

حضرت حافظ می گوید:

بنازم آن مژه شوخ عافیت‌کش را که موج می‌زندش آب‌نوش بر سر نیش

به نظرم خیلی بیت فشنگی است، قدرت تصویرسازی و ارتباط تصویر و مفهوم در این بیت آن قدر زیاد است که اولاً به قول ادیبان، آدم انگشت حیرت به دندان می‌گزد و ثانیاً می‌رود سرکار که ببینید معنی آن چه خوانده، چیست!؟! اما ممکن است پرسید این بیت در مقدمه کتاب ماجرای بیست فیزیک سال دوازدهم چه می‌کند. سؤال خوبی است. راستش خواستم بگویم بالأخره ما آن قدر از ادبیات سرمان می‌شود که بتوانیم یک بیت در مورد موج و ارتعاش بیاوریم. جواب بالا شوخی بود، حقیقتش این است که زیبایی فیزیک از بعضی جهات در حد زیبایی‌های شعرهای حافظ است. اما هر دوی این زیبایی‌ها را وقتی درمی‌یابید که خوب بفهمید و خوب حسشان کنید. برای فهمیدن خوب و درست و حسابی درس فیزیکتان، این کتاب را برایتان آماده کرده‌ایم که مطمئنیم شگفت‌زده‌تان می‌کند و برای فهمیدن شعر حافظ، دیگر نوبت شماس است که بگویند و بجویند که چه باید بکنند.

به هر حال توصیه و سفارش ما این است که: بخوانید، بفهمید، حس کنید و زندگی کنید و ...

خوب و خوش باشید.



# مقدمه مؤلف<sup>3</sup>

از آن جایی که درس فیزیک هم در امتحان نهایی‌ها و هم در کنکور نقش فعالی را بازی می‌کند! باید یک بار برای همیشه این درس را به طور عمیق و کامل یاد بگیرید. از طرفی این را باید بدانید که در امتحان نهایی فیزیک باید راه حل‌هایی را بنویسید که در کتاب درسی به آن اشاره شده است و نمی‌توانید از روش‌های تستی در آن استفاده کنید. این موضوعات باعث شد ما تصمیم بگیریم که کتاب ماجرای بیست فیزیک ۱۲ را طوری بنویسیم که شما با خواندن آن و تمرین و تکرار روی آن به اهداف زیر برسید:

**۱** یادگرفتن و حفظ‌شدن تمام تعاریف، مفاهیم و حفظیات آشکار و پنهان کتاب درسی **۲** یادگرفتن و حفظ‌شدن تمامی فرمول‌های فیزیک ۱۲ و موارد مرتبط از پایه که قابل استفاده در امتحان نهایی هستند (حتی فرمول‌های پنهان در تمرین آخر فصل) **۳** نحوه به کار بردن مفاهیم و فرمول‌ها در حین مواجهه با پرسش‌ها و مسئله‌ها **۴** کسب مهارت حل مسئله **۵** تسلط روی مثال‌ها، پرسش‌ها و تمرین‌های کتاب درسی

کتاب ماجرای بیست فیزیک شامل ۴ بخش عمده است که هر کدام را به طور مختصر برایتان توضیح می‌دهیم:

## بخش ۱: درس‌نامه

ما هر فصل را به قسمت‌های کوچک‌تری تقسیم کرده‌ایم و برای هر کدام از آن قسمت‌های کوچک یک درس‌نامه خوب و کاربردی نوشته‌ایم. در این بخش تمامی مفاهیم، تعاریف، فرمول‌ها و نکات ریز و درشت کتاب درسی بیان شده است و با مثال‌های فراوان به آن‌ها عمق بخشیده شده است تا با خواندن آن همه‌چیز را برای امتحان نهایی یاد گرفته باشید.

## تیرها، کادرها و آیکون‌های مورد استفاده در درس‌نامه

**تیر اصلی** این تیر موضوع اصلی یک قسمت از درس‌نامه را مشخص می‌کند. مثلاً: **مکان، جابه‌جایی و مسافت**

**تیر فرعی** این تیر موضوع بخشی از یک تیر اصلی را بیان می‌کند. مثلاً: **جابه‌جایی**

**تیر جزئی:** این تیر موضوع یک مبحث از تیر فرعی را بیان می‌کند. مثلاً: **تفاوت جابه‌جایی و مسافت:**

**کادرهای فرمول و تعریف:** همه فرمول‌ها و تعریف‌هایی را که شما باید حفظ باشید، داخل کادر قرار داده‌ایم. مثل تعریف و فرمول تندی متوسط:

$$S_{av} = \frac{L}{\Delta t}$$

**تندی متوسط:** به نسبت مسافت پیموده‌شده به مدت‌زمان طی آن مسافت، تندی متوسط می‌گوییم.

**کادر این رو بخون که یاد بگیرید:** در این کادرها به شما گفته‌ایم چه‌طور از فرمول یا تعریفی که یاد گرفته‌اید، استفاده کنید؛ مثلاً در کادر زیر به شما گفته‌ایم که چه‌طور می‌توانید از فرمول  $S_{av} = \frac{L}{\Delta t}$  برای به دست آوردن تندی متوسط در یک مسئله استفاده کنید.

## این رو بخون که یاد بگیرید

(در صفحه ۱۵ کتاب مشاهده کنید.)

**کادر حالا خودت جواب بده:** نوبتی هم باشه نوبت شماست! ما تعریف، فرمول و نحوه به کار بردن آن‌ها را برایتان گفتیم، حالا شما باید خودتان دست به کار شوید و آن‌ها را در یک سؤال به کار ببرید. این شما و این کادر حالا خودت جواب بده.

## حالا خودت جواب بده

(در صفحه ۱۵ کتاب مشاهده کنید.)

**آیکون‌ها:** در درس‌نامه به آیکون‌هایی مثل **نکته**، **توجه**، **تذکر** و ... برخورد می‌کنید. همان‌طور که از اسمشان مشخص است باید دقتتان هنگام خواندن این‌جا چند برابر شود.

## بخش ۲: سؤال‌های امتحانی

بعد از درس‌نامه هر درس سؤال‌های امتحانی آن درس قرار گرفته است. این سؤال‌ها شامل سؤال‌های امتحان نهایی‌های سال‌های گذشته به صورت طبقه‌بندی‌شده، سؤال‌های مشابهت‌سازی‌شده مثال‌ها و تمرین‌های کتاب درسی و سؤال‌های تألیفی سخت و پیشرو است که به شما این اطمینان را بدهد که هر سؤالی که در امتحان نهایی فیزیکتان می‌آید، عین آن و یا مشابهش را قبلاً در کتاب فیزیک دوازدهم ماجرای بیست دیده‌اید.

## بخش ۳: پاسخ تشریحی

تمام سؤال‌های امتحانی این کتاب پاسخ تشریحی دارند تا هر موقع نتوانستید که سؤالی را حل کنید، با خیال راحت بروید سراغ بخش پاسخ تشریحی و آن‌جا مشکلاتتان را حل کنید.

## بخش ۴: امتحان‌های نوبت اول و دوم

۲ امتحان نوبت اول و ۴ امتحان نوبت دوم (که ۲ تا تألیفی و سخت است و ۲ تا هم امتحان نهایی خرداد ۱۴۰۲ و خرداد ۱۴۰۳) به همراه پاسخ در انتهای کتاب قرار گرفته است که چیزی برای ۲۰ گرفتن در امتحان نوبت اول و امتحان نهایی کم نداشته باشید!

# فهرست

## فصل اول: حرکت بر خط راست

۷۲	نیروی کشش نخ	درس پنجم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۷۳	نیروی عمودی سطح	درس ششم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۷۷	نیروی اصطکاک و نیروی تکیه‌گاه	درس هفتم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۸۳	نیروی کشسانی فنر	درس هشتم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۸۷	درس نهم: تکانه	
۹۱	درس دهم: نیروی گرانشی	

## فصل سوم: نوسان و امواج

۹۴	درس اول: آشنایی با حرکت هماهنگ ساده
۹۸	درس دوم: نمودار مکان-زمان در حرکت هماهنگ ساده
۱۰۰	درس سوم: نوسانگر جرم-فنر؛ شتاب و نیرو در نوسان هماهنگ ساده
۱۰۳	درس چهارم: انرژی در حرکت هماهنگ ساده
۱۰۸	درس پنجم: آونگ ساده
۱۱۰	درس ششم: بسامد طبیعی، نوسان واداشته و پدیده تشدید
۱۱۳	درس هفتم: موج
۱۱۸	درس هشتم: بررسی دقیق‌تر امواج عرضی
۱۲۴	درس نهم: امواج الکترومغناطیسی
۱۲۷	درس دهم: امواج طولی و مفاهیم اولیه صوت
۱۳۰	درس یازدهم: شدت صوت و تراز آن - ادراک شنوایی
۱۳۴	درس دوازدهم: اثر دوپلر
۱۳۷	درس سیزدهم: پدیده اول: بازتاب موج
۱۴۲	درس چهاردهم: بازتاب امواج الکترومغناطیسی
۱۴۵	درس پانزدهم: پدیده دوم: شکست موج
۱۴۹	درس شانزدهم: شکست امواج الکترومغناطیسی

۸	درس اول: مفاهیم اولیه حرکت شناسی
۱۲	درس دوم: سرعت و تندی
۱۷	درس سوم: شتاب
۲۱	درس چهارم: معادله مکان-زمان (معادله حرکت)
۲۳	درس پنجم: نمودار مکان-زمان
۲۷	درس ششم: نمودار مکان-زمان و ارتباط آن با سرعت و شتاب
۳۰	درس هفتم: معادله و نمودار سرعت-زمان
۳۴	درس هشتم: تعیین شتاب از نمودار سرعت-زمان و معرفی نمودار شتاب-زمان
۳۹	درس نهم: حرکت با سرعت ثابت
۴۲	درس دهم: حرکت دو متحرک با سرعت ثابت
۴۴	درس یازدهم: حرکت با شتاب ثابت روی خط راست و معادله سرعت-زمان در این نوع حرکت
۵۰	درس دوازدهم: معادله مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت
۵۴	درس سیزدهم: معادله مستقل از زمان
۵۵	درس چهاردهم: نمودار مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت
۵۹	درس پانزدهم: حرکت دو متحرک که حداقل یکی از آنها با شتاب ثابت حرکت می‌کند

## فصل دوم: دینامیک

۶۱	درس اول: نیرو و قانون اول نیوتون
۶۴	درس دوم: قانون دوم نیوتون
۶۶	درس سوم: قانون سوم نیوتون
۶۸	درس چهارم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت: نیروی وزن و نیروی مقاومت شاره

## امتحانات

۲۵۱	..... نمونه امتحان نیم‌سال اول (امتحان شماره ۱)
۲۵۳	..... نمونه امتحان نیم‌سال اول (امتحان شماره ۲)
۲۵۵	..... نمونه امتحان نیم‌سال دوم (امتحان شماره ۳)
۲۵۷	..... نمونه امتحان نیم‌سال دوم (امتحان شماره ۴)
۲۵۹	..... نمونه امتحان نیم‌سال دوم (نهایی خرداد ۱۴۰۲)
۲۶۱	..... نمونه امتحان نیم‌سال دوم (نهایی خرداد ۱۴۰۳)
۲۶۳	..... پاسخ سؤال‌های امتحانی

۱۵۶	..... درس اول: فیزیک کلاسیک و فیزیک جدید - پدیده فوتوالکتریک
۱۶۰	..... درس دوم: طیف گسیلی خطی
۱۶۵	..... درس سوم: سیر پیشرفت مدل‌های اتمی
۱۷۰	..... درس چهارم: طیف جذبی - موفقیت‌ها و نارسایی‌های مدل بور
۱۷۴	..... درس پنجم: لیزر
۱۷۶	..... درس ششم: آشنایی با ساختار هسته
۱۷۹	..... درس هفتم: نیروی هسته‌ای و انرژی بستگی هسته
۱۸۲	..... درس هشتم: پرتوزایی
۱۸۶	..... درس نهم: نیمه‌عمر

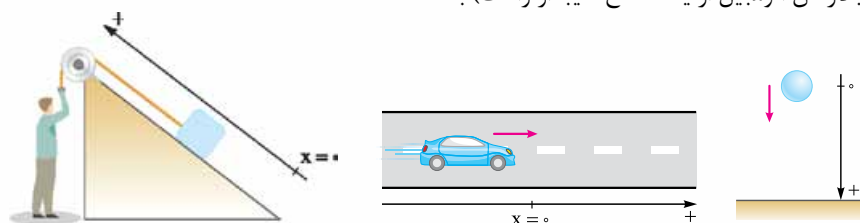
# درس نامہ 9 سوالات امتحانی

# فصل ۱: حرکت بر خط راست

## درس ۱: مفاهیم اولیه حرکت‌شناسی

اطراف ما پر است از اجسامی که در حال حرکت هستند، بنابراین برای درک بهتر این جهان باید حرکت و انواع آن را بررسی کنیم. بررسی حرکت اجسام در شاخه‌ای از دانش فیزیک به نام حرکت‌شناسی (سینماتیک) صورت می‌گیرد. یک جسم می‌تواند در فضا (سه بعد، مثل حرکت زنبور در هوا)، صفحه (دو بعد، مثل حرکت مورچه روی زمین در جهت‌های مختلف) و یا بر خط راست (یک بعد، مثل حرکت حلزون در یک مسیر مستقیم) حرکت کند.

**حرکت بر خط راست** در حرکت بر خط راست، مسیر حرکت خط راستی است که ممکن است افقی (مانند حرکت اتومبیل روی جاده‌ی راست افقی)، قائم (مانند سقوط آزاد یک سنگ) و یا مایل (مانند بالارفتن اتومبیل از یک سطح شیب‌دار راست) باشد.



در این نوع حرکت، مسیر حرکت را به عنوان یکی از محورهای مختصات (X یا Y) در نظر می‌گیریم و نقطه‌ای روی این محور را به عنوان مبدأ مکان ( $x = 0$  یا  $y = 0$ ) اختیار می‌کنیم. به شکل‌های مقابل توجه کنید.

### زمان و مکان

**زمان لحظه:** لحظه به معنای یک تک‌مقدار از زمان است. اگر کمیت زمان را بر روی یک محور نشان دهیم، هر نقطه از این محور، یک لحظه را نشان می‌دهد. **مبدأ زمان:** به لحظه شروع بررسی حرکت ( $t_0$ ) مبدأ زمان می‌گوییم و به آن عدد صفر را نسبت می‌دهیم ( $t_0 = 0$ ). مثلاً در بررسی حرکت یک اتومبیل بنا بر شرایط مسئله می‌توانیم لحظه‌های مختلفی را مبدأ زمان بگیریم؛ مثل لحظه‌ای که چراغ راهنمایی سبز می‌شود، لحظه‌ای که از اتومبیل دیگری سبقت می‌گیرد و یا لحظه‌ای که در فاصله معینی از مکان مشخصی قرار دارد. (معمولاً توو امتحان نوبتی خودتون مبدأ زمان رو مشخص می‌کنن).

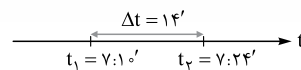
**بازه زمانی:** یک بازه پیوسته بین دو لحظه را بازه زمانی می‌نامیم و آن را با نماد  $(t_1, t_2)$  نشان می‌دهیم. (هواستون باشه  $t_1 < t_2$  است). در واقع بازه زمانی شامل تمام لحظات بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  است. مثلاً بازه زمانی (۰ s, ۳ s) شامل تمام لحظات بین دو لحظه  $t_1 = 0$  s تا  $t_2 = 3$  s است.

مدت زمان بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  که در واقع طول بازه زمانی  $(t_1, t_2)$  است، از رابطه  $\Delta t = t_2 - t_1$  به دست می‌آید. زمان  $\Delta t = t_2 - t_1$

### این رو بخون که یادگیری

**مثن** دانش‌آموزی رأس ساعت هفت و ده دقیقه (لحظه) از منزل به راه می‌افتد و رأس ساعت هفت و بیست و چهار دقیقه (لحظه) به مدرسه می‌رسد. در این صورت طول بازه زمانی حرکت این دانش‌آموز برابر است با:

$$t_1 = 7:10' \Rightarrow \Delta t = t_2 - t_1 = 7:24' - 7:10' = 14' = 14 \text{ min} = 14 \times 60 \text{ s} = 840 \text{ s}$$



### مکان، جابه‌جایی و مسافت

**مبدأ مکان:** همیشه حرکت اجسام را در یک دستگاه مختصات بررسی می‌کنیم. مبدأ این دستگاه مختصات را به عنوان مبدأ مکان در نظر می‌گیریم. مکان یک جسم در هر لحظه، نسبت به مبدأ مکان (مبدأ مختصات) سنجیده می‌شود.

**بردار مکان:** برداری که مبدأ مکان را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، بردار مکان می‌نامیم. اگر با گذشت زمان، بردار مکان یک جسم تغییر کند، می‌گوییم آن جسم حرکت کرده است. مثلاً در شکل مقابل، اتومبیل در لحظه  $t_1$  در نقطه A و در لحظه  $t_2$  در نقطه B است؛ در واقع این یعنی متحرک در بازه زمانی  $(t_1, t_2)$  از نقطه A تا نقطه B روی مسیر مشخص شده حرکت کرده است. بردارهای مکان این اتومبیل را در لحظه‌های  $t_1$  و  $t_2$  به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$\vec{r}_1 = x_1 \vec{i} + y_1 \vec{j} = (250 \text{ m}) \vec{i} + (250 \text{ m}) \vec{j}$$

$$\vec{r}_2 = x_2 \vec{i} + y_2 \vec{j} = (800 \text{ m}) \vec{i} + (500 \text{ m}) \vec{j}$$

**جابه‌جایی:** برداری که مکان اولیه حرکت را به مکان پایانی حرکت وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی می‌نامیم.

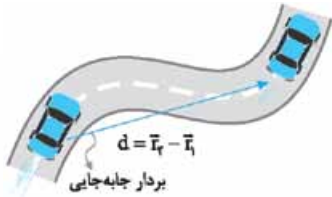
$$\vec{d} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

بردار جابه‌جایی که آن را با  $\vec{d}$  نشان می‌دهیم و به اختصار آن را جابه‌جایی می‌نامیم، از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید:



همان طور که می بینید بردار جابه جایی از تفاضل بردار مکان نهایی و بردار مکان اولیه به دست می آید.

مثلاً در مثال اتومبیل، بردار جابه جایی برابر است با:



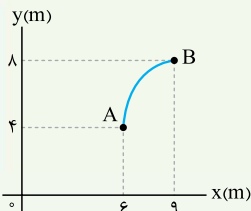
$$\vec{d} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = [(\underbrace{800}_{x_2} \text{ m})\vec{i} + (\underbrace{500}_{y_2} \text{ m})\vec{j}] - [(\underbrace{250}_{x_1} \text{ m})\vec{i} + (\underbrace{250}_{y_1} \text{ m})\vec{j}]$$

$$= (\underbrace{800 \text{ m} - 250 \text{ m}}_{\Delta x})\vec{i} + (\underbrace{500 \text{ m} - 250 \text{ m}}_{\Delta y})\vec{j} = (550 \text{ m})\vec{i} + (250 \text{ m})\vec{j}$$

**نکته** اندازه بردار جابه جایی را با  $d$  یا  $|\vec{d}|$  نشان می دهیم و آن را در دو بعد از رابطه  $d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$  به دست می آوریم.

### حالا خودت جواب بده

**مثال** متحرکی از نقطه A به نقطه B می رود؛ اندازه بردار جابه جایی این متحرک را به دست آورید.



**پاسخ روش اول:** ابتدا بردارهای مکان اولیه و نهایی جسم را به صورت  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$  می نویسیم:

$$\vec{r}_A = (6 \text{ m})\vec{i} + (4 \text{ m})\vec{j}, \quad \vec{r}_B = (9 \text{ m})\vec{i} + (8 \text{ m})\vec{j}$$

حالا از تفاضل بردارهای مکان نهایی و اولیه، بردار جابه جایی را به دست می آوریم:

$$\vec{d} = \vec{r}_B - \vec{r}_A = [(9 \text{ m})\vec{i} + (8 \text{ m})\vec{j}] - [(6 \text{ m})\vec{i} + (4 \text{ m})\vec{j}] = (3 \text{ m})\vec{i} + (4 \text{ m})\vec{j}$$

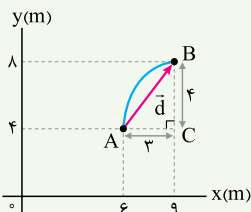
$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(3 \text{ m})^2 + (4 \text{ m})^2} = 5 \text{ m}$$

و در نهایت اندازه بردار جابه جایی را محاسبه می کنیم:

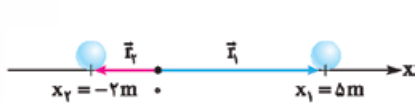
**روش دوم:** ابتدا بردار جابه جایی که نقطه A را به نقطه B وصل می کند، رسم می کنیم.

حالا در مثلث قائم الزاویه ای که تشکیل شده است، طبق رابطه فیثاغورس داریم:

$$AB^2 = AC^2 + CB^2 \Rightarrow AB^2 = (3 \text{ m})^2 + (4 \text{ m})^2 = 25 \text{ m}^2 \Rightarrow |\vec{d}| = AB = 5 \text{ m}$$



**بردارهای مکان و جابه جایی در حرکت بر خط راست:** در حرکت بر خط راست، بردار مکان هم راستا با مسیر حرکت است، اما جهت آن یا در جهت مثبت



$$\begin{cases} \vec{r}_1 = x_1 \vec{i} = (5 \text{ m})\vec{i} \\ \vec{r}_2 = x_2 \vec{i} = (-2 \text{ m})\vec{i} \end{cases}$$

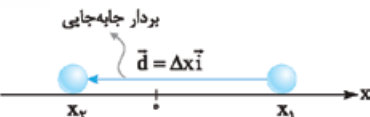
محور است و یا در جهت منفی آن؛ مثلاً در شکل زیر، بردارهای

مکان یک توپ بولینگ در دو لحظه نشان داده شده است.

**نکته** هنگام عبور متحرک از مبدأ محور  $x$ ، بردار مکان متحرک تغییر جهت می دهد.

در حرکت بر خط راست، بردار جابه جایی نیز همیشه با مسیر حرکت هم راستا است، اما جهت آن ممکن است در جهت محور یا در خلاف جهت آن

باشد. بردار جابه جایی در حرکت بر خط راست:  $\vec{d} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = x_2 \vec{i} - x_1 \vec{i} = \Delta x \vec{i}$



برای نمونه در مثال توپ بولینگ داریم:

$$\vec{d} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (-2 \text{ m})\vec{i} - (5 \text{ m})\vec{i} = (-7 \text{ m})\vec{i}$$

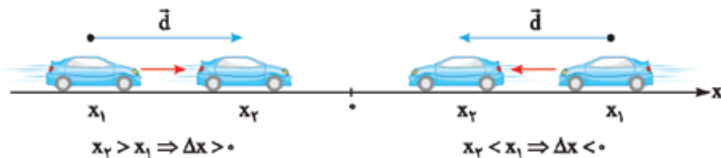
اندازه بردار جابه جایی را با  $d$  یا  $|\vec{d}|$  نشان می دهیم؛ مثلاً در نمونه بالا  $d = 7 \text{ m}$  است.

**توجه** بردار جابه جایی به مبدأ مختصات انتخاب شده بستگی ندارد. برای مثال در نمونه حرکت توپ بولینگ اگر هر نقطه دیگری را به عنوان مبدأ

مختصات (مکان) انتخاب کنیم، بردار جابه جایی همان  $\vec{d} = (-7 \text{ m})\vec{i}$  است.

**یک خبر خوب!** در حرکت بر خط راست می توانیم مکان و جابه جایی را به جای بردار با یک عدد نشان دهیم.

**برای مکان،** اگر متحرک در سمت راست مبدأ باشد، این عدد مثبت ( $x > 0$ ) و اگر در سمت چپ مبدأ باشد، این عدد منفی است. ( $x < 0$ )



بنابراین اگر جسمی در لحظه  $t_1$  در مکان  $x_1$  و در لحظه  $t_2$

در مکان  $x_2$  باشد، جابه جایی جسم در بازه زمانی  $\Delta t$  برابر

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

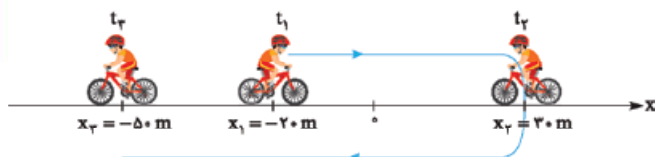
خواهد بود با:

$\Rightarrow x_2 > x_1 \Rightarrow \Delta x > 0$  اگر متحرک در جهت مثبت محور جابه جا شده باشد.

$\Rightarrow x_2 < x_1 \Rightarrow \Delta x < 0$  اگر متحرک در خلاف جهت مثبت محور جابه جا شده باشد.

### این رو بخون که یاد بگیری

**مثان** یک دوچرخه‌سوار حواس‌پرت در لحظه  $t_1$  از مکان  $x_1$  به راه می‌افتد و در لحظه  $t_2$  به مکان  $x_2$  می‌رسد. این دوچرخه‌سوار در این لحظه



متوجه می‌شود که مسیر را اشتباه آمده است؛ بنابراین دور می‌زند و در لحظه  $t_3$  به مکان  $x_3$  می‌رسد. در این صورت مطابق شکل روبه‌رو، مکان متحرک در لحظات  $t_1$  و  $t_2$  و  $t_3$  به ترتیب  $x_1 = -20 \text{ m}$ ،  $x_2 = 30 \text{ m}$  و  $x_3 = -50 \text{ m}$  است.

با توجه به این اطلاعات جابه‌جایی دوچرخه‌سوار در بازه‌های زمانی  $(t_1, t_2)$ ،  $(t_2, t_3)$  و  $(t_1, t_3)$  برابر است با:

$$\Delta x_{(t_1, t_2)} = x_2 - x_1 = (+30 \text{ m}) - (-20 \text{ m}) = +50 \text{ m} \quad \Delta x_{(t_2, t_3)} = x_3 - x_2 = (-50 \text{ m}) - (+30 \text{ m}) = -80 \text{ m}$$

$$\Delta x_{(t_1, t_3)} = x_3 - x_1 = (-50 \text{ m}) - (-20 \text{ m}) = -30 \text{ m}$$

### مسافت و تفاوت‌های آن با جابه‌جایی

**مسافت پیموده‌شده (۱):** به مجموع طول‌های پیموده‌شده توسط متحرک (طول مسیر حرکت)، **مسافت پیموده‌شده** و یا به اختصار **مسافت** می‌گوییم.

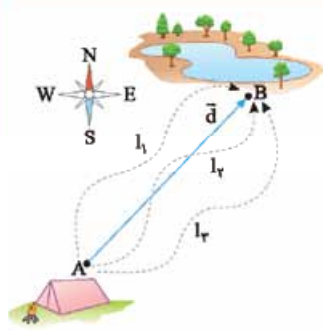
**تفاوت جابه‌جایی و مسافت** هر چند یکای استاندارد مسافت طی‌شده، مانند یکای استاندارد جابه‌جایی، متر (m) است، اما این دو کمیت تفاوت‌های مهمی دارند که حالا می‌خواهیم آن‌ها را بیان کنیم:

**۱ جابه‌جایی کمیتی برداری است؛** بنابراین علاوه بر بزرگی دارای جهت نیز می‌باشد. اگر بخواهیم چند جابه‌جایی را با هم جمع کنیم، باید از جمع برداری استفاده کنیم؛ اما مسافت طی‌شده کمیتی نرده‌ای است که جهت ندارد و اگر بخواهیم چند مسافت را با هم جمع کنیم، باید آن‌ها را به صورت جبری جمع کنیم. (همون جمع معمولی فودمون)

**۲ جابه‌جایی به مسیر حرکت بستگی ندارد،** بلکه فقط به نقاط ابتدایی و انتهایی حرکت وابسته است. اما مسافت طی‌شده کاملاً به مسیر حرکت بستگی دارد. اگر چند متحرک از مسیرهای متفاوت بین دو نقطه معین جابه‌جا شوند، بردار جابه‌جایی برای همه آن‌ها یکسان است اما مسافت‌های پیموده‌شده توسط آن‌ها یکسان نیست.

### این رو بخون که یاد بگیری

**مثان** در شکل مقابل چند گردشگر از مسیرهای مختلف از کمپ خود تا دریاچه می‌روند. همان‌طور که



در شکل می‌بینید بردار جابه‌جایی همه آن‌ها  $\vec{d}$  است، اما مسافت پیموده‌شده توسط آن‌ها  $(l_1, l_2, l_3)$  متفاوت است.

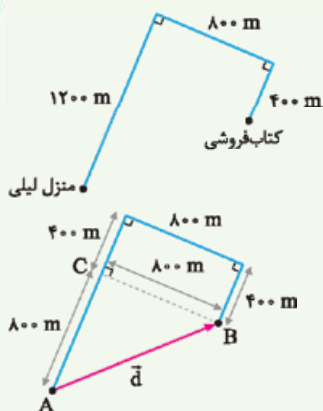
**نکته** اگر مسیر حرکت جسمی خط راست نباشد، مسافت طی‌شده توسط آن قطعاً از اندازه جابه‌جایی بزرگ‌تر است. فقط در حرکت بر خط راست، آن هم به شرطی که متحرک تغییر جهت ندهد، مسافت طی‌شده با اندازه جابه‌جایی برابر می‌شود؛ یعنی همواره داریم:  $l \geq |\vec{d}|$

### حالا خودت جواب بده

**مثان** لیلی برای رفتن به کتاب‌فروشی، مسیر منزل تا کتاب‌فروشی را مطابق شکل طی می‌کند.

الف) بردار جابه‌جایی لیلی را رسم کرده و اندازه آن را به دست آورید.

ب) مسافت طی‌شده توسط لیلی را محاسبه کنید.



**پاسخ الف** بردار جابه‌جایی لیلی برداری است که مکان اولیه لیلی (منزل) را به مکان ثانویه او

(کتاب‌فروشی) وصل می‌کند. اول این بردار ( $\vec{d}$ ) را در شکل روبه‌رو رسم می‌کنیم:

حالا با توجه به شکل، می‌توانیم با استفاده از رابطه فیثاغورس اندازه بردار جابه‌جایی را به دست آوریم:

$$|\vec{d}| = AB = \sqrt{AC^2 + CB^2} = \sqrt{800^2 + 400^2} = 800\sqrt{2} \text{ m} \approx 1131 / 4 \text{ m}$$

**پ** مسافت طی‌شده توسط لیلی با مجموع طول‌های پیموده‌شده توسط او برابر است؛ یعنی:  $l = 1200 \text{ m} + 800 \text{ m} + 400 \text{ m} = 2400 \text{ m}$  همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، چون لیلی تغییر جهت داده است، مسافت طی‌شده توسط لیلی از اندازه جابه‌جایی او بزرگ‌تر است.

**مسافت طی‌شده در حرکت بر خط راست** برای محاسبه مسافت طی‌شده روی خط راست دو حالت وجود دارد:

**۱** اگر متحرک بدون تغییر جهت بر خط راست حرکت کند مسافت طی‌شده با اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی برابر است؛ یعنی:  $l = |\Delta x|$

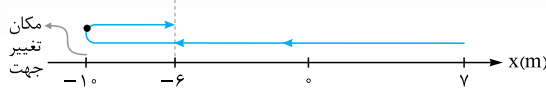




۲ اگر متحرک تغییر جهت دهد، باید اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی متحرک قبل از تغییر جهت را با اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی بعد از تغییر جهت جمع کنیم؛ یعنی:

$$l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$$

### این رو بخون که یادگیری

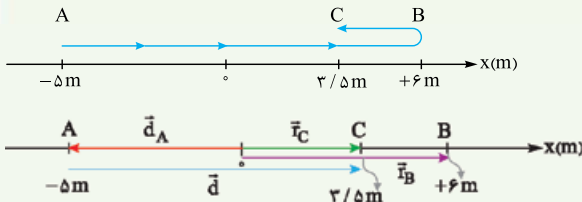


اگر مسیر حرکت یک متحرک به صورت زیر باشد، برای محاسبه مسافت طی شده باید اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی متحرک قبل از تغییر جهت را با اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی بعد از تغییر جهت جمع کنیم؛ یعنی:

$$l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| = |-10\text{ m} - (-6\text{ m})| + |-1\text{ m} - (-6\text{ m})| = |-4\text{ m}| + |5\text{ m}| = 9\text{ m} + 5\text{ m} = 14\text{ m}$$

### حالا خودت جواب بده

(مشابه مثال کتاب درسی)



مثال متحرکی مسیری مطابق شکل را بر خط راست طی می‌کند.

الف) بردار مکان نقاط A، B و C و بردار جابه‌جایی کل حرکت را رسم کنید.

ب) اندازه جابه‌جایی و مسافت طی شده جسم را به دست آورید.

### پاسخ الف

$$|\Delta x_{\text{کل}}| = |x_C - x_A| \Rightarrow |\Delta x_{\text{کل}}| = |3/5\text{ m} - (-5\text{ m})| = +8/5\text{ m}$$

ب) برای محاسبه جابه‌جایی از نقطه A تا نقطه C داریم:

و اما چون متحرک در نقطه B تغییر جهت داده است، برای محاسبه مسافت طی شده، باید اندازه جابه‌جایی جسم از A تا B را با اندازه جابه‌جایی جسم از B تا C جمع کنیم:

$$d = |\Delta x_{AB}| + |\Delta x_{BC}| = |x_B - x_A| + |x_C - x_B| = |6\text{ m} - (-5\text{ m})| + |3/5\text{ m} - 6\text{ m}|$$

$$= |11\text{ m}| + |-2/5\text{ m}| = 11\text{ m} + 2/5\text{ m} = 13/5\text{ m}$$

## سؤال‌های امتحانی

جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب کامل کنید.

- ۱- مسافت، کمیتی ..... است.
- ۲- برداری که مبدأ محور را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، ..... نامیده می‌شود.
- ۳- در جمله‌های زیر عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.
  - ۳- حرکت سیاره زمین به دور خورشید، مثالی از حرکت (یک‌بعدی / دوبعدی) است.
  - ۴- در حرکت روی محور x وقتی متحرک به مکان آغازینش بازمی‌گردد (جابه‌جایی / مسافت) متحرک صفر است.
  - ۵- در حرکت بر روی خط راست و بدون تغییر جهت، مسافت با (اندازه جابه‌جایی / اندازه سرعت) برابر است.
  - ۶- هنگام عبور متحرک از مبدأ محور x، بردار (مکان / جابه‌جایی) متحرک تغییر جهت می‌دهد.

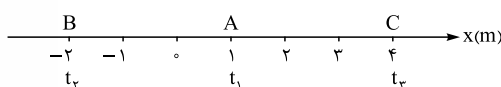


۷- مطابق شکل مقابل، شخصی در راستای خط راست از مکان ۱ به مکان ۲ رفته و سپس در همان مسیر به مکان ۳ برمی‌گردد. اندازه بردار جابه‌جایی (بیشتر از / کم‌تر از / برابر با) مسافت پیموده شده است.

(نهایی ریاضی دی ۱۴۰۱)

به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

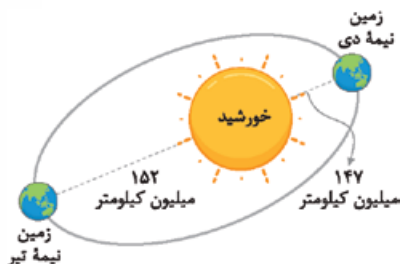
- ۸- بردار جابه‌جایی را تعریف کنید و یکای آن را بنویسید.
- ۹- مسافت را تعریف کنید.
- ۱۰- دو تفاوت بین مسافت و جابه‌جایی را بیان کنید.
- ۱۱- متحرکی مطابق شکل در لحظه  $t_1$  در نقطه A، در لحظه  $t_2$  در نقطه B و در لحظه  $t_3$  در نقطه C قرار دارد.



الف) جهت و اندازه بردار مکان متحرک را در لحظه  $t_3$  بنویسید.

ب) بردار جابه‌جایی متحرک در بازه زمانی  $t_1$  تا  $t_3$  را به دست آورید.

پ) مسافت طی شده توسط متحرک در بازه زمانی  $t_1$  تا  $t_3$  چند متر است؟

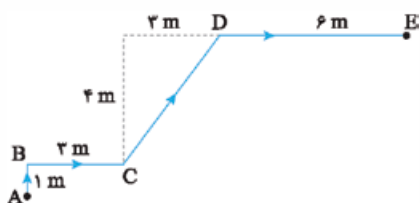
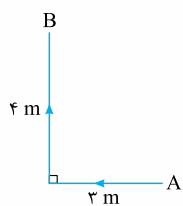


۱۲- مدار حرکت زمین به دور خورشید یک بیضی به محیط تقریبی ۹۴۰ میلیون کیلومتر است. کم‌ترین فاصله زمین از مرکز خورشید ۱۴۷ میلیون کیلومتر است که در نیمه دی‌ماه اتفاق می‌افتد. بیشترین فاصله زمین از مرکز خورشید هم در نیمه تیر رخ می‌دهد که این فاصله در حدود ۱۵۲ میلیون کیلومتر است. با توجه به شکل روبه‌رو، بردار جابه‌جایی زمین از نیمه تیر تا نیمه دی را رسم کنید و اندازه آن را با مسافت پیموده شده در این مدت مقایسه کنید.

(مشابه پرسش کتاب درسی)

۱۳- همانند شکل مقابل متحرکی مسیر A تا B را طی می کند. اندازه بردار جابه جایی و مسافت پیموده شده این متحرک در مسیر A تا B را به دست آورید و با هم مقایسه کنید.

(نهایی تهری شهریور ۱۳۰۰)



۱۴- علی از نقطه A روی مسیر نشان داده شده در شکل روبه رو به نقطه E می رود.

الف) مسافت طی شده توسط علی چند متر است؟

ب) بردار جابه جایی علی را رسم کنید.

پ) اندازه جابه جایی علی چند متر است؟

ت) بردار جابه جایی علی را بر حسب بردارهای یکه بنویسید.

۱۵- متحرکی از نقطه  $\begin{bmatrix} 2 \\ -3 \end{bmatrix}$  به نقطه  $\begin{bmatrix} 8 \\ 2 \end{bmatrix}$  می رود. این متحرک چند واحد جابه جا شده است؟

## درس ۲: سرعت و تندی

### سرعت متوسط

با تعریف سرعت متوسط در علوم نهم آشنا شده اید، بیایید یک بار دیگر آن را مرور کنیم.

بردار سرعت متوسط اگر بردار جابه جایی ( $\vec{d}$ ) را بر مدت زمان جابه جایی ( $\Delta t$ ) تقسیم کنیم، بردار سرعت متوسط به دست می آید.

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$$

که در آن  $\vec{d}$  بر حسب متر (m)، زمان بر حسب (s) و سرعت بر حسب متر بر ثانیه (m/s) است.

**نکته** با توجه به این که  $\Delta t$  مثبت است، سرعت متوسط هم جهت با جابه جایی است.

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t}$$

**اندازه سرعت متوسط:** اندازه (بزرگی) سرعت متوسط از تقسیم اندازه جابه جایی بر مدت زمان جابه جایی محاسبه می شود:

**تذکر:** اگر بردار سرعت را به صورت  $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j}$  داشته باشیم، اندازه سرعت متوسط را مانند هر بردار دیگر می توانیم از رابطه فیثاغورس به دست آوریم:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

### این روبخون که یادگیری

**مثلن** اگر بردار جابه جایی متحرکی در مدت ۸ s به صورت  $\vec{d} = (16\vec{i} - 20\vec{j})$  m باشد، بردار سرعت متوسط این متحرک و اندازه آن برابر است با:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(16\vec{i} - 20\vec{j})}{8} = (2\vec{i} - 2.5\vec{j}) \text{ m/s} \Rightarrow v = \sqrt{(2 \text{ m/s})^2 + (2.5 \text{ m/s})^2} = \sqrt{10 + 6.25} \text{ m/s} = \sqrt{16.25} \text{ m/s} \approx 4 \text{ m/s}$$

**نکته** یکای متداول دیگری که برای سرعت به کار می رود، کیلومتر بر ساعت (km/h) است که با استفاده از رابطه زیر، به متر بر ثانیه تبدیل می شود:

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = \frac{1}{3.6} \text{ m/s} \Rightarrow \square \text{ km/h} \xrightarrow[\times 3.6]{\div 3.6} \bigcirc \text{ m/s}$$

### این روبخون که یادگیری

$$36 \text{ km/h} \div 3.6 = 10 \text{ m/s}$$

**مثلن**  $36 \text{ km/h}$  برابر  $10 \text{ m/s}$  است:

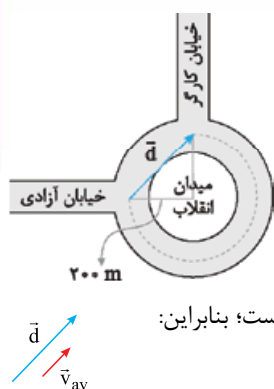
**مثلن** اتومبیلی مطابق شکل روبه رو، از خیابان آزادی وارد میدان انقلاب می شود و پس از ۲۵ s از خیابان کارگر خارج می شود. اگر شعاع دایره ای که اتومبیل، روی آن حرکت می کند، ۲۰۰ m باشد، می خواهیم بردار سرعت متوسط این اتومبیل را تعیین کنیم. اول به سراغ اندازه سرعت می رویم. برای محاسبه اندازه سرعت متوسط اتومبیل ابتدا با توجه به شکل روبه رو، اندازه بردار جابه جایی را به دست می آوریم:

$$|\vec{d}| = \sqrt{200^2 + 200^2} = 200\sqrt{2} \text{ m}$$

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{200\sqrt{2} \text{ m}}{25 \text{ s}} = 8\sqrt{2} \text{ m/s}$$

بنابراین سرعت متوسط برابر است با:

برای تعیین جهت بردار سرعت متوسط هم به این نکته توجه می کنیم که بردار سرعت با بردار جابه جایی هم جهت است؛ بنابراین:



### حالا خودت جواب بده

**مثال** بردار جابه‌جایی متحرکی به صورت  $\vec{d} = 16\vec{i} - 28\vec{j}$  داده شده است. اگر این جابه‌جایی در مدت زمان ۴ ثانیه صورت گیرد، بردار سرعت متوسط و اندازه آن را به دست آورید.

**پاسخ** ابتدا بردار سرعت متوسط را به دست می‌آوریم:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(16\vec{i} - 28\vec{j}) \text{ m}}{4 \text{ s}} = (4\vec{i} - 7\vec{j}) \text{ m/s}$$

$$v_{av} = \sqrt{4^2 + (-7)^2} = \sqrt{16 + 49} = \sqrt{65} \text{ m/s} \approx 8.1 \text{ m/s}$$

و حالا اندازه بردار سرعت متوسط را محاسبه می‌کنیم:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{x}}{\Delta t} \vec{i}$$

**سرعت متوسط در حرکت بر خط راست** در حرکت بر خط راست می‌توانیم رابطه سرعت متوسط را به صورت روبه‌رو بنویسیم:

**نکته** با این‌که سرعت متوسط کمیتی برداری است، اما در حرکت بر خط راست می‌توانیم سرعت متوسط را مانند جابه‌جایی با یک عدد مثبت و یا منفی نمایش دهیم و از خواص برداری آن صرف‌نظر کنیم. با این فرض رابطه سرعت متوسط در حرکت بر خط راست به شکل ساده‌تر زیر درمی‌آید:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

**نکته** در حرکت بر خط راست، در یک بازه زمانی مشخص، علامت سرعت متوسط نشان‌دهنده جهت جابه‌جایی جسم در آن بازه زمانی است:

$v_{av} < 0 \Leftrightarrow \Delta x < 0$ : جسم در خلاف جهت مثبت محور جابه‌جا شود  
 $v_{av} > 0 \Leftrightarrow \Delta x > 0$ : جسم در جهت مثبت محور جابه‌جا شود

### حالا خودت جواب بده

**مثال** اتومبیلی در لحظه  $t_1 = 2 \text{ s}$  در  $16 \text{ m}$  سمت راست مبدأ قرار دارد. اگر در لحظه  $t_2 = 6 \text{ s}$  این اتومبیل به  $16 \text{ m}$  سمت چپ مبدأ برود، سرعت متوسط اتومبیل در این بازه زمانی را به دست آورید.

**پاسخ** در لحظه  $t_1 = 2 \text{ s}$  مکان متحرک  $x_1 = +16 \text{ m}$  و در لحظه  $t_2 = 6 \text{ s}$  مکان متحرک  $x_2 = -16 \text{ m}$  است؛ بنابراین:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \Rightarrow v_{av} = \frac{(-16 \text{ m}) - (16 \text{ m})}{6 \text{ s} - 2 \text{ s}} = \frac{-32 \text{ m}}{4 \text{ s}} = -8 \text{ m/s}$$



**مثال** داستان مسابقه دوی لاک‌پشت و خرگوش را که شنیده‌اید! فرض کنید این بار مسیر مسابقه، خط راستی به طول یک کیلومتر است. خرگوش مغرور به لاک‌پشت ارفاق می‌کند و در خط شروع باقی می‌ماند و لاک‌پشت شروع به حرکت می‌کند. اگر سرعت متوسط خرگوش  $18 \text{ km/h}$  و سرعت متوسط لاک‌پشت  $90 \text{ m/h}$  باشد، پس از طی حداکثر چند متر توسط لاک‌پشت، خرگوش باید شروع به حرکت کند تا این بار مسابقه را به لاک‌پشت نبازد؟

**پاسخ** ابتدا حساب می‌کنیم که خرگوش برای طی مسافت  $1000 \text{ m}$ ، چه مدت زمانی را نیاز دارد. برای این کار ابتدا سرعت متوسط خرگوش را به متر بر ثانیه تبدیل کرده و سپس زمان مورد نیاز را حساب می‌کنیم:

$$v_{av} = 18 \text{ km/h} \div 3.6 = 5 \text{ m/s}$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{v_{av}} = \frac{1000 \text{ m}}{5 \text{ m/s}} = 200 \text{ s}$$

حالا محاسبه می‌کنیم که در مدت  $200 \text{ s}$ ، لاک‌پشت چه مسافتی را می‌تواند طی کند:

$$\Delta x = v'_{av} \Delta t = \left(90 \frac{\text{m}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) \times 200 \text{ s} = 5 \text{ m}$$

وقتی که لاک‌پشت هنوز به  $5 \text{ m}$ تری خط پایان نرسیده است، خرگوش باید شروع به حرکت کند تا لاک‌پشت در مسابقه نبازد. اما مسئله حداکثر مقدار مسافت طی شده توسط لاک‌پشت قبل از حرکت خرگوش را می‌خواهد؛ پس:

$$(1000 \text{ m}) - (5 \text{ m}) = 995 \text{ m}$$

**سرعت متوسط در حرکت چندمرحله‌ای** اگر جسمی حرکتی را روی خط راست، در چند مرحله انجام دهد، سرعت متوسط متحرک از نسبت

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots}$$

مجموع جابه‌جایی‌ها به مجموع زمان‌های سپری شده به دست می‌آید:

**نکته ۱:** در رابطه بالا گاهی باید  $\Delta x$  را بر حسب  $v$  و  $\Delta t$  های هر مرحله بنویسیم ( $\Delta x = v \times \Delta t$ ) و یا گاهی  $\Delta t$  ها را بر حسب  $v$  ها و  $\Delta x$  های هر

مرحله وارد رابطه بالا کنیم ( $\Delta t = \frac{\Delta x}{v}$ )؛ یعنی:

$$v_{av} = \frac{v_1 \Delta t_1 + v_2 \Delta t_2 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots} \quad \text{یا} \quad v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots}{\frac{\Delta x_1}{v_1} + \frac{\Delta x_2}{v_2} + \dots}$$

**نکته ۲:** برای به دست آوردن سرعت متوسط و تندی متوسط، باید کل زمان را در نظر بگیرید. در واقع زمان‌هایی که متحرک می‌ایستد هم جزئی

از حرکت است.

### این روبخون که یادگیری

**مثال** شخصی مسیر مستقیمی را ابتدا در مدت ۶ دقیقه با سرعت متوسط  $3 \text{ m/s}$  و سپس در مدت ۴ دقیقه با سرعت متوسط  $2 \text{ m/s}$  دویده است. می‌خواهیم بدانیم سرعت متوسط این شخص در کل حرکت چند متر بر ثانیه است: ابتدا در هر قسمت از حرکت، جابه‌جایی این شخص را محاسبه می‌کنیم:

$$\text{مرحله اول} \begin{cases} \Delta t_1 = 6 \text{ min} = 360 \text{ s} \\ v_{av,1} = 3 \text{ m/s} \end{cases} \Rightarrow \Delta x_1 = v_{av,1} \cdot \Delta t_1 = (3 \text{ m/s}) \times (360 \text{ s}) = 1080 \text{ m}$$

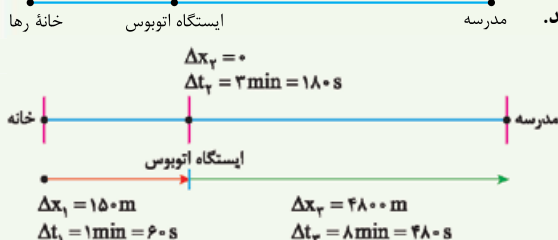
$$\text{مرحله دوم} \begin{cases} \Delta t_2 = 4 \text{ min} = 240 \text{ s} \\ v_{av,2} = 2 \text{ m/s} \end{cases} \Rightarrow \Delta x_2 = v_{av,2} \cdot \Delta t_2 = (2 \text{ m/s}) \times (240 \text{ s}) = 480 \text{ m}$$

حالا سرعت متوسط این شخص را محاسبه می‌کنیم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{1080 \text{ m} + 480 \text{ m}}{360 \text{ s} + 240 \text{ s}} = \frac{1560 \text{ m}}{600 \text{ s}} = 2.6 \text{ m/s}$$

### حالا خودت جواب بده

**مثال** رها یک روز صبح از منزل خارج می‌شود و در مسیر مستقیم و بدون تغییر جهت ابتدا  $150 \text{ m}$  متر را در مدت یک دقیقه طی می‌کند تا به ایستگاه اتوبوس برسد، سپس ۳ دقیقه را در یک نقطه می‌ایستد تا اتوبوس برسد؛ سپس ۸ دقیقه با اتوبوس که سرعت متوسط آن  $10 \text{ m/s}$  است در مسیری مستقیم تا مدرسه مطابق شکل روبه‌رو می‌رود. سرعت متوسط رها را محاسبه کنید.



**پاسخ** در مرحله اول  $\Delta x_1 = 150 \text{ m}$  و  $\Delta t_1 = 60 \text{ s}$  است، در مرحله دوم  $\Delta t_2 = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$  است، اما چون رها در این مدت ایستاده است بنابراین  $\Delta x_2 = 0$  و در مرحله آخر در مدت  $\Delta t_3 = 8 \text{ min} = 480 \text{ s}$  رها به اندازه  $\Delta x_3 = v_{av} \cdot \Delta t_3 = 10 \times 480 = 4800 \text{ m}$  جابه‌جا می‌شود.

پس سرعت متوسط رها از منزل تا مدرسه برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} = \frac{150 \text{ m} + 0 + 4800 \text{ m}}{60 \text{ s} + 180 \text{ s} + 480 \text{ s}} = 6 / 1175 \text{ m/s}$$

### تندی متوسط

پس از آشنایی با مفهوم سرعت متوسط، نوبت به آشنایی با تندی متوسط می‌رسد.

**تندی متوسط:** به نسبت مسافت پیموده‌شده به مدت‌زمان طی مسافت، **تندی متوسط** می‌گوییم و آن را با  $s_{av}$  نمایش می‌دهیم.

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t}$$

در رابطه تندی متوسط،  $l$  مسافت طی‌شده برحسب متر ( $\text{m}$ )،  $\Delta t$  بازه زمانی برحسب ثانیه ( $\text{s}$ ) و  $s_{av}$  تندی متوسط برحسب متر بر ثانیه ( $\text{m/s}$ ) است.

### این روبخون که یادگیری

**مثال** بیایید یک بار دیگر به مثال اتومبیلی که میدان انقلاب را دور می‌زد نگاهی بیندازیم. قبلاً سرعت متوسط آن را حساب کردیم، حالا می‌خواهیم تندی متوسطش را حساب کنیم. برای محاسبه تندی متوسط اتومبیل، ابتدا باید مسافت پیموده‌شده را به دست آوریم. مسافت طی‌شده ( $l$ ) توسط اتومبیل  $\frac{3}{4}$  محیط دایره پیموده‌شده است؛ بنابراین:

$$l = \frac{3}{4} (2\pi R) = \frac{3}{4} \times \pi \times 200 = 300\pi \text{ m}$$

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{300\pi \text{ m}}{25 \text{ s}} = 12\pi \text{ m/s}$$

و حالا:

**تندی متوسط چه تفاوتی با سرعت متوسط دارد؟** این دو کمیت کاملاً با هم متفاوت‌اند. سرعت متوسط کمیتی برداری است؛ یعنی هم دارای اندازه و یکا و هم دارای جهت است. ولی تندی متوسط، کمیتی نرده‌ای است و فقط با یک عدد و یکای مربوطه بیان می‌شود.

**نکته ۱:** اگر متحرکی بدون تغییر جهت روی خط راست حرکت کند، مسافت طی‌شده با مقدار جابه‌جایی برابر است؛ در نتیجه اندازه سرعت متوسط با تندی متوسط برابر است.

**نکته ۲:** اگر مسیر حرکت جسمی خط راست نباشد، تندی متوسط متحرک قطعاً از اندازه سرعت متوسط آن بزرگ‌تر است. فقط در حرکت بر خط راست، آن هم به شرطی که متحرک تغییر جهت ندهد تندی متوسط متحرک با اندازه سرعت متوسط برابر می‌شود، یعنی همواره داریم:

$$s_{av} \geq |v_{av}|$$

برای این که بیشتر به تفاوت این دو کمیت پی ببرید، به نمونه زیر توجه کنید:

### این رو بخون که یاد بگیری

**مثال** رکورد شنای ۴۰۰ متر آزاد با زمان ۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه در اختیار «پل بیدرمن» از آلمان است. پل برای ثبت این رکورد، طول ۲۰۰ متری استخر را به صورت رفت و برگشت شنا کرد؛ بنابراین تندی متوسط پل برابر است با:

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{400 \text{ m}}{220 \text{ s}} \approx 1/82 \text{ m/s}$$

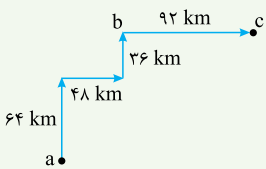
$$3 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} + 40 \text{ s} = 180 \text{ s} + 40 \text{ s} = 220 \text{ s}$$

اما سرعت متوسط آقای بیدرمن در این بازه زمانی صفر است؛ زیرا در انتهای مسابقه به مکان اولیه خود برگشته است و جابه‌جایی او در مدت ۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه (۲۲۰ s) صفر است.  $d = 0 \Rightarrow v_{av} = 0$

**نکته** برای به دست آوردن سرعت متوسط و تندی متوسط، باید کل زمان را در نظر بگیرید. در واقع زمان‌هایی که متحرکی می‌ایستد، جزئی از حرکت است.

### حالا خودت جواب بده

**مثال** در زمان‌های قدیم یک مرد روستایی با یک شتر از روستای (a) مطابق شکل به ترتیب ۶۴ km را در مدت زمان ۴ ساعت، ۴۸ km را در مدت ۳ ساعت، ۳۶ km را در مدت ۲ ساعت طی می‌کند و پس از یک ساعت استراحت در روستای (b)، ۹۲ km دیگر را در مدت ۱۰ ساعت طی می‌کند تا به روستای (c) برسد. الف) بردار سرعت متوسط شتر را در کل مسیر رسم کرده و بزرگی آن را محاسبه کنید. ب) تندی متوسط را حساب کنید.



**پاسخ الف** اولین جابه‌جایی  $\vec{d}_1 = (64 \text{ km})\vec{j}$ ، دومین جابه‌جایی  $\vec{d}_2 = (48 \text{ km})\vec{i}$ ، سومین جابه‌جایی  $\vec{d}_3 = (36 \text{ km})\vec{j}$  و در نهایت آخرین جابه‌جایی  $\vec{d}_4 = (92 \text{ km})\vec{i}$  است. برای محاسبه سرعت متوسط، باید جابه‌جایی کل را بر مدت زمان کل (یعنی با در نظر گرفتن زمان استراحت)، تقسیم می‌کنیم:

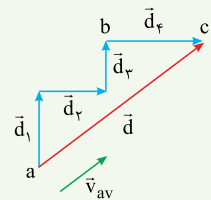
$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{\vec{d}_1 + \vec{d}_2 + \vec{d}_3 + \vec{d}_4}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 + \Delta t_5} = \frac{(64 \text{ km})\vec{j} + (48 \text{ km})\vec{i} + (36 \text{ km})\vec{j} + (92 \text{ km})\vec{i}}{4 \text{ h} + 3 \text{ h} + 2 \text{ h} + 1 \text{ h} + 10 \text{ h}}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_{av} = \frac{(140 \text{ km})\vec{i} + (100 \text{ km})\vec{j}}{20 \text{ h}} \Rightarrow \vec{v}_{av} = (7\vec{i} + 5\vec{j}) \text{ km/h}$$

توجه کنید که زمان یک ساعت استراحت را هم در محاسبات در نظر گرفتیم؛ زیرا این یک ساعت نیز جزئی از زمان‌های سپری شده در مدت زمان جابه‌جایی زمان از روستای (a) به روستای (c) است. حالا بزرگی سرعت متوسط را به دست می‌آوریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \sqrt{(7)^2 + (5)^2} \text{ km/h} = \sqrt{74} \text{ km/h} \approx 8/60 \text{ km/h}$$

بردار سرعت متوسط همیشه هم‌جهت با بردار جابه‌جایی است. بردار جابه‌جایی را رسم می‌کنیم تا جهت بردار سرعت متوسط نیز مشخص شود.



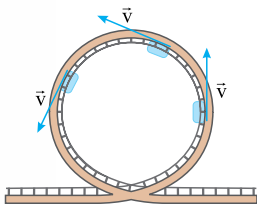
**ب** برای محاسبه تندی متوسط، کل مسافت طی شده را بدون توجه به جهت آن، بر کل مدت زمان طی مسافت تقسیم می‌کنیم:

$$s_{av} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 + \Delta t_5} = \frac{(64 \text{ km}) + (48 \text{ km}) + (36 \text{ km}) + (92 \text{ km})}{4 \text{ h} + 3 \text{ h} + 2 \text{ h} + 1 \text{ h} + 10 \text{ h}} \Rightarrow s_{av} = \frac{240 \text{ km}}{20 \text{ h}} = 12 \text{ km/h}$$

در این مثال هم دیدیم چون متحرک تغییر جهت داده است، سرعت متوسط و تندی متوسط با هم برابر نیستند.

### سرعت و تندی لحظه‌ای

سرعت متحرک در هر لحظه را «سرعت لحظه‌ای» می‌نامیم و آن را با  $\vec{v}$  نشان می‌دهیم. هم‌چنین تندی متحرک در هر لحظه را نیز تندی لحظه‌ای می‌نامیم. **سرعت لحظه‌ای** نیز یک کمیت برداری است که مطابق با آنچه که در شکل روبه‌رو می‌بینید، همواره بر مسیر حرکت مماس است. اما **تندی لحظه‌ای** کمیتی نرده‌ای است. در واقع سرعت لحظه‌ای، اندازه و جهت سرعت در هر لحظه را نشان می‌دهد اما تندی لحظه‌ای فقط اندازه سرعت در هر لحظه را بیان می‌کند؛ بنابراین می‌توانیم بگوییم: **تندی لحظه‌ای همان اندازه سرعت لحظه‌ای است.**

$$|\vec{v}| = v$$


**نکته ۱:** حواستان باشد سرعت لحظه‌ای و سرعت متوسط، دو کمیت کاملاً متفاوت‌اند. تنها در صورتی که در یک بازه زمانی، بردار سرعت لحظه‌ای ثابت باشد، یعنی هم اندازه و هم جهت سرعت لحظه‌ای تغییر نکنند، سرعت متوسط در آن بازه زمانی با سرعت در هر لحظه برابر است. این اتفاق فقط در حرکت بر خط راست، امکان‌پذیر است.  $\vec{v} = \text{ثابت} \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_{av} \Rightarrow |\vec{v}| = |\vec{v}_{av}|$

**نکته ۲:** عقربه تندی سنچ خودروها، تندی لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهند.



## سرعت و تندی لحظه‌ای در حرکت بر خط راست

وقتی متحرکی روی خط راست حرکت می‌کند، می‌توانیم از خواص برداری سرعت لحظه‌ای صرف‌نظر کنیم و سرعت لحظه‌ای را با علامتی مثبت یا منفی نشان دهیم. علامت سرعت لحظه‌ای نشان‌دهنده جهت حرکت متحرک در آن لحظه است. اگر سرعت مثبت بود، یعنی متحرک به سمت مثبت محور Xها حرکت می‌کند و اگر سرعت منفی بود، یعنی متحرک به سمت منفی محور Xها حرکت می‌کند.

**تذکر:** تندی لحظه‌ای فقط اندازه سرعت لحظه‌ای را نشان می‌دهد؛ پس همواره مثبت است.

**توجه:** از این به بعد هر جا از کلمه «سرعت» و یا «تندی» به تنهایی استفاده کردیم، به ترتیب منظورمان بردار سرعت لحظه‌ای و تندی لحظه‌ای است.

## تندشونده یا کندشونده بودن حرکت

حتماً برای شما خیلی پیش آمده که در یک اتومبیل نشست‌اید و راننده اتومبیلی که در آن هستید، می‌خواهد از یک اتومبیل که جلوی شما حرکت می‌کند، سبقت بگیرد. فرض کنید در ابتدا، تندی اتومبیل شما و اتومبیل جلویی یکسان باشد. برای این که از اتومبیل جلویی سبقت بگیرید، باید راننده شما تندی اتومبیلش را افزایش دهد. در این حالت حرکت اتومبیل شما تندتر و تندتر می‌شود تا بتوانید از اتومبیل جلویی سبقت بگیرید. در واقع حرکت اتومبیل شما «تندشونده» خواهد بود.

حالا فرض کنید یک نیشان آبی از جلو به سمت شما بیاید. شما و راننده اتومبیلی که سوار آن هستید، می‌دانید که راننده نیشان آبی حتماً ترمز نخواهد کرد!!! پس راننده اتومبیل شما پایش را با تمام قدرت روی پدال ترمز فشار می‌دهد و تندی اتومبیلش را کاهش می‌دهد. در این حالت حرکت شما کندتر و کندتر می‌شود. در واقع در این حالت، حرکت شما «کندشونده» خواهد بود.

**جمع‌بندی:** وقتی تندی یک متحرک زیاد می‌شود، حرکت تندشونده است و وقتی تندی یک متحرک کم می‌شود، حرکت کندشونده است.

## سؤال‌های امتحانی

■ درستی یا نادرستی عبارتهای زیر را مشخص کنید.

۱۶- اگر سرعت متوسط یک متحرک صفر باشد، مسافت طی شده توسط آن صفر است.

(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)

۱۷- سرعت متوسط یک کمیت برداری است که همواره با بردار تغییر مکان، هم‌جهت است.

(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)

۱۸- عقربه تندی سنج خودرو، تندی لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهد.

■ جاهای خالی زیر را با کلمه‌های مناسب کامل کنید.

۱۹- اگر هنگام گزارش تندی لحظه‌ای، به جهت حرکت متحرک نیز اشاره کنیم، در واقع ..... آن را بیان کرده‌ایم.

۲۰- اگر سرعت متحرک در تمام لحظات یک بازه زمانی ..... باشد، سرعت متوسط با سرعت لحظه‌ای برابر است.

■ در جمله‌های زیر عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

۲۱- در حرکت یک جسم در بازه‌های زمانی‌ای که سرعت متوسط خودرو (مثبت / منفی) است، حرکت خودرو در جهت محور X است.

(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)

۲۲- بردار سرعت در هر نقطه از مسیر حرکت، بر مسیر حرکت (عمود / مماس) است.

(نهایی تهری شهریور ۹۵)

۲۳- در حرکت یک‌بعدی، جهت حرکت با توجه به جهت (شتاب / سرعت) تعیین می‌شود.

(نهایی تهری فارغ از کشور فرداد ۹۵ و نهایی ریاضی دی ۹۲)

۲۴- بردار سرعت متوسط با بردار (جابه‌جایی / تغییر سرعت) هم‌جهت است.

(نهایی تهری شهریور ۱۴۰۲ و نهایی ریاضی فرداد ۱۴۰۱)

۲۵- تندی متوسط، یک کمیت (نرده‌ای / برداری) و یکای آن متر بر ثانیه است.

(نهایی ریاضی فرداد ۱۴۰۳)

۲۶- در یک بازه زمانی معین، تندی متوسط متحرک نمی‌تواند (بزرگ‌تر / کوچک‌تر) از اندازه سرعت متوسط آن باشد.

(نهایی تهری فرداد ۱۴۰۲ و مشابه نهایی ریاضی فرداد ۱۴۰۲)

۲۷- نسبت مسافت طی شده به مدت‌زمان حرکت (سرعت متوسط / تندی متوسط) نامیده می‌شود.

■ به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

(نهایی تهری فرداد ۹۷)

۲۸- سرعت متوسط را تعریف کنید.

(برگرفته از مثال کتاب درسی)

۲۹- مفهوم فیزیکی عبارت روبه‌رو را بیان کنید: «تندی متوسط دانش‌آموزی  $1/4 \text{ m/s}$  است.»

(نهایی تهری فرداد ۹۸ و شهریور ۹۸)

۳۰- در چه صورت اندازه سرعت متوسط متحرک با تندی متوسط آن برابر است؟

(مشابه فعالیت کتاب درسی)

۳۱- اگر چهار متحرک در طی  $2 \text{ s}$  بر روی مسیری مستقیم از مکان آغازین به مکان پایانی رفته باشند، جدول زیر را کامل کنید.

جهت حرکت	سرعت متوسط	بردار جابه‌جایی	مکان پایانی	مکان آغازین	
متحرک A			صفر	$4 \text{ m}$	
متحرک B			$-2/4 \text{ m}$	$5/2 \text{ m}$	
متحرک C			$4/8 \text{ m}$	$-2 \text{ m}$	
متحرک D			$-2 \text{ m}$	$-10 \text{ m}$	
متحرک E	$4 \text{ m/s}$			$8 \text{ m}$	
متحرک F		$7 \text{ m}$	$-6 \text{ m}$		



۲۲- شکل زیر، حرکت یک حشره را که در راستای محور  $x$  در حرکت است، در هر یک از لحظه‌های  $t_1 = 10\text{ s}$  و  $t_2 = 40\text{ s}$  نشان می‌دهد. (مشابه مثال کتاب درسی)



(نهایی تهری فرادر ۱۴۰۰)

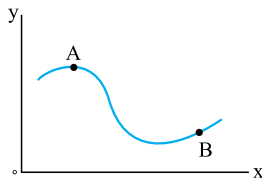
الف) بردارهای مکان و بردار جابه‌جایی حشره را در این بازه زمانی رسم کنید.  
ب) سرعت متوسط حشره را در این بازه زمانی پیدا کنید.

۲۳- متحرکی در مدت زمان  $8\text{ m/s}$  از مکان  $\vec{d}_1 = (-4\text{ m})\vec{i}$  به مکان  $\vec{d}_2 = (+4\text{ m})\vec{i}$  می‌رود.

الف) جهت حرکت این متحرک را تعیین کنید.

ب) بزرگی سرعت متوسط متحرک در مدت زمان ۸ ثانیه چند متر بر ثانیه است؟

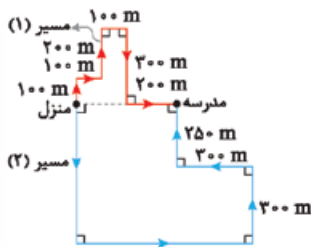
پ) مسافت طی شده متحرک چند متر است؟



۲۴- در شکل مقابل، مسیر حرکت جسمی که با تندی ثابت در صفحه  $xoy$  از  $A$  به  $B$  می‌رود، نشان داده شده است. با انتقال شکل به پاسخ‌نامه، بردارهای زیر را نشان دهید:  
(نهایی تهری دی ۹۶)

الف) بردار تغییر مکان (جابه‌جایی) جسم بین دو نقطه  $A$  و  $B$ .

ب) بردارهای سرعت لحظه‌ای جسم در دو نقطه  $A$  و  $B$ .



۲۵- سعید و حمید برای رفتن به مدرسه از منزل خارج می‌شوند. سعید تمام مسیر (۱) را می‌دود ولی حمید

از مسیر (۲) تا کاسی به مدرسه می‌رود. هر دو هم‌زمان و پس از ۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه به مدرسه می‌رسند.

الف) اندازه سرعت متوسط هر یک از آن‌ها را محاسبه کنید.

ب) تندی متوسط هر یک از آن‌ها را محاسبه کنید.

۲۶- اتومبیلی یک میدان دایره‌شکل به شعاع  $125\text{ m}$  را دور می‌زند. اگر سرعت متوسط اتومبیل در مدتی که نصف میدان را دور می‌زند،  $5\text{ m/s}$  باشد، تندی متوسط اتومبیل را محاسبه کنید. ( $\pi = 3/14$ )

۲۷- درختی به ارتفاع  $15\text{ m}$  را از پایین‌ترین نقطه قطع می‌کنیم و درخت در مدت  $1/5\text{ s}$  بر زمین می‌افتد. سرعت متوسط بالاترین نقطه درخت در مدت زمان سقوط چند متر بر ثانیه است؟

۲۸- متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت، مسافت‌های متوالی  $10\text{ m}$ ،  $20\text{ m}$  و  $30\text{ m}$  را به ترتیب با سرعت‌های  $2\text{ m/s}$ ،  $4\text{ m/s}$  و  $6\text{ m/s}$  طی می‌کند. سرعت متوسط آن در این حرکت چند متر بر ثانیه است؟

۲۹- در هر یک از حالات زیر، سرعت متوسط را محاسبه کنید.

الف) متحرکی بر خط راست بدون تغییر جهت دو مسافت مساوی  $\Delta x$  را با سرعت‌های متوسط  $v_1$  و  $v_2$  طی کند.

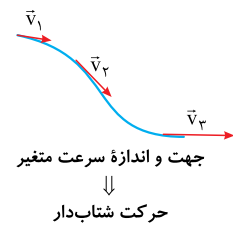
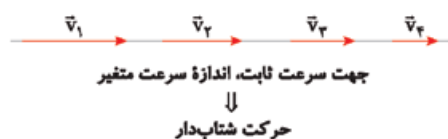
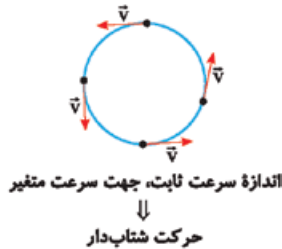
ب) متحرکی بر خط راست بدون تغییر جهت در دو بازه زمانی مساوی  $\Delta t$  با سرعت‌های متوسط  $v_1$  و  $v_2$  حرکت کند.

۳۰- متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت،  $1/3$  زمان حرکت خود را با سرعت  $60\text{ m/s}$ ،  $1/3$  زمان حرکت خود را با سرعت  $24\text{ m/s}$  و مابقی را با سرعت  $12\text{ m/s}$  طی می‌کند. سرعت متوسط حرکت متحرک چند متر بر ثانیه است؟

## درس ۳: شتاب

### شتاب چیست؟

هرگاه سرعت جسمی تغییر کند، حرکت آن جسم شتاب‌دار است. در واقع اگر بردار سرعت چه از نظر اندازه و چه از نظر جهت و یا از هر دو نظر، ثابت نباشد، حرکت متحرک، شتاب‌دار است پس می‌توانیم بگوییم، تمام حرکت‌های نشان داده شده در شکل‌های زیر شتاب‌دار هستند:



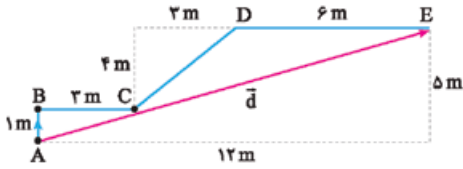
**نکته** حرکت بدون شتاب (حرکت با سرعت ثابت) فقط روی خط راست ممکن است، چون اگر مسیر حرکت خط راست نباشد، حتماً جهت بردار سرعت، تغییر می‌کند (حتی اگر اندازه آن ثابت باشد).

**سرعت یا تغییر سرعت؟ مسئله این است!** خوب دقت کنید! شتاب همواره با تغییر سرعت متناسب است نه با خود سرعت! بنابراین نمی‌توانیم

بگوییم، جسمی که سرعت بیشتری دارد، حتماً شتاب بیشتری هم دارد.

# پاسخ نامہ تشریحی

**ب** بردار جابه‌جایی برداری است که ابتدای مسیر را به انتهای مسیر وصل می‌کند؛ پس در شکل زیر بردار جابه‌جایی، بردار  $\vec{AE}$  است.



**ب** همان‌طور که در شکل بالا می‌بینید علی‌مجموعاً  $12\text{ m}$  به سمت راست و  $5\text{ m}$  به سمت بالا حرکت کرده است؛ پس طول  $\vec{d}$  برابر است با:

$$d^2 = 12^2 + 5^2 = 144 + 25 = 169 \Rightarrow d = \sqrt{169} = 13\text{ m}$$

**ت** علی  $12\text{ m}$  به سمت راست حرکت کرده است؛ پس جابه‌جایی در راستای افقی به صورت  $\vec{12i}$  است. او همچنین  $5\text{ m}$  به سمت بالا حرکت کرده است. در نتیجه جابه‌جایی در راستای قائم او به صورت  $\vec{5j}$  است و داریم:  $\vec{d} = (12\vec{i} + 5\vec{j})\text{ m}$

**۱۵.** بردار جابه‌جایی از تفاضل بردارهای مکان به دست می‌آید:

$$\vec{d} = \begin{bmatrix} 8 \\ 2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2 \\ -3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 5 \end{bmatrix} \Rightarrow \vec{d} = 6\vec{i} + 5\vec{j}$$

اندازه بردار جابه‌جایی برابر است با:

$$|\vec{d}| = \sqrt{6^2 + 5^2} = \sqrt{36 + 25} = \sqrt{61}\text{ m}$$

**۱۶.** نادرست؛ اگر متحرک مسیری را طی کرده باشد و سپس به نقطه شروع حرکت برگشته باشد، سرعت متوسط صفر است؛ اما، مسافت طی شده صفر نیست.

**۱۸.** درست

**۱۷.** درست

**۲۰.** ثابت

**۱۹.** سرعت لحظه‌ای

**۲۲.** مماس

**۲۱.** مثبت

**۲۳.** سرعت

**۲۴.** جابه‌جایی - بردار سرعت متوسط برابر با بردار جابه‌جایی تقسیم بر زمان است. زمان یک عدد مثبت است؛ پس بردار سرعت متوسط و جابه‌جایی هم‌جهت هستند.

**۲۵.** نرده‌ای

**۲۶.** کوچک‌تر - همواره  $|v_{av}| \leq s_{av}$  است.

**۲۷.** تندى متوسط

**۲۸.** سرعت متوسط کمیتی برداری است که از تقسیم جابه‌جایی بر مدت‌زمان لازم برای جابه‌جایی به دست می‌آید و واحد آن  $\text{m/s}$  است:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$$

**۲۹.** مفهوم فیزیکی این عبارت این است که دانش‌آموز به طور متوسط در هر ثانیه  $1/4\text{ m}$  از طول مسیری را می‌پیماید.

**۳۰.** اگر متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت حرکت کند، اندازه سرعت متوسط و تندى متوسط آن برابر است.

**۳۱. متحرک A:** بردار جابه‌جایی:  $\vec{d}_A = \Delta x_A \vec{i} = (0 - 4\text{ m})\vec{i} = (-4\vec{i})\text{ m}$

$$v_{av,A} = \frac{\Delta x_A}{\Delta t} = \frac{-4\text{ m}}{2\text{ s}} = -2\text{ m/s}$$

جهت حرکت با توجه به این که بردار جابه‌جایی به سمت منفی  $x$  ها است، منفی است.

**متحرک B:** بردار جابه‌جایی:

$$\vec{d}_B = \Delta x_B \vec{i} = (-2/4\text{ m} - 5/2\text{ m})\vec{i} = (-7/6\vec{i})\text{ m}$$

$$v_{av,B} = \frac{\Delta x_B}{\Delta t} = \frac{-7/6\text{ m}}{2\text{ s}} = -3/8\text{ m/s}$$

جهت حرکت: منفی

**متحرک C:** بردار جابه‌جایی:

$$\vec{d}_C = \Delta x_C \vec{i} = (4/8\text{ m} - (-2\text{ m})) = (6/8\vec{i})\text{ m}$$

$$v_{av,C} = \frac{\Delta x_C}{\Delta t} = \frac{6/8\text{ m}}{2\text{ s}} = 3/4\text{ m/s}$$

جهت حرکت: مثبت

## فصل اول: حرکت بر خط راست

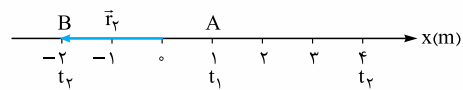
۱. نرده‌ای
۲. بردار مکان
۳. دوبعدی
۴. جابه‌جایی
۵. اندازه جابه‌جایی
۶. مکان
۷. کم‌تر از

**۸.** پاره‌خط جهت‌داری که مکان آغازین حرکت را به مکان پایانی حرکت وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی نامیده می‌شود. یکای جابه‌جایی، متر ( $\text{m}$ ) است.

**۹.** طول مسیر پیموده‌شده توسط متحرک را، مسافت پیموده‌شده یا به اختصار مسافت می‌نامند.

**۱۰.** I) جابه‌جایی کمیتی برداری است، اما مسافت کمیتی نرده‌ای است. II) مسافت به مسیر حرکت وابسته است، اما جابه‌جایی به مسیر حرکت وابسته نیست و فقط به نقطه شروع و پایان حرکت وابسته است.

**۱۱. الف)** بردار مکان این متحرک در لحظه  $t_1$  به صورت برداری است که مبدأ مکان را به محل حضور او در این لحظه وصل می‌کند. این متحرک در  $t_1$  در  $x = -2\text{ m}$  قرار دارد:



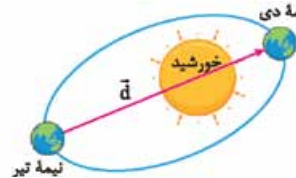
$$\vec{r}_1 = (-2\text{ m})\vec{i}$$

**ب** بردار مکان در  $t_1$  به صورت  $\vec{r}_1 = (1\text{ m})\vec{i}$  و بردار مکان او در  $t_2$  به صورت  $\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = (4\text{ m})\vec{i} - (1\text{ m})\vec{i} = (3\text{ m})\vec{i}$  پس:

**ب** مسافت طی شده برابر طول کلی مسیری است که متحرک طی می‌کند. متحرک ابتدا از  $x_A = 1\text{ m}$  به  $x_B = -2\text{ m}$  می‌رود و سپس از  $x_B = -2\text{ m}$  به سمت نقطه C می‌رود و در  $t_2$  به  $x_C = 4\text{ m}$  می‌رسد؛ پس کل طولی که او طی کرده است، برابر است با:

$$l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| = |-2\text{ m} - (1\text{ m})| + |4\text{ m} - (-2)\text{ m}| \\ = |-3\text{ m}| + |6\text{ m}| = 3\text{ m} + 6\text{ m} = 9\text{ m}$$

**۱۲.** از نقطه ابتدایی حرکت به نقطه انتهایی حرکت وصل می‌کنیم و بردار جابه‌جایی را مشخص می‌کنیم؛ طول این بردار برابر است با:



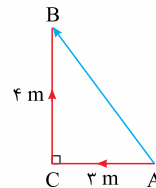
$$d = 152 \times 10^6\text{ km} + 147 \times 10^6\text{ km} = 299 \times 10^6\text{ km}$$

مسافت طی شده در این مدت نصف طول مدار است؛ پس:

$$l = \frac{940 \times 10^6\text{ km}}{2} = 470 \times 10^6\text{ km}$$

همان‌طور که می‌بینید، چون حرکت بر خط راست نیست،  $d < l$  است.

**۱۳.** با توجه به شکل روبه‌رو، اندازه جابه‌جایی برابر با اندازه بردار  $\vec{AB}$  است؛ پس با توجه به قضیه فیثاغورس داریم:



$$d = \sqrt{(AC)^2 + (CB)^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5\text{ m}$$

مسافت برابر طول مسیر حرکت است؛ پس:

$$l = AC + CB = 3\text{ m} + 4\text{ m} = 7\text{ m}$$

$d < l$  است و این موضوع به این خاطر است که در حرکت، تغییر جهت داریم.

**۱۴. الف گام اول:** ابتدا طول قسمت CD را به کمک رابطه فیثاغورس حساب می‌کنیم:

$$CD^2 = 4^2 + 3^2 \Rightarrow CD^2 = 16 + 9 = 25 \Rightarrow CD = \sqrt{25} = 5\text{ m}$$

**گام دوم:** مسافت طی شده برابر با طول کل مسیر است، پس:

$$l = AB + BC + CD + DE = 1\text{ m} + 2\text{ m} + 5\text{ m} + 6\text{ m} = 15\text{ m}$$

**متحرک D:** بردار جابه‌جایی:

$$\vec{d}_D = \Delta x_D \vec{i} = (-2 \text{ m} - (-10 \text{ m})) \vec{i} = (8 \text{ m}) \vec{i}$$

$$v_{av,D} = \frac{\Delta x_D}{\Delta t} = \frac{8 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

جهت حرکت: مثبت

**متحرک E:** جابه‌جایی و جهت حرکت: سرعت متوسط متحرک در مدت 2 s برابر با 4 m/s است؛ بنابراین جهت حرکت مثبت است و جابه‌جایی آن برابر

$$\vec{d}_E = (v_{av,E} \Delta t) \vec{i} = (4 \text{ m/s} \times 2 \text{ s}) \vec{i} = (8 \text{ m}) \vec{i}$$

$$\Delta x_E = x_{rE} - x_{lE} \Rightarrow 8 = x_{rE} - 8 \Rightarrow x_{rE} = 16 \text{ m}$$

مکان پایانی: **متحرک F:** مکان آغازین:

$$\Delta x_F = x_{rF} - x_{lF} \Rightarrow 7 \text{ m} = -6 \text{ m} - x_{lF} \Rightarrow x_{lF} = -13 \text{ m}$$

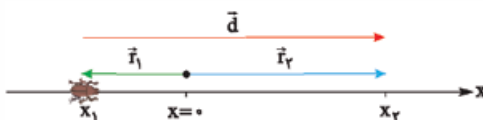
$$v_{av,F} = \frac{\Delta x_F}{\Delta t} = \frac{7 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 3.5 \text{ m/s}$$

سرعت متوسط:

جهت حرکت: مثبت

**۳۲ الف** بردار مکان در هر لحظه، به صورت برداری است که از مبدأ مختصات

به محل جسم وصل می‌شود. بردار جابه‌جایی هم محل ابتدایی جسم را به محل نهایی آن وصل می‌کند؛ پس بردار مکان اولیه ( $\vec{r}_i$ )، بردار مکان نهایی ( $\vec{r}_f$ ) و بردار جابه‌جایی ( $\vec{d}$ ) به صورت زیر رسم می‌شوند.



**ب** چون حشره در راستای خط راست حرکت می‌کند، سرعت متوسط آن برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{0 - (-2 \text{ m})}{4.0 \text{ s} - 1.0 \text{ s}} = \frac{2 \text{ m}}{3.0 \text{ s}} = 0.67 \text{ m/s}$$

مثبت بودن سرعت نشان می‌دهد که حشره در جهت مثبت محور X حرکت کرده است.

**۳۳ الف** متحرک در جهت مثبت محور X حرکت می‌کند.

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(+4 \text{ m}) \vec{i} - (-4 \text{ m}) \vec{i}}{8 \text{ s}} = (1 \text{ m/s}) \vec{i}$$

بنابراین اندازه سرعت متوسط برابر است با:

**ب** اگر متحرک روی خط راست و بدون تغییر جهت، حرکت کند، مسافت 8 m است اما اگر حرکت متحرک روی خط راست نباشد، نمی‌توان مسافت را تعیین کرد.

**۳۴ الف** بردار جابه‌جایی، نقطه ابتدایی را به نقطه انتهایی وصل می‌کند و

جهت آن به سمت نقطه انتهایی است.

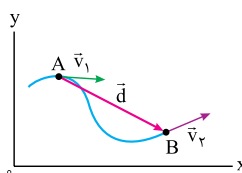
**ب** بردار سرعت لحظه‌ای، در هر

نقطه بر مسیر حرکت مماس است.

از طرفی چون تندی ثابت است، اندازه

سرعت‌های لحظه‌ای و در نتیجه طول

بردارهای سرعت باید برابر باشد.



**۳۵ الف** برای محاسبه سرعت

متوسط به جابه‌جایی نیاز داریم.

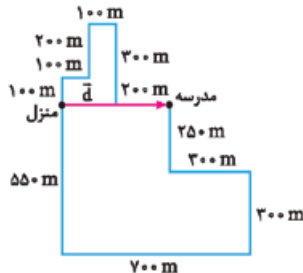
می‌دانیم که جابه‌جایی به مسیر حرکت

بستگی ندارد و فقط به نقطه ابتدایی

و انتهایی مسیر بستگی دارد. بردار

جابه‌جایی، برداری است که منزل را به

مدرسه وصل می‌کند.



از روی شکل و با توجه به اندازه‌های داده‌شده مشخص است که سعید و حمید هر دو در مدت 4 دقیقه و 10 ثانیه (250 s) به اندازه 400 متر جابه‌جا شده‌اند، بنابراین داریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} = \frac{400 \text{ m}}{250 \text{ s}} = 1.6 \text{ m/s}$$

**ب** برای محاسبه تندی متوسط، مسافت طی شده برای ما مهم است و مسافت طی شده به مسیر حرکت بستگی دارد که برای سعید و حمید متفاوت است. ابتدا با توجه به اعداد داده‌شده روی شکل مسافت طی شده توسط سعید و حمید را محاسبه می‌کنیم:

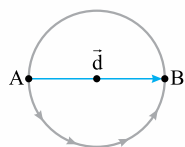
$$l_{سعید} = 100 \text{ m} + 100 \text{ m} + 200 \text{ m} + 100 \text{ m} + 300 \text{ m} + 200 \text{ m} = 1000 \text{ m}$$

$$l_{حمید} = 550 \text{ m} + 700 \text{ m} + 300 \text{ m} + 300 \text{ m} + 250 \text{ m} = 2100 \text{ m}$$

حالا تندی متوسط هر کدام را به دست می‌آوریم:

$$s_{av,سعید} = \frac{l_{سعید}}{\Delta t} = \frac{1000 \text{ m}}{250 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

$$s_{av,حمید} = \frac{l_{حمید}}{\Delta t} = \frac{2100 \text{ m}}{250 \text{ s}} = 8.4 \text{ m/s}$$



**۳۶** وقتی اتومبیل نصف میدان را دور می‌زند،

اندازه جابه‌جایی اتومبیل برابر است با قطر میدان،

بنابراین:

$$|\vec{d}| = 2 \times (125 \text{ m}) = 250 \text{ m}$$

حالا با استفاده از رابطه سرعت متوسط، زمان پیمودن نیم دور را به دست می‌آوریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} \Rightarrow 5 \text{ m/s} = \frac{250 \text{ m}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{250 \text{ m}}{5 \text{ m/s}} = 50 \text{ s}$$

حالا که زمان پیمودن نیم دور را داریم، مسافت نیم دور را که نصف محیط

دایره است، به دست می‌آوریم:

$$l = \frac{1}{2} \times \text{محیط} = \frac{1}{2} \times 2\pi R = \pi \times 125 \text{ (m)} = 393 \text{ m}$$

و در آخر تندی متوسط اتومبیل برابر است با:

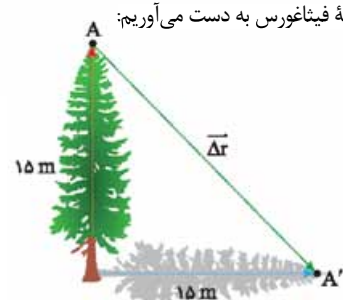
$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{393 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 7.86 \text{ m/s}$$

**۳۷** برای مسئله یک شکل رسم می‌کنیم. برای سادگی درخت را با یک پاره‌خط

جهت‌دار نشان می‌دهیم. در شکل نقاط A و A' بالاترین نقطه درخت در حالت

ایستاده و افتاده است. بردار جابه‌جایی این نقطه، برداری است که A را به A' وصل

می‌کند. اندازه  $\Delta \vec{r}$  را با استفاده از رابطه فیثاغورس به دست می‌آوریم:



$$d = \sqrt{15^2 + 15^2} = 15\sqrt{2} \text{ m}$$

و حالا با استفاده از رابطه سرعت متوسط داریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} = \frac{15\sqrt{2} \text{ m}}{1/\sqrt{2} \text{ s}} = 10\sqrt{2} \text{ m/s}$$

**۳۸** سرعت متوسط برابر با جابه‌جایی کل تقسیم بر زمان کل است؛ پس اول به

سراغ به دست آوردن زمان‌های هر یک از جابه‌جایی‌ها می‌رویم.

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta x_1}{v_1} = \frac{10 \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 5 \text{ s}, \Delta t_2 = \frac{\Delta x_2}{v_2} = \frac{20 \text{ m}}{4 \text{ m/s}} = 5 \text{ s}$$

$$\Delta t_3 = \frac{\Delta x_3}{v_3} = \frac{30 \text{ m}}{6 \text{ m/s}} = 5 \text{ s}$$

حالا به سراغ محاسبه سرعت متوسط می‌رویم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_T}{\Delta t_T} = \frac{10 \text{ m} + 20 \text{ m} + 30 \text{ m}}{5 \text{ s} + 5 \text{ s} + 5 \text{ s}} = \frac{60 \text{ m}}{15 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

**۳۹ الف** سرعت متوسط متحرک برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ در رابطه بالا به جای } \Delta t, \text{ مساوی آن یعنی } \frac{\Delta x}{v_{av}} \text{ را قرار می‌دهیم و چون } \Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_3 = \Delta x$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x + \Delta x}{\frac{\Delta x}{v_1} + \frac{\Delta x}{v_2}} = \frac{2\Delta x}{\frac{\Delta x}{v_1} + \frac{\Delta x}{v_2}} \Rightarrow v_{av} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2}$$

**۵۲.** به کمک رابطه  $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  سرعت نهایی را تعیین می‌کنیم:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \Rightarrow (\text{r m/s}^2) \vec{i} = \frac{v_2 - (\text{r m/s}) \vec{i}}{\text{r s}}$$

$$\Rightarrow (\text{r m/s}) \vec{i} = v_2 - (\text{r m/s}) \vec{i}$$

$$\Rightarrow v_2 = (\text{r m/s}) \vec{i} + (\text{r m/s}) \vec{i} = (2\text{r m/s}) \vec{i}$$

**۵۳. گام اول:** سرعت‌های داده شده را به متر بر ثانیه تبدیل می‌کنیم:

$$v_1 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 20 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 25 \text{ m/s}$$

**گام دوم:** شتاب متوسط قسمت اول برابر است با:

$$a_{av,1} = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{20 \text{ m/s} - 0}{10 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$$

**گام سوم:** چون شتاب ثابت است،  $a_{av,1} = a_{av,2} = 2 \text{ m/s}^2$  است و داریم:

$$a_{av,2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} \Rightarrow 2 \text{ m/s}^2 = \frac{25 \text{ m/s} - 0}{\Delta t_2}$$

$$\Rightarrow \Delta t_2 = \frac{25 \text{ m/s}}{2 \text{ m/s}^2} = 12.5 \text{ s}$$

**۵۴.** شتاب متوسط برابر با  $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  است؛ پس:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{((-16 \text{ m/s}) \vec{i} - 0) \vec{i}}{4 \text{ s} - 0} = \frac{(-16 \text{ m/s}) \vec{i}}{4 \text{ s}} = (-4 \text{ m/s}^2) \vec{i}$$

این به معنی این است که شتاب متحرک در خلاف جهت محور X است.

**۵۵.** سرعت متحرک در نقطه A در جهت منفی محور Xها است؛ پس:

$$\vec{v}_A = -5 \text{ m/s} \vec{i}$$

اما در نقطه B سرعت متحرک در جهت مثبت محور Yها است؛ پس:

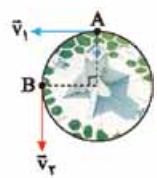
$$\vec{v}_B = 5 \text{ m/s} \vec{j}$$

بنابراین شتاب متوسط برابر است با:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_B - \vec{v}_A}{\Delta t} = \frac{(\text{r} \vec{j} - (-\text{r} \vec{i})) \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = \frac{(\text{r} \vec{j} + \text{r} \vec{i}) \text{ m/s}}{10 \text{ s}}$$

$$= \left(\frac{\text{r}}{10} \vec{i} + \frac{\text{r}}{10} \vec{j}\right) \text{ m/s}^2 \Rightarrow a_{av} = \sqrt{\left(\frac{\text{r}}{10}\right)^2 + \left(\frac{\text{r}}{10}\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{10} \text{ m/s}^2$$

**۵۶.** ابتدا اندازه سرعت اتومبیل را بر حسب m/s تعیین می‌کنیم:



$$v = 72 \text{ km/h} \div 3/6 = 20 \text{ m/s}$$

حالا بردار  $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$  را رسم می‌کنیم و اندازه آن را به دست می‌آوریم:

$$|\Delta \vec{v}| = \sqrt{20^2 + 20^2} = 20\sqrt{2} \text{ m/s}$$

و از رابطه شتاب متوسط داریم:

$$|\vec{a}_{av}| = \frac{|\Delta \vec{v}|}{\Delta t} = \frac{20\sqrt{2} \text{ m/s}}{20 \text{ s}} = \sqrt{2} \text{ m/s}^2$$

جهت شتاب متوسط همان جهت  $\Delta \vec{v}$  است.

**۵۷. الف)** برای این که مکان اولیه متحرک را به دست آوریم، کافی است t را

$$x_{(t=0)} = (0)^2 - 4(0) + 3 = 3 \text{ m}$$

مسئله صفر قرار دهیم:

**ب)** باید مکان را در  $t = 0$  و  $t = 4$  s با توجه به معادله مکان - زمان تعیین

کنیم تا بتوانیم جابه‌جایی را حساب کنیم. مکان اولیه را که داریم، فقط می‌ماند

$$x(t) = t^2 - 4t + 3$$

مکان در  $t = 4$  s:

$$\xrightarrow{t=4 \text{ s}} x_{(t=4 \text{ s})} = (4)^2 - 4(4) + 3 = 16 - 16 + 3 = 3 \text{ m}$$

پس جابه‌جایی برابر است با:  $\Delta x_{(0-4 \text{ s})} = x_{(t=4 \text{ s})} - x_{(t=0)} = 3 \text{ m} - 3 \text{ m} = 0$

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$$

**ب)** سرعت متوسط متحرک برابر است با:

در رابطه بالا به جای  $\Delta x$ ، مساوی آن یعنی  $v \cdot \Delta t$  را قرار می‌دهیم و چون  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$  داریم:

$$v_{av} = \frac{v_1 \cdot \Delta t + v_2 \cdot \Delta t}{\Delta t + \Delta t} = \frac{(v_1 + v_2) \Delta t}{2 \Delta t} \Rightarrow v_{av} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

از قسمت (ب) نتیجه می‌گیریم که اگر متحرکی در بازه‌های زمانی مساوی با سرعت‌های  $v_1$  و  $v_2$  حرکت کند، سرعت متوسط در کل مدت حرکت برابر با میانگین  $v_1$  و  $v_2$  است.

**۴۰.** اگر کل زمان حرکت را T بگیریم، متحرک مدت  $\frac{T}{2}$  را با سرعت  $60 \text{ m/s}$  و  $\frac{T}{2}$  را

با سرعت  $24 \text{ m/s}$  حرکت می‌کند؛ پس متحرک مدت زمان  $\frac{T}{6} - \left(\frac{T}{2} + \frac{T}{2}\right)$  را با سرعت  $12 \text{ m/s}$  طی می‌کند:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_T}{\Delta t_T} = \frac{(60 \text{ m/s}) \frac{T}{2} + (24 \text{ m/s}) \frac{T}{2} + (12 \text{ m/s}) \frac{T}{6}}{T} = \left(\frac{30T + 12T + 2T}{T}\right) \text{ m/s} = 40 \text{ m/s}$$

**۴۱.** نادرست؛ اگر سرعت منفی باشد، برای این که حرکت تندشونده داشته باشیم، باید شتاب حرکت منفی باشد.

**۴۲.** نادرست؛ اگر جهت حرکت که همان جهت بردار سرعت است تغییر کند، با آن که اندازه سرعت یعنی تندی ثابت است، حرکت شتاب‌دار خواهد بود.

**۴۳.** نادرست؛ شتاب هم به علت تغییر اندازه سرعت تشکیل می‌شود و هم به علت تغییر در جهت سرعت.

**۴۴.** جنوب - حرکت خودرو کند می‌شود؛ بنابراین باید جهت شتاب در خلاف جهت حرکت خودرو که همان جهت سرعت است، باشد.

**۴۵.** تندشونده - هرگاه  $av > 0$  باشد، حرکت تندشونده است.

**۴۶.** کندشونده - در این حالت نیرو، شتابی در خلاف جهت سرعت ایجاد می‌کند که باعث کندشدن حرکت می‌شود.

**۴۷.** تغییر سرعت

**۴۸.** تغییرات بردار سرعت لحظه‌ای تقسیم بر مدت‌زمان این تغییرات را شتاب متوسط می‌نامیم که کمیتی برداری و هم‌جهت با بردار تغییر سرعت است:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

یکای شتاب متوسط  $\text{m/s}^2$  است.

**۴۹.** بله - در حالی که متحرک برای یک لحظه می‌ایستد و پس از آن جهت حرکت

خود را عوض می‌کند، برای یک لحظه، سرعت حرکت  $v = 0$  صفر می‌شود ولی شتاب حرکت صفر نیست. پرتاب یک جسم در راستای قائم رو به بالا، نمونه‌ای از این حالت است که در نقطه اوج سرعت صفر است ولی شتاب صفر نیست.

**۵۰.** به کمک رابطه  $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  شتاب متوسط را حساب می‌کنیم:

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{21 \text{ m/s} - 5 \text{ m/s}}{6 \text{ s} - 2 \text{ s}} = \frac{16 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}^2$$

**۵۱. گام اول:** تغییرات سرعت را به دست می‌آوریم.

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 130 \text{ km/h} - 40 \text{ km/h} = 90 \text{ km/h}$$

**گام دوم:** تغییرات سرعت را بر حسب متر بر ثانیه می‌نویسیم:

$$\Delta v = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 25 \text{ m/s}$$

**گام سوم:** با استفاده از رابطه  $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  شتاب متوسط را به دست می‌آوریم:

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 2.5 \text{ m/s}^2$$



نمونه امتحان نیمسال دوم	رشته علوم تجربی	فیزیک ۳
ردیف	امتحان شماره ۶ - نهایی خرداد ۱۴۰۳	مدت امتحان: ۱۲۰ دقیقه
نمره	Kheilisabz.com	
۱	درستی یا نادرستی جمله‌های زیر را با کلمه‌های «درست» یا «نادرست» در پاسخ‌برگ مشخص کنید. الف) برداری که مبدأ محور را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی جسم در آن لحظه نام دارد. ب) در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط متحرک در هر بازه زمانی دلخواه، برابر سرعت لحظه‌ای آن است. ج) شتاب متوسط، کمیتی برداری و هم‌جهت با بردار تغییر سرعت است. د) مساحت سطح بین نمودار مکان - زمان و محور زمان در هر بازه زمانی، برابر اندازه جابه‌جایی در آن بازه است.	
۲	آیا در حرکت با سرعت ثابت، اندازه جابه‌جایی متحرک همواره با مسافت پیموده‌شده، برابر است؟ چرا؟	۰/۵
۳	شکل روبه‌رو، نمودار مکان - زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور X با شتاب ثابت در حرکت است. الف) در کدام بازه زمانی، متحرک در خلاف جهت محور X حرکت می‌کند؟ ب) در کدام لحظه، متحرک تغییر جهت داده است؟ ج) در کدام لحظه، متحرک بیشترین سرعت لحظه‌ای را دارد؟	۰/۷۵
۴	شکل روبه‌رو، نمودار شتاب - زمان یک متحرک را که در امتداد محور X از حال سکون شروع به حرکت می‌کند، نشان می‌دهد. الف) با انجام محاسبات لازم، نمودار سرعت - زمان آن را در بازه زمانی صفر تا ۱۶ s رسم کنید. ب) مسافت پیموده‌شده در بازه زمانی ۶ s تا ۱۶ s چند متر است؟	۱/۲۵ ۰/۵
۵	کلمه درست را از داخل پرانتز انتخاب و به پاسخ‌برگ منتقل کنید. الف) وزن یک جسم در مکان‌های مختلف (ثابت - متغیر) است. ب) با دو برابر کردن اندازه تکانه یک جسم، انرژی جنبشی آن (دو - چهار) برابر می‌شود. ج) در نمودار نیروی کشسانی فنر بر حسب تغییر طول، هر چه ثابت فنر بیشتر باشد، شیب نمودار (بیشتر - کم‌تر) است. د) نیروی گرانشی میان دو ذره، با حاصل ضرب جرم آن‌ها نسبت (مستقیم - وارون) دارد. ه) شخصی درون آسانسوری روی یک ترازوی فنری ایستاده است. اگر آسانسور تندشونده به طرف پایین حرکت کند، ترازو عددی (کوچک‌تر - بزرگ‌تر) از وزن شخص را نشان می‌دهد.	۱/۲۵
۶	الف) لختی را تعریف کنید. ب) شخصی در حال هل دادن جعبه‌ای سنگین روی سطح افقی است و این جعبه در جهت این نیرو حرکت می‌کند. با توجه به آن که نیرویی که شخص به جعبه وارد می‌کند با نیرویی که جعبه به شخص وارد می‌کند هم‌اندازه است، توضیح دهید چگونه جعبه حرکت می‌کند.	۱
۷	مطابق شکل روبه‌رو جسمی به جرم ۸۰ kg روی سطح افقی در حال حرکت است. اگر شتاب جعبه در این حالت $1/5 \text{ m/s}^2$ باشد، ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جعبه را به دست آورید. ( $g = 10 \text{ N/kg}$ )	۱
۸	دو گوی هم‌اندازه را که جرم یکی سه برابر دیگری است ( $m_2 = 3m_1$ ) از بالای برجی به ارتفاع h به طور هم‌زمان رها می‌کنیم. با فرض این که نیروی مقاومت هوا در طی حرکت دو گوی، ثابت و یکسان باشد با نوشتن روابط لازم، شتاب حرکت گوی‌ها را با هم مقایسه کنید.	۱
۹	جاهای خالی را با کلمات مناسب داده‌شده پر کنید. (یک کلمه اضافی است). افزایش - کاهش - مکان‌یابی پژوهاکی - لیتوتربیسی الف) در حرکت هماهنگ ساده، وقتی نوسانگر به طرف نقطه تعادل حرکت می‌کند، انرژی پتانسیل آن ..... می‌یابد. ب) برای اندازه‌گیری تندی شارش خون، از ..... همراه با اثر دوپلر استفاده می‌شود. ج) با کاهش دما و افزایش چگالی هوا، ضریب شکست هوا ..... می‌یابد.	۰/۷۵
۱۰	آزمایشی را توضیح دهید که نشان دهد آیا صوت در خلأ منتشر می‌شود. وسایل آزمایش: گوشی تلفن همراه، محفظه تخلیه هوای شیشه‌ای، پمپ تخلیه هوا	۰/۷۵
۱۱	در شکل روبه‌رو، زاویه بین دو آینه چند درجه باشد تا پرتوهای تابش و بازتابیده از آینه $M_2$ بر هم منطبق گردد؟	۰/۵



نمونه امتحان نیم سال دوم	رشته علوم تجربی	فیزیک ۳												
ردیف	امتحان شماره ۶ - نهایی خرداد ۱۴۰۳	مدت امتحان: ۱۲۰ دقیقه												
نمره	Kheilisabz.com													
۱۲	<p>مطابق شکل روبه‌رو، چند آونگ را از سیمی آویخته‌ایم. با به نوسان درآوردن آونگ X:</p> <p>الف) آیا همه آونگ‌ها شروع به نوسان می‌کنند؟</p> <p>ب) در کدام آونگ پدیده تشدید اتفاق می‌افتد؟</p>													
۱۳	<p>معادله نوسانی یک نوسانگر در SI به صورت <math>x = 0.05 \cos 100\pi t</math> است.</p> <p>الف) بسامد زاویه‌ای آن چند رادیان بر ثانیه است؟</p> <p>ب) اندازه شتاب نوسانگر را در لحظه <math>t = \frac{1}{400}</math> s به دست آورید.</p>	<p><math>(\cos \frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2}, \pi^2 = 10)</math></p>												
۱۴	<p>شنونده‌ای از فاصله ۶۰ متری یک چشمه صوت به فاصله ۱۶۰ متری آن می‌رود. تراز شدت صوتی که می‌شنود چند دسی بل افزایش می‌یابد؟ <math>(\log 2 = 0.3)</math></p>	۱												
۱۵	<p>فنری به جرم <math>0.6 \text{ kg}</math> و طول <math>4 \text{ m}</math> را با نیروی <math>1/2 \text{ N}</math> می‌کشیم. اگر موج عرضی ایجادشده با بسامد <math>2/8 \text{ Hz}</math> در طول فنر منتشر شود، طول موج آن را به دست آورید. <math>(\sqrt{2} = 1/4)</math></p>	۱												
۱۶	<p>الف) مطابق شکل روبه‌رو، پرتوی نوری تحت زاویه <math>53^\circ</math> به مرز آب - هوا برخورد کرده است. اگر زاویه شکست <math>53^\circ</math> باشد، ضریب شکست را به دست آورید. <math>(\sin 37^\circ = 0.6, \sin 53^\circ = 0.8)</math></p> <p>ب) نمودار انرژی پتانسیل بر حسب مکان در سامانه جرم - فنری که به آن وزنه‌ای به جرم <math>200 \text{ g}</math> وصل شده است، مطابق شکل روبه‌رو می‌باشد. بیشینه سرعت نوسانگر را به دست آورید.</p>													
۱۷	<p>در جدول زیر برای هر گزاره از ستون (۱) گزاره مناسب از ستون (۲) را انتخاب کرده و در پاسخ‌برگ بنویسید. (در ستون (۲) یک مورد اضافه است.)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ستون (۱)</th> <th>ستون (۲)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>الف) امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از یک جسم جامد ملتهب</td> <td>۱) طیف خطی</td> </tr> <tr> <td>ب) کم‌ترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه</td> <td>۲) انرژی بستگی هسته‌ای</td> </tr> <tr> <td>ج) عامل پایداری هسته</td> <td>۳) نیروی هسته‌ای</td> </tr> <tr> <td>د) انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته</td> <td>۴) انرژی یونش الکترون</td> </tr> <tr> <td></td> <td>۵) طیف پیوسته</td> </tr> </tbody> </table>	ستون (۱)	ستون (۲)	الف) امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از یک جسم جامد ملتهب	۱) طیف خطی	ب) کم‌ترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه	۲) انرژی بستگی هسته‌ای	ج) عامل پایداری هسته	۳) نیروی هسته‌ای	د) انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته	۴) انرژی یونش الکترون		۵) طیف پیوسته	۱
ستون (۱)	ستون (۲)													
الف) امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از یک جسم جامد ملتهب	۱) طیف خطی													
ب) کم‌ترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه	۲) انرژی بستگی هسته‌ای													
ج) عامل پایداری هسته	۳) نیروی هسته‌ای													
د) انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته	۴) انرژی یونش الکترون													
	۵) طیف پیوسته													
۱۸	<p>الف) دو نارسایی مدل بور را بنویسید.</p> <p>ب) فوتون متعلق به کوتاه‌ترین طول موج در رشته براکت <math>(n' = 4)</math> هیدروژن اتمی چند الکترون ولت انرژی دارد؟ <math>(hc = 1240 \text{ eV.nm}, R = 0.01 \text{ (nm)}^{-1})</math></p>	۱/۷۵												
۱۹	<p>نوری با طول موج <math>250 \text{ nm}</math> به سطحی از جنس فلز تنگستن می‌تابد و سبب گسیل فوتوالکترون‌ها از آن می‌شود.</p> <p>الف) اگر توان چشمه نور فرودی <math>8 \text{ W}</math> باشد، در هر دقیقه چه تعداد فوتون از این چشمه گسیل می‌شود؟</p> <p>ب) افزایش شدت نور فرودی، چه تأثیری در انرژی جنبشی و تعداد فوتوالکترون‌ها دارد؟ <math>(hc = 2 \times 10^{-25} \text{ J.m})</math></p>	۱/۲۵												
۲۰	<p>سرب <math>^{207}_{82}\text{Pb}</math> هسته دختر پایداری است که از واپاشی <math>\alpha</math> یا واپاشی <math>\beta^-</math> حاصل می‌شود. فرایندهای مربوط به هر یک از این واپاشی‌ها را بنویسید. در هر مورد، هسته مادر را به صورت <math>^A_Z\text{X}</math> در نظر گرفته و مقادیر <math>A</math> و <math>Z</math> را مشخص کنید.</p>	۱												
۲۰	جمع نمرات													

۱۲. الف) بله (۰/۲۵) ب) آونگ B (۰/۲۵)  
 ۱۳. الف)  $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$  (۰/۲۵)

ب)  $x = 0.05 \cos(100\pi \times \frac{1}{400})$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow x = 0.05 \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m}$  (۰/۲۵)

۱۴.  $|a| = \omega^2 x$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow |a| = 2500 \sqrt{2} \text{ m/s}^2$  (۰/۲۵)  
 $\frac{I_2}{I_1} = (\frac{r_1}{r_2})^2$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 16$  (۰/۲۵)

۱۵.  $\Delta\beta = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \Delta\beta = 12 \text{ dB}$  (۰/۲۵)

$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{FL}{m}}$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow v = 2\sqrt{2} = 2.8 \text{ m/s}$  (۰/۲۵)

۱۶. الف)  $\lambda = \frac{v}{f}$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow \lambda = 1 \text{ m}$  (۰/۲۵)

$\frac{\sin \theta_r}{\sin \theta_i} = \frac{n_1}{n_2}$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow n_1 = \frac{4}{3} = 1.33$  (۰/۲۵)

ب)  $K_{\max} = \frac{1}{2} m v_{\max}^2$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow 40 = \frac{1}{2} \times 0.2 \times v_{\max}^2$   
 $\Rightarrow v_{\max} = 20 \text{ m/s}$  (۰/۲۵)

۱۷. الف) ۵) طیف پیوسته (۰/۲۵)

ب) ۴) انرژی یونش الکترون (۰/۲۵)

ج) ۳) نیروی هسته‌ای (۰/۲۵)

د) ۲) انرژی بستگی هسته‌ای (۰/۲۵)

۱۸. الف) این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد، به کار نمی‌رود (نیروی کولنی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می‌کند به حساب نیامده است) - این مدل نمی‌تواند متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را توضیح دهد. (هر مورد (۰/۲۵))

ب)  $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2})$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{100}(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{\infty^2})$  (۰/۲۵)

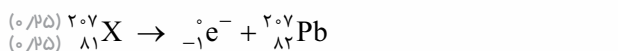
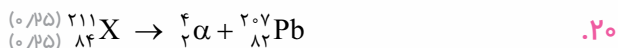
$\Rightarrow \lambda = 1600 \text{ nm}$  (۰/۲۵)

۱۹. الف)  $E = \frac{hc}{\lambda}$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow E = \frac{1240}{1600} = 0.775 \text{ eV}$  (۰/۲۵)

$pt = n \frac{hc}{\lambda}$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow \lambda \times 60 = n \times \frac{2 \times 10^{-25}}{250 \times 10^{-9}}$  (۰/۲۵)

$\Rightarrow n = 6 \times 10^{20}$  (۰/۲۵)

ب) انرژی جنبشی ثابت می‌ماند (۰/۲۵). تعداد فوتوالکترون‌ها افزایش می‌یابد. (۰/۲۵)



۱. الف) نادرست (۰/۲۵) ب) نادرست (۰/۲۵)  
 ج) درست (۰/۲۵) د) نادرست (۰/۲۵)  
 ۲. الف) بله (۰/۲۵) چون متحرک تغییر جهت نمی‌دهد. (۰/۲۵)  
 ۳. الف) در بازه زمانی صفر تا  $t_1$  (۰/۲۵)  
 ب) در لحظه  $t_1$  (۰/۲۵)  
 ج) در لحظه  $t_2$  (۰/۲۵)  
 ۴. الف)

$v = at + v_0$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow v = 5 \times 6 = 30 \text{ m/s}$  (۰/۲۵)  
 $v = (-3 \times 10) + 30 = 0 \text{ m/s}$  (۰/۲۵)



ب)  $l = \Delta x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t$  (۰/۲۵)  
 $= \frac{1}{2}(-3) \times 10 \times 10 + (30 \times 10) = 150 \text{ m}$  (۰/۲۵)

۵. الف) متغیر (۰/۲۵) ب) چهار (۰/۲۵)  
 ج) بیشتر (۰/۲۵) د) مستقیم (۰/۲۵)  
 ه) کوچک‌تر (۰/۲۵)

۶. الف) اجسام میل دارند هنگامی که نیروی خالص وارد بر آنها صفر است (۰/۲۵) وضعیت حرکت خود را حفظ کنند (۰/۲۵). این خاصیت لختی نام دارد.

ب) با توجه به قانون سوم نیوتون، دو نیروی هم‌اندازه و در خلاف جهت به دو جسم متفاوت وارد می‌شود (۰/۲۵) بنابراین نیروها همدیگر را خنثی نمی‌کنند (۰/۲۵).

۷.  $F_{\text{net}} = ma$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow F - \mu_k mg = ma$  (۰/۲۵)  
 $\Rightarrow 440 - \mu_k \times 800 = 80 \times 1/5$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow \mu_k = 0.4$  (۰/۲۵)

۸.  $F_{\text{net}} = ma$  (۰/۲۵)  $\Rightarrow mg - F_D = ma$  (۰/۲۵)  
 $a = g - \frac{F_D}{m}$  (۰/۲۵)

هر چه m بیشتر باشد، شتاب حرکت بیشتر است در نتیجه  $a_2 > a_1$ . (۰/۲۵)  
 ۹. الف) کاهش (۰/۲۵) ب) مکان‌یابی پژواکی (۰/۲۵)  
 ج) افزایش (۰/۲۵)

۱۰. گوشی تلفن همراه روشنی را زیر محفظه تخلیه هوای شیشه‌ای قرار می‌دهیم. در این حالت با برقراری تماس صدای آن شنیده می‌شود (۰/۲۵). با به کار افتادن پمپ تخلیه هوا، صدا به تدریج ضعیف و سرانجام قطع می‌شود (۰/۲۵). در حالی که امواج الکترومغناطیسی هم‌چنان به گوشی می‌رسد. نتیجه می‌گیریم صوت نمی‌تواند در خلأ منتشر شود (۰/۲۵).

۱۱. رسم درست پرتوی بازتابیده از آینه  $M_1$  (۰/۲۵)  
 به دست آوردن زاویه بین دو آینه  $40^\circ = 90^\circ - 50^\circ$  (۰/۲۵)

