطلب می‌توان ولتاژ معادل را از حاصل جمع ولتاژهای دو سر هر مقاومت به دست آورد.

$$V_1 + V_2 + V_3 = V_{eq} \quad (۸-۵)$$

مقاومت معادل به مقاومتی گفته می‌شود که با جایگزینی‌اش به جای مقاومت‌ها، اثری مشابه و معادل با آن مقاومت‌ها در مدار از خود نشان می‌دهد. اگر ترکیب مقاومت‌ها را با  $R_{eq}$  جایگزین کنیم از آنجا خواهیم داشت:

$$R_1 + R_2 + R_3 = R_{eq} \quad (۹-۵)$$

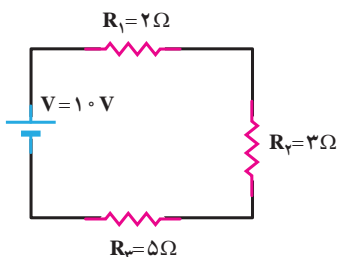


در مدار داده شده ولتاژ مجهول را تعیین کنید.

پاسخ:

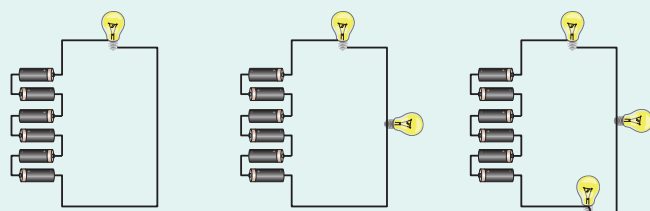
$$V_1 + V_2 + V_3 = V_{\text{باتری}} \Rightarrow V_1 + 1 + 4 = 7 \Rightarrow V_1 = 2V$$

مثال



مقاومت معادل مدار چقدر می‌شود؟

تمرین کنید

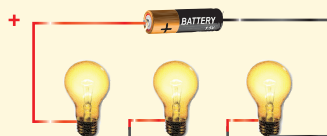


در سه شکل روبه‌رو، ابتدا یک لامپ، سپس دو لامپ و در نهایت سه لامپ در مدار قرار گرفته است. روشنایی لامپ‌ها را مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

فکر کنید



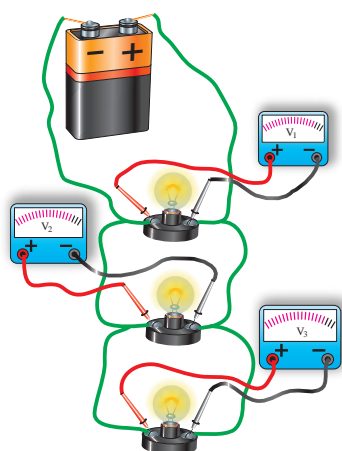
تجربه کنید



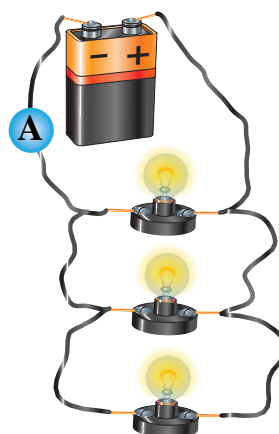
مداری را با ۳ لامپ ببندید. اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد برای بقیه لامپ‌ها چه اتفاقی می‌افتد؟ برای برطرف کردن این مشکل چه پیشنهادی دارید؟

**۵-۷-۲ به هم بستن موازی:** نوع دیگری از به هم بستن مقاومت‌ها، حالت موازی است. در این حالت دو سر مقاومت‌ها مستقیماً به هم وصل می‌شود و اختلاف پتانسیل یکسان به دو سر مقاومت‌ها اعمال می‌شود (شکل ۵-۲۲). هرگاه مطابق شکل ۵-۲۳ ولت‌سنج‌هایی را به طور جداگانه به دو سر هر یک از لامپ‌ها متصل کنیم، مشاهده می‌کنیم که مقادیر ولت‌سنج‌ها با یکدیگر برابر هستند.

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_{eq} \quad (۵-۱۰)$$



شکل ۵-۲۳ ولتاژ در لامپ‌های موازی



شکل ۵-۲۲ لامپ‌هایی که به طور موازی به هم بسته شده‌اند

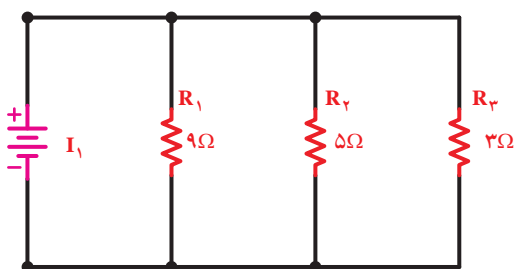
در مدارهای موازی بیش از یک مسیر برای عبور جریان وجود دارد، بنابراین جریان به نسبت مقاومت‌ها تقسیم می‌شود.

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_{eq} \quad (۵-۱۱)$$

مقاومت معادل در این مدارها از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{eq}} \quad (۵-۱۲)$$

مثال



در مدار روبه‌رو مقاومت معادل را به‌دست آورید.

پاسخ:

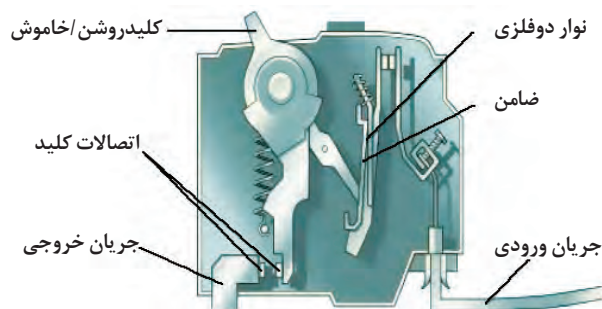
$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{1}{9} + \frac{1}{5} + \frac{1}{3} = \frac{1}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{5+9+15}{45} = \frac{1}{R_{eq}} \Rightarrow R_{eq} = \frac{45}{29} \Omega$$

فکر کنید



الف) به نظر شما سیم‌کشی داخل ساختمان‌ها از چه نوعی است؟ متوالی یا موازی؟  
 ب) روش به هم بسته شدن لامپ‌ها در ریشه‌ها چگونه است؟  
 پ) آیا می‌توانید نمونه‌هایی از کاربرد اتصال موازی و متوالی را که در زندگی روزمره با آنها برخورد دارید، نام ببرید؟

## کاربرد در صنعت: فیوز



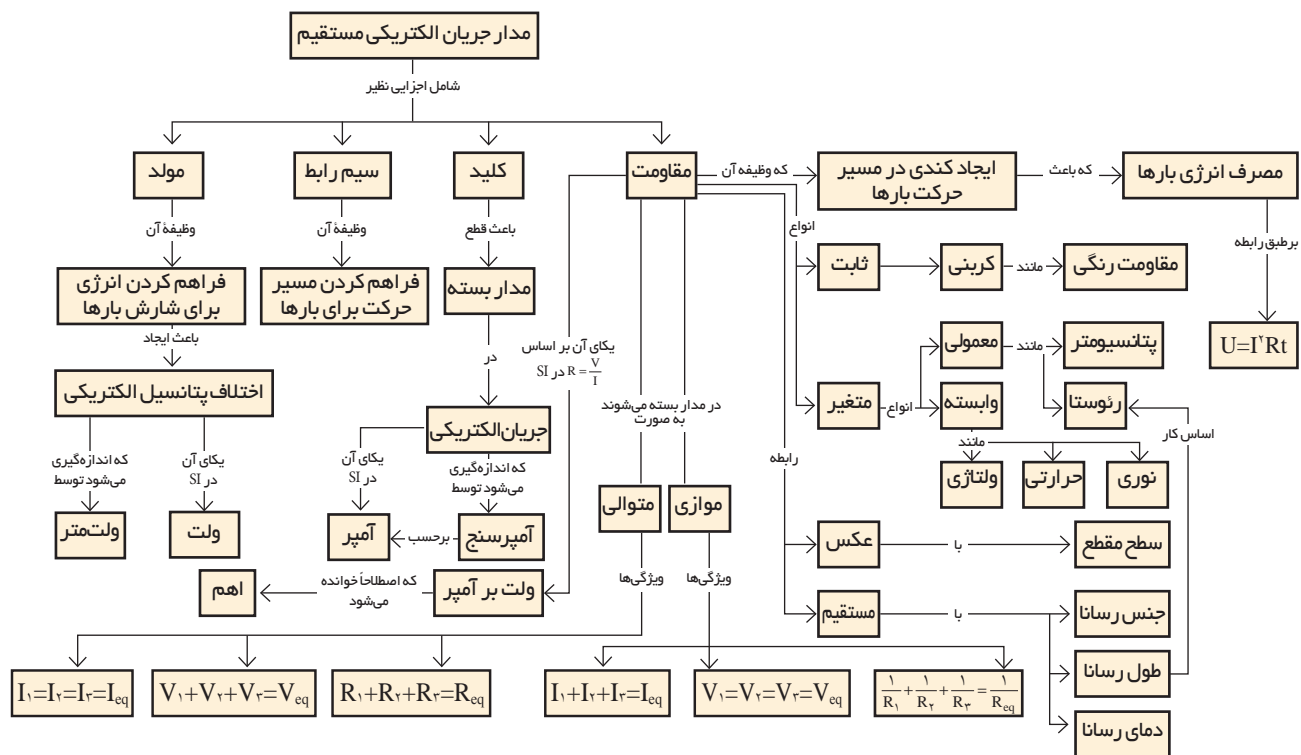
دستگاه‌های الکتریکی در خانه به‌طور موازی با یکدیگر قرار می‌گیرند و یک فیوز را به‌طور متوالی با کل مدار مصرف‌کننده‌های خانگی قرار می‌دهند و این مجموعه به مولد جریان الکتریکی متصل می‌شود. فیوز از سیم باریکی که در اثر جریان الکتریکی بالا ذوب می‌شود تشکیل شده است. بعد از اینکه فیوز ذوب شد باید جایگزین شود (مثل فیوز موتور اتومبیل). امروزه در منازل

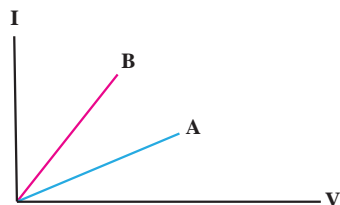
از فیوزهایی استفاده می‌شود که جریان الکتریکی بالا در آنها سبب قطع مدار می‌گردد و با وصل کردن یک کلید در آنها فیوز دوباره در مدار قابل استفاده است. هرچه تعداد مصرف‌کننده‌ها در خانه بیشتر شود به دلیل موازی بسته‌بودنشان، مقاومت کل مجموعه کمتر خواهد شد و شدت جریان الکتریکی بیشتری از مدار خواهد گذشت. چون فیوز به‌طور متوالی در مدار قرار دارد جریان الکتریکی بیش از حد مجاز نیز از فیوز می‌گذرد و به قطع شدن جریان (در صورتی که از حد معینی بیشتر شود) می‌انجامد. فیوز به عنوان یک عنصر کنترل‌کننده و پیشگیری از خطر در منازل است.

تحقیق کنید



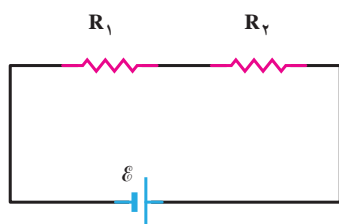
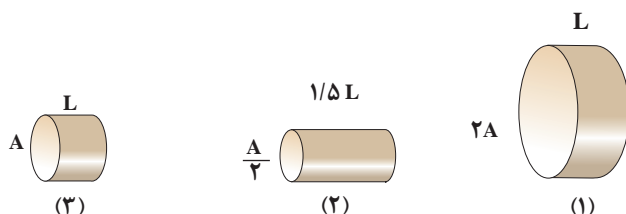
حتماً تاکنون سه شاخه را دیده‌اید. در شکل روبه‌رو، ساختمان داخلی این سه شاخه نشان داده شده است. در مورد مزیت این سه شاخه‌ها نسبت به دوشاخه‌ها با هم گروهی‌های خود تحقیقی را انجام دهید.





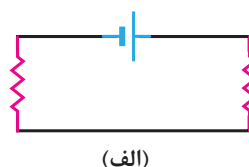
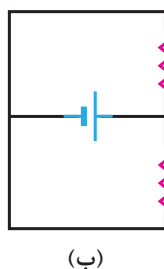
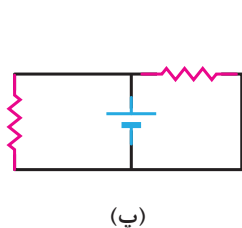
۱- با توجه به نمودار  $I-V$  که برای دو رسانا در شکل روبه‌رو نشان داده شده، مقاومت کدام رسانا بیشتر است؟

۲- در شکل زیر سه رسانای مسی استوانه‌ای بر حسب طول  $L$  و مساحت مقطع بر حسب  $A$  نشان داده شده است. اگر به دو سر هر یک از آنها اختلاف پتانسیل یکسان اعمال شود این رساناها را با توجه به جریان‌های گذرنده از آنها از بیشترین تا کمترین مقدار مرتب کنید.

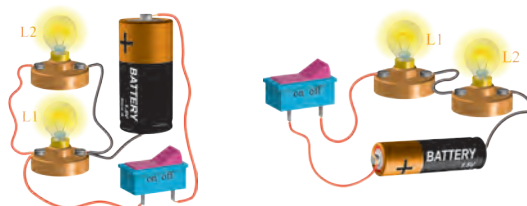


۳- در مدار شکل روبه‌رو  $R_2 > R_1$  است. کدام یک از جمله‌های زیر درست و کدام نادرست است؟  
 (الف) جریان در جهت چرخش عقربه‌های ساعت در مدار شارش می‌کند.  
 (ب) جریان گذرنده از  $R_1$  بیشتر از  $R_2$  است.  
 (پ) اختلاف پتانسیل دو سر  $R_2$  بیشتر از  $R_1$  است.  
 (ت) توان مصرفی در مقاومت  $R_2$  بیشتر از  $R_1$  است.

۴- یک مهندس نیاز به مقاومت‌های  $6\text{ k}\Omega$  و  $9\text{ k}\Omega$  دارد. اما فقط مقاومت‌های  $18\text{ k}\Omega$  را در اختیار دارد. آیا باید مقاومت‌های مورد نیاز او را خریداری کرد؟ توضیح دهید.  
 ۵- در سه مدار زیر نوع ترکیب مقاومت‌ها را تعیین کنید: موازی، متوالی یا هیچ کدام.

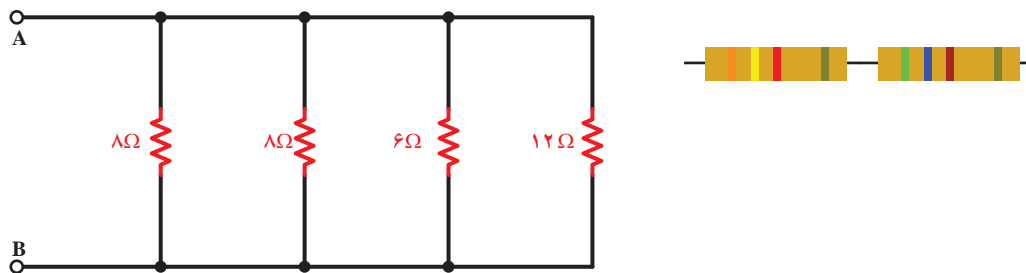


۶- در مدارهای شکل زیر، لامپ‌ها و باتری‌ها یکسان هستند. با ذکر دلیل بگویید نور لامپ‌ها در کدام مدار (موازی یا سری) بیشتر است؟



## چند مسئله

- ۱- انسان در اثر عبور یک جریان ضعیف  $50\text{ mA}$  از مجاور قلبش دچار برق‌گرفتگی می‌شود. برق‌کاری با دست‌های خیس دو سیم برق را به طور کامل در هر یک از دو دست خود نگه داشته است. اگر در این حالت مقاومت بدن برق‌کار  $2000\text{ }\Omega$  اهم باشد، ولتاژ لازم برای برق‌گرفتگی چقدر است؟
- ۲- هرگاه برای برق‌رسانی به یک موتور الکتریکی که در فاصله  $1\text{ km}$  کیلومتری از تابلوی برق قرار دارد، بخواهیم از سیم مسی با مقاومت  $20\text{ }\Omega$  استفاده کنیم، سطح مقطع سیم را باید چند میلی‌متر مربع انتخاب کنیم؟
- ۳- کابلی شامل  $125$  رشته سیم است که مقاومت هر کدام  $2/56$  میکروهم است. با ایجاد اختلاف پتانسیل یکسان به دو سر کابل جریان کل  $0/75\text{ A}$  در سیم‌ها برقرار می‌شود. الف) جریان در هر رشته سیم چند آمپر است؟ ب) اختلاف پتانسیل اعمال شده چند ولت است؟ ج) مقاومت کابل چند اهم است؟
- ۴- دانش‌آموزی رادیوی  $9\text{ V}$  و  $7\text{ W}$  خود را از ساعت  $9$  بعدازظهر تا  $2$  بامداد با بلندترین صدا روشن نگه‌می‌دارد. در این مدت چه مقدار بار الکتریکی به این رادیو وارد می‌شود؟
- ۵- مقاومت یک بخاری که با ولتاژ  $120\text{ V}$  کار می‌کند. در حال کار  $14\text{ A}$  اهم است. آهنگ تبدیل انرژی الکتریکی به گرما چقدر است؟
- ۶- مقاومت معادل هر یک از مدارهای زیر را به دست آورید.



## پروژه عملی

- ۱- به کمک یک سیم و یک باتری تلاش کنید تا یک لامپ را روشن کنید (از برش دادن سیم بپرهیزید).
- ۲- با راهنمایی دبیر خود یک چراغ قوه دو لامپی بسازید که با یک کلید دو طرفه کار کند؛ یعنی با فشردن کلید در یک سمت یکی از لامپ‌ها و با فشردن کلید در جهت دیگر، لامپ دوم روشن شود.





## فصل اول – علم فیزیک و اندازه گیری

### Physics and Measurement

Instantaneous Acceleration	شتاب لحظه‌ای
Average Acceleration	شتاب متوسط
Newton's Laws	قوانین نیوتن
Action	کنش
Inertia	لختی
Place	مکان
Motion Diagram	نمودار مسیر حرکت
Force	نیرو
Dynamometer	نیروسنج
Static Friction Force	نیروی اصطکاک ایستایی
kinetic Friction Force	نیروی اصطکاک جنبشی
Normal Support Force	نیروی عمودی تکیه‌گاه
Gravity Force	نیروی گرانش
Weight Force	نیروی وزن
Reaction	واکنش

### فصل سوم – حالت‌های ماده و فشار

### Properties of Matter and Pressure

Archimedes' Principle	اصل ارشمیدس
Pascal's Principle	اصل پاسکال
The Principle of Buoyancy	اصل شناوری
Solid	جامد
Density	چگالی
Phase	حالت
Volume	حجم
Fluid	شاره
Pressure	فشار
Manometer	فشار سنج
Gas	گاز
Liquid	مایع

Measurement	اندازه گیری
Inch	اینچ
Vector	بردار
Pound	پوند
Precision	دقت
Micrometer	ریزسنج
Accuracy	صحت
Foot	فوت
Quantity	کمیت
Caliper	کولیس
Gallon	گالون
Scalar	نرده ای
Scientific Notation	نمادگذاری علمی
Unit	یکا
Base Units	یکاهای اصلی
Derived Units	یکاهای فرعی

### فصل دوم – مکانیک

### Mechanics

Equilibrium	تعادل
Displacement	جاب‌جایی
Mass	جرم
Motion	حرکت
Accelerated Motion	حرکت شتاب دار
Uniform Motion	حرکت یکنواخت
Instantaneous Velocity	سرعت لحظه‌ای
Average Velocity	سرعت متوسط

Series Circuits	مدارهای سری (متوالی)
Parallel Circuits	مدارهای موازی
Resistor	مقاومت
Electric Resistance	مقاومت الکتریکی
Fixed Resistors	مقاومت ثابت
Thermistor	مقاومت حرارتی
Equivalent Resistance	مقاومت معادل
Resistivity	مقاومت ویژه
Electrical Insulator	نارسانای الکتریکی

## Temperature and Heat

Thermal Expansion	انبساط گرمایی
Transfer Thermal	انتقال گرما
Radiation	تابش
Thermal Equilibrium	تعادل گرمایی
Expansion Joint	درز انبساط
Temperature	دما
Temperature Equilibrium	دمای تعادل
Conductive Heat	رسانای گرما
Heat Conductivity	رسانش گرمایی
Specific Heat Capacity	ظرفیت گرمایی ویژه
Heat Insulator	عایق گرمایی
Temperature Scale	مقیاس دما
Convection	همرفت

## فصل پنجم – جریان و مدارهای الکتریکی

### Electric Current and Circuits

Potential Difference	اختلاف پتانسیل
Ampere Meter	آمپرسنج
Net Charge	بار خالص
Potentiometer	پتانسیومتر
Electric Current	جریان الکتریکی
Direct Current	جریان مستقیم
Electrically Conductive	رسانای الکتریکی
Rheostat	رئوستا
Ohm's Law	قانون اهم
Free Electron	الکترون آزاد
Electrical Circuit	مدار الکتریکی

- ۱- برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۱.
- ۲- برنامه‌های درسی رشته‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۳.
- ۳- برنامه درسی فیزیک فنی و حرفه‌ای و کاردانش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۴.
- ۴- مبانی فیزیک، دیوید هالیدی، رابرت رزنیک و یرل واکر، ویرایش نهم، ترجمه محمدرضا خوشبین خوش‌نظر و دیگران، چاپ اول سال ۱۳۹۰.
- ۵- دوره درسی فیزیک جلد اول، گ. س. لندسبرگ، ترجمه لطیف کاشی‌گر و دیگران، چاپ اول ۱۳۷۴، انتشارات فاطمی.
- ۶- اصول فیزیک، اوهانیان، ترجمه یوسف امیر ارجمند و نادر رابط، چاپ اول ۱۳۸۳، نشر دانشگاهی.
- ۷- فیزیک مفهومی، پ. ج. هیوئیت، ویرایش دهم، ترجمه منیژه رهبر، چاپ اول ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۸- فیزیک دانشگاهی (جلد دوم)، ویرایش دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پور قاضی، روح الله خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحی مروستی، مؤسسه نشر علوم نوین.
- ۹- حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمه حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمدهادی هادی زاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۱۰- دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ترجمه محمدابراهیم ابوکاظمی و دیگران، چاپ اول ۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.

1. College physics, Raymond A.Serway, Chris Vuille, Jerry S.Faughn, 2009.
2. Dictionary of scientific and technical terms, Parker, Fourth edition, 1989, MC Graw – Hill.
3. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 2008, John Wiley and Sons.
4. Light and Matter, Benjamin Crowell, 2015, Fullerton California.
5. Everything Science, Mark Homer, Heather Williams, Bridget Nash, Teacher Guide, 2012.
6. Everything Science: Grade 10, 11, 12 Physical Science, Siyavula core team, 2012.
7. The Free High School Science Texts: Textbooks for High School Students Studying the Sciences Physics Grades 10 -12, FHSST Authors, 2008.
8. The People Physics Book, James H Dann, James J Dann, 2006.
9. Holt, McDougal, Physics: Student Edition, A. Serway, Jerry s.Faughn, 2012.



هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را درباره مطالب این کتاب از طریق نامه  
برنشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار [tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir) ارسال نمایند.

وب‌گاه: [www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir)

دفترتالیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش