



بنایی در طوس — خراسان رضوی

یکی از وجوه مشترک فیزیک و معماری اندازه‌گیری است. هنرمندان معمار ایرانی از صدها سال پیش با نگاه دقیق به مبانی اندازه‌گیری، اثرهای بدیع و ماندگاری را در طول تاریخ تمدن اسلامی ایران بنا کرده‌اند.

## فیزیک و اندازه‌گیری

فیزیک چیست؟ فیزیکدانان در چه زمینه‌هایی کار می‌کنند؟ روش کار فیزیکدانان چیست؟ در این فصل، برای پاسخ دادن به چنین پرسش‌هایی نخست به تشریح موضوع علم فیزیک می‌پردازیم. برای این کار با بیان یک تاریخچه مختصر به معرفی روش علمی‌ای که در فیزیک مطرح است، می‌پردازیم. سپس زمینه‌هایی را که فیزیک در آن‌ها کاربرد دارد و شاخه‌های مختلف علم فیزیک را برمی‌شماریم.

با توجه به اهمیت که اندازه‌گیری در فیزیک دارد، قسمت بیشتری از این فصل به اندازه‌گیری و نکته‌های مربوط به آن اختصاص دارد.

سرانجام در قسمت پایانی کمیت‌های فیزیکی اصلی و فرعی را معرفی می‌کنیم. آن‌گاه کمیت‌های نرده‌ای و برداری و عملیات جبری آن‌ها را تا حد نیاز شرح خواهیم داد.

### ۱-۱- تاریخچه پیدایش و گسترش فیزیک

واژه فیزیک برگرفته از واژه باستانی یونانی *Physis* به معنای طبیعت و ماهیت است. تا آن‌جا که تاریخ مدون علم نشان می‌دهد، فیلسوفان آسیای صغیر (در سده هفتم قبل از میلاد مسیح) نخستین کسانی بودند که پرسش‌هایی درباره طبیعت و ماهیت بنیادی (*Physis*) دنیای مادی مطرح ساختند. استدلال‌هایی که این فیلسوفان در توجیه باورهای علمی خود ارائه می‌کردند، منطبق بر شیوه استدلال علمی در عصر حاضر نبود. با این وجود، این استدلال‌ها از تصورات خرافی مردم آن زمان کاملاً دور بود.

اندیشه‌های علمی این فیلسوفان در سده پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در کشورهای

تحت نفوذ فرهنگ یونان (مقدونیه، سوریه و مصر) به ویژه در شهر اسکندریه پی گیری شد. کارهای ارشمیدس (متولد سال ۲۸۷ قبل از میلاد مسیح) دربارهٔ مبحث های ایستائشناسی (استاتیک) و هیدروستاتیک به همین دوره مربوط می شود. رهیافت ارشمیدس برخلاف پیشینیان وی به روش های علمی امروزه خیلی نزدیک بود.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان کشورهای اسلامی از قبیل ابوریحان بیرونی، ابن هیثم، خواجه نصیرالدین طوسی و بسیاری دیگر در زمینه های نجوم و اپتیک، علم فیزیک را گسترش دادند که بعداً بخشی از این نتایج پایه ای برای کارهای گالیله و دیگران شد. گالیله توانست با «اندازه گیری های تجربی» و «تجزیه و تحلیل ریاضی» روش جدیدی را برای بررسی دستگاه های ساده ارائه دهد. او حرکت اجسام روی سطح شیبدار را بررسی کرد و مشخصه های اصلی حرکت ها را معرفی کرد. این مشخصه ها کمیت هایی قابل اندازه گیری مثل جرم جسم یا زمان لازم برای طی یک مسافت معین بود. او سعی کرد رابطه ای بین این اندازه گیری ها بیابد و نتیجه را به صورت ریاضی بیان کند. با کارهای گالیله روشن شد که نتایج یک بررسی شامل چند اندازه گیری را اغلب می توان در یک جمله بسیار ساده خلاصه کرد. جمله ساده زیر مثالی از این گونه جمله هاست که شما در فصل های بعد این کتاب به درستی آن پی خواهید برد.

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

گالیله نشان داد که قانون های طبیعت از معادله های ریاضی معمولاً ساده ای پیروی می کنند. از آن زمان تاکنون فیزیکدانان در جستجوی روابط ریاضی ای هستند که نتایج اندازه گیری ها را به هم مربوط می کنند. امروزه این اندازه گیری ها با دقت های بسیار بالا و در بُعد های بسیار ریز (پلیمرها، ملکول ها، اتم ها و...) تا بُعد های بسیار بزرگ (زمین، سیاره های دیگر، کهکشان ها و...) انجام می شود.

مفهوم های اساسی در فیزیک بر حسب اندازه گیری ها بیان می شوند و هدف هر نظریه فیزیکی بیان ارتباط نتیجه چند اندازه گیری به یک دیگر است. هرچقدر هم که یک نظریه به صورت انتزاعی و مجرد بیان شده باشد، باز هم به پیشگویی هایی منجر می شود که تنها توسط اندازه گیری قابل ارزیابی است.

## ۱-۲- ارکان علم فیزیک

اینک پس از این مرور کوتاه تاریخی، می‌توانیم ارکان علم فیزیک را معرفی و توصیف کنیم. هدفی که فیزیک دنبال می‌کند، همانند دوران یونان باستان، یافتن ماهیت و طبیعت بنیادی دنیای پیرامون است.

روش فیزیک، روش گاليله است که بعداً توسط نیوتون تکمیل شد. یعنی موضوع مورد نظر توسط تجربه (انجام آزمایش) و تجزیه و تحلیل ریاضی بررسی می‌شود.

موضوع یا دستگاه مورد بررسی در فیزیک می‌تواند بسیار ساده و ابتدایی و یا بسیار پیچیده و ژرف باشد. گاليله جسمی را روی سطح شیب‌دار رها می‌کند. ژول یک چرخ پروانه‌دار را در آب می‌چرخاند. رادرفورد عناصر پرتوزای کمیاب را مورد آزمایش قرار می‌دهد و ...

در فیزیک وقتی صحبت از تجربه می‌شود، منظور جمع‌آوری اطلاعاتی از رویداد یا موضوع مورد بررسی است. برای این کار معمولاً یک رشته اندازه‌گیری انجام می‌دهند. با این اندازه‌گیری‌ها، ویژگی‌های مختلف دستگاه مورد نظر مشخص می‌شود. مجموعه‌ای از فعالیت‌های تجربی را معمولاً «مشاهده» می‌نامیم. مثلاً وقتی می‌گوییم که مشاهده می‌شود حجم یک جسم با افزایش دما زیاد می‌شود، منظور ما آن است که اندازه‌گیری‌های متعدد در دماهای مختلف و برای جسم‌های مختلف انجام شده و در هر یک از آن‌ها حجم جسم مورد آزمایش و دمای آن اندازه‌گیری شده و این نتیجه به دست آمده است. به دلیل اهمیتی که مهارت مشاهده و اندازه‌گیری در فیزیک دارد، در بخش جداگانه‌ای به جزئیات آن می‌پردازیم.

نتیجه مشاهده‌ها و اندازه‌گیری‌ها، شالوده کار در مرحله تجزیه و تحلیل ریاضی را فراهم می‌سازد. فیزیکدانانی که بیش‌تر در زمینه طرح‌ریزی و انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات از طریق اندازه‌گیری پژوهش می‌کنند، فیزیکدانان تجربی نامیده می‌شوند.

اینک بیایید ببینیم یک فیزیکدان در مرحله تجزیه و تحلیل چه می‌کند؟ آن‌ها با بررسی دقیق یافته‌های تجربی (یا مشاهده‌ها) که از اندازه‌گیری‌ها به دست آمده‌اند، سعی می‌کنند رابطه بین آن‌ها را بیابند. برای این کار، آن‌ها نه تنها نیاز دارند که رابطه‌های موجود را که در مورد‌های مشابه به دست آمده‌اند به خوبی بدانند بلکه باید خلاقیت و توان تصور خوبی هم داشته باشند. زیرا رابطه‌ای که یک فیزیکدان بیان می‌کند، معمولاً براساس مدلی است که در ذهن خود از واقعیت ساخته است. اگر این مدل به خوبی بر واقعیت منطبق باشد، نه تنها به رابطه صحیحی بین نتیجه‌های تجربی منجر می‌شود بلکه فیزیکدان می‌تواند براساس آن، رابطه‌های دیگری را نیز پیش‌بینی کند.

مجموعه‌ای از مدل‌ها و رابطه‌هایی که از طریق تجربه‌ها به دست می‌آیند، یک نظریه (یا تئوری) را می‌سازند. فیزیکدانانی را که با تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی (مشاهده‌ها)، نظریه می‌سازند، فیزیکدانان نظری یا نظریه پرداز می‌نامند.

از زمان گالیله تاکنون که این شیوه علمی رایج بوده است، نظریه‌های فراوانی مطرح شده‌اند ولی همه این نظریه‌ها مورد قبول واقع نشده‌اند.

شما فکر می‌کنید یک نظریه فیزیکی باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد تا مورد تأیید همگان باشد؟ احتمالاً پاسخ می‌دهید که باید با همه یافته‌های تجربی و نظریه‌های معتبر قبلی سازگار باشد. این‌ها همه درست است ولی آزمون دیگری هم هست که در طول زمان هر نظریه علمی را محک می‌زند. این آزمون به شرح زیر است:

دانشمندان به کمک مدل‌های ریاضی، که در نظریه مطرح شده است، پیش‌بینی‌هایی می‌کنند. سپس براساس این پیش‌بینی‌ها، طرح آزمایش‌های جدیدی را می‌ریزند و سعی می‌کنند شرایط مناسب برای انجام آن آزمایش‌ها را فراهم کنند. اگر نتایج این آزمایش‌ها با پیش‌بینی‌های نظریه مورد نظر سازگار نبود، نظریه رد می‌شود؛ در غیر این صورت نظریه تأیید و احتمالاً تکمیل می‌شود.

دانشمندان اغلب هنگامی یک نظریه جدید را به جای نظریه قدیمی تر می‌پذیرند که یا پیش‌بینی‌هایی که براساس آن صورت می‌گیرد، از نظر کمی سازگاری بهتری با تجربه داشته باشد و یا تعداد بیشتری از پدیده‌ها را توجیه کند.

## فعالیت ۱-۱

درباره نقش فیزیک در پیشبرد فناوری تحقیق کنید و نتیجه کار خود را در کلاس مورد بحث قرار دهید.

## ۱-۳ کاربردهای فیزیک

گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی ما داشته است. مطالعه هر بخش از جهان پیرامون ما، چه کوچک چه بزرگ، چه جاندار چه بی‌جان، بدون دانش فیزیک میسر نیست. شما با فراگیری فیزیک می‌آموزید که چگونه: مشاهده کنید، بررسی کنید، آزمایش انجام دهید و نتایج آزمایش‌ها را به صورت مناسب ثبت کنید. علاوه بر این، آماده می‌شوید که این نتایج را برای دیگران توضیح دهید و درباره نظر و عقیده خود بحث کنید. فراگیری دانش فیزیک توانایی شما را در

انطباق با فناوری سریعاً در حال تغییر عصر حاضر، بالا می‌برد. برای آموختن فیزیک باید با کسب مهارت ریاضی لازم بتوانید نتایج و مفهومی‌ها را با جملات دقیق بیان کنید.

امروزه در جهان، فیزیکدانان علاوه بر فعالیت در شاخه‌های گوناگون فیزیک از قبیل فیزیک ماده چگال، اختر فیزیک، فیزیک هسته‌ای، فیزیک اتمی و مولکولی و لیزر، فیزیک ذره‌های بنیادی، فیزیک پلاسما، فیزیک بنیادی و... در زمینه‌ها و شغل‌های متفاوت دیگری نیز به کار مشغولند که تعدادی از آن‌ها را در ادامه برمی‌شماریم.

**فیزیک پزشکی:** ساخت ابزار پزشکی، فیزیک تندرستی، فیزیک برای معلولان.  
**رایانه:** طراحی رایانه‌ها، طراحی سیستم، طراحی با کمک رایانه، روبات‌ها (آدم‌های ماشینی)، کنترل ریزپردازنده‌ها.

**سازمان‌های دولتی:** صنایع دفاع، انرژی و منابع آن، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، بخش صدور پروانه‌ها و مجوزها، سیاست‌گذاری‌های علمی، مؤسسه استاندارد.

**آموزش:** دبیرستان‌ها، آموزشکده‌ها، دانشگاه‌ها.

**هواشناسی:** اقیانوس‌شناسی، پیش‌بینی هوا.

**علم مواد:** متالورژی، مواد جدید، لایه‌های نازک.

**ژئوفیزیک:** معدن‌شناسی، نفت، جستجوی معادن، پالایش مواد معدنی، زلزله‌شناسی.

**انرژی‌های نو:** انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی موج، ژئوترمال (یا زمین گرمایی).

**مخابرات:** تارهای نوری، ماهواره‌ها، مخابرات راه‌دور.

**فیزیک محیط زیست:** حفاظت در برابر پرتوها، کنترل سر و صدا، کنترل آلودگی، حفظ محیط زیست.

**مهندسی:** مهندسی شیمی، مهندسی سازه، کنترل، مهندسی برق، مهندسی مکانیک و مهندسی هسته‌ای.

**صنعت:** هوا - فضا، صنایع شیمیایی، الکترونیک، صنایع غذایی، نفت، نیم‌رساناها،

بررساناها و ...

## ۱-۴- اندازه‌گیری

آیا تاکنون به این نکته توجه کرده‌اید که در ذهن خود برای هرکس یا هرچیز صفت‌ها و ویژگی‌هایی قائلید. به یخ سردی، به آب روانی، به گل زیبایی، به آسمان رنگ‌آبی، به مادر مهربانی، به پسر سبکی، به سنگ سنگینی، به فیل بزرگی جثه و به مورچه نحیفی جثه و... نسبت می‌دهید. برخی از این ویژگی‌ها به طور دقیق قابل اندازه‌گیری‌اند و برخی دیگر نه. برای مثال سبکی و سنگینی، بلندی و کوتاهی را

به صورتی کاملاً تعریف شده و مورد توافق همگان می‌توان اندازه گرفت. ولی برای اندازه‌گیری زیبایی یا مهربانی و بسیاری از ویژگی‌ها دیگر چنین روش‌هایی وجود ندارد.

در زندگی روزانه، هریک از ما اندازه‌گیری‌هایی انجام می‌دهیم. زمان را اندازه می‌گیریم، فاصله بین دو نقطه یا طول یک جسم یا ارتفاع و یا عمق یک نقطه از سطح زمین و... را اندازه‌گیری می‌کنیم. این اندازه‌گیری‌ها و اندازه‌گیری‌های دیگری که می‌توان برشمرده، ممکن است تفاوت‌های زیادی با یکدیگر داشته باشند ولی برای همه آن‌ها می‌توانیم جنبه‌های مشترکی بیابیم. برای روشن شدن این جنبه‌های مشترک، فعالیت زیر را انجام دهید.

## فعالیت ۲-۱

فعالیت‌های روزانه چند نفر از مردم اطراف خود (پزشک، خیاط، اعضای خانواده، عطار، شیشه‌بر و...) را به دقت در نظر بگیرید. جدولی همانند جدول زیر را تنظیم و پس از تحقیق آن را پر کنید. آنگاه جدول خود را با جدول افراد گروه خود مقایسه کنید و اگر در جدول اعضای گروه شما ستون‌های دیگری وجود دارد به جدول خود اضافه کنید.

	چه چیزی را اندازه می‌گیرد	وسایل اندازه‌گیری	مقادیر به دست آمده	اطلاعات دیگر
پزشک	فشار خون دمای بدن	فشارسنج دماسنج	۸-۱۲ ۳۷/۵ درجه سلسیوس	
نجار				
خیاط				

اکنون نتیجه بحث گروه خود را به کلاس گزارش کنید.

**جایگاه اندازه‌گیری در فیزیک:** پیش از این دیدیم که گام اول در روش بررسی هر موضوع در فیزیک، انجام آزمایش است. در هر آزمایش با چند نوع اندازه‌گیری سر و کار داریم. با مرور کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه، نمونه‌هایی از اندازه‌گیری‌ها را بیابید و آن‌ها را نیز در جدولی که در فعالیت قبلی تهیه کرده‌اید، درج کنید. با مرور این جدول آیا می‌توانید ویژگی‌ای بیابید که (مانند زیبایی گل) قابل اندازه‌گیری نباشد؟

پاسخ شما به یقین منفی است. در واقع همان گونه که در قسمت ارکان فیزیک گفته شد، فیزیک مجموعه‌ای است از اندازه‌گیری‌ها و رابطه بین نتیجه‌های آن‌ها که نظریه‌ها و قانون‌های فیزیک را می‌سازند. این که می‌گویند «فیزیک علم اندازه‌گیری است» در حقیقت اهمیت موضوع اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

**یکای (واحد) اندازه‌گیری:** یکی از جنبه‌های مشترک بین همه اندازه‌گیری‌ها وجود یک یکای اندازه‌گیری است. با انجام هر یک از اندازه‌گیری‌هایی که در جدول اندازه‌گیری‌ها درج کرده‌اید، یک عدد به دست می‌آید. برای مثال ممکن است در آن جدول برای بلندی قامت یک فرد  $1/72$  متر یا برای طول یک اتاق  $8$  قدم و یا برای فاصله بین دو شهر  $107$  km به دست آمده باشد. یقیناً می‌دانید که در هر مورد، عدد گزارش شده بیان می‌کند که مقدار کمیت مورد نظر چند برابر مقدار کمیتی است از همان جنس که به عنوان مقیاس انتخاب شده است. این مقیاس را **یکا** (یا واحد) آن کمیت می‌نامند.

### فعالیت ۳-۱

با انتخاب یک یکای طول (مثل کتاب)، طول یک نیمکت را اندازه بگیرید. طول نیمکت چند برابر طول کتاب است؟ این اندازه‌گیری را با یکاهای دیگری چون مداد و وجب انجام دهید و نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

طول نیمکت (یا هر چیز دیگری که مورد نظر شماست)	یکا
	طول یک کتاب
	طول یک مداد
	طول یک وجب

چرا برای طول نیمکت اعداد متفاوتی به دست آورده‌اید؟ دلیل این اختلاف چیست؟ به نظر شما برای آن که همه اندازه‌گیری‌ها، طول یکسانی را برای نیمکت بدهند، چه باید کرد؟

بنابراین شما نیز دریافته‌اید که برای آن که نتیجه همه اندازه‌گیری‌هایی که بر روی یک کمیت انجام می‌شود یکسان باشد، باید از یکای یکسانی استفاده کنیم. دانشمندان برای آن که رقم‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف یک کمیت با هم مقایسه پذیر باشند، در نشست‌های بین‌المللی توافق کرده‌اند که برای هر کمیت، یکای معینی تعریف کنند.



## فعالیت ۴-۱

با بحث و تبادل نظر گروهی در کلاس خود سعی کنید نکته‌هایی را که باید در انتخاب یکاهای بین‌المللی مورد توجه قرار داد، مشخص کنید. نتیجه کار خود را با مقایسه با نتیجه گروه‌های دیگر تکمیل کنید.

دانشمندان با انجام چنین بررسی‌هایی نتیجه گرفته‌اند که: یکای هر کمیت باید به گونه‌ای انتخاب شود که در شرایط فیزیکی تعیین شده تغییر نکند و در دسترس باشد. یکی از مجموعه یکاهای مورد توافق بین‌المللی را به اختصار مجموعه یکاهای SI می‌نامند.<sup>۱</sup>

یکاهای اصلی: در عمل نیازی نیست که برای هر یک از کمیت‌های فیزیکی یکایی تعریف شود. برای مثال، اگر واحد طول تعریف شده باشد، دیگر لازم نیست برای مساحت یکای مستقلی تعریف شود؛ بلکه می‌توانیم آن را تنها با اندازه‌گیری‌های طول و با استفاده از رابطه‌های هندسی محاسبه کنیم. برای نمونه مساحت مستطیل برابر است با حاصل ضرب طول ضلع بزرگ در طول ضلع کوچک. یعنی با اندازه‌گیری این طول‌ها برحسب متر، مساحت برحسب متر در متر یعنی متر مربع مشخص می‌شود. آن دسته از کمیت‌هایی را که یکاهای آن‌ها به‌طور مستقل تعریف شده‌اند، کمیت‌های اصلی و یکاهای آن‌ها را یکاهای اصلی می‌نامند. سایر کمیت‌ها از قبیل مساحت، حجم و... کمیت‌های فرعی نام دارند. یکای کمیت‌های فرعی را می‌توان برحسب یکاهای اصلی تعیین کرد. طول، جرم و زمان از جمله کمیت‌های اصلی در SI هستند که در ادامه یکای هر یک را معرفی می‌کنیم.

یکای طول: یکای طول در SI، متر نام دارد (که آن را با نماد m نمایش می‌دهند). برای این طول (یک متر) نمونه استاندارد ساخته شده است که در موزه سور در فرانسه نگهداری می‌شود. این نمونه میله‌ای است از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم با دو علامت روی آن که فاصله بین آن‌ها در دمای صفر سلسیوس به‌طور دقیق برابر طول توافق شده بین‌المللی برای یک متر است. در مؤسسه‌های استاندارد همه کشورهای نمونه‌هایی مشابه این نمونه استاندارد را تهیه و نگهداری می‌کنند. یکای جرم: یکای جرم در SI، کیلوگرم نام دارد (که آن را با نماد kg نمایش می‌دهند). برای این یکا نیز یک نمونه استاندارد به‌صورت استوانه‌ای از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم در موزه سور فرانسه نگهداری می‌شود و کشورهای دیگر نیز مشابه این نمونه استاندارد را تهیه می‌کنند.

یکای زمان: یکای زمان در SI، ثانیه نام دارد (که آن را با نماد s نمایش می‌دهند). طبق یک تعریف قدیمی‌تر، یک ثانیه برابر  $\frac{1}{۸۶۴۰۰}$  یک شبانه‌روز<sup>۲</sup> است.

۱- SI حرف اول واژه‌های فرانسوی Systeme International به معنای دستگاه بین‌المللی است.

۲- امروزه در نشست‌های کمیته بین‌المللی وزن‌ها و مقادیرها، برای ثانیه تعریف بسیار دقیق‌تری ارائه شده است که همراه با تعریف دقیق متر و کیلوگرم در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک با آن آشنا خواهید شد.

یکای کمیت‌های فرعی: پیش از این دیدیم که نیازی به معرفی یک یکای مستقل برای مساحت نیست؛ زیرا مساحت معمولاً با اندازه‌گیری دو طول و به کمک یک رابطه هندسی محاسبه می‌شود. در نتیجه یکای آن در SI متر مربع ( $m^2$ ) است. به همین ترتیب می‌توانیم یکای هر کمیت فرعی دیگر را با استفاده از رابطه یا رابطه‌های آن کمیت با کمیت‌های اصلی و یا با کمیت‌های فرعی دیگری که یکای آن‌ها قبلاً معرفی شده است، تعریف کرد. از این پس با هر کمیت فرعی که مواجه شویم، یکای آن را نیز معرفی خواهیم کرد.

یکای مناسب برای کمیت‌های خیلی بزرگ یا خیلی کوچک: دیدیم که برای اندازه‌گیری طول، یکای متر انتخاب شده است. در بیش‌تر موارد، طولی را که اندازه‌گیری می‌کنیم، یا کوچک‌تر از متر است و یا مضرب صحیحی از یک متر نیست. در این گونه موارد چه باید کرد؟ یا وقتی جرم جسمی را اندازه‌گیری می‌کنیم، جرم آن می‌تواند کوچک‌تر از یک کیلوگرم و یا مضرب صحیحی از آن نباشد. همان‌گونه که به نظر می‌رسد، باید یکاهای کوچک‌تری را نیز تعریف کنیم.

در SI یکاهای کوچک‌تر را با تقسیم یکای مربوط به  $10^0$ ،  $10^1$  و ... قسمت به دست می‌آورند. برای مثال متر را به صد قسمت تقسیم می‌کنند و هر قسمت آن را یک سانتی‌متر می‌نامند. به همین ترتیب وزنه‌ای که جرم آن  $\frac{1}{1000}$  کیلوگرم است، وزنه یک گرمی نام دارد. برای یکاهای بزرگ‌تر نیز مضرب‌های  $10^1$ ،  $10^3$  و ... برابر یکای مربوط را در نظر می‌گیرند. این یکاهای کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر را توسط پیشوندی که به یکای مربوط اضافه می‌شود، نامگذاری می‌کنند. این پیشوندها در جدول ۱-۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱-۱

پیشوند	مضرب	نماد	پیشوند	مضرب	نماد
دسی	$\frac{1}{10} = 10^{-1}$	d	دکا	۱۰	da
سانتی	$\frac{1}{100} = 10^{-2}$	c	هکتو	۱۰۰	h
میلی	$\frac{1}{1000} = 10^{-3}$	m	کیلو	۱۰۰۰	K
میکرو	$\frac{1}{10^6} = 10^{-6}$	$\mu$	مگا	$10^6$	M
نانو	$\frac{1}{10^9} = 10^{-9}$	n	گیگا	$10^9$	G
پیکو	$\frac{1}{10^{12}} = 10^{-12}$	p	ترا	$10^{12}$	T

## تمرین ۱-۱

با استفاده از جدول ۱-۱ حساب کنید :

الف - ۵ کیلومتر چند سانتی متر است؟

ب -  $3^0$  ثانیه چند نانو ثانیه است؟

پ - ۳ گرم چند میکروگرم است؟

**نمادگذاری علمی:** در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سروکار داریم. مثلاً فاصله زمین تا خورشید حدود  $150,000,000 \text{ km}$  (یکصد و پنجاه میلیون کیلومتر) و یا  $150,000,000,000 \text{ m}$  (یکصد و پنجاه میلیارد متر) است. یا مثلاً جرم یک ذره برابر  $12/000000$  گرم به‌دست آمده است. برای نوشتن جرم یک الکترون برحسب کیلوگرم باید بعد از ممیز  $3^0$  صفر قرار داد و پس از آن رقم  $9109$  را نوشت. بدیهی است که نوشتن چنین عددهایی به‌صورت اعشاری و یا با صفرهای زیاد، علاوه بر آن که خواندن و نوشتن را مشکل می‌کند، احتمال اشتباه را هم زیاد می‌کند. از این رو با استفاده از روشی که آن را نمادگذاری علمی می‌نامند، نوشتن و محاسبه مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک را ساده می‌کنند.

در نمادگذاری علمی هر مقدار را به‌صورت حاصل ضرب عددی بین ۱ و  $10^1$  و توان صحیحی از  $10^0$  می‌نویسند. به‌عنوان مثال فاصله زمین تا خورشید به‌صورت  $1/5 \times 10^{11} \text{ km}$  و یا  $1/5 \times 10^{11} \text{ m}$  و جرم یک ذره  $12/000000$  به‌صورت  $1/2 \times 10^{-6} \text{ g}$  یا  $1/2 \times 10^{-9} \text{ kg}$  و جرم الکترون به‌صورت  $9/109 \times 10^{-31} \text{ kg}$  نوشته می‌شود. (درمورد اعداد اعشاری به تعداد شماره‌هایی که ممیز به جلو آورده شده است، برای ده نمای منفی گذارده می‌شود.)

## مثال ۱-۱

اعداد زیر را با استفاده از نمادگذاری علمی بنویسید.

الف - ۵۲۸۰

ب - ۸۷۲۰۰۰

پ -  $0/00215$

ت -  $0/040510$

ث - ۱۰۰۰

ج -  $0/0001$

حل: با رعایت شیوه نمادگذاری علمی به ترتیب داریم:

الف -  $۵۲۸۰ = ۵/۲۸ \times ۱۰^۳$       ب -  $۸۷۲۰۰۰ = ۸/۷۲ \times ۱۰^۵$

پ -  $۰/۰۰۲۱۵ = ۲/۱۵ \times ۱۰^{-۳}$       ت -  $۰/۰۴۰۵۱۰ = ۴/۰۵۱ \times ۱۰^{-۲}$

ث -  $۱۰۰۰ = ۱ \times ۱۰^۳$       ج -  $۰/۰۰۰۱ = ۱ \times ۱۰^{-۴}$

### تمرین ۲-۱

جای خالی را در هریک از تساوی‌های زیر پر کنید.

الف -  $۰/۷۳ \times ۱۰^۴ = \dots\dots\dots$

ب -  $۵۴۰۰۰۰۰۰ = ۵/۴ \times \dots\dots\dots$

پ -  $۰/۱۷۳ \times ۱۰^{-۳} = \dots\dots\dots$

ت -  $۰/۰۶۲۵ \times ۱۰^{-۴} = ۶/۲۵ \times \dots\dots\dots$

### تمرین ۳-۱

با استفاده از جدول ۱-۱ و شیوه نمادگذاری علمی، ۱۲۵ متر را برحسب میکرون (میکرومتر) بنویسید.

### وسیله و روش اندازه‌گیری

اندازه‌گیری‌ها در فیزیک توسط وسیله‌هایی انجام می‌شود که معمولاً با توجه به کمیت مورد اندازه‌گیری انتخاب و یا طراحی می‌شوند و هریک روش استفاده خاص خود را دارند. برای مثال، وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری ضخامت یک برگ کاغذ مناسب است مسلماً برای اندازه‌گیری طول حیاط مدرسه مناسب نیست.

وسیله اندازه‌گیری طول: در اندازه‌گیری طول‌های نه‌چندان بزرگ و نه‌چندان کوچک از یک خط‌کش یا متر نواری که برحسب میلی‌متر یا سانتی‌متر مدرج شده باشد، استفاده می‌کنند.

## فعالیت ۵-۱

به همراه گروه خود :

- ۱- دربارهٔ روش و ابزار اندازه‌گیری طول‌های بسیار بزرگ و بسیار کوچک تحقیق کنید.
- ۲- از آزمایشگاه دبیرستان، کولیس و ریزسنج بگیرید و چگونگی کار با این دو وسیله را بنویسید.
- ۳- هریک از موردهای زیر را بهتر است با چه ابزاری اندازه بگیریم؟  
فاصله دو شهر، قطر یک سیم، ضخامت یک برگ کاغذ، بلندی موی سر، بلندی قد و ضخامت کتاب.
- ۴- ضخامت یک برگ کاغذ را اندازه بگیرید.

گزارش کار یک آزمایش چیست؟ گزارش کار همان‌گونه که از نامش برمی‌آید، شرح جزئیات و مرحله‌های انجام یک آزمایش است و باید حاوی نکته‌های زیر باشد :

- ۱- هدف از انجام آزمایش.
- ۲- نام آزمایشگر یا آزمایشگران (یا نام گروه).
- ۳- زمان و محل انجام آزمایش.
- ۴- وسیله‌های آزمایش همراه با شرح جزئیات و شکل.
- ۵- شرح روش یا روش‌های آزمایش به صورت کاملاً مجزا از هم و مرحله به مرحله.
- ۶- درج عددهای حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول.
- ۷- در صورت لزوم، رسم نمودارهایی که چگونگی تغییرات کمیت مورد اندازه‌گیری را نشان دهد.
- ۸- عوامل ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها.
- ۹- نتیجه‌گیری.
- ۱۰- هر مطلب یا اطلاع دیگری که لازم باشد.

## آزمایش ۱-۱

مساحت روی جلد کتاب فیزیک ۲ را اندازه بگیرید و آن را برحسب  $m^2$ ,  $cm^2$ ,  $mm^2$  بنویسید. گزارش کار آزمایش مربوط را بنویسید.

وسیله اندازه‌گیری جرم: جرم را معمولاً با ترازوی شاهین‌دار یا ترازوی دو کفه‌ای اندازه می‌گیرند. شکل (۱-۱) یک ترازوی شاهین‌دار معمولی آزمایشگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ - ترازوی شاهین‌دار

شاهین ترازو از وسط روی تیغه‌ی کاردکی قرار می‌گیرد که بر روی پایه‌ی ترازو نصب شده است. دو کاردک هم در دو طرف شاهین به فاصله‌های مساوی از کاردکِ وسط برای حمل کفه‌ها تعبیه شده‌اند. هنگامی که کفه‌ها خالی‌اند، نوک عقربه‌ی ترازو درست در مقابل صفر صفحه‌ی مدرج قرار می‌گیرد و موازنه‌ی دو کفه را نشان می‌دهد.

هرگاه جرم‌هایی که روی کفه‌ها قرار می‌دهیم با هم برابر باشند، عقربه در مقابل صفر قرار می‌گیرد. در حالی که اگر جرم روی یکی از کفه‌ها سنگین‌تر باشد، آن کفه پایین‌تر قرار می‌گیرد و شاهین ترازو را نیز در همان طرف به سمت پایین متمایل می‌کند.

با هر ترازو تعدادی جرم معلوم به نام وزنه (که معمولاً در جعبه‌ی وزنه‌ها به ترتیب چیده می‌شوند) همراه است. این وزنه‌ها را معمولاً با یک انبرک مخصوص جابه‌جا می‌کنند تا چربی و ذرات ریز گردوغبار که ممکن است روی انگشتان دست باشد به آن‌ها نچسبد و جرم آن‌ها را تغییر ندهد. برای تعیین جرم یک جسم به کمک ترازو، مرحله‌های زیر را باید انجام داد:

۱- ابتدا صفر ترازو را تنظیم می‌کنیم (این کار توسط پیچ‌هایی که در دو سر شاهین تعبیه شده‌اند، انجام می‌شود) به طوری که وقتی کفه‌ها خالی‌اند، عقربه در مقابل صفر بایستد.

۲- جسم موردنظر را به آرامی در یک کفه‌ی ترازو قرار می‌دهیم و در کفه‌ی دیگر (با استفاده از انبرک) آن قدر وزنه می‌گذاریم تا تعادل برقرار شود (در این حالت شاهین دوباره افقی می‌شود و عقربه بار دیگر در مقابل صفر می‌ایستد).

در این صورت جرم جسم با جرم وزنه‌ها برابر است.

## آزمایش ۲-۱

جرم یک سیب، یک عینک و یک خط‌کش را توسط ترازو چندبار اندازه بگیرید و گزارش کار آزمایش را بنویسید.

وسیله اندازه‌گیری زمان: وسیله متداول برای اندازه‌گیری زمان ساعت است که به صورت‌های مختلف در همه‌جا موجود است.

## فعالیت ۶-۱

با بحث و تبادل نظر گروهی توضیح دهید که چگونه می‌توان زمان نوسان (زمان یک رفت و برگشت کامل) یک آونگ را اندازه‌گیری کرد.

## فعالیت ۷-۱

سنگی را به هوا پرتاب کنید. مدت زمانی که سنگ در هواست را چگونه اندازه می‌گیرید؟ وسیله و روش اندازه‌گیری را شرح دهید.

وسیله اندازه‌گیری حجم مایع‌ها: حجم یک مایع را می‌توان با استفاده از پیمانه‌ها و یا ظرف‌های مدرج اندازه گرفت.

## فعالیت ۸-۱

آزمایشی طراحی کنید که با کمک یک ترازو و یک استوانه مدرج جرم و حجم یک قطره آب را اندازه بگیرید. آزمایش را انجام دهید و گزارش کار خود را در کلاس ارائه نمایید.

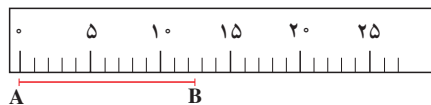
## فعالیت ۹-۱

یک شیشه نوشابه خالی داریم که بر روی آن حجم آن ثبت شده است. چگونه می‌توانید با استفاده از این شیشه نوشابه حجم یک استکان آب را اندازه بگیرید؟ آیا این اندازه‌گیری دقیق است؟ توضیح دهید.

دقت اندازه‌گیری: آیا با خط‌کشی که برحسب میلی‌متر مدرج شده است، می‌توان طول‌های کمتر از یک میلی‌متر را اندازه گرفت؟ آیا با ساعتی که فقط عقربه‌های ساعت‌شمار و دقیقه‌شمار دارد می‌توان زمان‌های کمتر از یک دقیقه را اندازه گرفت؟

فرض کنید که می‌خواهید طول یک پاره‌خط معین مثلاً  $AB$  در شکل (۲-۱) را توسط یک خط‌کش میلی‌متری اندازه بگیرید. در خط‌کش میلی‌متری فاصله بین هر دو نشانه متوالی برابر یک میلی‌متر است. برای این کار همان‌گونه که از شکل (۲-۱) پیداست، صفر خط‌کش را در نقطه  $A$  قرار می‌دهیم. آنگاه رقمی که در مقابل انتهای پاره‌خط، یعنی در مقابل نقطه  $B$  قرار می‌گیرد، برابر طول پاره‌خط  $AB$  است. در شکل، نقطه  $B$  بین دو نشانه قرار گرفته است و نشان می‌دهد که طول پاره‌خط از ۱۲ میلی‌متر بیشتر و از ۱۳ میلی‌متر کمتر است. ولی اینکه چقدر بیشتر از ۱۲ میلی‌متر یا چقدر کمتر از ۱۳ میلی‌متر است، معلوم نیست.

به همین ترتیب با ساعتی که عقربه ساعت‌شمار و دقیقه‌شمار دارد نمی‌توان زمان‌های کمتر از یک دقیقه را اندازه گرفت. برای تمام وسیله‌های اندازه‌گیری این محدودیت اندازه‌گیری وجود دارد. پاره‌ای از وسیله‌های اندازه‌گیری طول‌هایی تا  $\frac{1}{100}$  میلی‌متر را اندازه می‌گیرند و طول‌های کمتر از آن را نمی‌توانند اندازه بگیرند. پاره‌ای از زمان‌سنج‌های رقمی (دیجیتالی) تا  $\frac{1}{1000}$  ثانیه را اندازه می‌گیرند. بنابراین، برای هر وسیله اندازه‌گیری کم‌ترین مقداری وجود دارد که کوچک‌تر از آن را نمی‌تواند اندازه بگیرد.



شکل ۲-۱- اندازه‌گیری طول پاره‌خط با خط‌کش میلی‌متری

کم‌ترین مقداری را که یک وسیله می‌تواند اندازه بگیرد، دقت اندازه‌گیری با آن وسیله می‌نامند. در اندازه‌گیری‌ها، عدد به‌دست آمده نباید مقداری کم‌تر از دقت اندازه‌گیری وسیله را نشان بدهد. برای مثال، اگر طول پاره‌خطی با خط‌کش میلی‌متری اندازه گرفته می‌شود، طول پاره‌خط برحسب میلی‌متر با یک عدد صحیح مثلاً ۱۲ میلی‌متر بیان می‌شود. به‌عنوان مثال با این خط‌کش نمی‌توان طول پاره‌خط را با عددی نظیر  $12/1$  یا  $12/2$  میلی‌متر بیان کرد.



## تمرین ۴-۱

دقت اندازه‌گیری پیمان‌های به حجم ۵ سانتی‌متر مکعب چقدر است؟ کدام یک از عددهای زیر می‌تواند نتیجه اندازه‌گیری با این پیمان‌ها باشد؟

الف -  $20 \text{ cm}^3$       ب -  $21 \text{ cm}^3$

پ -  $19 \text{ cm}^3$       ت -  $20/5 \text{ cm}^3$

## عبدالرحمان خازنی

ابومنصور ابوالفتح عبدالرحمان خازنی، ریاضیدان و دانشمند حوزه علم‌الحیل (مکانیک) و یکی از ستاره‌شناسان قرون ۵ و ۶ ایران است. درباره تاریخ ولادت و فوت این دانشمند بزرگ اطلاع دقیقی در دست نیست ولی گفته می‌شود که وفات او بعد از سال ۵۲۵ قمری اتفاق افتاده است. او در مرو می‌زیست و در همین شهر به دانش‌آموزی پرداخت و با جهد بسیار در حوزه دانش پیشرفت نمود. چنان‌که در عهد ملک‌شاه سلجوقی در شهر مرو از ریاضی‌دانان و منجمان بزرگ به شمار می‌رفت. وی کتاب مشهور خود در نجوم، زیج معتبر سنجر، را در روزگار پادشاهی سلطان سنجر تدوین کرد و بنا بر رسوم آن زمان کتاب را به نام سنجر، زیج معتبر سنجر نام‌گذاری نمود اما در مقابل چیزی از سلطان نپذیرفت.

از خازنی کتاب‌های زیر را می‌شناسیم:

۱- زیج معتبر سنجر یکی از آثار مهم نجوم دوره اسلامی

۲- رساله فی‌آلات العجیبه الرصدیه

۳- رساله الاعتبار در نجوم نظری

۴- میزان الحکمه، یکی از مهمترین آثار مربوط به دانش مکانیک دوره اسلامی

یکی از مهم‌ترین کارهای علمی خازنی طراحی و ساخت نوعی ترازو به نام ترازوی حکمت است که در نوع خود از جالب‌ترین وسایل ساخته شده به وسیله دانشمندان اسلامی به شمار می‌رود. برعکس شناخت امروزین ما از ترازو که با شنیدن نام آن، وسیله‌ای با یک یا دو کفه را مجسم می‌نماییم ترازوی حکمت (میزان الحکمه) از ۷ کفه تشکیل شده بوده است. این کفه‌ها در عین آن‌که پیچیدگی بسیاری به این وسیله می‌داده‌اند، باعث می‌شده‌اند دقت وسیله در سنجش اوزان بالا رود به طوری که امروزه ثابت شده است با ترازوی حکمت می‌توان جرم اجسام را تا دقت یک دهم گرم تعیین کرد.

در کتاب میزان الحکمه خازنی که یکی از جالب‌ترین آثار علم‌الحیل مربوط به دوره اسلامی است شکل، روش ساخت و روش کار با حدود ۵۰ وسیله مکانیکی شرح داده شده است. در این کتاب او به مباحثی مانند مرکز ثقل، سنگینی و سبکی، قوانین تعادل مایع‌ها و بسیاری مسائل دیگر پرداخته است.

امروزه ثابت شده است خازنی عضو گروهی بوده است که به فرمان سلطان ملک‌شاه سلجوقی در حدود سال ۴۷۰ قمری مأمور اصلاح تقویم در ایران شدند. مأموریت این افراد باعث طراحی و ساخت تقویم جلالی شد که از جمله دقیق‌ترین و معتبرترین تقویم‌های دنیا به شمار می‌رود.

## ۱-۵- کمیت‌های فیزیکی

دیدیم که فیزیک دانش بررسی کمیت‌های قابل اندازه‌گیری است. بنابراین می‌توان گفت که هر کمیتی که در فیزیک مطرح می‌شود، باید قابل اندازه‌گیری باشد. با توجه به آن‌چه که در مورد اندازه‌گیری خواندیم، می‌توانیم بگوییم که تعریف یک کمیت فیزیکی هنگامی کامل می‌شود که برای آن یک یکای مناسب و یک روش اندازه‌گیری تعریف کرده باشیم.

کمیت‌های فیزیکی به دو دسته متمایز نرده‌ای و برداری تقسیم می‌شوند.

**کمیت‌های نرده‌ای:** چهار پیمانه ۲۰۰ سانتی‌متر مکعبی آب درون سطلی می‌ریزیم. حجم آب درون سطل چه قدر است؟ اگر دو پیمانه دیگر آب به سطل بیفزاییم، حجم آب چه قدر خواهد شد؟ پاسخ هر بند این پرسش تنها با یک عدد به‌طور کامل بیان می‌شود. کمیت‌هایی مانند حجم با این ویژگی که برای مشخص شدن آن‌ها برحسب یک یکای معین، تنها یک عدد کفایت می‌کند نرده‌ای نام دارند.

محاسبه‌های ریاضی این‌گونه کمیت‌ها نظیر جمع یا تفریق، از قاعده‌های متداول در حساب پیروی می‌کنند. در پاسخ به بخش دوم پرسش بالا شما به سادگی حجم افزوده شده را با حجم قبلی جمع کردید.

برخی از کمیت‌های نرده‌ای که تاکنون با آن‌ها آشنا شده‌اید عبارتند از: انرژی، دما، جرم و زمان. در مقابل، کمیت‌های دیگری نیز در فیزیک داریم که تنها با ذکر مقدار آن‌ها برحسب یک یکای معین، به‌طور کامل مشخص نمی‌شوند.

تصور کنید در حالی که چشمان خود را بسته‌اید، از دوستان که در جایی ایستاده است بخواهید یک قدم بردارد. آیا می‌توانید همچنان با چشمان بسته بگویید که او پس از این حرکت در کجا ایستاده است؟ مطمئناً پاسخ شما منفی است. او ممکن است با این یک قدم به شما نزدیک‌تر یا

دورتر شده باشد. یا حتی فاصله‌اش با شما هیچ تغییری نکرده باشد (چگونه؟) به عبارت دیگر جابه‌جایی او می‌تواند در هر راستا و سویی باشد. تنها در صورتی می‌توانید از مکان آخری او با اطلاع شوید که علاوه بر فاصله‌ای که او باید جابه‌جا شود، جهت (راستا و سوی) جابه‌جا شدن او را هم مشخص کنید. مثلاً بگویید یک قدم به سوی من یا به طرف جنوب یا جنوب شرق و یا ... بردارد.

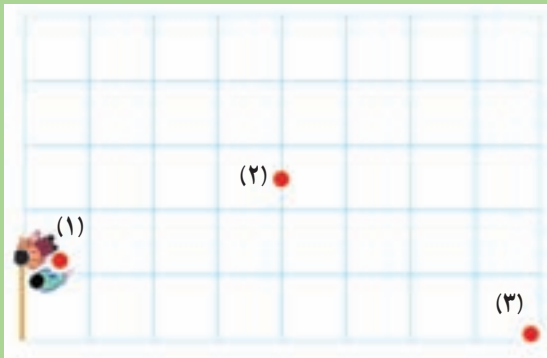
**جابه‌جایی:** در فیزیک، کمیتی به نام جابه‌جایی تعریف می‌کنیم و همان‌طور که از نام آن برمی‌آید، معرف تغییر مکان یک جسم است. جابه‌جایی یک جسم، پاره‌خط جهت‌داری است که ابتدای آن مکان آغازی و انتهای آن مکان پایانی جسم و طول آن مقدار تغییر مکان است. همان‌طور که دیدیم تنها با دانستن مقدار جابه‌جایی نمی‌توانیم آن را به‌طور کامل مشخص کنیم، بلکه باید جهت (یعنی راستا و سوی) آن را نیز بدانیم.

**جابه‌جایی‌های مساوی:** یک دسته سرباز را در حال رژه رفتن مجسم کنید. جابه‌جایی آن‌ها را در یک بازه زمانی معین رسم کنید. مجموعه‌ای از پاره‌خط‌های موازی و مساوی و هم‌سو به دست می‌آورد. در این حالت می‌گوییم که این سربازها جابه‌جایی مساوی داشته‌اند. به عبارت دیگر دو جابه‌جایی را وقتی برابر می‌گویند که به یک اندازه و در یک جهت (یک راستا و یک سو) باشند.

جابه‌جایی‌ها چگونه با هم جمع می‌شوند؟

## فعالیت ۱۰-۱

روی یک صفحه کاغذ شطرنجی، با انتخاب مقیاس مناسب شکل حیاط مدرسه یا خانه خود را بکشید. نزدیک محل در ورودی حیاط را با شماره ۱ و وسط حیاط را با شماره ۲ و کنار دیوار عمود بر در ورودی را با شماره ۳ مشخص کنید. با این کار

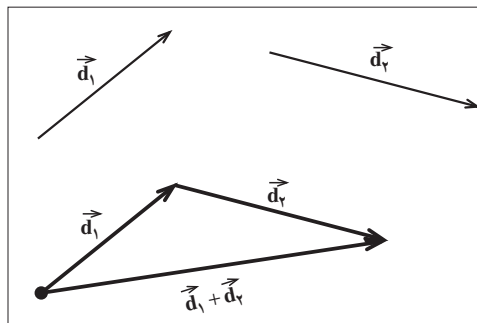


شکل ۱-۳-الف

شما شکلی مشابه شکل ۱-۳-الف به دست آورده‌اید. سپس از دوست خود بخواهید که از محل شماره ۱ به محل شماره ۲ برود. جابه‌جایی او را در شکل رسم کنید. (این جابه‌جایی پاره‌خط جهت‌داری است که

ابتدایش نقطه ۱ و انتهایش نقطه ۲ است). نام این جابه‌جایی را  $d_1$  بگذارید. سپس از او بخواهید که از محل شماره ۲ به محل شماره ۳ برود. این جابه‌جایی را نیز در شکل رسم کنید و آن را  $d_2$  بنامید. جابه‌جایی کل دوست شما  $d_3$  (از نقطه ۱ به نقطه ۳) چگونه است؟ آیا طول  $d_3$  با مجموع طول‌های  $d_1$  و  $d_2$  برابر است؟ اگر نیست پس دو جابه‌جایی  $d_1$  و  $d_2$  را چگونه با هم جمع کنیم تا  $d_3$  به دست آید؟

با اندکی دقت در شکلی که از فعالیت بالا به دست آورده‌اید، درمی‌یابیم که برای یافتن حاصل جمع دو جابه‌جایی  $\vec{d}_1$  و  $\vec{d}_2$ ، مانند شکل ۱-۳-ب ابتدا جابه‌جایی  $\vec{d}_1$  و سپس از انتهای آن جابه‌جایی  $\vec{d}_2$  را رسم می‌کنیم. پاره‌خط جهت‌داری که ابتدای آن ابتدای  $\vec{d}_1$  و انتهای آن انتهای  $\vec{d}_2$  است، جابه‌جایی کل یا حاصل جمع دو جابه‌جایی را نشان می‌دهد. جابه‌جایی، نمونه‌ای از یک کمیت برداری است. به این ترتیب، کمیت‌های برداری مانند جابه‌جایی‌ها با هم جمع می‌شوند. از این رو قاعده جمع جابه‌جایی‌ها را قاعده جمع برداری نیز می‌نامند. کمیت برداری کمیتی است که بزرگی (مقدار) و جهت (راستا و سو) دارد، و از قاعده جمع برداری پیروی می‌کند. حاصل جمع چند بردار را برایند آن بردارها (یا بردار برایند) نیز می‌نامند.



شکل ۱-۳-ب

## فعالیت ۱-۱

با توجه به برابری دو جابه‌جایی بنویسید که دو بردار چه وقت با هم مساویند؟

کمیت‌های برداری را با پاره‌خط‌های جهت‌دار (پیکان) نمایش می‌دهند. پیکان را هم جهت بردار و طول آن را متناسب با بزرگی بردار در نظر می‌گیرند. در این کتاب کمیت‌های برداری را توسط پیکان کوچکی ( $\rightarrow$ ) که بر روی نماد کمیت قرار می‌دهیم، مشخص می‌کنیم. مانند  $\vec{d}$ . بزرگی یک بردار را یا توسط دو خط قائم که در دو طرف نماد آن بردار می‌گذارند، مانند  $|\vec{d}|$  و یا با نماد بدون پیکان آن مشخص می‌کنند، مانند  $d$ .

در این کتاب با کمیت‌های برداری دیگری از قبیل نیرو، سرعت، شتاب و ... آشنا خواهید شد که هریک را در جای خود معرفی خواهیم کرد.

### خاصیت جابه‌جایی جمع برداری

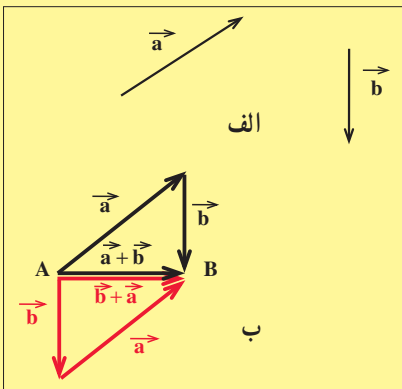
جمع برداری خاصیت جابه‌جایی دارد. یعنی حاصل جمع دو بردار به ترتیب بردارها بستگی ندارد.

#### مثال ۲-۱

دانش‌آموزی با شروع از یک نقطه معین دو جابه‌جایی پی‌درپی  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  انجام می‌دهد. مکان او را با رسم شکل در هریک از دو حالت زیر به دست آورید. هر دو حالت را در یک شکل رسم کنید.

- الف - جابه‌جایی اول برابر  $\vec{a}$  و جابه‌جایی دوم برابر  $\vec{b}$ .
- ب - جابه‌جایی اول برابر  $\vec{b}$  و جابه‌جایی دوم برابر  $\vec{a}$ .

حل: اگر مکان اولیه دانش‌آموز نقطه



A در شکل (۱-۴) باشد، جابه‌جایی‌های بند الف را با رنگ سیاه و جابه‌جایی‌های بند ب را با رنگ قرمز، مطابق با قاعده جمع برداری جمع می‌کنیم. با رسم شکل و با توجه به ویژگی‌های هندسی متوازی‌الاضلاع درمی‌یابیم که در هر دو حالت، دانش‌آموز به یک نقطه (نقطه B) رسیده است.

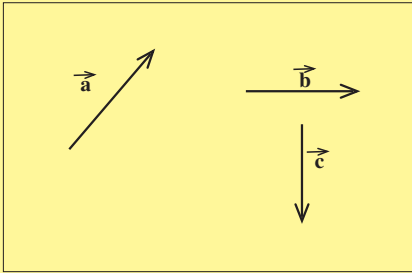
شکل ۱-۴ - جمع برداری خاصیت جابه‌جایی دارد.

با دقت در شکل ۱-۴ درمی‌یابیم که قاعده جمع بردارها را به صورت زیر نیز می‌توانیم بیان

کنیم:

برای یافتن برابری دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  می‌توانیم از یک نقطه دو بردار به ترتیب برابر بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  رسم کنیم. سپس متوازی‌الاضلاع را که این دو بردار دو ضلع مجاور آن را تشکیل می‌دهد، کامل می‌کنیم. بردار برابری، قطری از متوازی‌الاضلاع است که نقطه شروع دو بردار را به رأس روبه‌رو وصل می‌کند. این روش جمع دو بردار را قاعده متوازی‌الاضلاع برای جمع بردارها می‌نامند.

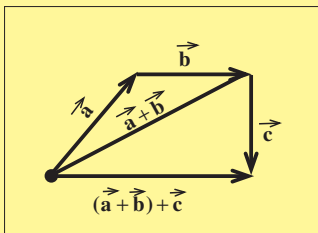
### مثال ۳-۱



بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  را در شکل (۵-۱) در نظر بگیرید. بردار برابری آن‌ها را بدست آورید.

شکل ۵-۱

حل: ابتدا مطابق شکل (۶-۱) از انتهای بردار  $\vec{a}$  برداری مساوی  $\vec{b}$  رسم می‌کنیم. مطابق قاعده جمع برداری،  $\vec{a} + \vec{b}$  برداری است که ابتدای آن ابتدای بردار  $\vec{a}$  و انتهای آن انتهای بردار  $\vec{b}$  است. سپس این بردار  $\vec{a} + \vec{b}$  را با بردار  $\vec{c}$  جمع می‌کنیم. یعنی از انتهای آن برداری مساوی  $\vec{c}$  رسم می‌کنیم. بردار  $(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c}$  برداری است که ابتدای آن ابتدای بردار  $\vec{a} + \vec{b}$  و انتهای آن انتهای بردار  $\vec{c}$  است.

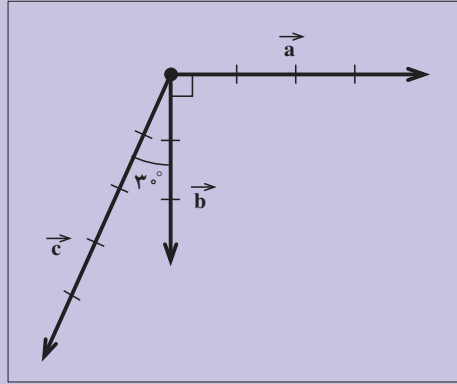


شکل ۶-۱

با حل این مثال درمی‌یابیم که برای جمع کردن چند بردار می‌توانیم به این ترتیب عمل کنیم که از انتهای بردار اول، برداری مساوی بردار دوم و از انتهای بردار دوم برداری مساوی بردار سوم و همین‌طور تا آخر رسم کنیم. بردار برابری، برداری است که ابتدای آن، ابتدای بردار اول و انتهای آن، انتهای بردار آخر است.

## تمرین ۵-۱

در یک کاغذ میلی متری، با انتخاب مقیاس مناسب، بردارهایی مساوی بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  در شکل (۷-۱) رسم کنید. سپس بردار برآیند این سه بردار را به دست آورید. بزرگی بردار برآیند را با توجه به مقیاسی که انتخاب کرده‌اید، مشخص کنید.



شکل ۷-۱

## فعالیت ۱۲-۱

نشان دهید اگر در تمرین (۵-۱) ترتیب بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  را در جمع عوض کنیم، تغییری در بردار برآیند  $\vec{R}$  به وجود نمی‌آید. این بررسی را برای همه حالت‌های ممکن انجام دهید.

با این فعالیت ثابت کرده‌اید که :

$$\vec{c} + \vec{b} + \vec{a} = \vec{b} + \vec{c} + \vec{a} = \vec{c} + \vec{a} + \vec{b} = \vec{R} \quad (۱-۱)$$

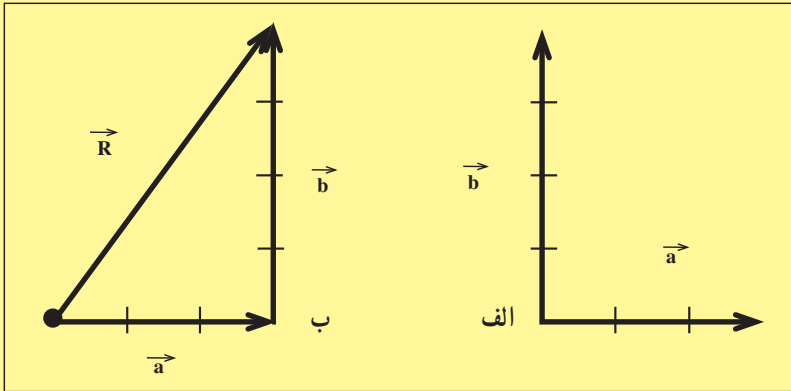
محاسبه بزرگی بردار برآیند : در بعضی حالت‌های خاص می‌توان بدون رسم شکل و از راه محاسبه بزرگی بردار برآیند را نیز به دست آورد.<sup>۱</sup>

اگر دو بردار بر هم عمود باشند  $(\vec{a} + \vec{b})$ ، محاسبه بزرگی بردار برآیند آن‌ها به کمک قضیه فیثاغورث امکان‌پذیر است. به مثال صفحه بعد توجه کنید.

۱- در این کتاب تنها محاسبه بزرگی برآیند بردارهایی مدنظر است که یا در یک راستا قرار دارند و یا بر یک دیگر عمودند. برای تعیین برآیند دو بردار که با یکدیگر زاویه  $\theta$  می‌سازند، فقط باید از خط‌کش و نقاله استفاده شود، لذا بیان هر رابطه به این منظور و ارزش‌یابی از آن به طور کامل خارج از برنامه درسی این کتاب است.

### مثال ۴-۱

برای دو بردار عمود برهم  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  در شکل (۸-۱ الف) داریم  $a = 3$  و  $b = 4$ . براین دو بردار را به دست آورید. بزرگی براین را با استفاده از شکل و همین طور با محاسبه به دست آورید.



شکل ۸-۱

حل: برای به دست آوردن بردار براین  $\vec{R}$ ، مطابق قاعده جمع برداری، در شکل (۸-۱ ب) عمل می‌کنیم. اگر بزرگی  $\vec{R}$  را با خط‌کش اندازه بگیریم،  $R = 5$  به دست می‌آوریم.

همان طور که در شکل دیده می‌شود  $\vec{R}$ ، وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که ضلع‌های آن  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  است. بنابراین، می‌توانیم با استفاده از قضیه فیثاغورث در مثلث قائم‌الزاویه بنویسیم:

$$R^2 = a^2 + b^2 \quad R = \sqrt{9 + 16} = 5$$

باحل این مثال، درمی‌یابیم که بزرگی براین دو بردار عمود برهم  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (۲-۱)$$

### مثال ۵-۱

بردار براین دو بردار هم‌جهت  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را به دست آورید. بزرگی دو بردار را



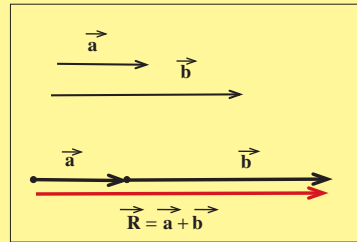
برابر  $a = 3$  و  $b = 4$  فرض کنید.

**حل:** مطابق شکل (۹-۱) ابتدا بردار  $\vec{a}$  و سپس از انتهای آن بردار  $\vec{b}$  را رسم می‌کنیم. چون دو بردار هم‌جهت‌اند، در امتداد هم روی یک خط قرار می‌گیرند. بردار برآیند نیز همان‌گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد. این بردار هم‌جهت با دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  است و بزرگی آن برابر مجموع بزرگی‌های دو بردار می‌شود.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار هم‌جهت هستند، داریم:

$$R = a + b = 3 + 4 = 7$$



شکل ۹-۱

### مثال ۶-۱

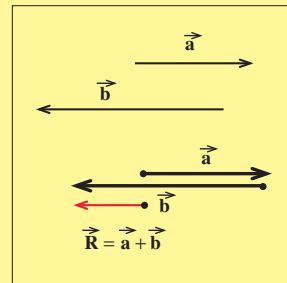
برآیند بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را که در خلاف جهت یکدیگر و بزرگی آن‌ها به ترتیب برابر با  $a = 3$  و  $b = 4$  است به دست آورید.

**حل:** مطابق شکل (۱۰-۱) از انتهای بردار  $\vec{a}$  برداری مساوی  $\vec{b}$  رسم می‌کنیم، در این مورد نیز  $\vec{b}$  در همان راستای  $\vec{a}$ ، ولی سوی آن مخالف آن است. بردار برآیند همان‌گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد و هم‌جهت با بردار بزرگ‌تر (یعنی بردار  $\vec{b}$  در این مثال) است. بنابراین، بزرگی برآیند برابر تفاضل بزرگی‌های دو بردار می‌شود.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار در خلاف جهت هم هستند، داریم:

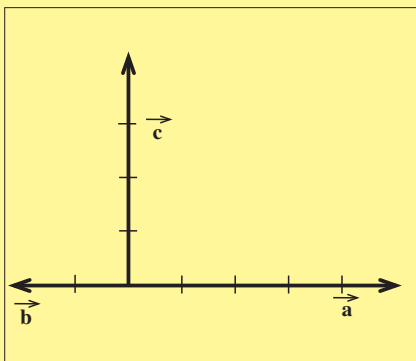
$$R = |a - b| = |3 - 4| = 1$$



شکل ۱۰-۱

هرگاه بخواهیم چند بردار را با یکدیگر جمع کنیم، با توجه به این که ترتیب بردارها را می‌توانیم به هر صورت که بخواهیم تغییر دهیم، بهتر است اول برایندهایی را که با استفاده از حالت‌های خاص به‌طور ساده‌تر محاسبه می‌شوند، به‌دست آوریم.

### مثال ۷-۱



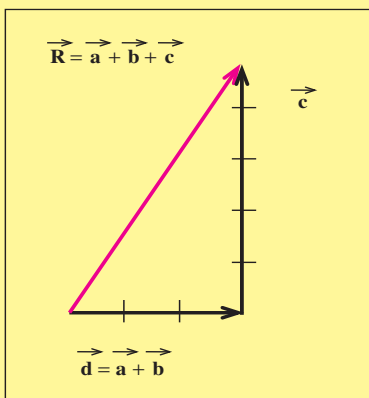
شکل ۱۱-۱

بردار برایندهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  در شکل (۱۱-۱) را رسم و بزرگی برایندها را محاسبه کنید. فرض کنید اندازه بردارها  $a=5$ ،  $b=2$  و  $c=4$  باشد.

حل: براینده دو بردار  $\vec{a}$  و

$\vec{b}$  را  $\vec{d}$  می‌نامیم و ابتدا این براینده را به‌دست می‌آوریم. با استفاده از مثال (۶-۱)، برداری است  $\vec{d}$  هم‌جهت با  $\vec{a}$  ( $a > b$ ) و بزرگی آن برابر  $5-2=3$  واحد است. اکنون براینده دو بردار  $\vec{c}$  و  $\vec{d}$  را مطابق شکل (۱۲-۱) به‌دست می‌آوریم.

با استفاده از مثال (۴-۱) داریم:



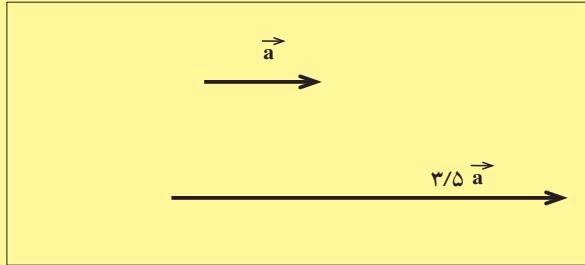
شکل ۱۲-۱

$$R = \sqrt{d^2 + c^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$$

حاصل ضرب یک عدد در یک بردار: وقتی برداری را در عدد مثبتی مانند  $m$  ضرب می‌کنیم، جهت بردار حاصل با بردار اولیه یکی است و بزرگی آن  $m$  برابر بردار اول است.

### مثال ۸-۱

بردار  $\vec{a}$  در شکل (۱۳-۱) رسم شده است. بردار  $\frac{3}{5}\vec{a}$  را رسم کنید.



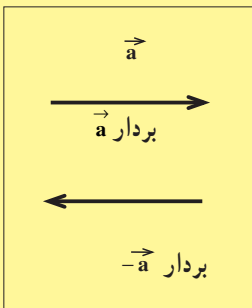
شکل ۱۳-۱

حل: بردار  $\frac{3}{5}\vec{a}$  هم جهت (همراستا و همسو) با بردار  $\vec{a}$  و بزرگی آن  $\frac{3}{5}$  برابر بزرگی بردار  $\vec{a}$  است.

اگر برداری را در یک عدد منفی ضرب کنیم، بردار حاصل ضرب در خلاف جهت بردار اولیه خواهد شد و بزرگی بردار در قدرمطلق آن عدد ضرب می‌شود.

### مثال ۹-۱

بردار  $\vec{a}$  در شکل (۱۴-۱) رسم شده است. بردار  $-\vec{a}$  را رسم کنید. (این بردار را قرینه بردار  $\vec{a}$  نیز می‌گویند.)



شکل ۱۴-۱

حل: بردار  $-\vec{a}$  همان گونه که از شکل پیداست، به بزرگی بردار  $\vec{a}$  و در خلاف جهت آن خواهد بود.

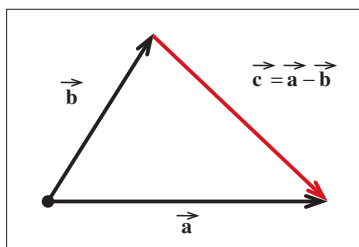
تفریق دو بردار: حاصل تفریق دو بردار نیز یک بردار است.

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{c}$$

$\vec{c}$  برداری است که اگر با  $\vec{b}$  جمع شود بردار  $\vec{a}$  به دست می‌آید، یعنی:

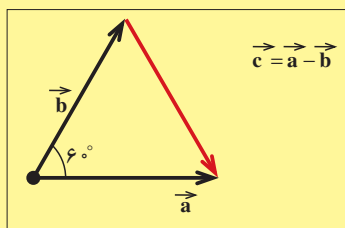
$$\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$$

برای به دست آوردن  $\vec{c}$ ، نخست دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  را مطابق شکل (۱۵-۱) از یک نقطه رسم می‌کنیم. برداری که ابتدای آن بر انتهای بردار  $\vec{b}$  (عامل دوم تفریق) و انتهای آن بر انتهای بردار  $\vec{a}$  (عامل اول تفریق) منطبق باشد، بردار  $\vec{c}$  است.



شکل ۱۵-۱- حاصل تفریق دو بردار

### مثال ۱۰-۱



شکل ۱۶-۱

دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  مطابق شکل (۱۶-۱) با یکدیگر زاویه  $6^\circ$  می‌سازند و بزرگی آن‌ها با هم برابر است. بردار  $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$  را به دست آورید و بزرگی آن را تعیین کنید.

حل: با توجه به شکل، بردار  $\vec{c}$  برداری است که از انتهای  $\vec{b}$  شروع و به انتهای  $\vec{a}$  ختم می‌شود. بزرگی این بردار با توجه به آن که مثلث حاصل در شکل (۱۶-۱) متساوی‌الاضلاع است (چرا؟) برابر با بزرگی هریک از دو بردار  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  است یعنی:

$$\begin{aligned} |\vec{c}| &= |\vec{a} - \vec{b}| \\ &= a \\ &= b \end{aligned}$$

## تمرین‌های فصل اول

۱- گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی بشر داشته است، درباره یکی از این تأثیرها تحقیق کنید.

۲- تحقیق کنید که آیا در مؤسسه‌های نزدیک به محل زندگی شما، کارکنانی با تخصص فیزیک کار می‌کنند یا نه؟ اگر پاسخ مثبت است، سمت و وظیفه هر یک را بنویسید.

۳- با استفاده از جدول ۱-۱ حساب کنید که  $۵۶^\circ/\text{میکرون}$

الف - چند میلی‌متر

ب - چند متر

است؟ پاسخ خود را با استفاده از شیوه نمادگذاری علمی بنویسید.

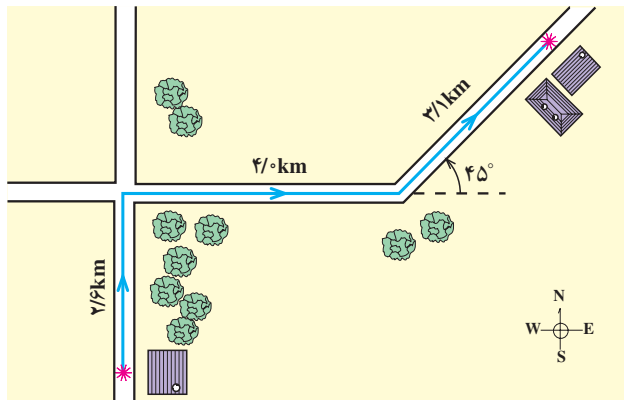
۴- با استفاده از جدول ۱-۱ حساب کنید که یک ساعت چند پیکو ثانیه است. پاسخ خود را با استفاده از شیوه نمادگذاری علمی بنویسید.

۵- جرم یک سنجاق ته‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟

۶- ارتفاع یک برج را چگونه می‌توانید اندازه بگیرید؟

۷- یکی از راه‌های اندازه‌گیری عمق آب اقیانوس‌ها آن است که یک موج فراصوتی را از سطح آب به اعماق آب می‌فرستند، این موج با برخورد به کف اقیانوس به سطح آب باز می‌گردد و در سطح آب آشکارسازی می‌شود. با اندازه‌گیری بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی و با داشتن سرعت انتشار صوت در آب، فاصله سطح آب تا کف اقیانوس محاسبه می‌شود. اگر بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی  $۱۴\text{s}$  و سرعت انتشار صوت در آب  $۱۴۵۰\text{m/s}$  باشد، عمق آب اقیانوس را محاسبه کنید.

۸- یک پستی از نقطه شروع حرکت خود در شکل (۱-۱۷) مسیری را که در شکل نشان داده شده است می‌پیماید. بردار جابه‌جایی کل را با رسم نموداری با مقیاس مناسب به دست آورید.

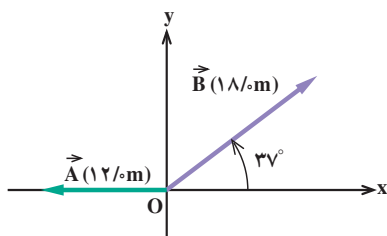


شکل ۱-۱۷

۹- با رسم شکل، نشان دهید که عمل جمع برداری خاصیت انجمنی دارد، یعنی

$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c})$$

۱۰- برای دو بردار  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  در شکل (۱۸-۱)



شکل ۱۸-۱

الف - بردار  $\vec{A} + \vec{B}$

ب - بردار  $\vec{A} - \vec{B}$

را با رسم نمودار به دست آورید.

۱۱- شخصی ۸ متر به طرف شمال حرکت می کند و سپس جهت حرکت خود را عوض کرده

و ۴ متر به طرف جنوب حرکت می کند. بزرگی و جهت بردار جابه جایی او چه قدر است؟

۱۲- بزرگی بردار  $\vec{a}$  برابر ۲ و در جهت غرب به شرق است. بزرگی و جهت بردارهای زیر را

تعیین کنید.

الف -  $\vec{b} = -۲\vec{a}$

ب -  $\vec{a} + \vec{b}$

پ -  $\vec{a} - \vec{b}$