

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# فیزیک ۲



خلیلی بروجنی، روح‌الله ۱۳۵۰  
فیزیک ۲ / تألیف روح‌الله خلیلی بروجنی، [برای] وزارت آموزش و پرورش، دفتر تألیف  
کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش. - تهران: انتشارات محراب قلم، ۱۳۹۲.  
۱۳۶ ص جدول، نمودار. - (شماره درس ۴۹۸/۸)  
فهرست نویسی براساس اطلاعات فیبا.  
۱. فیزیک ۲. راهنمای آموزش (متوسطه) مؤسسه فرهنگی و انتشاراتی محراب قلم.  
ج. عنوان  
۲۷۹ ک ۰۴۰۷۶/۳۳۸

**برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف:** دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

**نام کتاب:** فیزیک ۲

**مؤلف:** روح‌الله خلیلی بروجنی (khalily@gmail.com)

**ویراستار:** ناصر مقبلی

**مدیر هنری، طراح گرافیک و صفحه‌آرا:** حسین وهابی

**طراح جلد:** امیر نساجی

**نوبت چاپ:** چهارم ۱۳۹۲

**چاپخانه:** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

[www.mehrab-e-glalam.com](http://www.mehrab-e-glalam.com)

[www.meg.ir](http://www.meg.ir)

**شابک:** ۹۶۴-۵-۱۷۵۳-۴

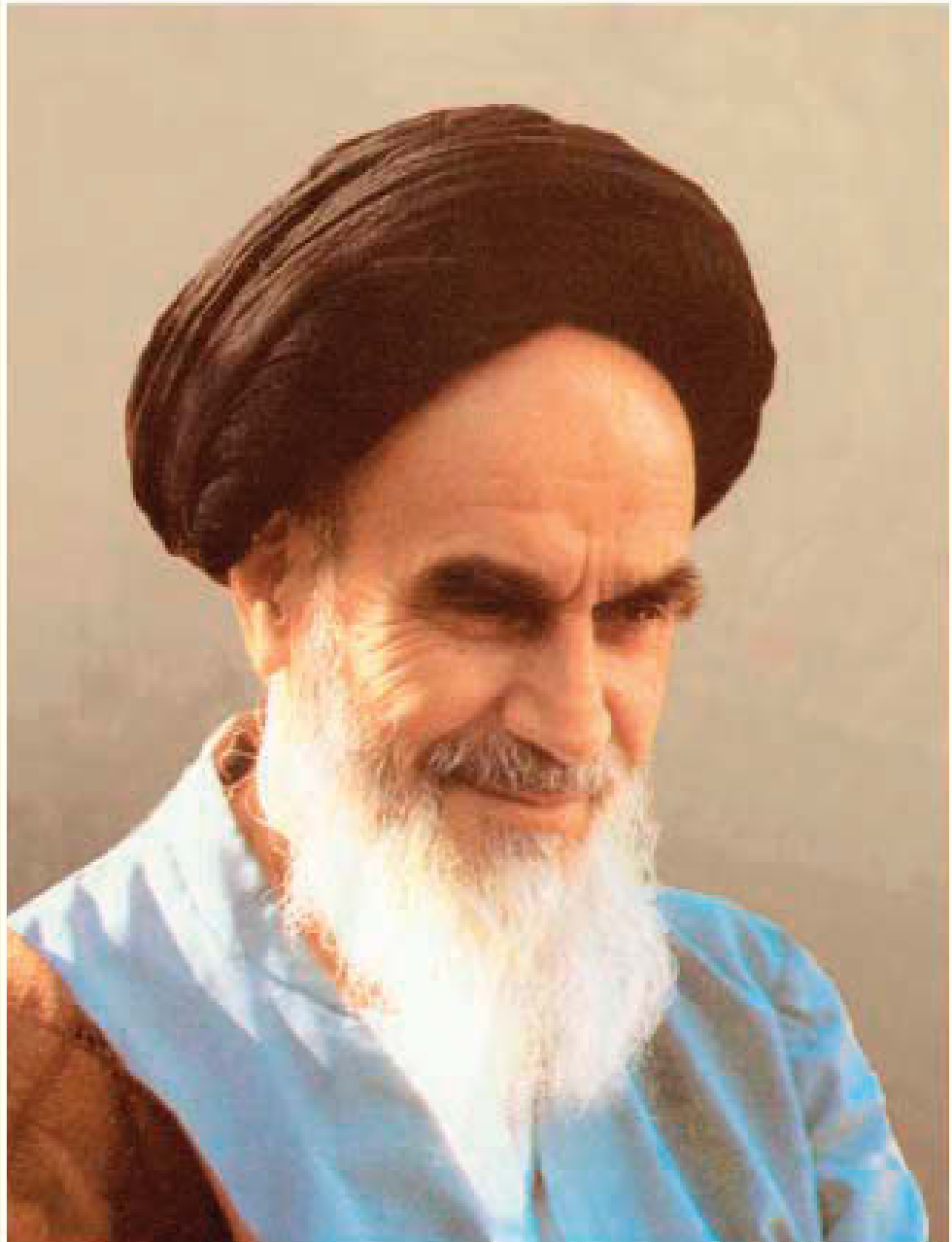
**حق چاپ محفوظ است.**

**آدرس:** تهران خیابان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، خیابان شهدای ژاندارمری، پلاک ۴

تلفن ۸۷۹ ۶۶۴۹ - ۶۶۴۱۸۱۹ دورنگار ۱: ۶۶۴۶۵۲ - صندوق پستی: ۵۶۸-۱۳۱۴۵

این کتاب به سفارش دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی توسط مؤسسه فرهنگی و انتشاراتی **محراب قلم** تألیف و آماده‌سازی گردیده و پس از تصویب دفتر مذکور به چاپ رسیده است.





# فهرست

۱۱ اندازه گیری و بردارها

۲۷ حرکت روی خط راست

۴۷ نیرو و قانون های نیوتون

۶۹ کار برد قانون های نیوتون

۸۵ کار و انرژی

۱۰۱ چگالی و فشار

## به نام آن که تن به جان و جان به فکرت زنده کرد

### سخنی با دانش آموزان عزیز

پس از فیزیک ۱ و آزمایشگاه این دومین کتابی است که در آن شما با برخی دیگر از مفاهیم و کاربردهای فیزیک آشنا می‌شوید. در برنامه ریزی و تالیف این کتاب، رشته‌ی تحصیلی، آینده‌ی شغلی و همچنین نیاز شهروندی شما بیش از همه مورد توجه بوده است.

### اهمیت فیزیک

مطالعه‌ی فیزیک از آن رو اهمیت دارد که فیزیک یکی از بنیادی‌ترین دانش‌هاست. نظریه‌های فیزیک را دانشمندان همه‌ی رشته‌ها به کار می‌برند. فیزیک شالوده‌ی تمامی مهندسی و فناوری است. هیچ مهندسی نمی‌توانست بدون آن که نخست قانون‌های اساسی فیزیک را درک کند، یک تلویزیون ال سی دی، یک کاوشگر فضایی، یا حتی یک تله موش بهتر طراحی کند. اگر هرگز به فکر افتاده‌اید که چرا آسمان آبی است، موج‌هایی رادیویی و تلویزیونی چگونه می‌توانند در فضای تهی و هوا منتشر شوند و به ما برسند، یا یک ماهواره‌ی ارتباطی چگونه در مدار خاصی می‌ماند و دور زمین می‌چرخد، می‌توانید با به کار بردن فیزیک بنیادی به پاسخ‌ها دست یابید. بالاتر از همه، در خواهید یافت که دانش فیزیک دستاوردی رفیع از هوشمندی انسان در جستجو برای درک جهان پیرامون است.

### ماهیت فیزیک

فیزیک علمی تجربی است. فیزیکدانان پدیده‌های طبیعت را مشاهده می‌کنند و می‌کوشند طرح‌ها و اصولی را که این پدیده‌ها را به هم مربوط می‌کنند بیابند. این طرح‌ها را نظریه‌های فیزیکی می‌خوانند و هنگامی که کاملاً خوب تثبیت شده باشند و کاربرد وسیعی داشته باشند آن‌ها را اصول یا قانون‌های فیزیکی می‌نامند. گسترش یک نظریه‌ی فیزیکی در همه‌ی مرحله‌ها مستلزم خلاقیت است. فیزیکدان باید پرسیدن سؤال‌های مناسب را فرا بگیرد، با طرح آزمایش‌هایی بکوشد به آن سؤال‌ها پاسخ دهد، و از نتایج استنتاج‌های مناسب را به دست آورد.

گسترش نظریه‌های فیزیکی همواره فرایندی دو سویه است که انجام و سرانجام آن مشاهده یا آزمایش است. فیزیک تنها مجموعه‌ای از واقعیت‌ها و اصول نیست؛ بلکه فرایندی نیز هست که توسط آن به اصول عامی می‌رسیم که چگونگی رفتار جهان فیزیکی را توصیف می‌کنند.

هیچ نظریه‌ی فیزیکی تا کنون به عنوان حقیقت پایانی یا غایی در نظر گرفته نشده است. این امکان همواره وجود دارد که مشاهده‌های جدید ایجاب کنند که نظریه‌ای بازنگری یا رد شود. این در ماهیت نظریه‌ی فیزیکی نهفته است که می‌توانیم یک نظریه را در صورت یافتن رفتاری که با آن ناسازگار است رد کنیم، ولی هرگز نمی‌توانیم ثابت کنیم که یک نظریه همواره صحیح است.

## یادگیری را بیاموزیم


هر یک از ما شیوه‌های یادگیری متفاوت و ابزار یادگیری برگزیده‌ی خود را داریم. درک شیوه‌ی یادگیری خودتان به شما کمک می‌کند که روی جنبه‌های از فیزیک که می‌توانند برای شما دشوار باشند تمرکز کنید و آن مؤلفه‌هایی را به کار بگیرید که شما را در غلبه بر مشکل یاری می‌دهند. روشن است که شما می‌خواهید وقت بیشتری را صرف آن جنبه‌هایی کنید که بیش‌ترین زحمت را برای شما فراهم می‌کنند. اگر شما با شنیدن و انجام آزمایش یاد می‌گیرید، حضور فعال در کلاس‌های درس بسیار مهم هستند. اگر با توضیح دادن یاد می‌گیرید، آن‌گاه علاوه بر حضور فعال در کلاس‌های درس، کار کردن با دانش‌آموزان دیگر برای شما بسیار مهم است. اگر مسئله حل کردن برای شما مشکل است وقت بیش‌تری را صرف یادگیری روش حل مسئله‌ها کنید و همراه با کتاب درسی از کتاب کار نیز استفاده کنید. درک و گسترش شیوه‌های عادت‌ی خوب نیز اهمیت دارد. شاید مهم‌ترین کاری که می‌توانید برای خودتان انجام دهید آن باشد که زمان‌های مطالعه‌ی با برنامه‌ی زمان‌بندی منظم و کافی در محیطی خالی از عوامل برهم‌زننده‌ی تمرکز برای خود در نظر بگیرید.

## پرسش‌های زیر را برای خود پاسخ دهید:

- آیا من توانایی به کار بردن مفهوم‌های ریاضی را در فیزیک دارم؟ (اگر پاسخ منفی است به کتاب ریاضیات سال اول خود و همچنین پیوست الف کتاب مراجعه کنید و افزون بر اینها از معلم خود نیز راهنمایی‌های لازم را بخواهید.)
- آسان‌ترین فعالیت‌ها در فیزیک برای من کدام‌ها بوده‌اند؟ (نخست این فعالیت‌ها را انجام دهید؛ این کار به ایجاد اعتماد به نفس در شما کمک می‌کند.)
- آیا اگر کتاب را پیش از کلاس خوانده باشم مطلب را بهتر می‌فهمم یا پس از آن؟ (ممکن است شما به این روال بهتر یاد بگیرید که نخست مطلب را با ورق زدن کتاب بخوانید، سپس به کلاس درس بروید و پس از آن به خواندن دقیق موضوع بپردازید.)
- آیا زمانی که صرف مطالعه‌ی فیزیک می‌کنم کافی است؟ (تجربه نشان می‌دهد که به ازای هر یک ساعت کلاس باید به طور متوسط ۲ ساعت خارج از کلاس به آن اختصاص داده شود. به این معنا که در هفته شما باید بین ۴ تا ۶ ساعت به مطالعه‌ی فیزیک بپردازید.)
- برای من بهترین ساعت روز برای مطالعه‌ی فیزیک کدام است؟ (زمان خاصی از روز را برگزینید و آن را تغییر ندهید. همچنین آن ۴ تا ۶ ساعت را در طول هفته پخش کنید!)
- آیا در جای آرامی که بتوانم تمرکز خود را حفظ کنم کار می‌کنم؟ (مزاحمت‌ها روال کار شما را بر هم می‌زند و موجب می‌شود نکته‌های مهم را از قلم ببندازید.)

## کار کردن با دیگران

دانشمندان و مهندسان به ندرت در انزوا از یکدیگر کار می‌کنند، بلکه بیش‌تر با یکدیگر همکاری دارند. اگر با دیگر دوستانتان کار کنید هم فیزیک بیش‌تر یاد خواهید گرفت و هم از این یادگیری بیش‌تر لذت



خواهید برد. امروزه بسیاری از معلمان به این همکاری و مشارکت در یادگیری در کلاس‌های درس رسمیت بخشیده‌اند و افزون بر این زمینه‌ی تشکیل گروه‌های مطالعه را فراهم می‌سازند. گروه مطالعه‌ی شما به هنگام مرور درس‌ها برای آزمون‌ها، پشتوانه‌ی گرانتقدری است.

### کلاس درس و یادداشت برداری

یک مؤلفه‌ی بسیار مهم در هر درس، حضور در کلاس آن درس است. در خصوص فیزیک کلاس درس اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا معلم فیزیک در فرایند آموزش فعالیت‌هایی را انجام می‌دهد که شما را یاری می‌دهند تا اصل‌های بنیادی فیزیک را بفهمید. در کلاس‌ها حضور فعال داشته باشید و اگر به دلیلی نتوانستید در کلاسی شرکت کنید از دوستی یا یکی از عضوهای گروه مطالعه‌ی خود درخواست کنید که شما را در جریان آن چه گذشته است قرار دهد. یادداشت برداری صرفاً برای مثال‌ها یا تمرین‌هایی پیشنهاد می‌شود که در کتاب درسی و یا در کتاب کار شما موجود نیستند و معلم شما برای تفهیم بهتر موضوع آنها را برای شما مطرح می‌کند.

### راه حل مسئله‌های فیزیک

تقریباً همه‌ی دانش آموزان هنگام خواندن درس فیزیک، خود را در این اندیشه می‌یابند که «من مفهوم‌ها را می‌فهمم اما فقط نمی‌توانم مسئله‌ها را حل کنم.» حال آن که در فیزیک درک واقعی یک مفهوم یا اصل، با توانایی در به کار بردن آن اصل در خصوص مسئله‌های مختلف یکی است. فراگیری چگونگی حل مسئله‌ها اهمیت اساسی دارد؛ شما فیزیک نمی‌دانید، مگر آن که بتوانید آن را به کار برید.


### حل مسئله‌های فیزیک را چگونه فرا بگیرید؟

برای حل انواع مختلف مسئله‌های فیزیک به روش‌های متفاوتی نیاز داریم. صرفنظر از نوع مسئله‌ای که در دست دارید، گام‌های کلیدی مسلمی وجود دارند که باید همواره آن‌ها را مراعات کنید. (همین گام‌ها در حل مسئله‌های ریاضی، مهندسی، شیمی و بسیاری از زمینه‌های دیگر به همین اندازه سودمندند.)

**گام اول: شناسایی مفهوم‌های مرتبط** نخست تصمیم بگیرید که چه مفهوم‌های فیزیکی به مسئله مربوط‌اند، اگرچه در این مرحله هیچ محاسبه‌ای وجود ندارد با این وجود گاهی بحث‌انگیزترین بخش راه حل مسئله همین مرحله است. ولی این مرحله را از قلم نیندازید، زیرا انتخاب رهیافت اشتباه در آغاز، مسئله را از آن چه که هست مشکل‌تر می‌کند و چه بسا به پاسخ نادرست می‌انجامد.

در این مرحله باید متغیر هدف مسئله - یعنی کمیتی را که سعی در یافتن مقدار آن دارید - شناسایی کنید. این کمیت می‌تواند سرعت برخورد یک توپ به زمین، فشار هوا در بالای قله‌ی یک کوه یا اندازه‌ی تصویر حاصل از یک عدسی باشد. متغیر هدف مقصد فرایند حل مسئله است؛ در حین اجرای راه حل این مقصد را از نظر دور ندارید.

**گام دوم: آمادگی برای حل مسئله** بر اساس مفهوم‌هایی که در گام اول برگزیده‌اید، معادله‌هایی را که برای حل مسئله نیاز دارید بنویسید و تصمیم بگیرید که آن‌ها را چگونه به کار خواهید برد. اگر لازم می‌دانید طرحی از وضعیت را که توسط مسئله توصیف شده است بکشید.





**گام سوم: اجرای راه حل** در این مرحله ریاضیات مسئله را انجام دهید. پیش از آن که دست به کار محاسبه‌ها شوید فهرستی از تمامی متغیرهای معلوم و مجهول تهیه کنید و به متغیرهای هدف توجه داشته باشید. سپس معادله‌ها را حل کنید و مجهول‌ها را به دست آورید.

**گام چهارم: ارزیابی پاسخ شما** مقصود از حل مسئله‌ی فیزیکی تنها به دست آوردن یک عدد یا یک فرمول نیست؛ مقصود آن است که درک بهتری حاصل شود. به این معنا که باید پاسخ را بیازمایید و دریابید که به شما چه می‌گوید. فراموش نکنید که از خود بپرسید «آیا این پاسخ با معناست؟» اگر متغیر هدف شما شعاع کره‌ی زمین بوده و پاسخ شما  $6/38$  سانتی‌متر به دست آمده باشد (یا یک عدد منفی باشد!) باید چیزی در فرایند حل مسئله‌ی شما نادرست باشد. بازگردید و کار خود را امتحان و راه حل را بر حسب نیاز اصلاح کنید.

### آزمون‌ها

شرکت در آزمون برای هر کس تنش‌زاست. ولی اگر احساس کنید که به قدر کفایت آمادگی دارید و خوب استراحت کرده باشید تنش شما کاهش خواهد یافت.

آماده شدن برای یک آزمون فرایندی است پیوسته و مداوم که از لحظه‌ای آغاز می‌شود که آزمون قبلی تمام شده است. شما باید بی‌درنگ آن آزمون را مرور کنید و اشتباه‌هایی را که مرتکب شده‌اید بفهمید. اگر در حل مسئله‌ای خطاهای قابل ملاحظه‌ای مرتکب شده‌اید به این شیوه عمل کنید که یک تکه کاغذ بردارید و آن را با خطی از بالا تا پایین کاغذ، از وسط به دو بخش تقسیم کنید. در یک ستون حل درست مسئله را بنویسید. در ستون دیگر کارهایی را که خودتان انجام داده‌اید، و اگر می‌دانید که دلیل آن کارها و این که چرا حل شما نادرست است را بنویسید. اگر مطمئن نیستید که چرا این اشتباه‌ها را کرده‌اید یا این که چگونه از انجام دوباره‌ی آن‌ها اجتناب کنید با معلم خود صحبت کنید. فیزیکی به طور پیوسته بر روی ایده‌های بنیادی ساخته می‌شود و این مهم است که هر بدفهمی را بی‌درنگ تصحیح کنیم. اختصار: در آخرین روز و ساعت خود را با عجله برای آزمون آماده کردن ممکن است شما را در آزمون مورد نظر تا حدی موف‌گرداند، ولی مفهوم‌هایی را که فرا گرفته‌اید به قدر کفایت برای استفاده در آزمون بعدی به یاد نخواهید داشت.

### مسیر آموزش و یادگیری

دانش‌آموزان عزیز! مسیر آموزش و یادگیری، مسیری سر راست و مستقیم نیست که بتوان با تلاشی اندک، هدف‌های آن را تحقق بخشید! ابتدا باید به خود باور و ایمان داشته باشید و یقین بدانید که مفاهیمی را که در هر سال تحصیلی می‌خوانید در سطح درک و فهم شما هستند و برای بهبود و ارتقای زندگی فردی و اجتماعی شما فراهم آمده‌اند. در فرایند آموزش جدی و پرتلاش باشید و تا جایی که امکان دارد به طور فعال و با انگیزه در فرایند آموزش مشارکت داشته باشید. چرا که اگر امروز نتوانید دانش، مهارت و نگرش خود را ارتقا دهید و بهبود بخشید به طور حتم فردا دیر است! برای تعامل موثر و سازنده با دنیای پر حجم و پرشتاب امروز، راهی جز «کسب‌کرد» ندارید و این خرد به تدریج و به تبع باور، تلاش و مشارکت شما در فرایند آموزش به دست می‌آید.

خرد رهنما و خرد رهگشای  
خرد دست‌گیر به هر دو سرای





## سخنی با همکاران ارجمند

بریان آرنولد، که تجربه‌ای ممتد در آموزش و تالیف کتاب‌های درسی فیزیک دارد، در مقدمه‌ی کتاب **درک فیزیک با رویکرد تصویری** می‌نویسد: «پس از سال‌ها آموزش به دانش‌آموزانی با قابلیت‌های علمی مختلف، به این نتیجه رسیده‌ام که درک نظریات نهفته در پشت بیش‌تر مفاهیم فیزیک و کاربرد آن‌ها در زندگی برای اغلب دانش‌آموزان میسر است. آنچه در این راه در میزان موفقیت دانش‌آموزان موثر است، شیوه‌های آموزش ما در کلاس درس است. این شیوه‌ها می‌توانند درهای درک و فهم مفاهیم فیزیک را برای همه‌ی دانش‌آموزان، بدون توجه به توانایی علمی آن‌ها، باز یا بسته کند.»

همان‌طور که در مقدمه‌ی بالا نیز اشاره شد شیوه‌های آموزش کارآمد کلید موفقیت نسبی هر برنامه‌ی درسی است. بنابراین انتظار می‌رود همکاران ارجمند با تکیه بر تجربه‌ی خود و به‌کارگیری شیوه‌های آموزشی موثر، بستر مناسبی برای یادگیری و مشارکت دانش‌آموزان در فرایند آموزش و همچنین شوق‌انگیزتر شدن فضای کلاس فراهم نمایند. در این راه توجه به موارد زیر در هر فصل می‌تواند راهگشا باشد.

**فصل اول:** در این فصل پس از نگاهی کوتاه به اندازه‌گیری و یکاهای اصلی مورد استفاده در مکانیک (جرم، طول، و زمان)، آشنایی مقدماتی با بردارها آمده است. همچنین در براین بردارها، **تنها** بردارهای هم‌راستا یا عمود بر هم مورد توجه قرار گرفته است.

**فصل دوم:** در این فصل فقط حرکت شناسی مقدماتی در یک بعد مورد توجه قرار گرفته است. دانش‌آموزان پس از آشنایی با حرکت یکنواخت و رسم نمودار مکان-زمان آن، حرکت با شتاب ثابت و معادله‌های آن را مورد توجه قرار می‌دهند. شیوه‌ی یافتن این معادله‌ها به هیچ وجه نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد. نمودار سرعت-زمان در حرکت با شتاب ثابت به صورت یک مثال برای دانش‌آموزان مطرح شده است و انتظار نمی‌رود ظرایف مختلف نمودارها مورد بررسی و ارزشیابی قرار گیرد. همچنین نمودار مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت به هیچ وجه نباید مورد بحث قرار گیرد. در پایان فصل سقوط آزاد **بدون سرعت** اولیه و با دوری جدی از پیچیدگی‌های آن بیان شده است. به این ترتیب ضرورت دارد حرکت شناسی روی خط راست حداکثر در سطحی که در کتاب آمده تدریس و ارزشیابی شود. همکاران ارجمند به خوبی می‌دانند که بحث حرکت شناسی را می‌توان بسیار تعمیق و گسترش داد که نه در برنامه‌ی درسی این کتاب مورد نظر بوده و نه نیاز و سطح مخاطب این کتاب آن را می‌طلبد.

**فصل سوم:** در این فصل ابتدا مفهوم نیرو، نه به صورت یک تعریف، بلکه از طریق مصداق‌های آن معرفی شده است تا دانش‌آموزان براساس آن‌ها به درک درستی از مفهوم نیرو برسند. سپس قانون‌های حرکت نیوتون و قانون‌های نیرو (وزن، تکیه‌گاه، و اصطکاک) بررسی شده‌اند. نیروی اصطکاک تنها به صورت عامل مخالف حرکت معرفی شده و سایر جزییات آن به صورت مطالعه آزاد آمده است. در پایان هم تکانه با ذکر چند مثال ساده معرفی شده است. در این فصل نیز نحوه‌ی یافتن هیچ رابطه‌ای نباید در ارزشیابی‌ها مطرح شود.

**فصل چهارم:** در این فصل دانش‌آموزان با کاربرد آنچه تا کنون خوانده‌اند آشنا می‌شوند. لازم است اشاره

شود که گشتاور نیرو تنها برای حالت خاصی که نیرو و راستای اثر آن بر یکدیگر عمودند بررسی شده است و بیان حالت کلی آن مورد نظر نبوده است.

**فصل پنجم:** در این فصل قضیه‌ی کار- انرژی بدون اثبات معرفی شده و ضرورت دارد حداکثر در حد مثال‌هایی که در کتاب آمده تدریس و ارزشیابی شود. درگیر کردن ذهن دانش آموزان با مثال‌های پیچیده و دشوار به هیچ رو مورد نظر نبوده است.

**فصل ششم:** این فصل نیز به جهت ملموس بودن مباحث آن برای دانش آموزان جذابیت خاصی دارد. ارایه و انجام آزمایش‌های ساده می‌تواند فضای بهتری برای درک مفاهیم و شوق انگیز شدن فضای کلاس فراهم کند. در پایان فصل اصل ارشمیدس و قانون شناوری به طور بسیار ساده ای معرفی شده اند که تنها در همین حد از دانش آموزان انتظار فهم و دریافت می‌رود.

### قدردانی

اینک که پس از سال آموزش این کتاب، چاپ دوم آن با توجه به نظرات رسیده، جامه‌ی طبع به خود می‌پوشد و صورت انتشار می‌پذیرد پس از سپاس از **خدای منان**، از همه‌ی عزیزانی که بدون عنایت و اهتمامشان این خدمت خرد صورت تحقق نمی‌پذیرفت سپاس‌گزاری می‌کنم.

روح الله خلیلی بروجنی  
اردیبهشت ۱۳۹۰

### بسته‌ی جامع آموزشی

#### دانش آموزان عزیز و معلمان ارجمند:

موجب بسی خرسندی است که به اطلاع شما برسانیم که این برای نخستین بار است که در نظام آموزشی کشورمان و همگام با تحولات آموزشی در کشورهای توسعه یافته، برای یک موضوع درسی دو بسته‌ی آموزشی مجزا، یکی مربوط به دانش آموز و دیگری مربوط به معلم برنامه ریزی و تولید شده است. در تولید این بسته‌های آموزشی تلاش فراوانی شده است تا استانداردهای روز آموزش فیزیک به کار گرفته شود.

#### محتوای بسته‌ی دانش آموز:

کتاب درسی

کتاب راهنمای مطالعه و کار دانش آموز

نرم افزار تعاملی ضمیمه‌ی کتاب درسی

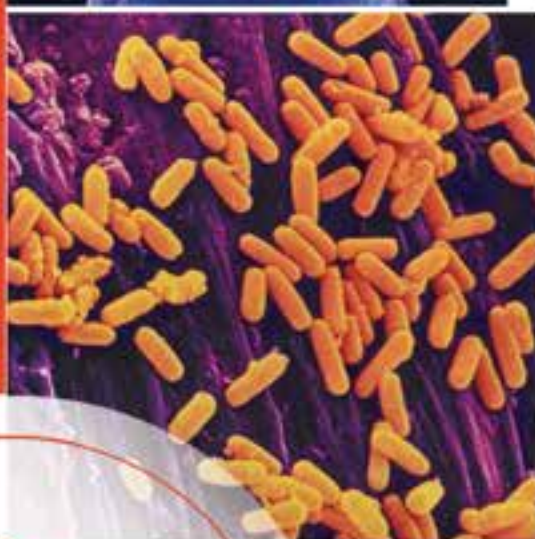
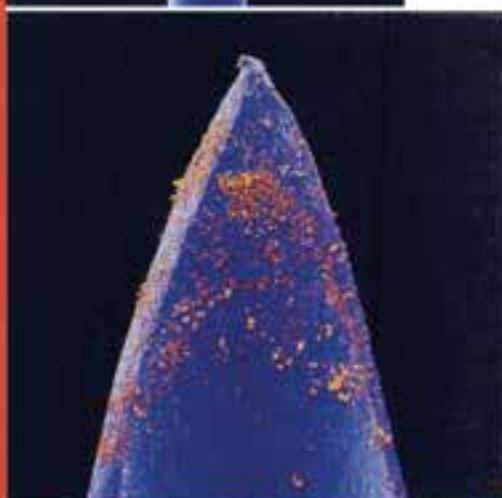
#### محتوای بسته‌ی معلم:

کتاب راهنمای تدریس معلم

نرم افزار معلم

# فصل

## اندازه گیری و بردارها



آیا می‌توانید اندازه‌ی یک باکتری را  
برآورد کنید؟

تصویری از باکتری‌های میله‌ای روی  
سر یک سوزن. بزرگنمایی هر تصویر به  
ترتیب از بالا به پایین،  $\times 9$ ،  $\times 36$ ،  $\times 875$   
و  $\times 4375$  برابر است.

## سیمای فصل

۱-۱ دستگاه بین‌المللی یکاهای اندازه‌گیری

۲-۱ استانداردهای زمان، طول و جرم

۳-۱ کمیت‌های فیزیکی

۴-۱ کمیت‌های نرده‌ای و برداری

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها



## اندازه‌گیری و بردارها

ما همواره با انواع اندازه‌گیری و مقایسه‌ی ابعاد اجسام با یکدیگر سروکار داریم. برای خرید و فروش برخی اجناس از انواع ترازوها استفاده می‌کنیم. خط‌کش و متر نواری از جمله ابزارهای اصلی خیاط‌ها و پارچه‌فروش‌هاست. هرروز چندین بار به ساعت خود نگاه می‌کنیم تا وقت خود را برای انجام کارهای مختلف مثلاً رسیدن به اتوبوس یا کلاس درس تنظیم کنیم. پزشک‌ها در معاینه‌ی بیمارها از دماسنج و فشارسنج استفاده می‌کنند و اطلاعات لازم از بیمار مثلاً مربوط به ترکیب خون او را از آزمایشگاه‌هایی که کار آن‌ها نیز اندازه‌گیری است به دست می‌آورند. در این فصل علاوه بر آشنایی با مبحث اندازه‌گیری، به بررسی بردارها و ویژگی آن‌ها نیز خواهیم پرداخت.

### بیش‌تر بدانید



- اندازه‌گیری‌های علمی
- نخستین اقدام برای انتخاب یکاهای جدید

### ۱-۱ دستگاه بین‌المللی یکاهای اندازه‌گیری

استفاده از یک‌هایی که در همه‌ی نقاط کره‌ی زمین به کمک آن‌ها بتوان به راحتی کالاها و خدمات متفاوت را با یکدیگر مبادله کرد یک ضرورت اساسی برای زندگی در دنیای امروز است. به همین جهت در سال ۱۳۵۰ (ه.ش) مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها هفت کمیته را به عنوان کمیته‌های اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می‌دهد که با علامت اختصاری SI شناخته شده است.<sup>۱</sup> جدول ۱-۱ یکاهای سه کمیته اصلی - طول، جرم و زمان - را که در ادامه‌ی همین فصل بررسی خواهیم کرد نشان می‌دهد.

۱- علامت اختصاری SI برای نام فرانسوی آن، Le Systeme International d'Unités دستگاه SI با متریک نامیده می‌شود.

جدول ۱-۱ سه کمیت اصلی SI و یکاهای آن ها

نماد یکا	نام یکا	کمیت
s	ثانیه	زمان
m	متر	طول
kg	کیلوگرم	جرم

### نسبیه سازی



- حرکت ماه به دور زمین
- شب و روز

### بیش تر بدانید



- تشکیل فصل ها

## مطالعه‌ی آزاد \*

دو دستگاه یکای دیگر وجود دارد که همچنان با دستگاه SI رقابت می‌کنند. یکی دستگاه گاوسی است که بسیاری از رابطه‌های فیزیک در سطح‌های بالا بر حسب آن‌ها بیان می‌شود. در کتاب‌های مقدماتی فیزیک از این دستگاه استفاده نمی‌شود. دستگاه دیگر، دستگاه بریتانیایی است که هنوز در انگلستان و کشورهای تابعه‌ی آن و همچنین در ایالات متحده‌ی آمریکا به کار می‌رود. برخی از یکاهای اصلی دستگاه بریتانیایی عبارت‌اند از: طول (فوت)، نیرو (پوند)، و زمان (ثانیه). جالب است بدانید با وجود آن‌که پوند یکای نیروست، غالباً به عنوان یکای جرم نیز به کار می‌رود. به طوری که هر پوند را معادل  $0.4536$  کیلوگرم می‌گیرند. همچنین هر فوت معادل  $0.3048$  متر است. خلبان‌ها هنگام پرواز، ارتفاع هواپیما از سطح زمین را برحسب این یکا بیان می‌کنند.

## ۲-۱ استانداردهای زمان، طول و جرم

**زمان:** یکای زمان در SI ثانیه نام دارد که آن را با نماد s نمایش می‌دهند. برای تعیین یکای زمان و نیز ساخت وسیله‌ی اندازه‌گیری زمان همواره از پدیده‌های تکرار شونده استفاده می‌شود. حرکت زمین برای انسان ساعتی طبیعی بوده است. وقتی زمین به دور خورشید می‌چرخد، سال‌ها را می‌شمارد و وقتی به دور خود می‌چرخد (حرکت وضعی)، روزها را شمارش می‌کند. برای مدت طولانی حرکت وضعی زمین مبنایی برای تعیین یکای زمان بود. مطابق این مبنای، هر شبانه‌روز یعنی مدتی که زمین یک بار به دور محورش می‌چرخد به ۲۴ قسمت تقسیم شده و هر قسمت یک ساعت نام گرفته است. هر ساعت به ۶۰ دقیقه و هر دقیقه به ۶۰ قسمت به نام ثانیه تقسیم شده است. به این ترتیب یکای زمان،  $\frac{1}{86400}$  برابر مدتی که طول می‌کشد تا زمین یک بار به دور محور خود بچرخد، تعریف شد (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱ با چرخش همزمان زمین به دور خودش و خورشید روزها و فصل‌ها پدید می‌آید. شروع هر فصل در نیمکره شمالی در این شکل نشان داده شده است.

\* این قسمت‌ها برای مطالعه‌ی بیشتر تر دانش‌آموزان است و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرند.



شکل ۱-۳ امروزه ساعت‌های اتمی ساخته شده دقت بسیار بسیار زیادی دارند به طوری که پس از یک میلیون سال تنها یک ثانیه جلو یا عقب می‌افتند.

به علت آن که مدت زمان یک شبانه‌روز ثابت نیست، کوشش شد تا برای انتخاب یکای استاندارد زمان، مبنای ثابتی تعیین شود. با تعریف دقیق‌تر یکای زمان، که به کمک ساعت‌های اتمی تعیین می‌شود در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توان آشنا شد (شکل ۱-۳). جدول ۱-۲ گستره‌ی برخی از زمان‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲ برخی از زمان‌های اندازه‌گیری شده‌ی تقریبی

اندازه‌گیری	زمان (s)
سن تقریبی عالم	$5 \times 10^{17}$
سن تقریبی زمین	$1/4 \times 10^{17}$
سن متوسط انسان	$2 \times 10^9$
یک سال	$3/1 \times 10^7$
یک شبانه‌روز	$8/6 \times 10^4$
زمان متوسط بین دو ضربان قلب سالم	$8 \times 10^{-1}$

## ..... فعالیت ۱-۱

در بسیاری موارد به جای دانستن لحظه‌ی شروع یا لحظه‌ی پایان یک رویداد، نیاز به اندازه‌گیری مدت زمان آن رویداد داریم. مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد را **بازه‌ی زمانی** می‌نامیم. همان‌طور که می‌دانید در ۳۱ شهریور ۱۳۵۹ جنگ عراق بر ایران تحمیل و در سوم خرداد ۱۳۶۱ خرمشهر از دست متجاوزان عراقی آزاد شد. حساب کنید این دوره یا بازه‌ی زمانی جنگ تحمیلی چند روز به طول انجامید. این تعداد روز معادل چند ثانیه است؟ (راهنمایی: ابتدا باید ببینید آیا سال ۱۳۵۹ یا ۱۳۶۰ سال کبیسه بوده است یا نه و سپس از جدول ۱-۲ استفاده کنید).

## ..... یادداشت ریاضی

نمادگذاری علمی: از آن جایی که در برخی از اندازه‌گیری‌ها با عددهای بسیار بزرگ و بسیار کوچک سروکار داریم، لذا برای بیان این عددها، به طوری که خواندن و نوشتن آن‌ها آسان باشد، از نمادگذاری علمی استفاده می‌کنیم. برای مثال شعاع زمین حدود  $6400 \text{ km}$  یعنی برابر  $6400000 \text{ m}$  است. یا جرم یک گلبول قرمز برابر  $9 \text{ kg}$  بدیهي است نوشتن و خواندن این‌گونه عددها دشوار است و موجب اشتباه نیز می‌شود. در نمادگذاری علمی هر مقدار را به صورت حاصل ضرب عددی بین ۱ و  $10$  و توان صحیحی از  $10$  می‌نویسند. برای مثال شعاع زمین به صورت  $6.4 \times 10^6 \text{ m}$  و جرم یک گلبول قرمز به صورت  $9 \times 10^{-14} \text{ kg}$  نوشته می‌شود. توجه کنید که در مورد عددهای اعشاری به تعداد شماره‌هایی که ممیز به جلو آورده می‌شود، برای ده توان منفی گذاشته می‌شود.

**طول:** یکای طول در SI متر نام دارد که آن را با نماد  $m$  نمایش می‌دهند. بنا بر آخرین تعریف مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها در سال ۱۳۶۲ (ه. ش.)، یک متر برابر فاصله‌ای است که نور در بازه‌ی زمانی  $\frac{1}{299792458}$  ثانیه، در خلأ می‌پیماید. این تعریف بسیار تخصصی (که لازم نیست آن را از بر کنید!) برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق طول به کار می‌رود. شکل ۱-۴ میله‌ی استاندارد طول را نشان می‌دهد.

وقتی طول‌هایی را اندازه می‌گیریم که از یک متر خیلی بزرگ‌تر یا خیلی کوچک‌ترند، معمولاً یک‌گاهی را به کار می‌بریم که ده‌ها بار از متر بزرگ‌تر یا کوچک‌ترند. برای مثال، ضخامت یک ورقه‌ی کاغذ، اگر بر حسب میلی‌متر بیان شود بسیار مناسب‌تر است تا بر حسب متر. در جدول ۱-۳ برخی از یکاهای بزرگ‌تر و کوچک‌تر از متر آمده است و جدول ۱-۴ گستره‌ی برخی از طول‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴ میله‌ی استاندارد طول از جنس پلاتین - ایریدیم که در موزه ای نزدیک پاریس نگهداری می‌شود.



جدول ۱-۳ برخی از بکاهای بزرگ‌تر و کوچک‌تر از متر

بر حسب متر (m)	یکا
۱۰۰۰ یا $10^3$	۱ کیلومتر (km)
۰/۰۱ یا $10^{-2}$	۱ سانتی‌متر (cm)
۰/۰۰۱ یا $10^{-3}$	۱ میلی‌متر (mm)
۰/۰۰۰۰۰۰۱ یا $10^{-6}$	۱ میکرومتر ( $\mu\text{m}$ )
۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱ یا $10^{-9}$	۱ نانومتر (nm)

بیش‌تر بدانید

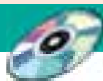


وسایل اندازه‌گیری

جدول ۱-۴ گستره‌ی برخی از طول‌های اندازه‌گیری شده

طول (m)	اندازه‌گیری
$2 \times 10^{22}$	فاصله‌ی منظومه شمسی تا کهکشان امرأة‌المسلسله
$6 \times 10^{19}$	شعاع کهکشان راه شیری
$4 \times 10^{16}$	فاصله تا نزدیک‌ترین ستاره (پروکسیما سنتوری)
$7 \times 10^8$	شعاع خورشید
$6 \times 10^6$	شعاع زمین
$9 \times 10^3$	ارتفاع قله‌ی اورست
$1 \times 10^{-4}$	ضخامت صفحه‌ی این کتاب
$1 \times 10^{-6}$	اندازه‌ی یک ویروس
$5 \times 10^{-11}$	شعاع اتم هیدروژن

تشبیه‌سازی



- آشنایی با کولیس
- آشنایی با ریز سنج
- آشنایی با عمق سنج
- از مقیاس‌های بزرگ تا مقیاس‌های ریز

### ..... مثال ۱-۱

میکرومتر ( $\mu\text{m}$ ) اغلب میکرون نامیده می‌شود. با توجه به جدول‌های ۱-۳ و ۱-۴، اندازه‌ی یک ویروس چند میکرون است؟  
**حل:** با توجه به جدول ۱-۳، هر میکرومتر یا میکرون برابر  $10^{-6} \text{ m}$  است، بنابراین، با توجه به جدول ۱-۴ اندازه‌ی یک ویروس  $1 \mu\text{m}$  یا یک میکرون است.

### ..... فعالیت ۲-۱

ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع  $104 \text{ cm}$  و هر فرسنگ  $6000$  ذرع است. حساب کنید قطر زمین تقریباً چند ذرع و چند فرسنگ است؟ قطر متوسط زمین را  $12800 \text{ km}$  بگیرید (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵

### ..... مطالعاتی آزاد

#### خطا در اندازه‌گیری

در اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف مانند طول، جرم، زمان و غیره هیچ‌گاه نمی‌توان اندازه‌ی واقعی را به دست آورد. زیرا در هنگام اندازه‌گیری دچار خطاهایی می‌شویم. با انتخاب وسیله‌های دقیق و روش صحیح اندازه‌گیری می‌توان مقدار خطا را کاهش داد، اما اندازه‌ی آن به صفر نمی‌رسد. توجه به این نکته ضروری است که در نوشتن یا بیان نتیجه‌های حاصل از اندازه‌گیری باید رقمهایی را که خارج از حدود دقت ابزار اندازه‌گیری است حذف کرد. اگر به کمک خطکشی که دقت آن تا میلی‌متر است طول و عرض مستطیلی را به ترتیب  $a = 3/6 \text{ cm}$  و  $b = 2/4 \text{ cm}$  اندازه‌گیری شده باشد مساحت مستطیل با توجه به رابطه  $A = ab$  برابر  $8/64 \text{ cm}^2$  می‌شود. اما با توجه به این‌که دقت ابزار اندازه‌گیری ما، یعنی خطکشی، تنها تا میلی‌متر بوده است لذا باید گفت مساحت مستطیل  $A = 8/6 \text{ cm}^2$  است. به عبارت دیگر وقتی مساحت  $A$  را برابر  $8/64 \text{ cm}^2$  گزارش می‌دهیم، نتیجه را با دقتی بیان کرده‌ایم که ابزار اندازه‌گیری ما فاقد آن دقت بوده است.



شکل ۱-۶ استوانه‌ی استاندارد جرم از جنس پلاتین - ایریدیم که در موزه‌های نزدیک پاریس نگهداری می‌شود.

#### فعالیت عملی



- آشنایی با برخی از وسایل اندازه‌گیری

#### شبیه‌سازی



- تبدیل یکاها
- از مقیاس‌های بزرگ تا مقیاس‌های کوچک

**جرم:** یکای جرم در SI کیلوگرم نام دارد که آن را با نماد kg نمایش می‌دهند. استاندارد جرم در SI، جرم استوانه‌ای از جنس پلاتین - ایریدیم است که در سازمان بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها در نزدیکی پاریس نگهداری می‌شود (شکل ۱-۶). در جدول ۱-۵ گستره‌ی برخی از جرم‌های اندازه‌گیری شده آمده است.

جدول ۱-۵ گستره‌ی برخی از جرم‌های اندازه‌گیری شده

جرم (kg)	جسم
$2 \times 10^{41}$	کهکشان راه شیری
$2 \times 10^{30}$	خورشید
$6 \times 10^{24}$	زمین
$7 \times 10^{22}$	ماه
$5 \times 10^3$	فیل (معمولی)
$6 \times 10^1$	انسان (معمولی)
$3 \times 10^{-3}$	حبه‌ی انگور
$7 \times 10^{-10}$	ذره‌ی خاک
$1 \times 10^{-15}$	ویروس
$2 \times 10^{-27}$	پروتون
$9 \times 10^{-31}$	الکترون

### ..... فعالیت ۱-۳

خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی است که برای اندازه‌گیری جرم به کار می‌رفته است. این یکاها به صورت زیر با یکدیگر مرتبطاند

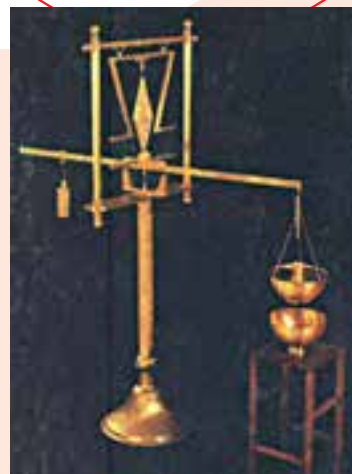
$$۱ \text{ خروار} = ۱۰۰ \text{ من تبریز}$$

$$۱ \text{ من تبریز} = ۴۰ \text{ سیر} = ۶۴۰ \text{ مثقال}$$

$$۱ \text{ مثقال} = ۲۴ \text{ نخود} = ۹۶ \text{ گندم}$$

با توجه به این که هر مثقال معادل  $۴/۸۶$  گرم است، هر کدام از این یکاها را برحسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

این فعالیت را در خانه و به کمک دیگر اعضای خانواده‌ی خود انجام دهید و گزارشی از آن تهیه کنید و به کلاس درس ارائه دهید.



ترازوی حکمت

ترازوی حکمت یکی از جالب‌ترین وسایل ساخته شده به وسیله‌ی دانشمندان اسلامی به شمار می‌رود. شواهد نشان می‌دهند که این ترازو در اواخر قرن پنجم یا اوایل قرن ششم هجری قمری توسط عبدالرحمان خازنی ساخته شده است. برخلاف شناخت امروزین ما از ترازو که با شنیدن نام آن، وسیله‌ای با یک یا دو کفه را مجسم می‌نماییم، ترازوی حکمت (میزان الحکمه) از هفت کفه تشکیل شده بوده است. این کفه‌ها در عین آن که پیچیدگی بسیاری به این وسیله می‌داده اند، باعث می‌شده‌اند دقت وسیله در سنجش اوزان بالا رود به طوری که امروز ثابت شده است با ترازوی حکمت می‌توان جرم اجسام را تا دقت یک دهم گرم تعیین کرد.

### ۱-۳ کمیت‌های فیزیکی

برای بررسی و مطالعه‌ی پدیده‌های فیزیکی به طور کمی، از یک دسته کمیت‌های فیزیکی استفاده می‌کنیم، به طوری که علم فیزیک مبتنی بر اندازه‌گیری این کمیت‌هاست.

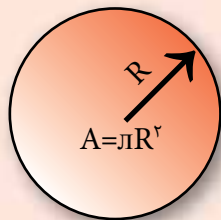
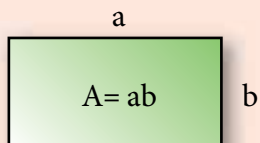
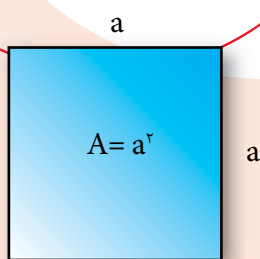
**کمیت‌های اصلی:** به کمیت‌هایی که به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری باشند، کمیت‌های اصلی گفته می‌شود. همان‌طور که دیدیم زمان، طول و جرم از جمله کمیت‌های اصلی در SI هستند که می‌توان آن‌ها را به طور مستقیم اندازه گرفت.

**کمیت‌های فرعی:** برای اندازه‌گیری تعداد بسیار زیادی از کمیت‌ها در فیزیک باید از رابطه‌هایی

که بین کمیت‌ها وجود دارد استفاده کنیم و به‌طور غیر مستقیم کمیت موردنظر را اندازه بگیریم. به کمیت‌هایی که روشی مستقیم برای اندازه‌گیری آن‌ها وجود ندارد، کمیت‌های فرعی گفته می‌شود. برای مثال در علوم دوره‌ی راهنمایی دیدیم اگر بخواهیم سرعت متوسط دوچرخه‌سواری را حساب کنیم (شکل ۱-۷)، باید فاصله‌ی طی شده را بر زمانی که این مسافت طی می‌شود تقسیم کنیم و مقدار سرعت متوسط دوچرخه‌سوار را به دست

شکل ۱-۷ دوچرخه سوار طی زمان معینی فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی A و B را طی کرده است.





شکل ۱-۸ مساحت چند شکل منظم



شکل ۱-۹

آوریم. به این ترتیب یکای سرعت متوسط از تقسیم دو یکای اصلی به دست می‌آید و در SI یکای آن متر بر ثانیه (m/s) است. مساحت و حجم از کمیت‌های فرعی دیگری هستند که پیش از این با چگونگی اندازه‌گیری یا محاسبه‌ی آن‌ها آشنا شده‌اید. همان‌طور که به یاد دارید برای محاسبه‌ی مساحت سطح یک جسم که شکل هندسی منظم دارد، می‌توانیم از رابطه‌ی مربوط به مساحت آن سطح استفاده کنیم. مثلاً مساحت مستطیلی به ضلع‌های  $a$  و  $b$  برابر  $A = ab$  و مساحت یک قرص دایره‌ای به شعاع  $R$  برابر  $A = \pi R^2$  است. اما شکل سطح هرچه باشد، واحد مساحت در SI متر مربع است که به صورت  $m^2$  نوشته می‌شود (شکل ۱-۸). سانتی‌متر مربع  $cm^2$  واحد دیگری برای مساحت است که به صورت زیر با متر مربع رابطه دارد:

$$1m^2 = 100cm \times 100cm = 10^4cm^2$$

همچنین به یاد دارید که حجم یک مکعب مستطیل به ابعاد  $a$  و  $b$  و  $c$  برابر  $v = abc$  است. یکای حجم در SI متر مکعب است که به صورت  $m^3$  نوشته می‌شود. یکاهای دسی‌متر مکعب (لیتر) و سانتی‌متر مکعب، یکاهای کوچک‌تر از متر مکعب‌اند که به صورت زیر با یکدیگر رابطه دارند:

$$1m^3 = 10^3 \text{ lit} = 10^6cm^3$$

## ..... فعالیت ۱-۴

مطابق شکل ۱-۹ قطعه‌ای سنگ به شکل نامنظم در اختیار داریم. آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوان حجم این قطعه سنگ را اندازه گرفت.

## ۱-۴ کمیت‌های نرده‌ای و برداری

در بخش قبل دیدیم که برخی از کمیت‌های فیزیکی مانند جرم، زمان و طول را که در SI کمیت‌های اصلی نامیده می‌شوند می‌توان به‌طور مستقیم اندازه گرفت. همچنین تعداد بسیاری دیگر از کمیت‌ها مانند حجم، سرعت، نیرو، انرژی، توان و ... را که در SI کمیت‌های فرعی نامیده می‌شوند تنها به‌طور غیرمستقیم قابل اندازه‌گیری هستند. به این ترتیب کمیت‌های فیزیکی با توجه به چگونگی اندازه‌گیری آن‌ها، که می‌تواند مستقیم یا غیرمستقیم باشد، به کمیت‌های اصلی و فرعی رده‌بندی می‌شوند. از سوی دیگر کمیت‌های فیزیکی به دو نوع **نرده‌ای** و **برداری** نیز تقسیم می‌شوند که در ادامه با این تقسیم‌بندی بیش‌تر آشنا خواهیم شد.

### کمیت‌های نرده‌ای: کمیت‌هایی مانند جرم یک جسم، تعداد صفحه‌های یک کتاب، حجم

یک استخر، مساحت حیاط مدرسه‌ی شما، زمان اذان مغرب در روز معینی از سال در یک محل خاص، طول قد شما و نظایر آن که تنها با یک عدد و یکای مشخص می‌شوند، کمیت‌های نرده‌ای (عددی) نامیده می‌شوند.

جمع، تفریق، تقسیم و دیگر محاسبه‌های ریاضی کمیت‌های نرده‌ای، از قاعده‌های متداول در ریاضی پیروی می‌کنند. به‌طور مثال اگر یک لیتر آب را در ظرفی که دو لیتر آب دارد بریزیم، سه لیتر آب در ظرف خواهیم داشت:

$$3 \text{ لیتر} = 2 \text{ لیتر} + 1 \text{ لیتر}$$

### کمیت‌های برداری: فرض کنید از دانش‌آموزی پرسیده شود که فاصله‌ی خانه تا مدرسه‌اش

چقدر است؟ و او بگوید «۱۲۵۰ متر». آیا با این پاسخ می‌توان با پیمودن یک مسیر دلخواه به مسافت ۱۲۵۰ متر از خانه‌ی او به مدرسه‌اش رسید؟ آشکار است که پاسخ منفی است، زیرا نقطه‌های زیادی هستند که فاصله‌ی آن‌ها از خانه‌ی او ۱۲۵۰ متر است (شکل ۱-۱۰). بنابراین موقعیت مدرسه نسبت به خانه را نمی‌توان تنها با یک عدد بیان کرد. بلکه باید جهتی را هم، مثلاً جنوب غربی، بر آن عدد اضافه کرد.

در فیزیک کمیت‌هایی وجود دارد که افزون بر مقدار یا اندازه، دارای جهت نیز هستند و جمع آن‌ها نیز از قاعده‌های معینی پیروی می‌کند. به این کمیت‌ها، کمیت‌های برداری گفته می‌شود. جابه‌جایی، سرعت، شتاب و نیرو از جمله کمیت‌های برداری هستند که در فصل‌های بعدی با آن‌ها بیشتر آشنا خواهیم شد.

برای نشان دادن هر بردار دلخواهی مانند بردار  $\vec{A}$ ، از خط جهت‌داری استفاده می‌کنیم که طول آن خط، اندازه‌ی بردار و جهت آن، جهت بردار را نشان می‌دهد (شکل ۱-۱۱).

در صورتی که اندازه و جهت دو بردار مطابق شکل ۱-۱۲ یکسان باشد، دو بردار را مساوی می‌نامند و می‌توان نوشت  $\vec{A} = \vec{B}$ .

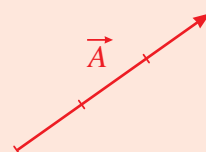
### جمع بردارها: در این جا تنها جمع بردارها را برای دو حالت خاص که بردارها هم‌راستا یا

عمود بر هم باشند بررسی خواهیم کرد.

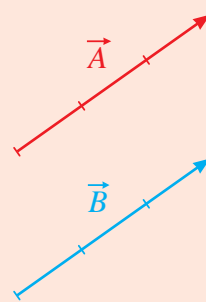
در صورتی که دو بردار در یک راستا باشند افزون بر بزرگی آن‌ها، به جهت آن‌ها نیز باید توجه کنیم. شکل ۱-۱۳ الف دو بردار موازی هم جهت  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  را نشان می‌دهد که بزرگی آن‌ها به ترتیب ۲ و ۳ واحد است. بردار  $\vec{R}$  در شکل ۱-۱۳ ب جمع این دو بردار را نشان می‌دهد که بزرگی



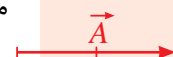
شکل ۱-۱۰



شکل ۱-۱۱ بردار  $\vec{A}$  با طول ۳ واحد



شکل ۱-۱۲ دو بردار مساوی  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  که جهت یکسان و بزرگی برابری دارند.



الف

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

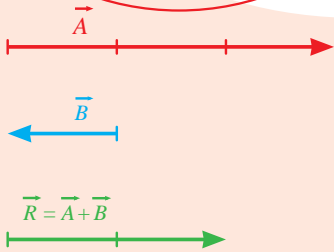
ب

شکل ۱-۱۳ جمع دو بردار موازی و هم‌جهت از قاعده‌ی جمع معمولی پیروی می‌کند.

آن برابر ۵ واحد و در جهت بردارهای  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  است.

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

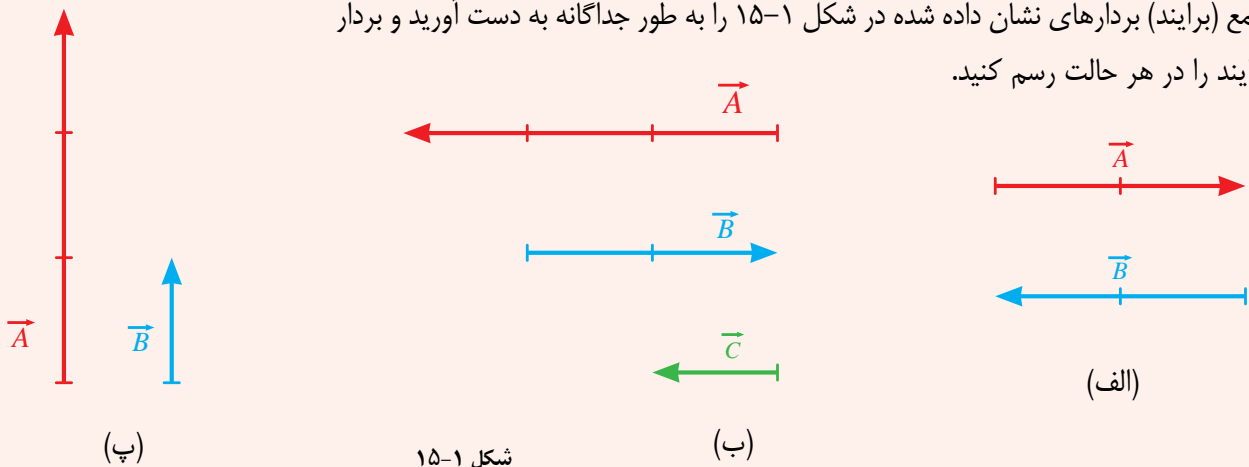
شکل ۱۴-۱ الف دو بردار موازی و غیر هم‌جهت  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  را نشان می‌دهد که بزرگی آن‌ها به ترتیب ۳ و ۱ واحد است. بردار  $\vec{R}$  در شکل ۱۴-۱ ب، جمع این دو بردار را نشان می‌دهد که بزرگی آن برابر ۲ واحد و در جهت بردار بزرگ‌تر، یعنی بردار  $\vec{A}$  است. معمولاً  $\vec{R}$  را، بردار برایند  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  نیز می‌نامند.



شکل ۱۴-۱ ب جمع دو بردار موازی و غیرهم‌جهت از قاعده‌ی جمع جبری پیروی می‌کند. بزرگی بردار  $\vec{R}$  برابر  $A-B$  است. علامت منفی نشان می‌دهد که جهت بردار  $\vec{B}$  برخلاف جهت بردار  $\vec{A}$  است.

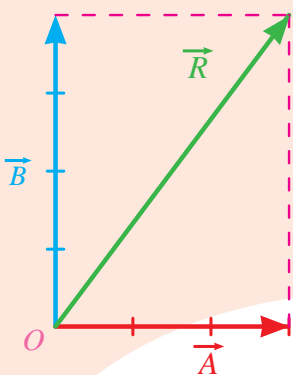
### تمرین ۱-۱

جمع (برایند) بردارهای نشان داده شده در شکل ۱۵-۱ را به طور جداگانه به دست آورید و بردار برایند را در هر حالت رسم کنید.



شکل ۱۵-۱

در حالت‌های خاص دیگری که دو بردار  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  بر هم عمود باشند، اندازه‌ی برایند آن‌ها  $\vec{R}$ ، به سادگی و از طریق محاسبه به دست می‌آید. همان‌طور که در شکل ۱۶-۱ نشان داده شده است برای به دست آوردن برایند دو بردار عمود بر هم  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$ ، ابتدا آن‌ها را از نقطه‌ی مشترک O رسم کرده و سپس از انتهای دو بردار خط‌چین‌هایی موازی هر بردار رسم می‌کنیم. برداری که از نقطه‌ی O به محل برخورد این دو خط‌چین رسم می‌شود، برایند  $\vec{R}$ ، دو بردار  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  است. به این ترتیب داریم:



شکل ۱۶-۱

که  $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$ ، که اندازه‌ی بردار برایند  $\vec{R}$  طبق قضیه‌ی فیثاغورس برابر است با:

$$R^2 = A^2 + B^2 = 3^2 + 4^2 \Rightarrow R = \sqrt{25} = 5 \text{ واحد}$$

### مثال ۱-۲

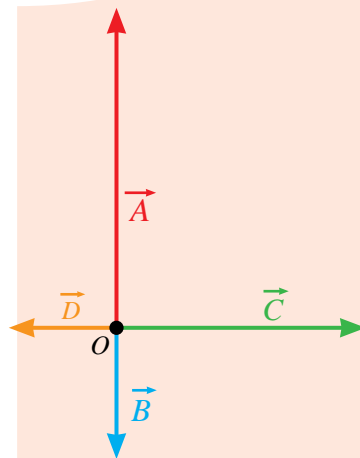
شکل ۱۷-۱ چهار بردار عمود بر هم  $\vec{A}$ ،  $\vec{B}$ ،  $\vec{C}$ ،  $\vec{D}$  را نشان می‌دهد که از نقطه‌ی مشترک  $O$  رسم شده‌اند. اگر اندازه‌ی این بردارها به ترتیب ۱۳، ۵، ۱۰ و ۴ واحد باشد، اندازه‌ی بردار برآیند آن‌ها چند واحد است؟

**حل:** شکل ۱۸-۱ بردارهای برآیند  $\vec{R}_1$  و  $\vec{R}_2$  را در دو راستای قائم و افقی نشان می‌دهد، به طوری که داریم:

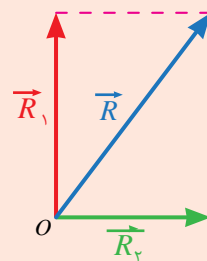
$$\vec{R}_1 = \vec{A} + \vec{B} \quad \text{و} \quad \vec{R}_2 = \vec{C} + \vec{D}$$

با توجه به این که اندازه‌ی بردارهای  $\vec{R}_1$  و  $\vec{R}_2$  به ترتیب ۸ و ۶ واحد است، خواهیم داشت:

$$R^2 = R_1^2 + R_2^2 = 8^2 + 6^2 \Rightarrow R = \sqrt{100} = 10 \text{ واحد}$$



شکل ۱۷-۱



شکل ۱۸-۱

### تمرین ۱-۲

اندازه‌ی برآیند دو بردار عمود بر هم  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  برابر ۲۵ واحد است. اگر طول بردار  $\vec{B}$  چهار برابر طول بردار  $\vec{A}$  باشد، اندازه‌ی بردار  $\vec{B}$  چند واحد است؟

#### شبیه‌سازی

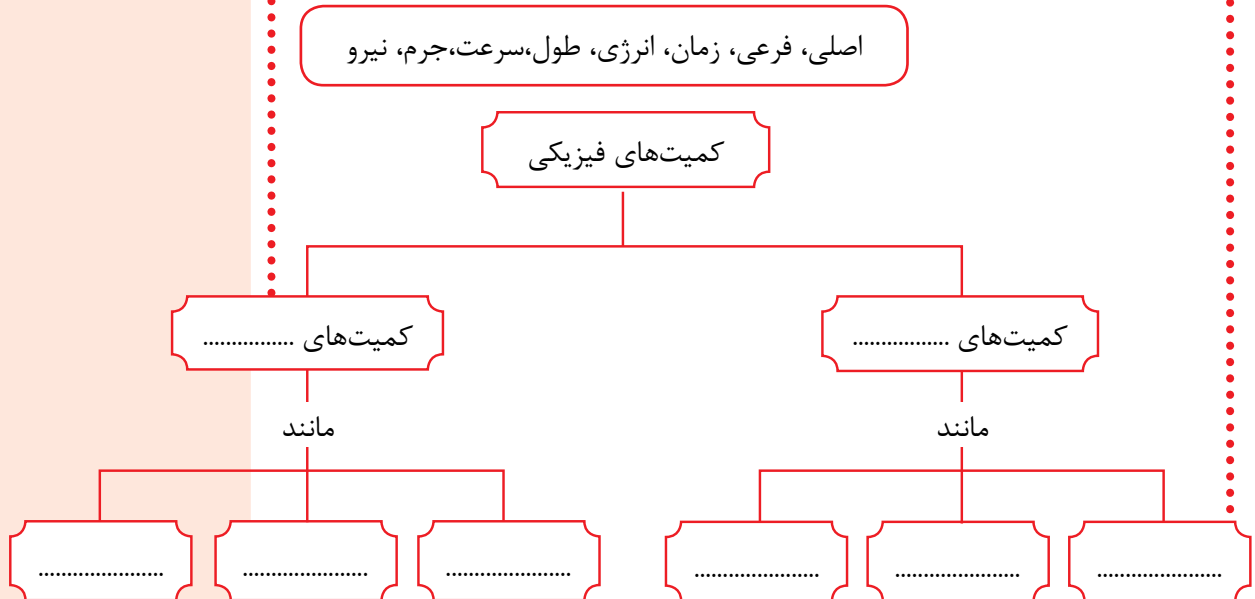


- جمع برداری
- تفریق برداری



## پرسش‌های مفهومی

۱- با استفاده از جعبه‌ی کلمه‌ها، نقشه‌ی مفهومی زیر را کامل کنید.



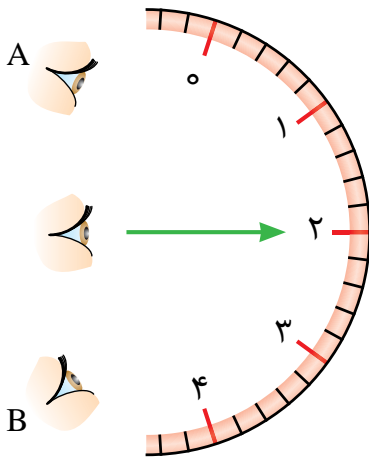
۲- گالیله در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده‌ی تکراری در طبیعت نام ببرید که می‌توانند به عنوان استانداردهای منطقی زمان به کار روند.

۳- سعی کنید به کمک چشم، طول برخی از اجسامی را که در محیط اطرافتان هستند، بر حسب سانتی‌متر یا متر تخمین بزنید. سپس آن‌ها را با خط‌کش یا متر اندازه بگیرید. تخمین‌های شما تا چه حد درست بوده‌اند؟

۴- ساعت‌های مکانیکی (با آونگ) تا قرن هفدهم میلادی هنوز اختراع نشده بودند. تحقیق کنید ایرانی‌ها در زمان‌های قدیم از چه نوع ساعتی برای تعیین زمان استفاده می‌کردند؟

۵- به آدرس [http:// www.physics.nist.gov/GenInt/Time/time.html](http://www.physics.nist.gov/GenInt/Time/time.html) بروید و در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی به صورت مستند تهیه و آن‌ها را به صورت یک پوستر در کلاس درستان نصب کنید. توصیه می‌شود این فعالیت را به همراه تعدادی از دوستان خود و به صورت گروهی انجام دهید.

۶- در صورتی که از نقطه‌های A و B به عقربه‌ی سنجی شکل ۱-۱۹ نگاه کنید چه اثری روی دقت اندازه‌گیری شما می‌گذارد؟



شکل ۱-۱۹

## مسئله‌ها

۱- یکای مساحت که اغلب برای اندازه‌گیری مساحت زمین به کار می‌رود هکتار است که به صورت  $10^4 \text{ m}^2$  تعریف شده است. مساحت کره‌ی زمین تقریباً چند هکتار است؟ (شعاع زمین را  $6400 \text{ km}$  بگیرید.)

۲- اگر در هر قدم  $0.6 \text{ m}$  جلو بروید، برای پیمودن  $1 \text{ km}$  چند قدم باید بردارید؟

۳- مناسب‌ترین زمان برای هر جلسه کلاس درس حدود  $50$  دقیقه است. هر جلسه کلاس درس چند میکروقرن است؟

۴- دریای نور به جرم  $182$  قیراط، یکی از بزرگ‌ترین الماس‌های شناخته‌شده در ایران است. این الماس به رنگ بسیار کمیاب صورتی شفاف است و در سال  $1118$  هجری شمسی توسط نادرشاه افشار به همراه کوه نور و جواهرات بسیار دیگر از هند به ایران آورده شد و هم‌اکنون در خزانه‌ی جواهرات ملی نگهداری می‌شود. کوه نور نیز یکی دیگر از الماس‌های مشهور جهان است که جرمی حدود  $108$  قیراط دارد و هم‌اکنون در برج لندن نگهداری می‌شود. با توجه به این که هر قیراط معادل  $200$  میلی‌گرم است، جرم دریای نور و کوه نور بر حسب گرم چقدر است؟

۵- الف) اگر قلب شما در هر دقیقه  $70$  بار بزند، در سال چند بار می‌زند؟  
ب) اگر قلب شما در هر ثانیه  $92 \text{ cm}^3$  خون تلمبه کند و حجم کل خون شما  $5/5$  لیتر باشد، چه مدت طول می‌کشد تا این که خون شما در دستگاه گردش خون یک دور کامل بزند؟ (توجه کنید که:  $1 \text{ lit} = 1000 \text{ cm}^3$ )

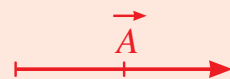
۶- اگر جرم  $1 \text{ cm}^3$  آب  $1 \text{ g}$  باشد، جرم  $1 \text{ m}^3$  آب را بر حسب کیلوگرم پیدا کنید.

۷- شخصی به این صورت قدم می‌زند:  $2/2 \text{ km}$  به طرف شمال، سپس  $1/6 \text{ km}$  به طرف غرب، و سرانجام  $3/4 \text{ km}$  به طرف جنوب. نمودار برداری حرکت این شخص را رسم کنید.

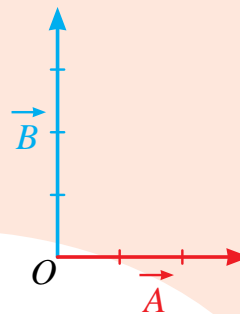
۸- براین دو بردار عمود بر هم  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  برابر  $20$  واحد است. اگر نسبت اندازه‌های بردار  $\vec{A}$  به بردار  $\vec{B}$  برابر  $3/4$  باشد، اندازه‌ی بردار  $\vec{A}$  چند واحد است؟

۹- بردار  $\vec{A}$  به طول  $2$  واحد در شکل ۱-۲۰ رسم شده است. بردار  $\vec{A}$   $3/5$  را رسم کنید.

۱۰- برای دو بردار عمود بر هم  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  در شکل ۱-۲۱ داریم  $A=3$  و  $B=4$  واحد. بزرگی براین دو بردار را پس از رسم، یک‌بار با محاسبه و بار دیگر با خط‌کش به دست آورید.



شکل ۱-۲۰



شکل ۱-۲۱