

به نام خداوند جان و خرد

فیزیک (۳)

پایه دوازدهم ، دوره دوم متوسطه

رشته‌های ریاضی فیزیک و علوم تجربی

فصل اول: حرکت در راستای خط راست

ویراست اول

۲۸ اسفندماه ۱۳۹۶



حرکت در راستای خط راست

۱

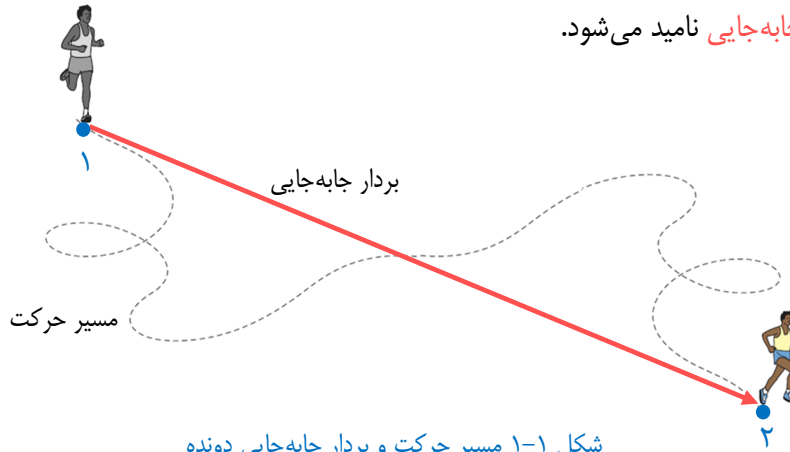
چه مدت طول می کشد تا تندی خودروبی از صفر به 100 km/h برسد؟ چه مسافتی را یک هواپیما باید روی باند پرواز حرکت کند تا به تندی برخاستن برسد؟ وقتی جسمی از دست شما رها می شود چقدر وقت دارید تا آن را قبل از برخورد به زمین بگیرید؟

در این فصل به ساده ترین نوع حرکت، یعنی حرکت جسمی که بر خط راست حرکت می کند خواهیم پرداخت و این ها از نوع پرسش هایی هستند که در این فصل چگونگی پاسخ دادن به آنها را فرا خواهید گرفت.

۱-۱ شناخت حرکت

در علوم سال نهم با مفاهیم اولیه حرکت آشنا شدید. در این بخش ضمن مرور این مفاهیم و کمیت‌های مرتبط با آنها، زمینه لازم را برای شناخت و توصیف دقیق‌تر حرکت فراهم می‌کنیم.

مسافت و جابه‌جایی: شکل ۱-۱ مسیر حرکت دنده‌ای را از مکان ۱ تا مکان ۲ نشان می‌دهد. طول این مسیر، مسافت پیموده شده یا به اختصار **مسافت** نامیده می‌شود. همچنین پاره خط جهت‌داری که مکان آغازین حرکت را به مکان پایانی حرکت وصل می‌کند **برداری جابه‌جایی** نامید می‌شود.



پرسش ۱-۱

۱- شکل الف شخصی را در حال پیاده روی در راستای خط راست از مکان ۱ به مکان ۲ نشان می‌دهد. مسیر حرکت و برداری جابه‌جایی شخص را روی شکل مشخص و اندازه برداری جابه‌جایی آن را با طول مسیر (مسافت) مقایسه کنید.



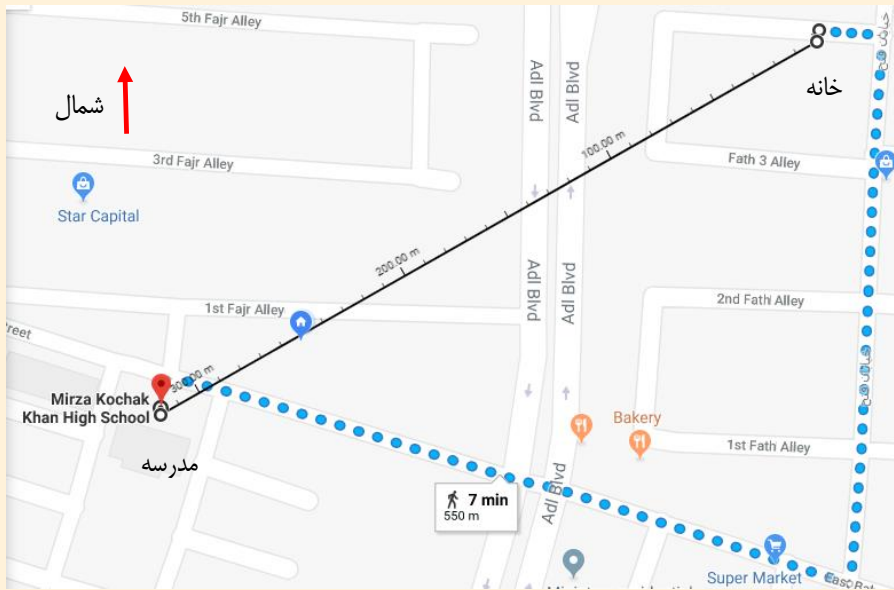
۲- شخص پس از رسیدن به مکان ۲، برمی‌گردد و روی همان مسیر به مکان ۳ می‌رود (شکل ب). مسیر حرکت و برداری جابه‌جایی شخص را روی شکل مشخص و اندازه برداری جابه‌جایی آن را با طول مسیر مقایسه کنید.



۳- شکل پ مسیر حرکت ماه به دور زمین را نشان می‌دهد. وقتی ماه در جهت پادساعتگرد از مکان ۱ به مکان ۲ می‌رود مسیر حرکت و برداری جابه‌جایی آن را روی شکل مشخص و اندازه برداری جابه‌جایی آن را با مسافت پیموده شده مقایسه کنید.



مطابق شکل زیر و به کمک یک نرم افزار نقشه یاب (مانند google map)، مکان خانه و مدرسه تان را مشخص کنید. سپس طول مسیر حرکت (مسافت) و اندازه بردار جابه جایی خانه تا مدرسه را تعیین کنید.



تندی متوسط و سرعت متوسط: اگر دونه شکل ۱-۱ در مدت زمان Δt از مکان ۱ به مکان ۲ برود و مسافت و بردار جابه جایی بین این دو مکان را به ترتیب با l و \vec{d} نشان دهیم، همان طور که در علوم سال نهم دیدید، تندی متوسط و سرعت متوسط دونه به صورت زیر تعریف می شوند:

$s_{av} = \frac{l}{\Delta t}$	(۱-۱)	تندی متوسط
$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$	(۲-۱)	سرعت متوسط

همان طور که دیده می شود تندی متوسط کمیتی نرده ای و سرعت متوسط کمیتی برداری است و یکای SI آنها، متر بر ثانیه (m/s) است که می توان آنها را برحسب یکاهای دلخواه دیگری مانند کیلومتر بر ساعت (km/h) نیز بیان کرد.

مثال ۱-۱

تندی متوسط و سرعت متوسط دانش آموز فعالیت ۴-۱ را پیدا کنید.

پاسخ: با توجه داده های روی نقشه، دانش آموز در مدت زمان $\Delta t = 7 \text{ min} = 420 \text{ s}$ مسافت $l = 550 \text{ m}$ را از خانه تا مدرسه پیموده است. به این ترتیب و با توجه به رابطه ۱-۱ تندی متوسط وی برابر $s_{av} = 550 \text{ m} / 420 \text{ s} = 1.30 \text{ m/s}$ می شود و مفهوم فیزیکی آن این است که دانش آموز به طور متوسط در هر ثانیه 1.30 m از مسیر را پیموده است. همچنین با توجه به نقشه، اندازه بردار جابه جایی دانش آموز 318 m و جهت آن به طرف جنوب غربی است. در نتیجه با توجه به رابطه ۲-۱ اندازه سرعت متوسط وی برابر $v_{av} = 318 \text{ m} / 420 \text{ s} = 0.757 \text{ m/s}$ و جهت آن به طرف جنوب غربی است.

پرسش ۲-۱

در چه صورت اندازه سرعت متوسط یک متحرک با تندی متوسط آن برابر است؟ برای پاسخ خود می توانید به شکل های پرسش ۱-۱ نیز توجه کنید.

اکنون سرعت متوسط را برای حالت خاصی بررسی می‌کنیم که جسم در راستای خط راست حرکت می‌کند. به این منظور محوری مانند محور x را انتخاب و فرض می‌کنیم که جسم در جهت آن حرکت می‌کند. همچنین مکان دلخواهی را روی محور، به عنوان مبدأ حرکت ($x = 0$) در نظر می‌گیریم. در این صورت، برداری که مبدأ حرکت را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند **بردار مکان** نامیده می‌شود. شکل ۲-۱ الف و ب، مکان و بردار مکان شخصی را در دو لحظه متفاوت نشان می‌دهد که در جهت محور x ها می‌دود. بردار مکان دهنده را در این دو لحظه، می‌توان به صورت زیر نوشت:

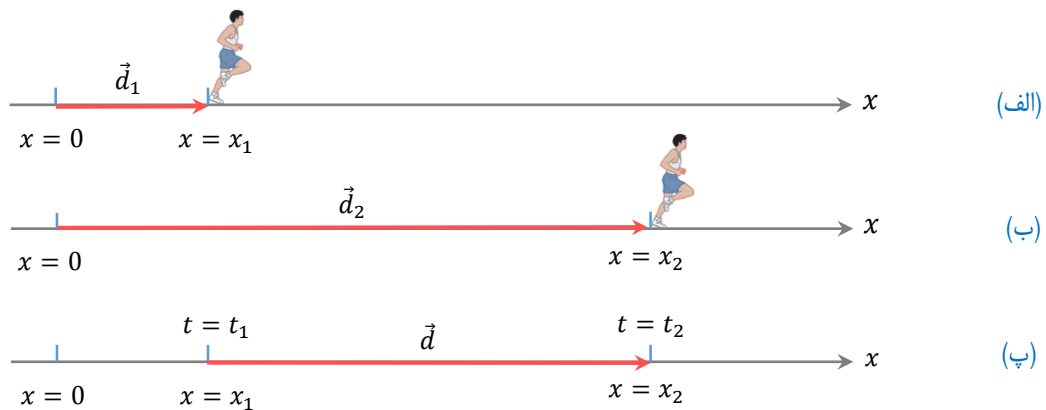
$$\vec{d}_1 = x_1 \vec{i} \quad \text{و} \quad \vec{d}_2 = x_2 \vec{i}$$

در این صورت و با توجه به شکل ۲-۱ پ بردار جابه‌جایی دهنده برابر است با:

$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = x_2 \vec{i} - x_1 \vec{i} = \Delta x \vec{i}$$

به این ترتیب رابطه ۲-۱ مربوط به سرعت متوسط دهنده را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} \quad (3-1) \quad \text{سرعت متوسط در راستای محور } x$$



شکل ۲-۱ الف) و ب) بردار مکان دهنده در دو لحظه متفاوت و پ) بردار جابه‌جایی آن.

توجه: از آنجا که در ادامه این فصل تنها حرکت اجسام در راستای خط راست بررسی می‌شود، جابه‌جایی متحرک را به صورت Δx و سرعت متوسط را به صورت $v_{av} = \Delta x / \Delta t$ در حل مسئله‌ها به کار می‌بریم. در این صورت علامت جبری Δx و v_{av} جهت حرکت را نشان می‌دهند. اگر متحرک در جهت مثبت محور x حرکت کند جابه‌جایی و سرعت متوسط آن مثبت و اگر متحرک در جهت منفی محور x حرکت کند، جابه‌جایی و سرعت متوسط آن منفی خواهد بود.



فعالیت ۲-۱

جدول زیر را کامل کنید. فرض کنید هر چهار متحرک در مدت زمان 4.0s فاصله بین مکان آغازین و مکان پایانی را طی می‌کنند.

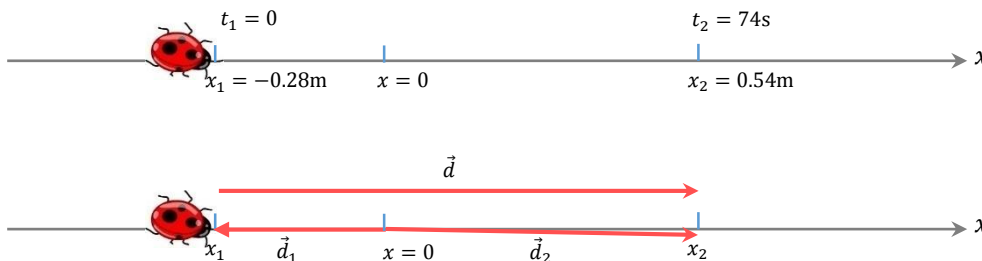
جهت حرکت	سرعت متوسط	جابه‌جایی	مکان پایانی	مکان آغازین	
			6.4m	-2.0m	متحرک A
			-2.5m	3.1m	متحرک B
			8.6m	2.0m	متحرک C
			-11m	-1.4m	متحرک D

مثال ۲-۱

کفش دوزکی که در راستای خط راست و در جهت محور x در حرکت است در هر یک از لحظه‌های $t_1 = 0$ و $t_2 = 74\text{s}$ به ترتیب از مکان‌های $x_1 = -0.28\text{m}$ و $x_2 = 0.54\text{m}$ می‌گذرد.

(الف) بردارهای مکان و بردار جابه‌جایی کفش دوزک را در این بازه زمانی رسم کنید.

(ب) سرعت متوسط کفش دوزک را در این بازه زمانی پیدا کنید.



پاسخ: (الف)

(ب) چون کفش دوزک در راستای خط راست حرکت می‌کند، سرعت متوسط آن برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{0.54\text{m} - (-0.28\text{m})}{74\text{s} - 0} \approx 0.010 \text{ m/s}$$

علامت مثبت نشان می‌دهد که کفش دوزک در جهت مثبت محور x جابه‌جا شده است.

مثال ۳-۱

با استفاده از نمودار مکان-زمان می‌توان دریافت که متحرک در هر لحظه در چه مکانی قرار دارد و جابه‌جایی آن بین هر دو لحظه چقدر است. شکل زیر نمودار مکان-زمان مورچه‌ای را نشان می‌دهد که در راستای محور x در حرکت است.

(الف) در چه بازه زمانی مورچه در جهت محور x حرکت می‌کند؟

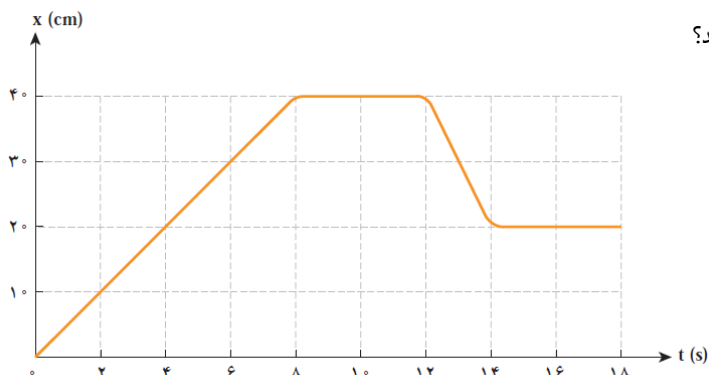
(ب) در چه بازه زمانی مورچه در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟

(پ) در چه بازه‌های زمانی مورچه ایستاده است؟

(ت) در چه لحظه‌هایی فاصله مورچه از مبدأ 30cm است؟

(ث) در چه بازه زمانی فاصله مورچه از مبدأ بیشترین مقدار است؟

(ج) جابه‌جایی و سرعت متوسط مورچه را در بازه زمانی 4.0s تا 8.0s پیدا کنید.



پاسخ: (الف) در بازه زمانی $t = 0$ تا $t = 8.0\text{s}$

(ب) در بازه زمانی $t = 12\text{s}$ تا $t = 14\text{s}$

(پ) در بازه‌های زمانی $t = 8.0\text{s}$ تا $t = 12\text{s}$ و $t = 12\text{s}$ تا $t = 18\text{s}$

(ت) در لحظه‌های $t = 6.0\text{s}$ و $t = 13\text{s}$ ، (ث) در بازه زمانی $t = 8.0\text{s}$ و $t = 12\text{s}$

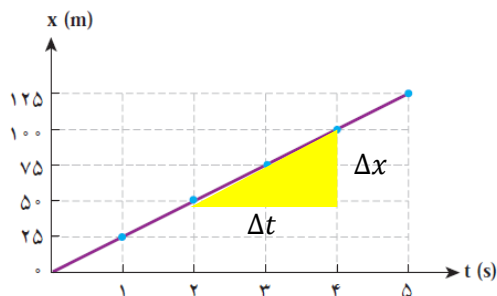
(ج)

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 40\text{cm} - 20\text{cm} = 20\text{cm}$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20\text{cm}}{8.0\text{s} - 4.0\text{s}} = 5.0 \text{ cm/s}$$

علامت مثبت نشان می‌دهد که مورچه در جهت مثبت محور x جابه‌جا شده است.

مثال ۱-۴



نمودار مکان-زمان موتورسواری که در راستای خط راست و در جهت مثبت محور x حرکت می‌کند در ۵ ثانیه اول حرکتش مطابق شکل روبه‌رو است. سرعت متوسط موتورسوار را در هر یک از بازه‌های زمانی $(0.0, 1.0s)$ ، $(2.0s, 4.0s)$ و $(1.0s, 5.0s)$ کنید. نتایج به دست آمده را با هم مقایسه و تفسیر کنید.

پاسخ: با توجه به داده‌های روی نمودار و بنا به رابطه $۳-۱$ ، سرعت متوسط

موتورسوار، برای هر یک از بازه‌های زمانی خواسته شده، برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{25\text{m} - 0.0}{1.0\text{s} - 0.0} = 25 \text{ m/s}$$

بازه زمانی ۰.۰ تا ۱.۰s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100\text{m} - 50\text{m}}{4.0\text{s} - 2.0\text{s}} = 25 \text{ m/s}$$

بازه زمانی ۲.۰s تا ۴.۰s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{125\text{m} - 25\text{m}}{5.0\text{s} - 1.0\text{s}} = 25 \text{ m/s}$$

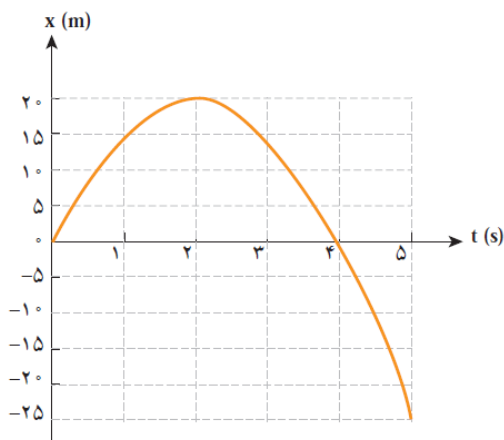
بازه زمانی ۱.۰s تا ۵.۰s

اگر در هر بازه زمانی دلخواه دیگری نیز سرعت متوسط موتورسوار را حساب کنید خواهید دید که اندازه و جهت آن یکسان است. از آنجا که شیب نمودار مکان-زمان برای هر بازه زمانی دلخواه برابر سرعت متوسط متحرک است (به تعریف سرعت متوسط در یک راستا و نسبت دو ضلع مثلث زرد رنگ روی نمودار توجه کنید) لذا با توجه به ثابت بودن شیب نمودار مکان-زمان موتورسوار در طول حرکت، چنین انتظاری می‌رفت.

مثال ۱-۵

شکل زیر، نمودار مکان زمان خودرویی را نشان می‌دهد که در راستای خط راست حرکت می‌کند.

الف) با استفاده از داده‌های روی شکل، سرعت متوسط خودرو را در هر یک از بازه‌های زمانی $(0.0, 2.0s)$ ، $(2.0s, 4.0s)$ ،



و $(2.0s, 5.0s)$ ، $(3.0s, 5.0s)$ حساب کنید.

ب) اندازه سرعت متوسط در کدام بازه زمانی، بیشینه و در کدام بازه زمانی، کمینه است؟

پ) سرعت متوسط در کدام بازه‌های زمانی در جهت محور x و در کدام بازه‌ها، در خلاف جهت محور x است؟

ت) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ: الف) با توجه به داده‌های روی نمودار و بنا به رابطه $۳-۱$ ، سرعت متوسط خودرو، برای هر یک از بازه‌های زمانی خواسته شده، برابر

است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20\text{m} - 0.0}{2.0\text{s} - 0.0} = 10 \text{ m/s}$$

بازه زمانی ۰.۰ تا ۱.۰s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0.0 - 0.0}{4.0\text{s} - 0.0} = 0$$

بازه زمانی ۰.۰s تا ۴.۰s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - 20\text{m}}{4.0\text{s} - 2.0\text{s}} = -10 \text{ m/s}$$

بازه زمانی 2.0s تا 4.0s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-25\text{m} - 20\text{m}}{5.0\text{s} - 2.0\text{s}} = -15 \text{ m/s}$$

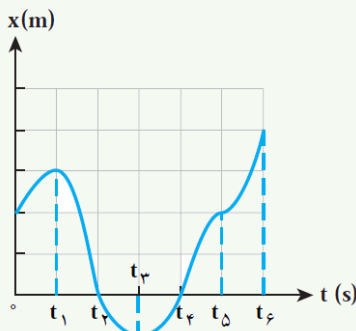
بازه زمانی 2.0s تا 5.0s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-25\text{m} - 0.0}{5.0\text{s} - 4.0\text{s}} = -25 \text{ m/s}$$

بازه زمانی 4.0s تا 5.0s

(ب) با توجه به نتایج قسمت قبل، اندازه سرعت متوسط در بازه زمانی 4.0s تا 5.0s، بیشینه و در بازه زمانی صفر تا 4.0s، کمینه است.
 (پ) در بازه های زمانی که سرعت متوسط خودرو مثبت است، حرکت خودرو در جهت محور x و در بازه های زمانی که سرعت متوسط منفی است، حرکت خودرو در خلاف جهت محور x است.
 (ت) از مقایسه سرعت های متوسط به دست آمده در بازه های زمانی مختلف، درمی یابیم سرعت متوسط خودرو در بازه های زمانی مختلف، متفاوت است.

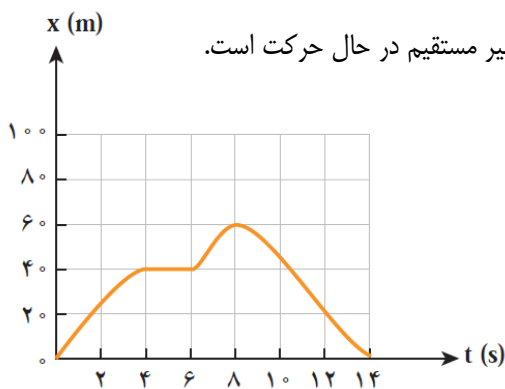
پرسش ۱-۳



با توجه به نمودار مکان-زمان شکل روبه رو به پرسش های زیر پاسخ دهید:

- (الف) متحرک چندبار از مبدأ مکان عبور می کند؟
 (ب) در کدام بازه های زمانی متحرک در حال دور شدن از مبدأ است؟
 (پ) در کدام بازه های زمانی متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است؟
 (ت) سوی حرکت چند بار تغییر کرده است؟ در چه لحظه هایی؟
 (ث) جابه جایی کل در جهت محور x است یا خلاف آن؟

تمرین ۱-۱



شکل زیر نمودار مکان-زمان دوچرخه سواری را نشان می دهد که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است.

- (الف) در چه لحظه ای دوچرخه سوار بیشترین فاصله از مبدأ را دارد؟
 (ب) در چه بازه های زمانی دوچرخه سوار در جهت محور حرکت می کند؟
 (پ) در چه بازه زمانی دوچرخه سوار در خلاف جهت محور x حرکت می کند؟
 (ت) در چه بازه زمانی، دوچرخه سوار ساکن است؟
 (ث) جابه جایی دوچرخه سوار در کل مدت حرکت چقدر است؟

(ج) سرعت متوسط دوچرخه سوار را در هر یک از بازه های زمانی $(0.0, 2.0\text{s})$ ، $(4.0\text{s}, 6.0\text{s})$ ، $(2.0\text{s}, 5.0\text{s})$ و $(8.0\text{s}, 14\text{s})$ حساب کنید.

تندی لحظه ای و سرعت لحظه ای: تندی متحرک در هر لحظه از زمان یا در هر نقطه از مسیر را، **تندی لحظه ای** می نامند. اگر هنگام

گزارش تندی لحظه ای، به جهت حرکت متحرک نیز اشاره شود، در واقع **سرعت لحظه ای** آن را، بیان کرده ایم. برای مثال وقتی درون خودرویی به طرف شمال در حال حرکت باشید و در نقطه ای از مسیر، عقبه تندی سنج خودروی شما روی 100 km/h باشد (شکل ۱-۳)، در این صورت تندی لحظه ای خودرو برابر 100 km/h و سرعت لحظه ای آن 100 km/h به طرف شمال است.

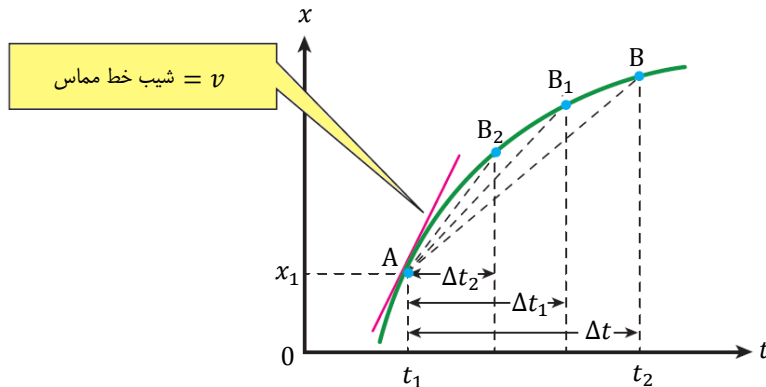


برای سادگی و بنا به قراردادی که در کتاب‌های فیزیک به کار می‌رود سرعت لحظه‌ای و تبدی لحظه‌ای را به ترتیب به صورت سرعت و تبدی بیان می‌کنند. همچنین سرعت را که کمیتی برداری است با نماد \vec{v} و تبدی را که برابر اندازه سرعت و کمیتی نرده‌ای است با نماد v نشان می‌دهند. در حالت‌هایی مانند مثال ۴-۱ که سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف یکسان است، سرعت لحظه‌ای با سرعت متوسط برابر است.

شکل ۴-۱ محل عقربه تبدی سنج، تبدی لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهد و هیچ گونه اطلاعاتی در خصوص جهت حرکت خودرو به ما گزارش نمی‌کند.

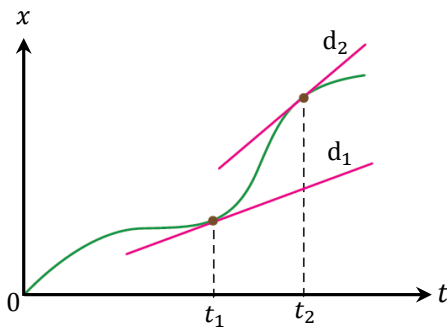
توجه: واژه لحظه در فیزیک با تعریف محاوره‌ای آن در زندگی روزمره متفاوت است. همه ما ممکن است عبارت «لطفاً کمی صبر کن. تنها به لحظه طول می‌کشد» را در موارد زیادی به کار ببریم که منظور یک بازه زمانی بسیار کوتاه، مثلاً چند ثانیه یا چند دقیقه است. ولی در فیزیک یک لحظه به هیچ وجه طول نمی‌کشد؛ لحظه به یک تک مقدار از زمان اشاره دارد.

تعیین سرعت لحظه‌ای به کمک نمودار مکان-زمان: پیش از این در مثال ۴-۱ دیدیم که سرعت متوسط متحرک بین هر دو لحظه دلخواه، برابر شیب خطی است که نمودار مکان زمان را در آن دو لحظه قطع می‌کند. همان طور که در شکل ۴-۱ دیده می‌شود اگر Δt به تدریج کوچک و کوچک‌تر شود، نقطه‌های A و B نیز به یکدیگر نزدیک و نزدیک‌تر می‌شوند؛ به طوری که اگر Δt خیلی خیلی کوچک شود A و B نیز فوق‌العاده به هم نزدیک می‌شوند و سرانجام این دو نقطه روی هم می‌افتند و خط AB در نقطه A بر نمودار مماس می‌شود. در این حالت، شیب خط مماس برابر سرعت لحظه‌ای متحرک در لحظه است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که: **سرعت در هر لحظه دلخواه t برابر شیب خط مماس بر نمودار در آن لحظه است.**



شکل ۴-۱ با کوچک شدن تدریجی Δt ، نقطه B به نقطه A نزدیک می‌شود. در این صورت خطی که بین این دو نقطه، در حالتی که بازه زمانی Δt خیلی خیلی کوچک شود، تبدیل به خط مماس بر منحنی می‌شود. به این ترتیب شیب این خط، برابر با سرعت لحظه‌ای متحرک است.

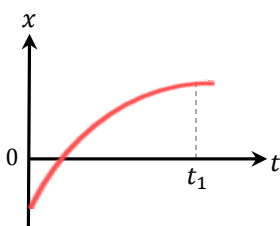
مثال ۴-۱



شکل روبه‌رو نمودار $x - t$ متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x در حرکت است. خط‌های d_1 و d_2 مماس بر منحنی را در دو لحظه متفاوت نشان می‌دهند. در کدام لحظه سرعت متحرک بیشتر است؟

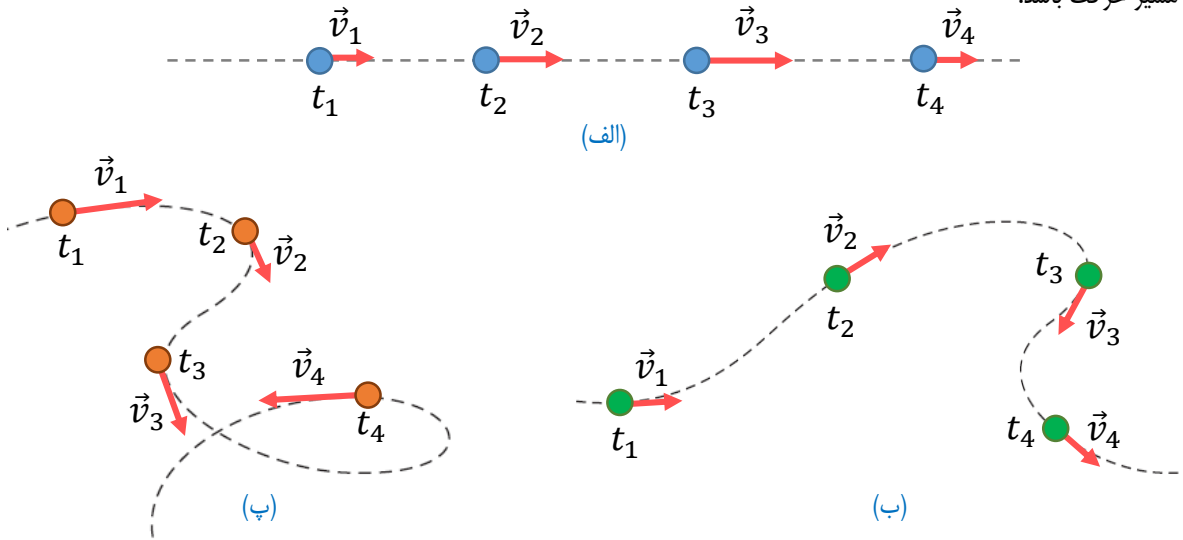
پاسخ: با توجه به شکل، شیب خط d_2 بیشتر از شیب خط d_1 است. بنابراین سرعت متحرک در لحظه t_2 بیشتر از سرعت آن در لحظه t_1 است ($v_2 > v_1$).

تمرین ۱-۲



شکل روبه‌رو نمودار متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x در حرکت است. الف) از لحظه صفر تا لحظه $t = t_1$ سرعت متحرک رو به افزایش است یا کاهش؟ ب) اگر در لحظه t_1 مماس بر منحنی موازی محور زمان باشد، سرعت متحرک در این لحظه چقدر است؟

شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای: در علوم سال نهم دیدید که هرگاه سرعت جسمی تغییر کند حرکت آن شتابدار است. تغییر سرعت جسم می‌تواند مانند شکل ۵-۱ الف، به دلیل تغییر در اندازه بردار سرعت (تندی) باشد، یا مانند شکل ۵-۱ ب، می‌تواند به دلیل تغییر در جهت بردار سرعت آن باشد، همچنین می‌تواند مانند شکل ۵-۱ پ به دلیل تغییر هم‌زمان در اندازه و جهت بردار سرعت متحرک، در نقاط مختلف مسیر حرکت باشد.



شکل ۵-۱ بردار سرعت در هر نقطه از مسیر، بر مسیر حرکت مماس است. وقتی سرعت جسمی تغییر کند، (الف) به دلیل تغییر اندازه آن، (ب) به دلیل تغییر جهت آن و (پ) به دلیل تغییر هم‌زمان در جهت و اندازه و جهت آن، حرکت جسم شتابدار است.

شتاب متوسط متحرک به صورت رابطه ۴-۱ تعریف می‌شود که در آن \vec{v}_1 سرعت متحرک در لحظه t_1 و \vec{v}_2 سرعت متحرک در لحظه t_2 است. همانطور که دیده می‌شود شتاب متوسط (\vec{a}_{av}) ، کمیتی برداری و هم جهت با بردار تغییر سرعت $(\Delta\vec{v})$ است. یکای SI شتاب متوسط، متر بر مربع ثانیه (m/s^2) است.

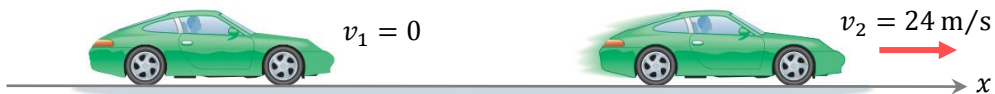
$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad (4-1) \quad \text{شتاب متوسط}$$

توجه: اگر متحرک در یک راستا حرکت می‌کند رابطه ۴-۱ را می‌توان برای یک راستا به صورت زیر به کار برد ولی با توجه به ماهیت برداری سرعت‌های v_1 و v_2 باید به علامت‌های جبری آنها که نشان دهنده جهت حرکت‌اند توجه کنیم.

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{رابطه شتاب متوسط برای حرکت در یک راستا}$$

مثال ۷-۱

خودرویی از حال سکون در راستای خط راست حرکت می‌کند. پس از ۱۲s، سرعت خودرو به ۲۴ m/s در جهت مثبت محور x می‌رسد. شتاب متوسط خودرو را در این بازه زمانی به دست آورید.

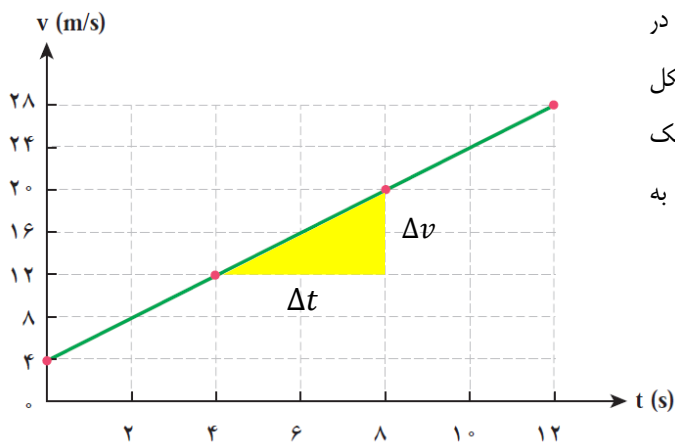


پاسخ: شتاب متوسط خودرو، شامل اندازه شتاب متوسط و جهت آن است که هرکدام باید تعیین شوند. چون خودرو در یک راستا حرکت

می‌کند، می‌توان نوشت:

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{24 \text{ m/s} - 0}{12 \text{ s} - 0} = 2.0 \text{ m/s}^2$$

نتیجه بالا نشان می‌دهد شتاب متوسط خودرو در جهت مثبت محور x است.



نمودار سرعت-زمان موتورسواری که در راستای خط راست و در امتداد محور x حرکت می‌کند در ۱۲ ثانیه اول حرکتش مطابق شکل روبه‌رو است. اندازه شتاب متوسط موتورسوار و جهت آن را در هر یک از بازه‌های زمانی $(0, 2s)$ ، $(4s, 8s)$ و $(10s, 12s)$ کنید. نتایج به دست آمده را با هم مقایسه و تفسیر کنید.

پاسخ: با توجه به داده‌های روی نمودار و بنا به رابطه ۱-۳، شتاب متوسط موتورسوار، برای هر یک از بازه‌های زمانی خواسته شده، برابر است با:

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{4.0 \text{ m/s} - 0}{2.0 \text{ s} - 0} = 2.0 \text{ m/s}^2$$

بازه زمانی 0 تا 2s

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{20 \text{ m/s} - 12 \text{ m/s}}{8.0 \text{ s} - 4.0 \text{ s}} = 2.0 \text{ m/s}^2$$

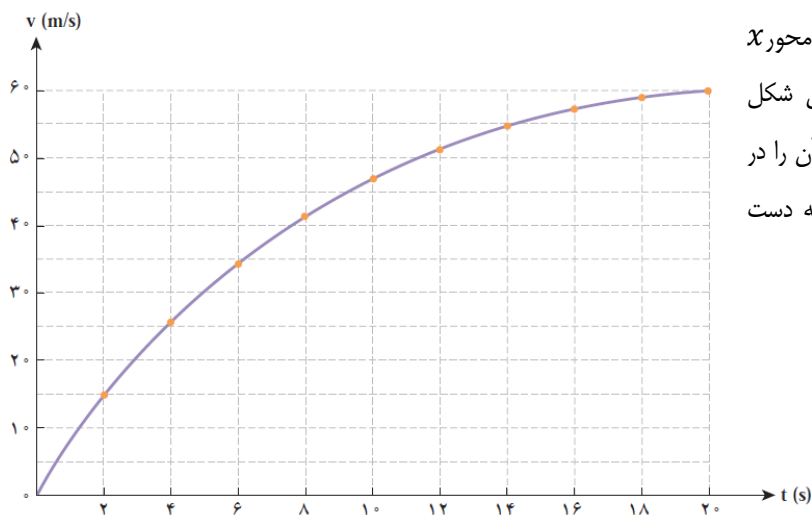
بازه زمانی 4s تا 8s

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{28 \text{ m/s} - 24 \text{ m/s}}{12 \text{ s} - 10 \text{ s}} = 2.0 \text{ m/s}^2$$

بازه زمانی 10s تا 12s

اگر در هر بازه زمانی دلخواه دیگری نیز شتاب متوسط موتورسوار را حساب کنید خواهید دید که اندازه و جهت آن یکسان است. از آنجا که شیب نمودار سرعت زمان برای هر بازه زمانی دلخواه برابر اندازه شتاب متوسط متحرک است (به تعریف شتاب متوسط و نسبت دو ضلع مثلث زرد رنگ روی نمودار توجه کنید) لذا با توجه به ثابت بودن شیب نمودار سرعت زمان موتورسوار در طول حرکت، چنین انتظاری می‌رفت.

تمرین ۱-۳



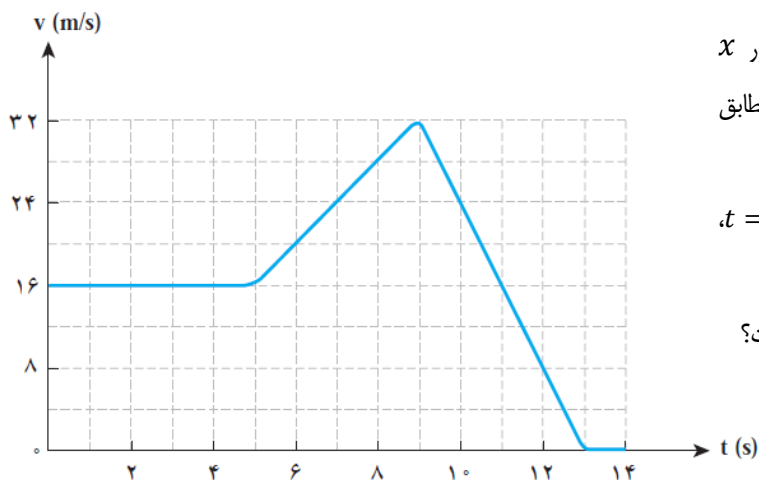
نمودار سرعت-زمان خودرویی که در راستای محور x حرکت می‌کند در ۲۰ ثانیه اول حرکتش مطابق شکل روبه‌رو است. اندازه شتاب متوسط خودرو و جهت آن را در هر یک از بازه‌های زمانی زیر پیدا کنید. نتایج به دست آمده را با هم مقایسه و تفسیر کنید.

(i) صفر تا 2.0s

(ii) 6.0s تا 12s

(iii) 16s تا 20s

شتاب متحرک در هر لحظه از زمان را **شتاب لحظه‌ای** می‌گویند. در حالت‌هایی مانند مثال ۳-۴ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف یکسان است، شتاب لحظه‌ای با شتاب متوسط برابر است. در کتاب‌های فیزیک برای سادگی **شتاب لحظه‌ای** را **شتاب** می‌نامند و آن را با نماد \vec{a} نشان می‌دهند.



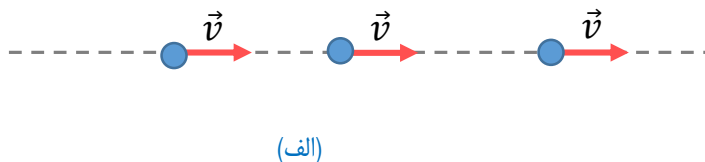
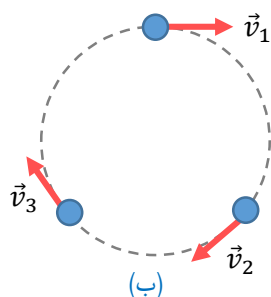
نمودار سرعت-زمان خودرویی که در راستای محور x حرکت می‌کند در بازه زمانی صفر تا ۱۴ ثانیه مطابق شکل روبرو است.

الف) شتاب خودرو را در هر یک لحظه‌های $t = 2.0s$ ، $t = 8.0s$ و $t = 11s$ به دست آورید.

ب) شتاب متوسط خودرو در این بازه زمانی چقدر است؟

۲-۱ حرکت یکنواخت

اگر تندی متحرکی در هر نقطه از مسیرش ثابت باشد و تغییر نکند حرکت آن را یکنواخت می‌نامند. لازم است توجه کنید که تنها ملاک یکنواخت بودن حرکت یک متحرک، ثابت ماندن تندی آن در طول مسیرش است نه شکل مسیر آن. برای مثال وقتی داخل خودروی در حال حرکتی نشسته باشید و هنگام دور زدن میدان، محل عقربه تندی سنج آن تغییر نکند حرکت خودرو، یکنواخت است. در ادامه به بررسی **حرکت یکنواخت روی خط راست** (۱-۶ الف) می‌پردازیم. همچنین **حرکت دایره‌ای یکنواخت** (۱-۶ ب) را با جزئیات بیشتری در فصل ۲ بررسی خواهیم کرد.



شکل ۱-۶ الف) در حرکت یکنواخت در راستای خط راست، هم جهت سرعت و هم اندازه آن (تندی) ثابت است. (ب) در حرکت دایره‌ای یکنواخت، جهت سرعت در هر نقطه از مسیر تغییر می‌کند ولی اندازه سرعت (تندی) در طول مسیر ثابت است ($|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = |\vec{v}_3| = v$).

حرکت یکنواخت روی خط راست: پیش از این و در مثال ۱-۴، با نمونه‌ای از حرکت یکنواخت در راستای خط راست آشنا شدیم. همان طور که در این مثال دیدیم شیب نمودار مکان-زمان متحرک در طول حرکت ثابت و در نتیجه سرعت متوسط متحرک در هر بازه زمانی دلخواه، برابر سرعت لحظه‌ای آن است. در این صورت می‌توان نوشت:

$$v = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v \Delta t$$

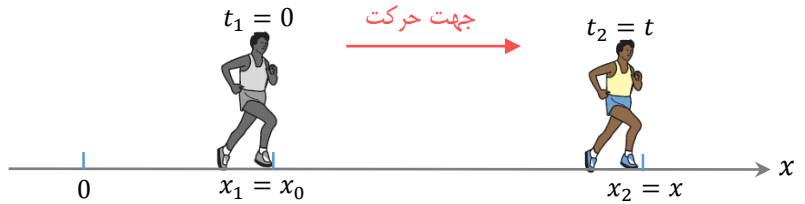
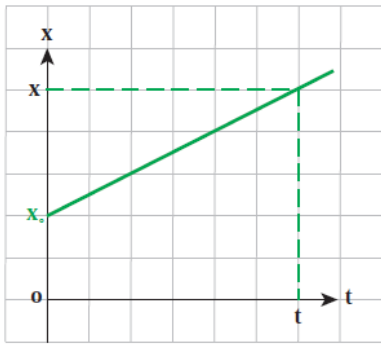
اگر مطابق شکل ۱-۷ متحرک در لحظه $t_1 = 0$ در مکان $x_1 = x_0$ و در لحظه $t_2 = t$ در مکان $x_2 = x$ باشد، رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$x - x_0 = v(t - 0)$$

یا:

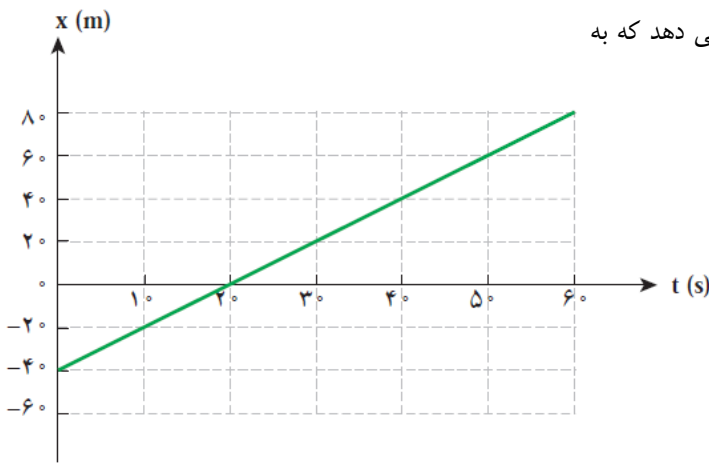
$$x = vt + x_0 \quad (۱-۵) \quad \text{معادله حرکت یکنواخت روی خط راست}$$

باید توجه داشت مکان‌های x_0 و x می‌توانند مثبت، منفی یا صفر باشند. سرعت متحرک هم به دلیل ماهیت برداری آن، در صورتی که حرکت در جهت محور x باشد مثبت و در غیر این صورت منفی است.



شکل ۱-۷ (الف) مکان یک دوندۀ در دو لحظه متفاوت. معمولاً مکان متحرک را در لحظه $t_1 = 0$ ، مکان اولیه متحرک می‌نامند و آن را با x_0 نشان می‌دهند. (ب) نمودار مکان-زمان متحرکی که در جهت محور x به طور یکنواخت حرکت می‌کند.

مثال ۱-۹



شکل مقابل بخشی از نمودار مکان-زمان شخصی را نشان می‌دهد که به طور یکنواخت در مسیری مستقیم حرکت می‌کند.

- (الف) شخص در مبدأ زمان ($t = 0$) در چه مکانی قرار دارد؟
 (ب) سرعت حرکت این شخص را به دست آورید و نمودار سرعت-زمان آن را رسم کنید.
 (پ) اگر شخص به مدت 5min به همین صورت حرکت کند، جابه‌جایی وی را در این مدت به دست آورید.
 (ت) در چه لحظه یا لحظه‌هایی شخص در فاصله ۲۰ متری مبدأ قرار دارد؟

پاسخ: با توجه به نمودار مکان-زمان و همچنین اشاره‌ای که در متن مثال شده است، حرکت شخص یکنواخت روی خط راست است.

(الف) با توجه به نمودار مکان-زمان، در $t = 0$ شخص در مکان اولیه $x_0 = -40\text{m}$ قرار دارد.

(ب) با توجه به داده‌های روی نمودار و قرار دادن یک لحظه دلخواه (برای مثال $x = 20\text{m}$ و $t = 30\text{s}$) در رابطه ۱-۵، داریم:

$$x = vt + x_0 \Rightarrow 20\text{m} = v(30\text{s}) + (-40\text{m})$$

در نتیجه $v = +2.0\text{ m/s}$ به دست می‌آید. علامت مثبت

نشان می‌دهد که شخص در جهت محور x حرکت می‌کند.

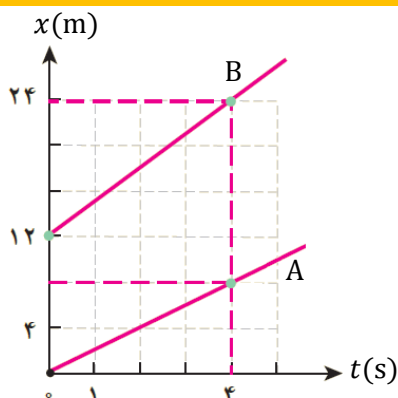
نمودار سرعت-زمان مطابق شکل مقابل است.

(پ) با قرار دادن $t = 5.0\text{min} = 300\text{s}$ در معادله مکان-زمان شخص داریم:

$$\Delta x = v\Delta t \Rightarrow \Delta x = (2.0\text{ m/s})(300\text{s}) = 600\text{m}$$

(ت) در لحظه‌های $t = 10\text{s}$ و $t = 30\text{s}$

تمرین ۵-۱



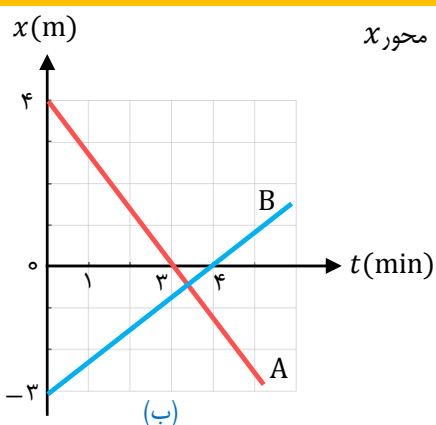
شکل مقابل نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد که در راستای محور x حرکت می‌کنند.

(الف) سرعت هر متحرک را پیدا کنید و نمودار سرعت-زمان آنها را در یک دستگاه مختصات رسم کنید.

(ب) معادله مکان-زمان هر متحرک را بنویسید.

(پ) اگر حرکت یکنواخت هر دو متحرک ادامه یابد، آیا ممکن است با گذشت زمان به یکدیگر برسند؟ توضیح دهید.

تمرین ۶-۱



شکل الف مکان دو کفش دوزک A و B را در لحظه $t = 0$ نشان می‌دهد که در راستای محور x حرکت می‌کنند. نمودار مکان-زمان این کفش‌دوزک‌ها در شکل ب رسم شده است.

(الف) سرعت هر کفش‌دوزک را پیدا کنید و معادله مکان-زمان آنها را بنویسید.

(ب) در چه لحظه‌ای و چه مکانی کفش‌دوزک‌ها به یکدیگر می‌رسند؟



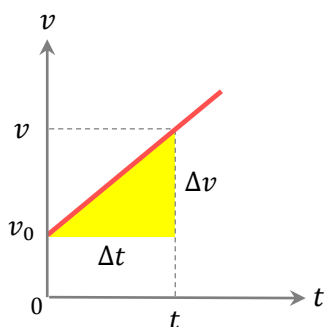
۱-۳ حرکت با شتاب ثابت

شکل ۸-۱ نمودار $v - t$ متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد خط راست حرکت می‌کند. پیش از این و در مثال ۷-۱ دیدیم در این شرایط، شتاب متوسط $(a_{av} = \Delta v / \Delta t)$ در بازه‌های زمانی مختلف یکسان و برابر شتاب لحظه‌ای متحرک است، یعنی $a_{av} = a$.

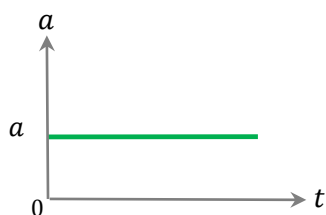
هرگاه در حرکتی، شتاب در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، آن حرکت را **حرکت با شتاب ثابت** می‌نامیم (شکل ۹-۱). اگر چه حرکت با شتاب ثابت نوع خاصی از حرکت است ولی در زندگی روزمره زیاد پیش می‌آید که با حرکت اجسامی سر و کار داریم که شتاب آنها ثابت است یا تقریباً ثابت. برای مثال خودرویی که پس از سبز شدن چراغ، شروع به حرکت می‌کند، جسمی که روی سطح هموار یک سراسیمبی در حال لغزیدن است، هواپیمایی که روی باند پرواز حرکت می‌کند تا به شرایط لازم برای برخاستن برسد یا جسمی که در حال سقوط است و اثر مقاومت هوا برای آن مهم نباشد دارای حرکت با شتاب ثابت‌اند. به دلیل رایج بودن حرکت‌های با شتاب ثابت، دسته خاصی از معادلات را برای بررسی‌شان به کار می‌برند که در ادامه با آنها آشنا می‌شویم.

معادله سرعت-زمان در حرکت با شتاب ثابت: اگر مانند نمودار شکل ۸-۱ در $t = 0$ سرعت اولیه متحرک v_0 و در هر زمان t پس از آن، سرعت متحرک برابر v باشد در این صورت معادله ۴-۱ را برای حرکت با شتاب ثابت در راستای خط راست می‌توانیم به صورت زیر بازنویسی کنیم:

$$a = \frac{v - v_0}{t - 0}$$



شکل ۸-۱ نمودار $v - t$ در حرکت با شتاب ثابت با فرض مثبت بودن v_0 و a



شکل ۹-۱ نمودار $a - t$ در حرکت با شتاب ثابت با فرض مثبت بودن a

این معادله را به شکل زیر هم می‌توان نوشت:

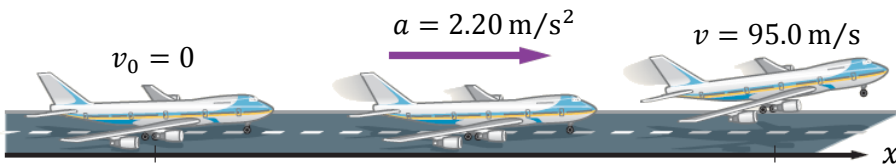
$$v = at + v_0 \quad (۸-۱) \quad \text{معادله سرعت-زمان در حرکت با شتاب ثابت}$$

همان طور که دیده می‌شود تغییرات v نسبت به t در معادله ۸-۱ به صورت یک تابع خطی است. به این دلیل سرعت متوسط متحرک در بازه زمانی $t = 0$ تا $t = t$ برابر است با میانگین سرعت متحرک در این دو لحظه. یعنی:

$$v_{av} = \frac{v_0 + v}{2} \quad (۹-۱) \quad \text{معادله سرعت متوسط در حرکت با شتاب ثابت}$$

مثال ۱۰-۱

الف) شکل زیر هواپیمایی را نشان می‌دهد که از حال سکون و با شتاب ثابت روی باند پرواز و در امتداد محور x شروع به حرکت می‌کند. چه مدت طول می‌کشد تا هواپیما به شرایط برخاستن برسد؟
ب) سرعت متوسط هواپیما در این بازه زمانی چقدر است؟



پاسخ: الف) با توجه ثابت بودن شتاب حرکت هواپیما روی باند پرواز، داده‌های روی شکل را می‌توان در معادله ۸-۱ جای‌گذاری کرد. به این ترتیب داریم:

$$v = at + v_0 \Rightarrow 95.0 \text{ m/s} = (2.20 \text{ m/s}^2)t + 0 \Rightarrow t \approx 43.1 \text{ s}$$

در اولین فرصتی که سوار هواپیما شدید نتیجه به دست آمده را واری کنید!

$$v_{av} = \frac{v_0 + v}{2} = \frac{0 + 95.0 \text{ m/s}}{2} = 47.5 \text{ m/s} \quad \text{ب)}$$

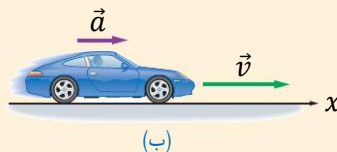
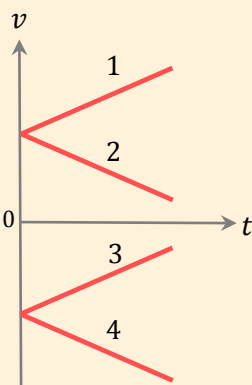
تمرین ۷-۱

معادله سرعت-زمان متحرکی که در امتداد محور x حرکت می‌کند در SI به صورت $v = -1.8t + 2.2$ است.

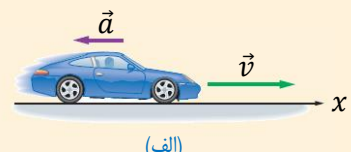
الف) سرعت متحرک در لحظه $t = 4.0 \text{ s}$ چقدر است؟ ب) سرعت متوسط متحرک در بازه زمانی صفر تا $t = 4.0 \text{ s}$ چقدر است؟
پ) نمودار $v - t$ این متحرک را رسم کنید.

فعالیت ۳-۱

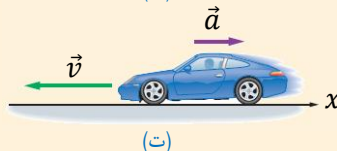
در تمامی حالت‌های شکل زیر، خودروها در امتداد محور x و با شتاب ثابت در حرکت‌اند. حرکت هر یک از خودروها، توسط کدامیک از نمودارهای $v - t$ توصیف می‌شود؟ همچنین با ذکر دلایل کافی توضیح دهید حرکت کدام خودرو تند شونده و حرکت کدام یک کند شونده است.



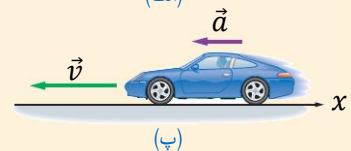
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

معادله مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت: اگر در $t = 0$ مکان اولیه جسمی را که با شتاب ثابت و در امتداد محور x حرکت می کند x_0

بگیریم در این صورت از رابطه های ۱-۳ و ۱-۹ داریم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \frac{v + v_0}{2} = \frac{x - x_0}{t - 0} \Rightarrow x = \left(\frac{v + v_0}{2}\right)t + x_0$$

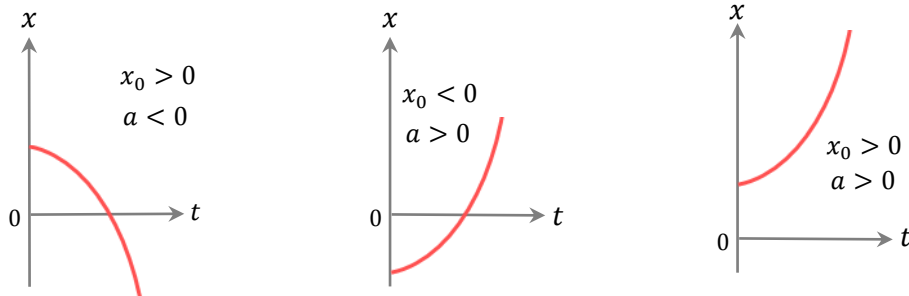
با قرار دادن رابطه ۱-۸ در معادله بالا داریم:

$$x = \left(\frac{at + v_0 + v_0}{2}\right)t + x_0$$

با ساده سازی این رابطه خواهیم داشت:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \quad (۱۰-۱) \quad \text{معادله مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت}$$

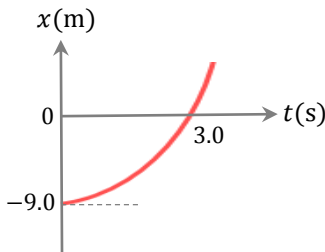
همان طور که دیده می شود در این نوع حرکت، تغییرات مکان به صورت تابعی درجه دوم از زمان است. با رسم تابع های درجه دوم در ریاضی ۱ پایه دهم آشنا شدید. شکل ۱۰-۱ نمودار $x - t$ را برای چند حالت مختلف نشان می دهد.



شکل ۱۰-۱ نمودار $x - t$ در حرکت با شتاب ثابت برای چند حالت متفاوت

مثال ۱۱-۱

شکل روبه رو نمودار $x - t$ متحرکی را نشان می دهد که با شتاب ثابت در امتداد محور x حرکت می کند. (الف) شتاب متحرک را پیدا کنید. (ب) معادله $v - t$ متحرک را بنویسید و آن را رسم کنید.



پاسخ: الف) خط چین مماس بر منحنی در $t = 0$ نشان دهنده این است که متحرک در این لحظه از حال سکون شروع به حرکت کرده است. با توجه به داده های روی نمودار و معادله ۱۰-۱ داریم:

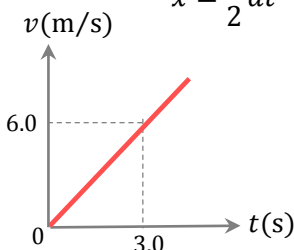
$$x_0 = -9.0\text{m} , \quad t = 3.0\text{s} \rightarrow x = 0 , \quad v_0 = 0$$

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \Rightarrow 0 = \frac{1}{2}a(3.0\text{s})^2 + 0 + (-9.0\text{m}) \Rightarrow a = 2.0\text{ m/s}^2$$

ب) از معادله ۱-۸ داریم:

$$v = at + v_0 \Rightarrow v = (2.0\text{ m/s}^2)t + 0 \Rightarrow v = (2.0\text{ m/s}^2)t$$

نمودار این معادله در شکل روبه رو رسم شده است.



تمرین ۸-۱

۱- در مثال ۱۱-۱ مسافتی را که هواپیما روی باند پرواز می پیماید تا به شرایط برخاستن برسد به دست آورید.

۲- خودرویی با شتاب ثابت 2.5 m/s^2 و با سرعت 18 km/h در امتدا مسیری مستقیم از چهارراهی می گذرد. سرعت متوسط خودرو پس از 1.2 km جابه جایی چقدر است؟

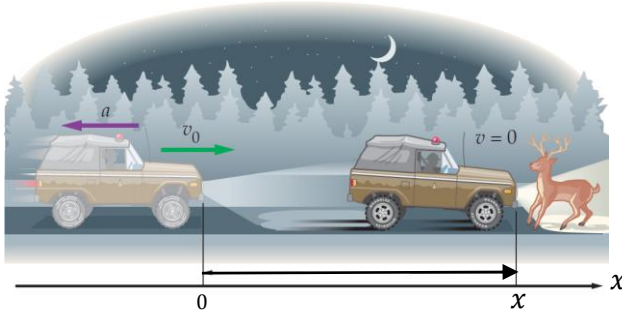
معادله مستقل از زمان در حرکت با شتاب ثابت: وقتی هنگام بررسی مسئله‌ای a ، v و v_0 معلوم باشند ولی زمان t معلوم نباشد می‌توان از معادله مستقل از زمان برای پیدا کردن جابه‌جایی Δx متحرک استفاده کرد. برای به‌دست آوردن این معادله از رابطه‌های ۱-۳ و ۱-۹ شروع می‌کنیم. به این ترتیب مشابه آنچه هنگام به‌دست آوردن معادله $x - t$ دیدیم می‌توان نوشت:

$$x = \left(\frac{v + v_0}{2}\right)t + x_0$$

با به‌دست آوردن t از معادله ۱-۸ و قرار دادن آن در رابطه بالا داریم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (11-1) \quad \text{معادله مستقل از زمان در حرکت با شتاب ثابت}$$

مثال ۱۲-۱



محیطبان یک پارک حفاظت شده در حین گشت شبانه، به آرامی و با تندی 11.4 m/s در جاده‌ای مستقیم در حرکت است که ناگهان گوزن بدون حرکتی را در جلوی خود می‌بیند و ترمز می‌گیرد (شکل روبه‌رو). حرکت خودرو با شتاب 3.80 m/s^2 کند می‌شود تا سرانجام متوقف شود. اگر لحظه‌ای که محیطبان ترمز می‌گیرد، گوزن در فاصله 22.0 m از خودرو باشد،

(الف) خودرو در چه فاصله‌ای از گوزن متوقف می‌شود؟ (ب) چه مدت طول می‌کشد تا خودرو متوقف شود؟

پاسخ: (الف) جهت حرکت خودرو را در جهت محور x فرض می‌کنیم. همچنین برای سادگی مبدأ مکان را جایی می‌گیریم که محیطبان ترمز گرفته و در نتیجه $x_0 = 0$ است. از طرفی، چون سرعت خودرو در جهت محور x به‌تدریج در حال کاهش است شتاب آن برخلاف جهت محور x و در نتیجه منفی خواهد شد. به این ترتیب از معادله ۱۱-۱ داریم:

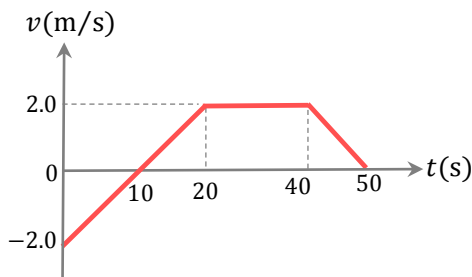
$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \Rightarrow 0 - (11.4 \text{ m/s})^2 = 2(-3.80 \text{ m/s}^2)(x - 0)$$

در نتیجه $x = 17.1 \text{ m}$ و خودرو در فاصله $(22.0 \text{ m} - 17.1 \text{ m}) = 4.90 \text{ m}$ از گوزن متوقف می‌شود و خوشبختانه برخوردی بین خودرو و گوزن صورت نمی‌گیرد.

(ب) از رابطه ۱-۸ داریم:

$$v = at + v_0 \Rightarrow 0 = (-3.80 \text{ m/s}^2)t + 11.4 \text{ m/s} \Rightarrow t = 3.00 \text{ s}$$

مثال ۱۳-۱



دوچرخه‌سواری در لحظه $t = 0$ از مکان $x_0 = 0$ در راستای محور x شروع به حرکت می‌کند. نمودار $v - t$ این دوچرخه سوار مطابق شکل روبه‌رو است. (الف) در کدام بازه‌های زمانی، دوچرخه سوار در جهت مثبت یا جهت منفی محور x حرکت کرده است؟

(ب) در چه لحظه یا لحظه‌هایی جهت حرکت دوچرخه سوار تغییر کرده است؟

(پ) مکان دوچرخه سوار را در هر یک از لحظه‌های $t_1 = 10 \text{ s}$ ، $t_2 = 20 \text{ s}$ ، $t_3 = 40 \text{ s}$ و $t_4 = 50 \text{ s}$ پیدا کنید و روی محور x نشان دهید.

(ت) مسیر حرکت دوچرخه سوار را رسم کنید و با توجه به آن، جابه‌جایی و مسافت طی شده توسط دوچرخه سوار را در کل زمان حرکت پیدا کنید.

(ث) سطح زیر نمودار $v - t$ را حساب کنید و مقدار آن را با جابه‌جایی دوچرخه سوار در قسمت قبل مقایسه کنید.

(ج) حرکت دوچرخه‌سوار را در هر بازه زمانی، با ذکر دلیل بنویسید.

پاسخ:

الف) با توجه به نمودار، دوچرخه سوار در بازه زمانی (10s, 50s) در جهت مثبت محور x و در بازه زمانی (0, 10s) در جهت منفی محور x حرکت کرده است.

ب) تنها در لحظه $t = 10s$ جهت حرکت دوچرخه سوار تغییر کرده است.

پ) در بازه زمانی (0, 20s)، حرکت دوچرخه سوار با شتاب ثابت است. به این ترتیب از معادله $a-1$ داریم:

$$v = at + v_0 \Rightarrow (2.0 \text{ m/s}) = a(20s) + (-2.0 \text{ m/s}) \Rightarrow a = 0.20 \text{ m/s}^2$$

در این صورت با توجه به معادله $a-1$ ، در لحظه $t_1 = 10s$ داریم:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \Rightarrow x_1 = \frac{1}{2}(0.20 \text{ m/s}^2)(10s)^2 + (-2.0 \text{ m/s})(10s) + 0 \Rightarrow x_1 = -10\text{m}$$

در لحظه $t_2 = 20s$ داریم:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \Rightarrow x_2 = \frac{1}{2}(0.20 \text{ m/s}^2)(20s)^2 + (-2.0 \text{ m/s})(20s) + 0 \Rightarrow x_2 = 0$$

در بازه زمانی (20s, 40s)، حرکت دوچرخه سوار یکنواخت روی خط راست است. به این ترتیب با توجه به معادله $a-1$ ، جابه‌جایی آن در این بازه زمانی برابر است:

$$\Delta x = vt \Rightarrow \Delta x = (2.0 \text{ m/s})(20s) = 40\text{m}$$

در نتیجه دوچرخه سوار در لحظه $t_3 = 40s$ در مکان $x_3 = x_2 + \Delta x = 0 + 40\text{m} = 40\text{m}$ قرار دارد.

در بازه زمانی (40s, 50s)، حرکت دوچرخه سوار با شتاب ثابت است. به این ترتیب داریم:

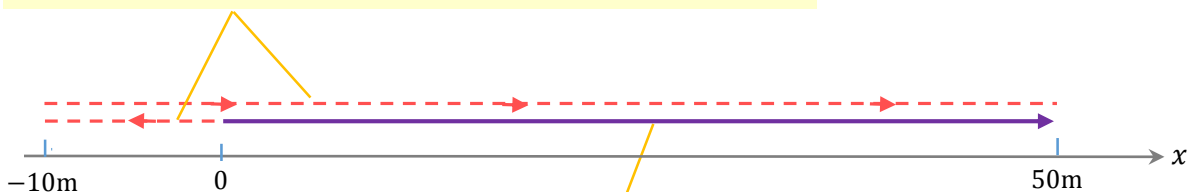
$$\Delta x = v_{av}\Delta t = \left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)\Delta t = \left(\frac{2.0 \text{ m/s} + 0}{2}\right)(10s) \Rightarrow \Delta x = 10\text{m}$$

در نتیجه دوچرخه سوار در لحظه $t_4 = 50s$ در مکان $x_4 = x_3 + \Delta x = 40 + 10\text{m} = 50\text{m}$ قرار دارد.



ت) در شکل زیر جابه‌جایی و مسافت طی شده توسط دوچرخه سوار در کل زمان حرکت نشان داده شده است.

مسافت کل پیموده شده توسط دوچرخه سوار که برابر $l = 10\text{m} + 10\text{m} + 50\text{m} = 70\text{m}$ است.



بردار جابه‌جایی کل دوچرخه سوار که برابر $\vec{d} = (+50\text{m})\vec{i}$ است.

ث) سطح زیر نمودار مکان-زمان که با ترام زرد رنگ در شکل صفحه بعد مشخص شده است، برابر جابه‌جایی متحرک است. به این برای هر یک از بازه های زمانی داریم

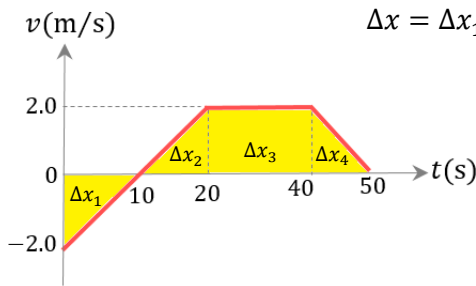
$$\Delta x_1 = \frac{1}{2}(-2.0 \text{ m/s})(10s) = -10\text{m}$$

$$\Delta x_2 = \frac{1}{2}(2.0 \text{ m/s})(10s) = 10\text{m}$$

$$\Delta x_3 = (2.0 \text{ m/s})(20s) = 40\text{m}$$

$$\Delta x_4 = \frac{1}{2}(2.0 \text{ m/s})(10s) = 10\text{m}$$

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4 = -10\text{m} + 10 + 40\text{m} + 10\text{m} = 50\text{m}$$



همان طور که از نتیجه بالا دیده می شود سطح زیر نمودار $v - t$ در کل زمان حرکت با جابه جایی متحرک (در این مثال دوچرخه سوار) برابر است.

ج) در بازه زمانی $(0,10\text{s})$ ، حرکت با شتاب ثابت مثبت و سرعت منفی است. بنابراین حرکت آن کندشونده است ($av < 0$).

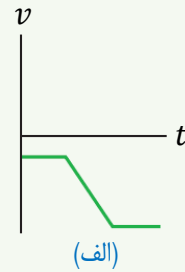
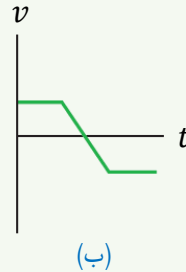
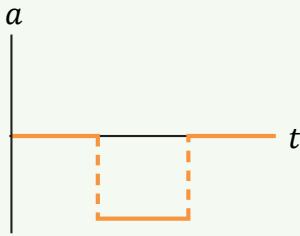
در بازه زمانی $(10\text{s},20\text{s})$ ، حرکت با شتاب ثابت مثبت و سرعت مثبت است. بنابراین حرکت آن تندشونده است ($av > 0$).

در بازه زمانی $(20\text{s},40\text{s})$ ، حرکت با سرعت ثابت و یکنواخت است.

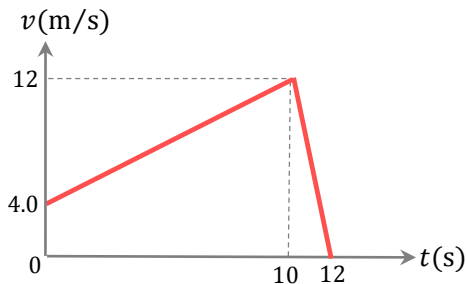
در بازه زمانی $(40\text{s},50\text{s})$ ، حرکت با شتاب ثابت منفی و سرعت مثبت است. بنابراین حرکت آن کندشونده است ($av < 0$).

پرسش ۱-۴

نمودار شتاب زمان متحرکی که در امتداد محور x حرکت می کند مطابق شکل زیر است. با ارائه دلایل کافی توضیح دهید هر یک از نمودارهای سرعت-زمان شکل های الف، ب و پ در چه شرایطی متناظر با این نمودار شتاب-زمان هستند.



تمرین ۹-۱



آهوئی در راستای خط راستی (محور x) می دود. نمودار $v - t$ این حیوان در 12s اول حرکتش مطابق شکل زیر است.

الف) مسافت کل پیموده شده توسط آهو را به دست آورید.

ب) جابه جایی آهو را در این بازه زمانی پیدا کنید.

پ) نمودار $a - t$ آهو را در 12s اول حرکتش رسم کنید.

تمرین ۱۰-۱

شکل روبه رو نمودار $a - t$ یک ماشین اسباب بازی را نشان می دهد که در امتداد محور x حرکت می کند.

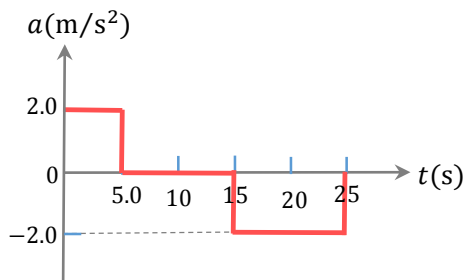
الف) اگر در آغاز حرکت $x_0 = 0$ و $v_0 = 0$ باشند، در بازه زمانی صفر تا 5.0s

معادله سرعت-زمان و مکان-زمان ماشین اسباب بازی را بنویسید.

ب) شتاب متوسط ماشین اسباب بازی را در کل زمان حرکت پیدا کنید.

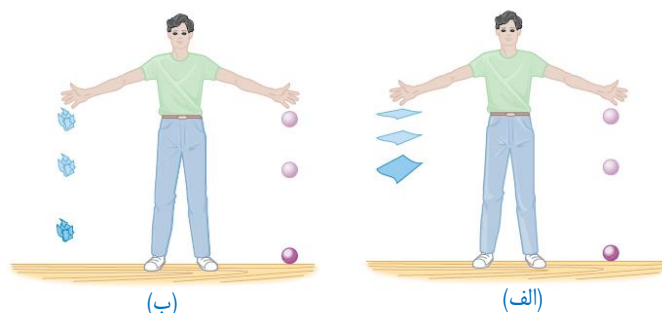
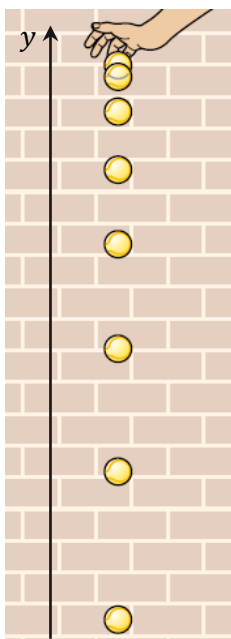
پ) جابه جایی ماشین اسباب بازی را در بازه زمانی صفر تا 15s پیدا کنید.

ت) حرکت ماشین اسباب بازی را در هر بازه زمانی، با ذکر دلیل بنویسید.



۴-۱ سقوط آزاد

جسمی که تحت تأثیر جاذبه گرانشی، در نزدیکی زمین سقوط می‌کند و اثر مقاومت هوا را بتوان برای آن نادیده گرفت، آشناترین مثال طبیعی برای حرکت با شتاب ثابت است (شکل ۱-۱۱). این حرکت آرمانی **سقوط آزاد** نامیده می‌شود (شکل ۱-۱۲). حرکت سقوط آزاد، افزون بر رها کردن جسم به طرف زمین، شامل پرتاب کردن جسم روبه پایین یا رو به بالا نیز می‌شود. در اینجا تنها حرکت سقوط آزاد اجسام بدون سرعت اولیه بررسی می‌شود و سایر حالت‌های دیگر جزو اهداف این کتاب نیست.



شکل ۱-۱۱ (الف) اثر مقاومت هوا روی حرکت گلوله در حال سقوط ناچیز است ولی وقتی برگه کاغذی در حال سقوط است این اثر را نمی‌توان نادیده گرفت. (ب) وقتی کاغذ مچاله می‌شود، اثر مقاومت روی حرکت آن در حین سقوط به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

شکل ۱-۱۲ تصویری پی در پی از یک توپ در حال سقوط آزاد که در بازه‌های زمانی مساوی رسم شده است. فاصله رو به افزایش بین تصویرها نشان می‌دهد که سرعت توپ به طور پیوسته در حال افزایش است؛ یعنی توپ به طرف پایین شتاب می‌گیرد.

سقوط آزاد بدون سرعت اولیه: شتاب ثابت جسمی که در حال سقوط آزاد است شتاب ناشی از گرانش نامیده می‌شود و معمولاً اندازه آن برابر $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ گرفته می‌شود. از آنجا که در این کتاب تنها سقوط آزاد بدون سرعت اولیه ($v_0 = 0$) مورد بررسی قرار می‌گیرد در نتیجه معادله‌های مورد استفاده برای حل مسئله‌های این حرکت، با فرض این که جهت رو به بالا را مثبت بگیریم و با قرار دادن y به جای x و $-g$ به جای a در معادله‌های حرکت با شتاب ثابت بر مسیر مستقیم به صورت زیر است:

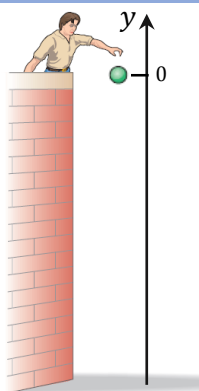
$$v = -gt$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + y_0 \quad \text{معادله‌های سقوط آزاد بدون سرعت اولیه}$$

$$v^2 = -2g(y - y_0)$$

اگر در $t = 0$ جسم در مبدأ مکان باشد ($y = 0$) می‌توان معادله‌ها را به شکل ساده‌تری نیز نوشت.

مثال ۱-۱۴



شکل مقابل شخصی را نشان می‌دهد که از بالای یک ساختمان، گلوله‌ای را به طرف زمین رها کرده است.

(الف) پس از 1.0s گلوله چه مسافتی را طی می‌کند و سرعت آن به چقدر می‌رسد؟

(ب) اگر گلوله با سرعت 14 m/s به زمین برخورد کند ارتفاع ساختمان را به دست آورید و مدت زمان کل حرکت گلوله را پیدا کنید.

پاسخ: (الف) جهت بالا را مثبت و مبدأ مکان را محل شدن جسم فرض می‌کنیم. به این ترتیب داریم

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + y_0 \Rightarrow y = -\frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)(1.0\text{s})^2 + 0 \Rightarrow y = -4.9 \text{ m}$$

$$v = -gt = -(9.8 \text{ m/s}^2)(1.0\text{s}) = -9.8 \text{ m/s}$$

۱- اندازه دقیق g با مکان تغییر می‌کند، به طوری که در قطب‌ها بیشینه (9.832 m/s^2) و در استوا کمینه (9.780 m/s^2) است.

مسافت طی شده در این مدت 4.9m است و با توجه به این که $y_0 = 0$ است، علامت منفی y نشان می‌دهد جسم در خلاف جهت محور از مبدأ مکان دور شده است. همچنین علامت منفی در v نشان می‌دهد سرعت جسم در خلاف جهت محور y است.

$$v^2 = -2g(y - y_0) \Rightarrow (-14 \text{ m/s})^2 = -2(9.8 \text{ m/s}^2)(y - 0) \Rightarrow y = -10 \text{ m} \quad (\text{ب})$$

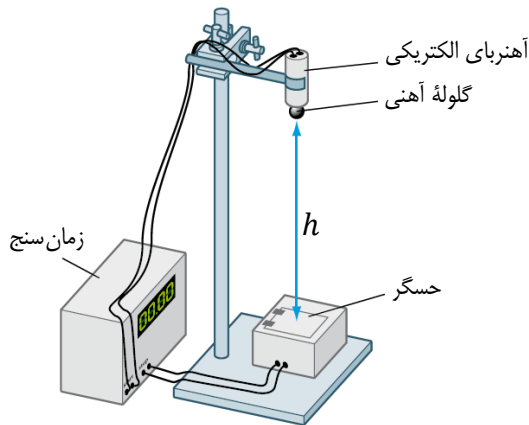
به این ترتیب ارتفاع ساختمان برابر 10m است.

به دو روش می‌توان زمان کل را به دست آورد.

$$v = -gt \Rightarrow (-14 \text{ m/s}) = -(9.8 \text{ m/s}^2)t \Rightarrow t \approx 1.4 \text{ s}$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + y_0 \Rightarrow -10 \text{ m} = -\frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)t^2 + 0 \Rightarrow t^2 = 2.0 \Rightarrow t \approx 1.4 \text{ s}$$

تمرین ۱۱-۱



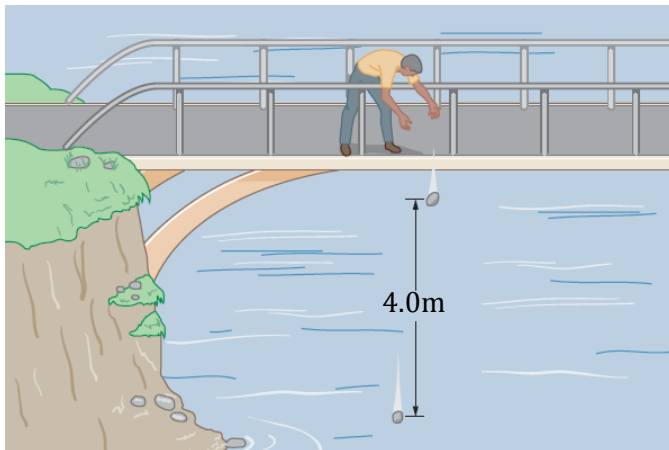
شکل مقابل نحوه انجام آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان شتاب گرانش را در محل آزمایش اندازه گرفت. در یک آزمایش نوعی، داده‌های زیر به دست آمده است:

$$h = 0.27 \text{ m} , \quad t = 0.25 \text{ s}$$

الف) به نظر شما این وسیله آزمایش چگونه کار می‌کند؟

ب) با توجه به این داده‌ها، اندازه شتاب گرانش در محل آزمایش چقدر بوده است؟

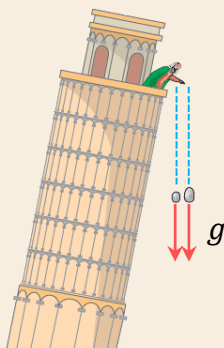
تمرین ۱۲-۱



شکل مقابل شخصی را نشان می‌دهد که ابتدا سنگی را از بالای پلی به طرف رودخانه‌ای رها کرده است. وقتی سنگ مسافت 4.0m را طی می‌کند سنگ دیگری دوباره از همان ارتفاع توسط شخص رها می‌شود. آیا با گذشت زمان و تا قبل از برخورد سنگ اول به سطح آب رودخانه، فاصله بین دو سنگ الف) کاهش می‌یابد؟ ب) افزایش می‌یابد؟ پ) تغییری نمی‌کند؟

دلیل انتخاب گزینه مناسب را توضیح دهید.

فوب است بدانید



حرکت سقوط آزاد اجسام، از زمان‌های قدیم توجه فیلسوفان و دانشمندان را به خود معطوف داشته است. ارسطو در سده چهارم پیش از میلاد مسیح فکر می‌کرد که جسم‌های سنگین به تناسب وزنشان سریع‌تر از جسم‌های سبک سقوط می‌کنند. نوزده قرن بعد گالیله استدلال کرد که جسم باید با شتابی به طرف پایین که ثابت و مستقل از وزن آن است سقوط کند. آزمایش نشان می‌دهد که اگر بتوان اثرهای هوا را نادیده گرفت گالیله درست می‌گوید؛ همه جسم‌ها در یک مکان خاص بدون توجه به اندازه یا وزن آنها، با شتاب به طرف پایین یکسانی سقوط می‌کنند.