

حرکت در خط راست

انسان‌ها از دیرباز، برای سهولت
جابه‌جایی بین دو منطقه، از جاده
استفاده می‌کردند.



جاده‌ای در تپه‌های جنوب سمنان

هنگامی که در راه مدرسه به اطراف خود نگاه می کنید، حرکت های بسیاری را می بینید. افرادی که از شما دور یا به شما نزدیک می شوند، خودروهایی که با سرعت های متفاوت در حرکت اند، افرادی که با دوچرخه در حال رفتن به محل کار خود هستند، پرندگانی که در فضا پرواز می کنند، برگ هایی که از درخت می افتند و ... (شکل ۱-۲).



ب



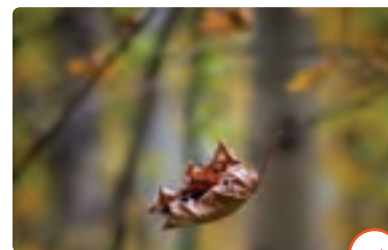
الف



ث



ت



پ

شکل ۱-۲ - تصویرهایی از حرکت در دنیای پیرامون ما



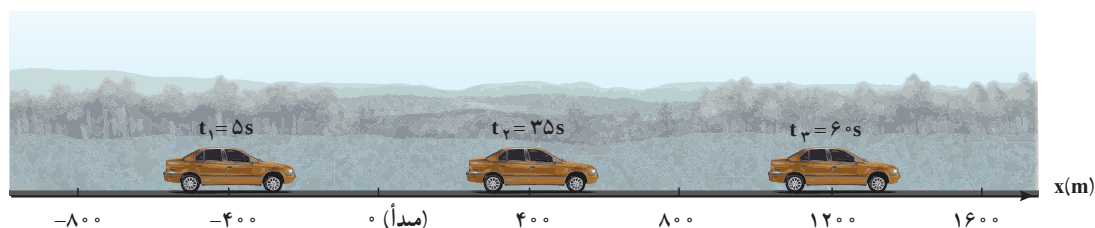
شکل ۲-۲ - حرکت دوچرخه سوار

زمانی که حرکت هایی مانند افتادن یک برگ از شاخه درخت یا حرکت یک خودرو و ... را مشاهده می کنیم گرچه ظاهراً جسمی را می بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می کند یا جابه جا می شود، ولی در بیشتر موارد، حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه سوار را در نظر بگیرید (شکل ۲-۲). اگرچه این حرکت ساده به نظر می رسد ولی با کمی توجه معلوم می شود که همین حرکت ساده بسیار پیچیده است. در حالی که دوچرخه سوار در مسیری مستقیم در حرکت است پای او بالا و پایین می رود و رکاب در مسیر دایره ای حرکت می کند. به همین ترتیب هریک از اجزای دوچرخه علاوه بر حرکت به همراه دوچرخه، خودشان نیز حرکت های دیگری دارند.

این پیچیدگی‌ها، باعث می‌شود که بررسی و توصیف جزئیات حرکت‌هایی که به‌طور معمول با آنها برخورد می‌کنیم، پیچیده و دشوار شود. بنابراین بررسی حرکت را از حالتی ساده یعنی حرکت یک جسم بدون در نظر گرفتن حرکت جداگانه هریک از اجزای آن شروع می‌کنیم. همچنین به منظور سادگی بیشتر، تنها به حرکت یک جسم روی مسیر مستقیم (خط راست) که یکی از ساده‌ترین انواع حرکت است می‌پردازیم.

۲-۱ مکان، جابه‌جایی

حرکت خودرویی در یک بزرگراه مستقیم را در نظر می‌گیریم. برای بررسی حرکت این خودرو، یک محور مانند محور x در راستای بزرگراه انتخاب می‌کنیم. جهت این محور می‌تواند هم سوی حرکت خودرو یا در خلاف سوی آن باشد. مکانی از بزرگراه را به‌عنوان مبدأ محور ($x=0$) در نظر می‌گیریم (شکل ۲-۳). اگر محور را مدرج کنیم، می‌توانیم مکان خودرو را در هر لحظه گزارش نماییم. یعنی مثلاً بگوییم در لحظه $t_1=5s$ مکان خودرو $x_1=-400m$ است (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳ مکان خودرو در لحظات مختلف

در شکل ۲-۴ خودرو از لحظه $t_1=5s$ تا لحظه $t_2=35s$ از مکان $x_1=-400m$ تا مکان $x_2=+400m$ جابه‌جا شده است. جابه‌جایی خودرو در این بازه زمانی برابر است با:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = +400 - (-400) = +800m$$

با توجه به علامت مثبت جابه‌جایی به‌دست آمده، خودرو در این بازه زمانی در جهت مثبت محور x جابه‌جا شده است.



شکل ۲-۴ جابه‌جایی خودرو در بازه زمانی t_1 تا t_2

بنابراین اگر متحرک در لحظه t_i در مکان x_i و در لحظه t_f در مکان x_f باشد، جابه‌جایی آن در بازه زمانی t_i تا t_f ، از رابطه ۱-۲ به دست می‌آید.

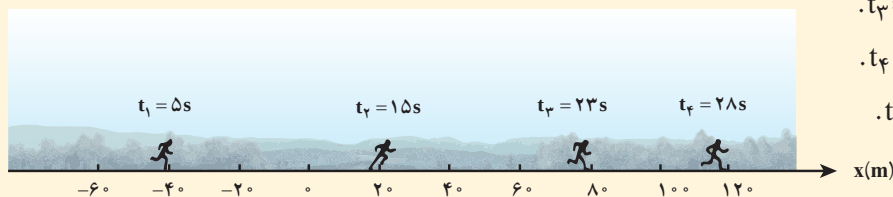
$$\Delta x = x_f - x_i \quad (1-2)$$



شکل ۱-۵- جابه‌جایی در بازه زمانی t_i تا t_f

تمرین ۱-۲

شکل زیر، مکان دونده‌ای که روی مسیری مستقیم می‌دود، در لحظات مختلف را نشان می‌دهد. جابه‌جایی دونده در هریک از بازه‌های زمانی زیر چند متر است؟



الف) از $t_1 = 5s$ تا $t_3 = 23s$.

ب) از $t_2 = 15s$ تا $t_4 = 28s$.

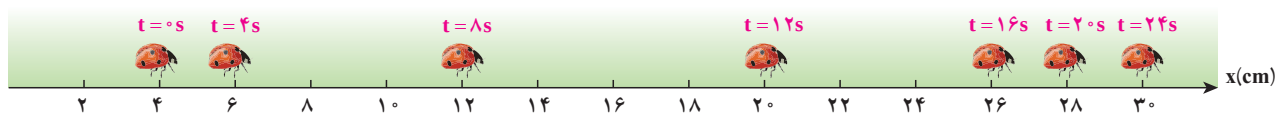
پ) از $t_1 = 5s$ تا $t_4 = 28s$.

برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نموداری که مکان جسم را در هر لحظه نشان می‌دهد، استفاده کرد. در بسیاری از موارد رسم این نمودار برای بررسی حرکت، مناسب است. برای رسم این نمودار، غالباً زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم مشخص می‌کنیم.

برای مثال، به حرکت کفش دوزک که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است، توجه کنید. این کفش دوزک در لحظه $t_1 = 0s$ در مکان $x_1 = 4cm$ قرار دارد، در $t_2 = 4s$ در مکان $x_2 = 6cm$ قرار دارد و اگر بخواهیم نمودار مکان - زمان حرکت کفش دوزک را رسم کنیم، ابتدا هریک از محورهای مکان و زمان را با مقیاسی مناسب مدرج کرده و در زمان‌های داده شده، مکان کفش دوزک را روی محور قائم تعیین می‌کنیم و سپس نمودار مکان - زمان را همانند شکل ۲-۷ رسم می‌نماییم.



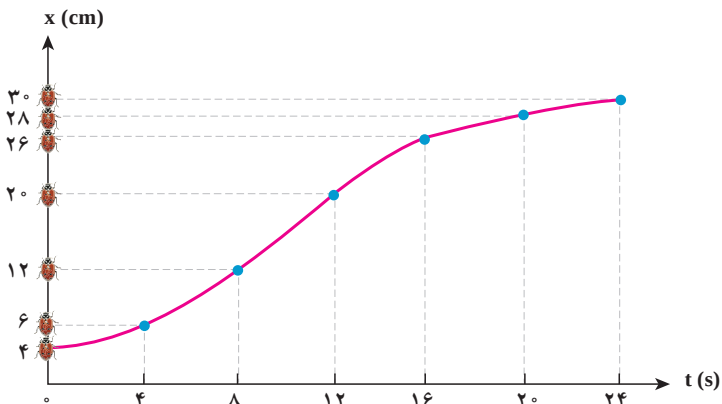
۱- حرف i از اول کلمه انگلیسی initial به معنای اولیه و حرف f از اول کلمه final به معنای نهایی گرفته شده است.



شکل ۲-۶- حرکت کفش دوزک روی خط راست

با استفاده از این نمودار می‌توان دریافت که متحرک در هر لحظه در چه مکانی قرار دارد و جابه‌جایی آن بین هر دو لحظه چقدر است. مثلاً در بازه زمانی ۱۲s تا ۱۶s جابه‌جایی آن $\Delta x = 26 - 20 = 6 \text{ cm}$ است.

شکل ۲-۷- نمودار مکان- زمان کفش دوزک

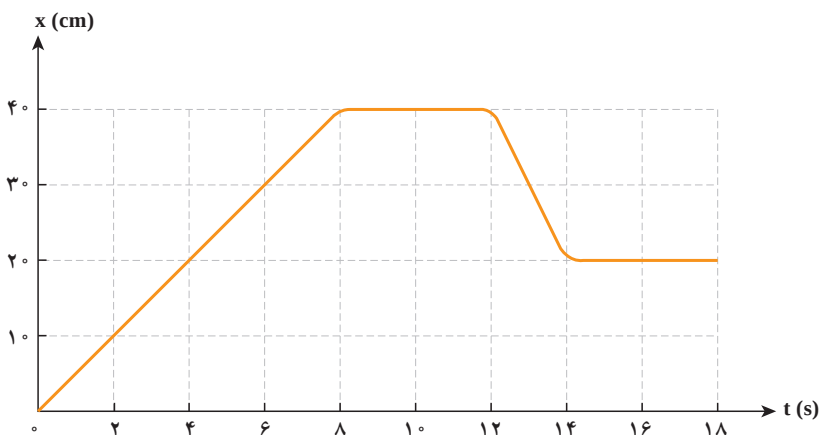


تمرین ۲-۲

t(s)	۰	۱	۲	۳	۴	۵
x(m)	۰	-۱	۰	۳	۸	۱۵

جدول روبه‌رو مکان متحرکی در لحظه‌های داده شده در جدول را نشان می‌دهد. نمودار مکان- زمان این متحرک را رسم کنید.

مثال ۲-۱



مورچه‌ای روی یک خط راست در حرکت است. نمودار مکان- زمان مورچه به شکل روبه‌رو 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 ۳۰ cm است؟

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

(ج) جابه‌جایی مورچه در بازه زمانی ۴s تا ۸s چند سانتی‌متر است؟

پاسخ:

الف) از لحظه $t=0$ s تا لحظه $t=8$ s.

ب) از لحظه $t=12$ s تا لحظه $t=14$ s.

پ) در بازه‌های زمانی $t=8$ s تا $t=12$ s و $t=14$ s تا $t=18$ s.

ت) در لحظه‌های $t=6$ s و $t=13$ s.

ث) در بازه زمانی $t=8$ s تا $t=12$ s.

ج) $\Delta x = x_f - x_i = 40 - 20 = +20$ cm

مثال ۲-۲

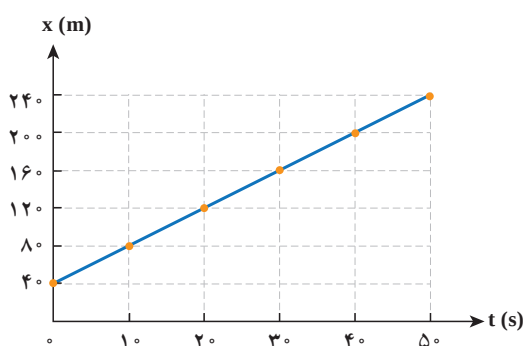


رابطه بین مکان و زمان برای دوچرخه‌سواری که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند، از لحظه $t=0$ s تا لحظه $t=60$ s به صورت $x = 4t + 40$ است که در آن، x بر حسب متر و t بر حسب ثانیه است. الف) نمودار مکان - زمان دوچرخه‌سوار را در بازه زمانی $t=0$ s تا $t=50$ s رسم کنید.

ب) جابه‌جایی دوچرخه‌سوار در بازه زمانی $t=0$ s تا $t=60$ s را به دست آورید.

پاسخ:

الف) برای رسم نمودار، مکان دوچرخه‌سوار را در چند لحظه، از جمله در $t=0$ s (لحظه صفر، لحظه شروع اندازه‌گیری زمان است و به آن مبدأ زمان می‌گوییم)، $t=10$ s، ... و $t=50$ s به دست می‌آوریم و با استفاده از نقطه‌های به دست آمده خطی که از این نقطه‌ها می‌گذرد را رسم می‌کنیم.



t(s)	x(m)
0	40
10	80
20	120
30	160
40	200
50	240

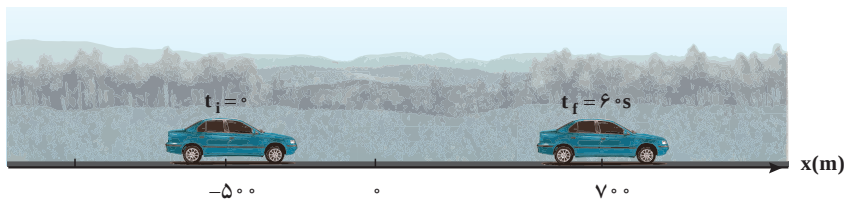
چون رابطه داده شده معادله یک خط راست است و برای رسم نمودار آن، داشتن دو نقطه کافی است، با معلوم کردن مکان در دو لحظه $t=0$ s و $t=50$ s نیز می‌توان نمودار را رسم نمود.

ب)

$$\left. \begin{aligned} t_i = 0 \text{ s} &\Rightarrow x_i = 40 \text{ m} \\ t_f = 60 \text{ s} &\Rightarrow x_f = 4 \times 60 + 40 = 244 \text{ m} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta x = x_f - x_i = 244 - 40 = +204 \text{ m}$$

۲-۲ سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای

شکل ۲-۸ مکان خودرویی را که در حرکت است در دو لحظه متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸ مکان خودرو در دو لحظه متفاوت

این خودرو از لحظه $t_i = 0$ s تا لحظه $t_f = 6$ s به اندازه $\Delta x = x_f - x_i = 700 - (-500) = +1200$ m در جهت محور x جابه‌جا شده است، یعنی به‌طور متوسط در هر ثانیه 200 m در جهت محور x جابه‌جا شده است ($\frac{1200 \text{ m}}{6 \text{ s}} = 200 \text{ m/s}$). در فیزیک به نسبت جابه‌جایی به مدت زمان جابه‌جایی، سرعت متوسط جسم می‌گویند و آن را به‌صورت زیر نشان می‌دهند:

$$\text{سرعت متوسط} = \frac{\text{جابه‌جایی}}{\text{زمان جابه‌جایی}} \quad (2-2)$$

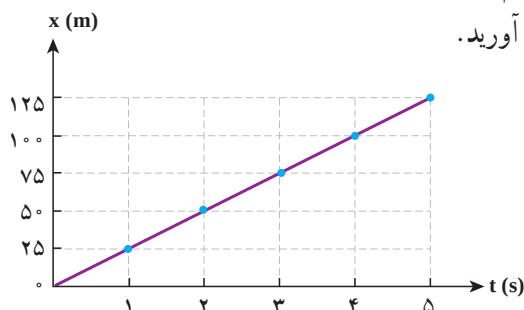
جابه‌جایی را با Δx ، زمان جابه‌جایی را با Δt و سرعت متوسط را با $\bar{v}$ نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توانیم رابطه ۲-۲ را به‌صورت زیر بنویسیم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2-3)$$

در رابطه ۲-۳ یکای Δx ، متر (m)، یکای Δt ، ثانیه (s) و یکای $\bar{v}$ ، متر بر ثانیه (m/s) است. البته یکاهای دیگری مانند km/h، mil/h و ... نیز برای سرعت استفاده می‌شود. توجه داریم سرعت متوسط یک جسم متحرک همواره با جابه‌جایی آن هم‌جهت است.

مثال ۲-۳

شکل زیر، نمودار مکان - زمان خودرویی که روی مسیر مستقیم حرکت می‌کند را نشان می‌دهد.



(الف) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های زمانی زیر را به‌دست آورید.

۱- از $t = 0$ s تا $t = 2$ s ۲- از $t = 0$ s تا $t = 4$ s

۳- از $t = 2$ s تا $t = 4$ s ۴- از $t = 2$ s تا $t = 5$ s

۵- از $t = 3$ s تا $t = 5$ s

(ب) از مقایسه سرعت‌های متوسط به‌دست آمده در بازه‌های

زمانی مختلف، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{50 - 0}{2 - 0} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف (۱-)} \bar{v}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100 - 0}{4 - 0} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف (۲-)} \bar{v}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100 - 50}{4 - 2} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف (۳-)} \bar{v}$$

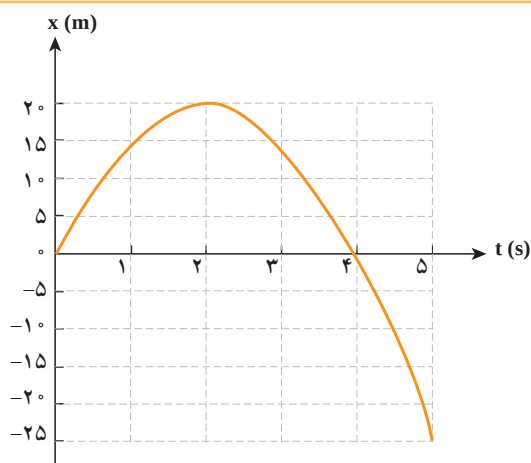
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{125 - 50}{5 - 2} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف (۴-)} \bar{v}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{125 - 75}{5 - 3} = 25 \text{ m/s} \quad \text{الف (۵-)} \bar{v}$$

(ب) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند الف، درمی‌یابیم که سرعت متوسط

خودرو در همه بازه‌های زمانی مختلف مساوی بوده است. در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم سرعت خودرو، ثابت است.

مثال ۲-۴



شکل مقابل، نمودار مکان - زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند را نشان می‌دهد.

الف) با استفاده از شکل، ستون مربوط به جابه‌جایی و سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، در جدول زیر را کامل کنید.

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

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

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

پاسخ:

الف)

بازه زمانی	$\Delta x(\text{m})$	$\bar{v}(\text{m/s})$
از $t=0\text{s}$ تا $t=2\text{s}$		
از $t=0\text{s}$ تا $t=4\text{s}$		
از $t=2\text{s}$ تا $t=4\text{s}$		
از $t=2\text{s}$ تا $t=5\text{s}$		
از $t=3\text{s}$ تا $t=5\text{s}$		

بازه زمانی	$\Delta x(\text{m})$	$\bar{v}(\text{m/s})$
از $t=0\text{s}$ تا $t=2\text{s}$	+۲۰	+۱۰
از $t=0\text{s}$ تا $t=4\text{s}$	۰	۰
از $t=2\text{s}$ تا $t=4\text{s}$	-۲۰	-۱۰
از $t=2\text{s}$ تا $t=5\text{s}$	-۴۵	-۱۵
از $t=3\text{s}$ تا $t=5\text{s}$	-۴۰	-۲۰

(ب) در بازه $t=3s$ تا $t=5s$ ، اندازه سرعت متوسط پیشینه، و در بازه $t=0s$ تا $t=4s$ اندازه سرعت متوسط کمینه است.

(پ) در بازه‌های زمانی که علامت سرعت متوسط، مثبت است، سرعت متوسط در جهت محور x و در بازه‌های زمانی که علامت سرعت متوسط، منفی است، سرعت متوسط در خلاف جهت محور x است.

(ت) از مقایسه سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف، درمی‌یابیم سرعت متوسط خودرو در بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت است. در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم سرعت خودرو متغیر است.

سرعت متحرک در هر لحظه از زمان یا در هر نقطه از مسیر را **سرعت لحظه‌ای** می‌گویند. در حالت‌هایی مانند مثال ۲-۳ که سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، یکسان است، سرعت لحظه‌ای با سرعت متوسط برابر است؛ اما در حالت‌هایی مانند مثال ۲-۴ که سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت است، سرعت لحظه‌ای متحرک در حال تغییر است. توجه داریم که سرعت‌سنج خودرو (شکل ۲-۹) در هر لحظه، اندازه سرعت لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهد. در کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی با مفهوم سرعت لحظه‌ای بیشتر آشنا می‌شویم.

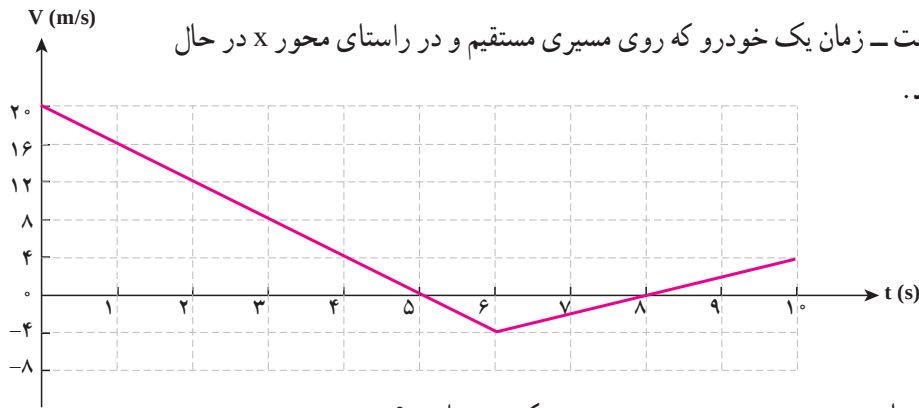


شکل ۲-۹- سرعت‌سنج خودرو در هر لحظه، اندازه سرعت لحظه‌ای را نشان می‌دهد.

سرعت لحظه‌ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می‌نامیم و آن را با v نشان می‌دهیم. یکای سرعت لحظه‌ای در SI، متر بر ثانیه (m/s) است. جدول ۲-۱، برخی از سرعت‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱- برخی از سرعت‌های تقریبی

$10^{-3} m/s$	سرعت حلزون
$2 m/s$	راه‌رفتن سریع
$10 m/s$	دونده دوی سرعت
$30 m/s$	سرعت پیشینه خودرو در بزرگراه
$500 m/s$	حرکت کاتوره‌ای مولکول‌های هوا
$1000 m/s$	سریع‌ترین هواپیما
$3000 m/s$	ماهواره مخابراتی در مدار
$8300 m/s$	سرعت فضاپیماهای خاص
$2/98 \times 10^4 m/s$	سرعت مداری زمین
$4/17 \times 10^4 m/s$	سرعت دنباله‌دار هالی
$2 \times 10^6 m/s$	سرعت الکترون در حرکت مداری
$3/0 \times 10^8 m/s$	سرعت نور در خلأ یا هوا



- (الف) در چه بازه‌های زمانی، خودرو در جهت محور x در حرکت بوده است؟
 (ب) در چه بازه زمانی، خودرو در خلاف جهت محور x در حرکت بوده است؟
 (پ) در چه زمان‌هایی خودرو توقف لحظه‌ای داشته است؟
 (ت) در چه لحظه‌هایی خودرو در حرکتش تغییر جهت داده است؟
 (ث) سرعت خودرو را در لحظات $t_1=2s$ ، $t_2=6s$ ، $t_3=7s$ ، $t_4=10s$ تعیین کنید.
 (ج) در بازه زمانی $t_i=0s$ تا $t_f=10s$ تغییر سرعت خودرو را به دست آورید.

پاسخ:

(الف) در بازه زمانی $t=0s$ تا $t=5s$ و همچنین $t=5s$ تا $t=10s$.

(ب) در لحظه‌های $t=5s$ و $t=8s$.

(ب) در بازه زمانی $t=5s$ تا $t=8s$.

(ت) در لحظه‌های $t=5s$ و $t=8s$.

$$t_1=2s \Rightarrow v_1=+12 \text{ m/s}$$

$$t_2=6s \Rightarrow v_2=-4 \text{ m/s}$$

$$t_3=7s \Rightarrow v_3=-2 \text{ m/s}$$

$$t_4=10s \Rightarrow v_4=+4 \text{ m/s}$$

(ج)

$$\left. \begin{array}{l} t_i=0s \Rightarrow v_i=+20 \text{ m/s} \\ t_f=10s \Rightarrow v_f=+4 \text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta v = v_f - v_i = 4 - 20 = -16 \text{ m/s}$$

تمرین ۲-۳

- در جدول زیر سرعت متحرکی که بر روی خط راست در حرکت است، در چند لحظه مشخص شده است.
 (الف) نمودار سرعت - زمان را برای آن رسم کنید.
 (ب) از روی نمودار در مورد نحوه تغییر سرعت متحرک بحث کنید.

t(s)	0	1	2	3	4	5
v(m/s)	0	0.7	1/2	1/5	1/6	1/5

۳-۲ حرکت یکنواخت

هرگاه سرعت لحظه‌ای متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، در تمام لحظه‌ها یکسان باشد، حرکت آن یکنواخت نامیده می‌شود، مانند حرکت خودرویی که در یک بزرگراه و در مسیری مستقیم با سرعت ثابت در حال حرکت است. در این حرکت نمودار مکان-زمان، یک خط راست است مانند شکل ۱-۲ و در نتیجه سرعت متوسط بین هر دو لحظه دلخواه با سرعت لحظه‌ای برابر است. بنابراین:

$$v = \bar{v} \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (۴-۲)$$

از رابطه ۴-۲ می‌توان نوشت:

$$\Delta x = v \Delta t \quad (۵-۲)$$

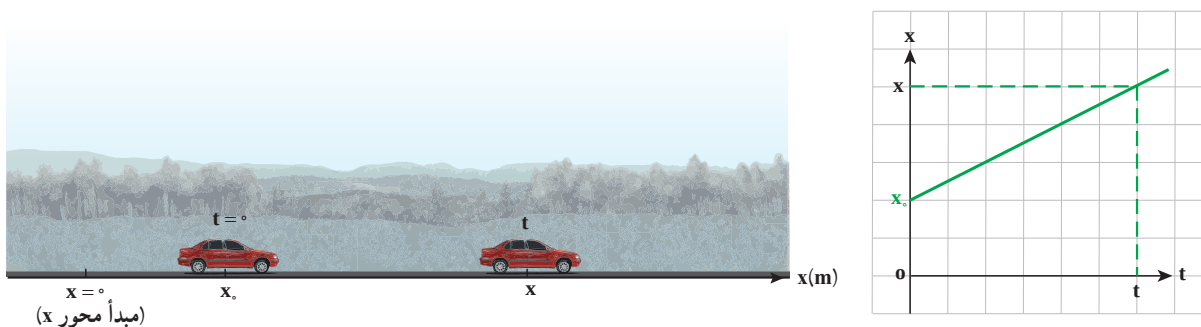
اگر متحرک در لحظه $t = 0$ در مکان x_0 و در لحظه t در مکان x باشد:

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

و یا:

$$x = vt + x_0 \quad (۶-۲)$$

در این رابطه که آن را معادله حرکت یکنواخت می‌نامند، x برحسب متر (m)، v برحسب متر بر ثانیه، (m/s)، t برحسب ثانیه (s) و x_0 نیز برحسب متر (m) است. باید توجه داشت مکان (x_0, x) می‌تواند مثبت یا منفی باشد. سرعت (v) هم در صورتی که در جهت محور x باشد مثبت و در غیر این صورت منفی است.



شکل ۱-۲- نمودار مکان-زمان در حرکت با سرعت ثابت با فرض مثبت بودن x_0 و v

مثال ۲-۴

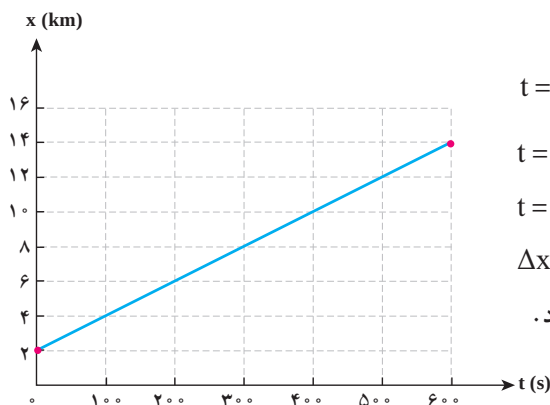
معادله حرکت قطاری که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، در SI به صورت $x = ۲۰t + ۲۰۰۰$ است. (مبدأ مختصات، ایستگاه در نظر گرفته شده است.)
الف) سرعت قطار چند متر بر ثانیه و چند کیلومتر بر ساعت است؟

- (ب) مکان قطار در $t = 0$ s، $t = 100$ s و $t = 500$ s را بر حسب متر و کیلومتر تعیین کنید.
- (پ) اگر قطار با همین سرعت به حرکت خود ادامه دهد، در مدت $1/5$ h چند کیلومتر مسافت می پیماید؟
- (ت) نمودار مکان - زمان قطار را در بازه زمانی $t = 0$ s تا $t = 600$ s رسم کنید.

پاسخ:

(الف) با مقایسه معادله حرکت قطار با رابطه ۲-۶ معلوم می شود که سرعت قطار 20 m/s است.

$$20 \text{ m/s} = 20 \times \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \times \frac{5}{18} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$



(ب) $t = 0 \text{ s} \Rightarrow x = 2000 \text{ m} = 2 \text{ km}$

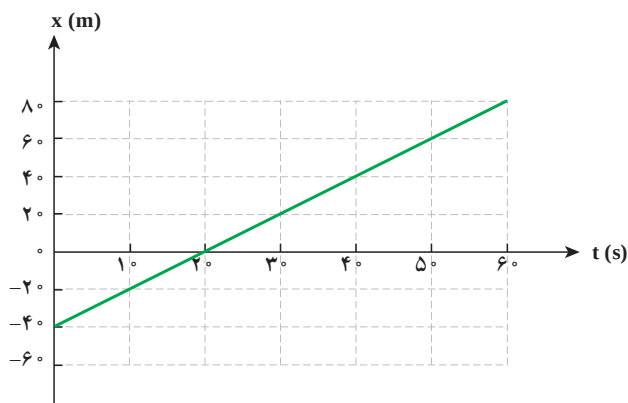
$t = 100 \text{ s} \Rightarrow x = 20 \times 100 + 2000 = 4000 \text{ m} = 4 \text{ km}$

$t = 500 \text{ s} \Rightarrow x = 20 \times 500 + 2000 = 12000 \text{ m} = 12 \text{ km}$

(پ) $\Delta x = v \Delta t \Rightarrow \Delta x = 72 \text{ km/h} \times 1/5 \text{ h} = 14.4 \text{ km}$

(ت) نمودار مکان - زمان قطار مطابق شکل روبه رو می شود.

مثال ۷-۲



شکل مقابل نمودار مکان - زمان شخصی را نشان می دهد که با سرعت ثابت در مسیری مستقیم حرکت می کند.

(الف) سرعت حرکت این شخص چقدر است؟ نمودار سرعت - زمان را برای آن رسم کنید.

(ب) شخص در مبدأ زمان ($t = 0$ s) در چه مکانی قرار دارد؟

(پ) شخص در مدت 5 min چند متر جابه جا می شود؟

(ت) در چه لحظه هایی شخص در فاصله 20 متری مبدأ است؟

پاسخ:

(الف)

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{60}{30} = 2 \text{ m/s}$$

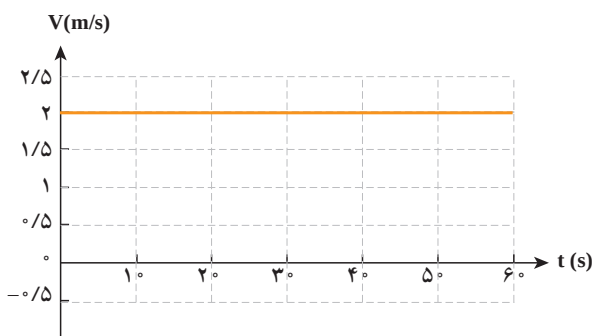
(ب)

$t = 0 \text{ s} \Rightarrow x_0 = -40 \text{ m}$

(پ)

$$\Delta x = v \cdot \Delta t = 2 \times (5 \times 60) = 600 \text{ m}$$

(ت) در لحظه های $t = 10$ s و $t = 30$ s.



تمرین ۲-۴

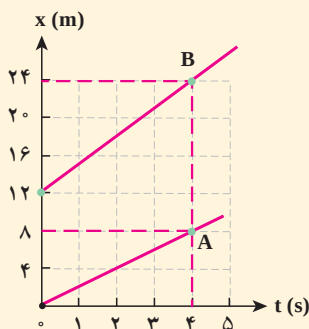
جسمی با سرعت ثابت بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر جسم در لحظه $t_1 = 5s$ در مکان $x_1 = 6m$ و در لحظه $t_2 = 20s$ در مکان $x_2 = 36m$ باشد،

الف) مکان متحرک در لحظه $t = 0$ و سرعت آن را بیابید.

ب) معادله مکان - زمان را بنویسید.

پ) نمودار مکان - زمان را رسم کنید.

تمرین ۲-۵



شکل مقابل نمودار مکان - زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد. سرعت هر یک از آنها را حساب کنید، نمودار سرعت - زمان هر کدام را رسم کنید و معادله حرکت هر یک از آنها را بنویسید.

۲-۲ شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

هنگامی که خودرو از حال سکون به راه می‌افتد، با مشاهده سرعت‌سنج خودرو ملاحظه می‌شود که سرعت آن به تدریج افزایش می‌یابد و در هنگام ترمز کردن سرعت آن به تدریج کاهش می‌یابد. در این موارد که سرعت متحرک تغییر می‌کند می‌گوییم حرکت **شتابدار** یا **غیریکنواخت** است.

در فیزیک به نسبت تغییر سرعت به زمان تغییر آن، **شتاب متوسط** گفته می‌شود و آن را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$\text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{زمان تغییر سرعت}} \quad (۷-۲)$$

تغییر سرعت را با Δv ، مدت زمان تغییر سرعت را با Δt و شتاب متوسط را با $\bar{a}$ نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توانیم رابطه ۷-۲ را به صورت زیر بنویسیم.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \quad (۸-۲)$$

در رابطه ۸-۲ یکای Δv ، متر بر ثانیه (m/s)، یکای Δt ، ثانیه (s) و یکای $\bar{a}$ ، متر بر مجذور ثانیه (m/s^2) است. توجه داریم که شتاب متوسط همواره با تغییر سرعت، هم جهت است. هنگامی که

در خودرویی با سرعت 90 km/h یا در هواپیمایی با سرعت 900 km/h سفر می کنید، بدن شما هیچ حسی از این حرکت ندارد. ولی اگر خودرو یا هواپیما در مدت زمان کوتاهی تغییر سرعت دهد، این تغییر را به شدت احساس می کنید و حتی ممکن است از آن وحشت زده شوید. بخشی از هیجان ایجاد شده هنگام سوار شدن در وسایل شهربازی ها نیز ناشی از تغییرات سریع سرعت است. یعنی بدن ما به شتاب ها واکنش نشان می دهد اما به سرعت ها واکنش نشان نمی دهد.

مثال ۸-۲

سرعت متحرکی در لحظه $t_1 = 20 \text{ s}$ برابر 10 m/s و در لحظه $t_2 = 45 \text{ s}$ برابر 20 m/s است. شتاب متوسط آن بین دو لحظه t_1 و t_2 چقدر است؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \bar{a} = \frac{20 - 10}{45 - 20} = \frac{10}{25} = 0.4 \text{ m/s}^2$$

پاسخ:

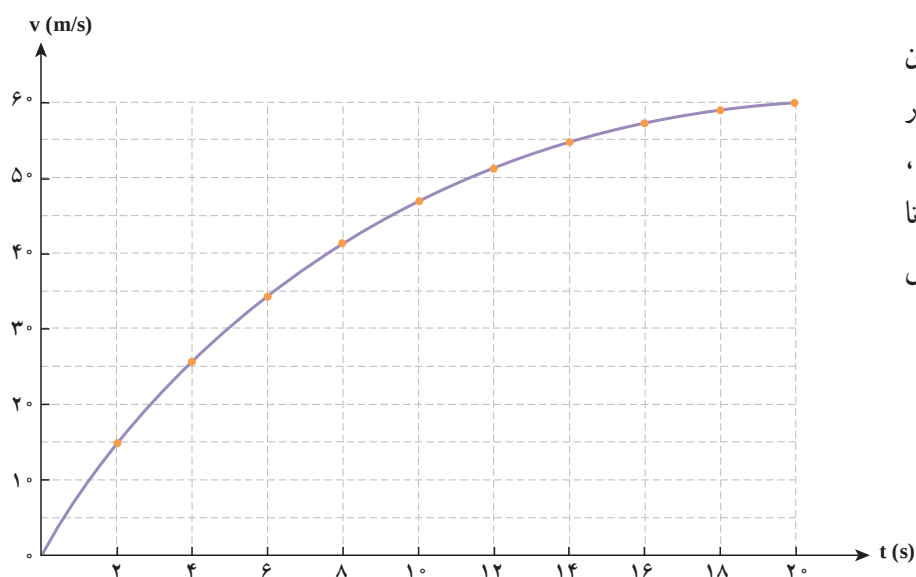
مثال ۹-۲

وقتی ملخی می خواهد بپرد، خودش را با فشار به پاهایش، از زمین بلند می کند و به این روش شتاب روبه بالا می گیرد. فیلم برداری از ملخ در این حالت، نشان می دهد ملخ به مدت 0.13 s به پاهایش فشار می آورد و در پایان این مدت سرعتش 3 m/s می شود. شتاب متوسط ملخ در این مدت چقدر است؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{3 - 0}{0.13} = 23.1 \text{ m/s}^2$$

پاسخ:

مثال ۱۰-۲



نمودار سرعت - زمان برای یک ماشین مسابقه که در مسیر مستقیم حرکت می کند، از لحظه شروع حرکت تا 20 s پس از این لحظه در شکل روبه رو رسم شده است.



الف) شتاب متوسط خودرو را در هریک از بازه‌های زمانی زیر حساب کنید.

$$۱- t_1 = 0 \text{ s تا } t_2 = 2 \text{ s}$$

$$۲- t_2 = 4 \text{ s تا } t_3 = 14 \text{ s}$$

$$۳- t_3 = 14 \text{ s تا } t_4 = 20 \text{ s}$$

ب) در کدام یک از بازه‌های زمانی، در بند الف، شتاب متوسط بیشینه و در کدام یک کمینه است؟

پاسخ:

$$۱- \text{الف} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{15 - 0}{2 - 0} = +7.5 \text{ m/s}^2$$

$$۲- \text{الف} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{55 - 25}{14 - 4} = +3 \text{ m/s}^2$$

$$۳- \text{الف} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{60 - 55}{20 - 14} = +0.8 \text{ m/s}^2$$

ب) در بازه‌های زمانی بند الف، در بازه زمانی $t_1 = 0 \text{ s}$ تا $t_2 = 2 \text{ s}$ ، شتاب متوسط بیشینه، و در بازه زمانی $t_2 = 4 \text{ s}$ تا $t_3 = 14 \text{ s}$ ، شتاب متوسط کمینه است.

مثال ۲-۱۱

رابطه بین سرعت و زمان برای موتورسواری که در بخشی از یک بزرگراه مستقیم حرکت می‌کند، $v = 2t + 4$ است، که t بر حسب s و v بر حسب m/s است.

الف) نمودار سرعت - زمان موتورسوار در بازه زمانی $t_1 = 0 \text{ s}$ تا $t_2 = 12 \text{ s}$ را رسم کنید.

ب) شتاب متوسط موتورسوار در بازه‌های زمانی زیر را بیابید:

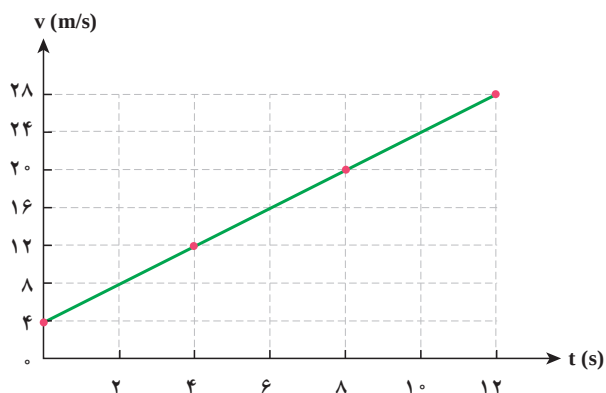
$$۱- t_1 = 0 \text{ s تا } t_2 = 4 \text{ s}$$

$$۲- t_2 = 4 \text{ s تا } t_3 = 8 \text{ s}$$

$$۳- t_3 = 8 \text{ s تا } t_4 = 12 \text{ s}$$

پ) شتاب متوسط‌های به‌دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند ب را باهم مقایسه و در مورد آن بحث کنید.

پاسخ:



الف) سرعت موتورسوار در لحظه‌های

$$t_1 = 0 \text{ s}, t_2 = 4 \text{ s}, t_3 = 8 \text{ s}, \text{ و } t_4 = 12 \text{ s} \text{ را با استفاده از رابطه}$$

بین سرعت و زمان به‌دست می‌آوریم، سپس با استفاده از نقاط به‌دست آمده، نمودار سرعت - زمان را رسم می‌کنیم.

t(s)	۰	۴	۸	۱۲
v(m/s)	۴	۱۲	۲۰	۲۸

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12-4}{4-0} = +2 \text{ m/s}^2 \quad \text{ب-۱)$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20-12}{8-4} = +2 \text{ m/s}^2 \quad \text{ب-۲)$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{28-20}{12-8} = +2 \text{ m/s}^2 \quad \text{ب-۳)$$

پ) از مقایسه شتاب متوسط‌های به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند ب، درمی‌یابیم شتاب متوسط موتورسوار در این بازه‌ها مساوی است. در این حالت، اصطلاحاً می‌گوییم شتاب موتورسوار، ثابت است.

شتاب متحرک در هر لحظه از زمان یا در هر نقطه

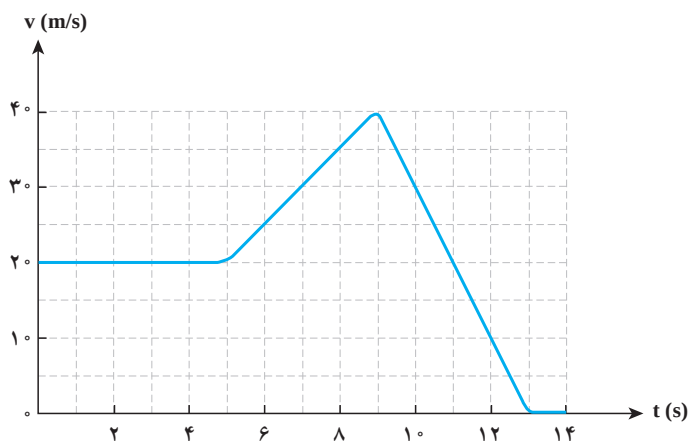
از مسیر را شتاب لحظه‌ای می‌گویند.

در حالت‌هایی مانند مثال ۲-۱۱ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، یکسان است، شتاب لحظه‌ای با شتاب متوسط برابر است، اما در حالت‌هایی مانند مثال ۲-۱۰ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف متفاوت است، شتاب لحظه‌ای متحرک در حال تغییر است. در کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی با مفهوم شتاب لحظه‌ای بیشتر آشنا می‌شویم. شتاب لحظه‌ای را پس از این برای سادگی شتاب می‌نامیم که به معنی شتاب جسم در یک لحظه مشخص است. شتاب لحظه‌ای را با a نشان می‌دهیم و یکای آن در SI، متر بر مجذور ثانیه (m/s^2) است. جدول ۲-۲ برخی از شتاب‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲- برخی شتاب‌های تقریبی

$3 \times 10^2 \text{ m/s}^2$	شتاب توپ فوتبال هنگام یک برخورد محکم با پا
$2 \times 10^2 \text{ m/s}^2$	شتاب کک (نوعی حشره) در ابتدای پرش
$1 \times 10^2 \text{ m/s}^2$	شتاب تصادف خودرو (با سرعت 100 km/h با دیوار)
$3/2 \times 10^2 \text{ m/s}^2$	شتاب (حداکثر) چترباز در لحظه باز شدن چتر
$2/7 \times 10^2 \text{ m/s}^2$	شتاب سقوط آزاد بر سطح خورشید
$1/5 \times 10^2 \text{ m/s}^2$	شتاب (حداکثر) پرتاب انفجاری صندلی هواپیما
$9/8 \text{ m/s}^2$	شتاب سقوط آزاد بر سطح زمین
8 m/s^2	شتاب ترمز خودرو
$1/7 \text{ m/s}^2$	شتاب سقوط آزاد بر سطح ماه

مثال ۲-۱۲



شکل روبه‌رو نمودار سرعت - زمان متحرکی را نشان می‌دهد که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در لحظه‌های داده شده به دست آورید. توجه داریم که اگر نمودار سرعت - زمان در یک بازه زمانی به صورت خط راست باشد، شتاب لحظه‌ای با شتاب متوسط در آن بازه زمانی برابر است.

$$t = 2 \text{ s} \quad \text{الف)}$$

$$t = 7 \text{ s} \quad \text{ب)}$$

$$t = 10 \text{ s} \quad \text{پ)}$$

پاسخ:

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 - 20}{5 - 0} = 0 \text{ m/s}^2 \quad (\text{الف})$$

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{40 - 20}{9 - 5} = +5 \text{ m/s}^2 \quad (\text{ب})$$

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 40}{13 - 9} = -10 \text{ m/s}^2 \quad (\text{پ})$$

در لحظه‌هایی که علامت شتاب مثبت است، شتاب در جهت محور x است و در لحظه‌هایی که علامت شتاب منفی است، شتاب در خلاف جهت محور x است.

۵-۲ حرکت با شتاب ثابت

هرگاه در حرکتی شتاب در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، آن حرکت را حرکت با شتاب ثابت می‌نامیم. در این حالت نمودار سرعت-زمان به صورت یک خط راست است (مانند شکل ۱۱-۲) در چنین حرکتی، شتاب در هر لحظه دلخواه با شتاب متوسط متحرک در هر بازه زمانی برابر می‌شود یعنی:

$$a = \bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \quad (9-2)$$

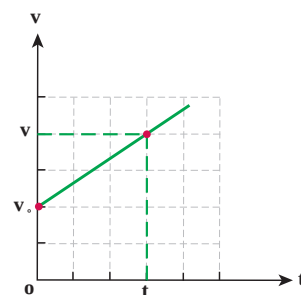
اگر در رابطه ۹-۲ $t_f = t$ و $t_i = 0$ باشد در این صورت v_i سرعت در لحظه صفر با نماد v_0 و v_f سرعت در لحظه t با نماد v است و می‌توان نوشت:

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

$$v = at + v_0 \quad (10-2)$$

دیدیم در حرکت با شتاب ثابت، نمودار سرعت-زمان یک خط راست است. می‌توان نشان داد که در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط بین دو لحظه، نصف مجموع سرعت‌های آن دو لحظه است، یعنی:

$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} \quad (11-2)$$



شکل ۱۱-۲ نمودار سرعت-زمان در حرکت با شتاب ثابت با فرض مثبت بودن v و a



قطاری زیرزمینی از یک ایستگاه به راه می‌افتد، در امتداد ریل‌های مستقیم با شتاب ثابت 1 m/s^2 حرکت می‌کند و به سرعت مناسب 20 m/s می‌رسد.

(الف) چه مدت طول می‌کشد تا قطار به این سرعت برسد؟

(ب) سرعت متوسط قطار در این مدت چقدر است؟

(پ) قطار در این مدت چقدر جابه‌جا می‌شود؟

پاسخ:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow 1 = \frac{20 - 0}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 20 \text{ s} \quad (\text{الف})$$

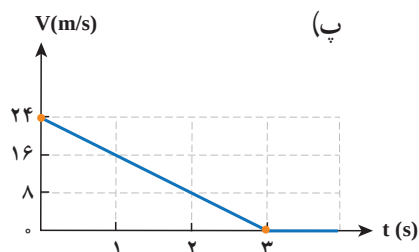
$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{0 + 20}{2} = 10 \text{ m/s} \quad (\text{ب})$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow 10 = \frac{\Delta x}{20} \Rightarrow \Delta x = 200 \text{ m} \quad (\text{پ})$$

مثال ۱۴-۲

خودرویی در یک جاده مستقیم و خشک با سرعت 24 m/s در حرکت است. راننده با دیدن مانعی ترمز می‌کند. اگر اندازه شتاب منفی خودرو هنگام ترمز 8 m/s^2 باشد،
 الف) چقدر طول می‌کشد تا خودرو بایستد؟
 ب) از لحظه ترمز تا ایست کامل، خودرو چقدر پیش می‌رود؟
 پ) نمودار سرعت - زمان خودرو از لحظه ترمز تا ایست کامل را رسم کنید.

پاسخ:



$$v = at + v_0$$

$$0 = -8t + 24 \Rightarrow t = 3 \text{ s}$$

$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{24 + 0}{2} = 12 \text{ m/s} \quad (\text{ب})$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow 12 = \frac{\Delta x}{3} \Rightarrow \Delta x = 36 \text{ m}$$

برای به دست آوردن رابطه ریاضی میان مکان و زمان در حرکت با شتاب ثابت، با استفاده از رابطه‌های ۲-۳ و ۲-۱۱ داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

و از آنجا می‌توان نوشت:

$$\Delta x = \frac{v_i + v_f}{2} \Delta t \quad (2-12)$$

در این رابطه Δx جابه‌جایی در بازه Δt و v_i و v_f به ترتیب سرعت در لحظه t_i و سرعت در لحظه t_f است. اگر متحرک در لحظه $t_i = 0$ در مکان $x_i = x_0$ دارای سرعت $v_i = v_0$ باشد و در لحظه $t_f = t$ در مکان $x_f = x$ دارای سرعت $v_f = v$ باشد، داریم:

$$x - x_0 = \frac{v + v_0}{2} t$$

و بنا به رابطه ۲-۱۰

$$x - x_0 = \frac{at + v_0 + v_0}{2} t$$

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \quad (۲-۱۳)$$

این رابطه معادله مکان - زمان حرکت با شتاب ثابت است.

مثال ۲-۱۵

یک نوع هواپیمای جت با شتاب ثابت $2/5 \text{ m/s}^2$ شروع به حرکت روی مسیر مستقیم می کند و پس از 40 s از روی باند فرودگاه بلند می شود.

(الف) سرعت هواپیما در لحظه بلند شدن چقدر است؟

(ب) هواپیما پیش از بلند شدن چه فاصله ای را می پیماید؟

(پ) نمودار مکان - زمان هواپیما را رسم کنید.

پاسخ:

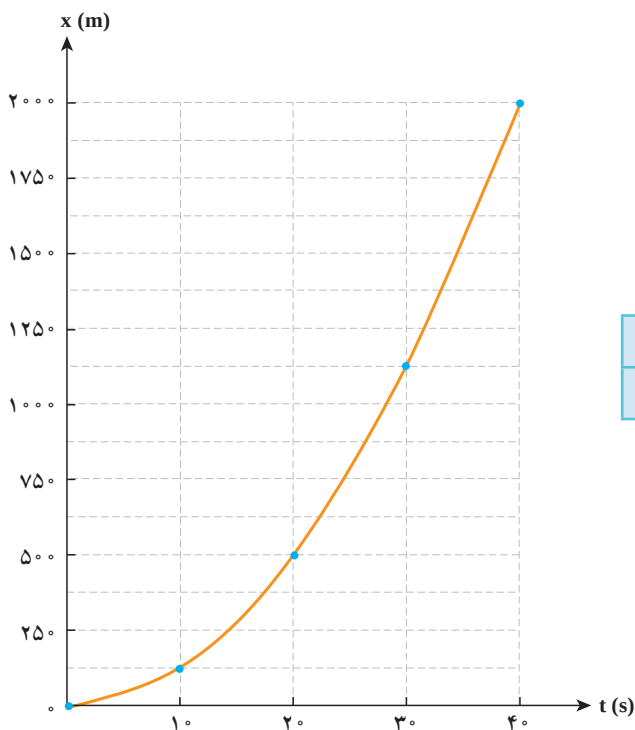
$$v = at + v_0 = 2/5 \times 40 + 0 = 16 \text{ m/s}$$

(الف)

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \Rightarrow \Delta x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t = \frac{1}{2} \times 2/5 \times 40^2 + 0 = 2400 \text{ m} \quad (\text{ب})$$

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \quad (\text{پ}) \text{ با استفاده از معادله}$$

و با در نظر گرفتن $x_0 = 0$ ، مکان هواپیما را در چند لحظه متفاوت پیدا می کنیم.



t(s)	0	10	20	30	40
x(m)	0	125	500	1125	2000

برای جسمی که با شتاب ثابت حرکت می‌کند رابطهٔ ریاضی بین مکان و سرعت به صورت زیر است:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (۱۴-۲)$$

فعالیت ۱-۲

با استفاده از رابطه‌های حرکت با شتاب ثابت، رابطهٔ ۱۴-۲ را به دست آورید.

مثال ۱۴-۲

در یک آزمایش تصادف، خودرویی با سرعت ۵۴ km/h با دیواری ثابت و محکم برخورد می‌کند. پس از اینکه قسمت جلوی خودرو $۰/۴ \text{ m}$ فرو می‌رود قسمت عقب می‌ایستد. اگر فرض کنیم شتاب منفی قسمت عقب خودرو در مدت زمان برخورد ثابت باشد،

الف) این شتاب چقدر است؟

ب) چقدر طول می‌کشد تا قسمت عقب خودرو بایستد؟

پاسخ:
الف)

$$v_0 = 54 \text{ km/h} = \frac{54 \times 1000}{3600} \text{ m/s} = 15 \text{ m/s}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

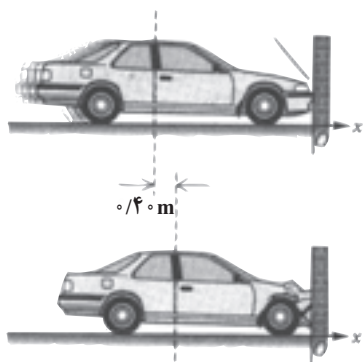
$$0 - 15^2 = 2a \times 0/4 \Rightarrow a = -280 \text{ m/s}^2$$

$$v = at + v_0$$

ب)

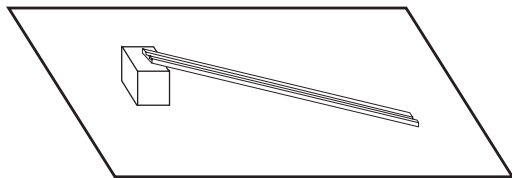
$$0 = -280t + 15 \Rightarrow t \approx 0/05 \text{ s}$$

توجه داشته باشید که در چنین تصادفی، سرنشین خودرو، به شدت آسیب می‌بیند مگر اینکه کمربند ایمنی یا کیسهٔ هوا او را نگه دارد.



آزمایش ۱-۲

وسایل لازم:



۱- تختۀ شیاردار یا میلهٔ پرده به طول ۲ m یا بیشتر

۲- گلولهٔ شیشه‌ای (تبله) یا فلزی

۳- زمان‌سنج (کرونومتر)

۴- متر نواری

شرح آزمایش: می‌توان نشان داد شتاب حرکت گلوله روی میلهٔ پردهٔ شیب‌دار مقدار ثابتی است. می‌خواهیم این شتاب را برای طول راه‌های مختلف اندازه بگیریم. بنابراین:

۱- یک سر میله را روی چند کتاب و یا هر وسیلهٔ در دسترس طوری قرار دهید که سر میله از زمین حدود ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر بالاتر باشد.

۲- گلوله را در بالاترین نقطهٔ میله قرار دهید. برای ساکن نگه‌داشتن گلوله می‌توانید با یک خط‌کش، مداد یا ... جلوی به حرکت درآمدن آن را بگیرید.

۳- فاصلهٔ ۱/۰۰ m از محل قرار گرفتن اولیهٔ گلوله را علامت بزنید.

۴- گلوله را رها کنید تا مسافت موردنظر را طی کند و زمان آن را اندازه بگیرید. برای کم کردن خطای آزمایش این اندازه‌گیری را چندبار تکرار و مقدارهای به‌دست آمده را میانگین‌گیری کنید.

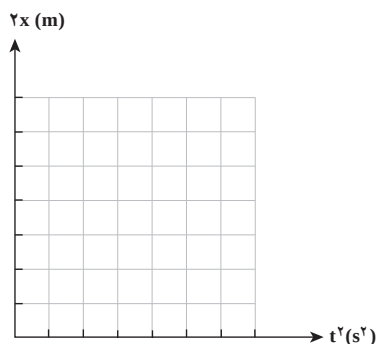
۵- اندازه‌گیری زمان حرکت را برای طول راه‌های بعدی مطابق جدول انجام دهید و نتایج را در جدول ثبت کنید.

توجه: در اجرای این آزمایش می‌توانید انتهای میله را مماس بر دیوار یا یک مانع سخت قرار دهید و آن‌گاه نقطهٔ شروع حرکت را روی میله و در فاصلهٔ ۱/۰۰ m، ۱/۲۰ m و ... از انتهای میله بگیرید.

۶- با استفاده از رابطهٔ $x = \frac{1}{2}at^2$ ، شتاب را محاسبه و در جدول ثبت کنید.

۷- نمودار x بر حسب t^2 را رسم کنید.

ردیف	مسافت (m)	زمان (s)	$a = 2x/t^2$
۱	۱/۰۰		
۲	۱/۲۰		
۳	۱/۴۰		
۴	۱/۶۰		
۵	۱/۸۰		
۶	۲/۰۰		



ابن سینا



ابوعلی حسین بن عبدالله، ملقب به ابن سینا که در غرب به آوی سینا معروف است در سال ۳۵۹ هجری شمسی در آفشنه در نزدیکی بخارا به دنیا آمد و در سال ۴۱۶ هجری شمسی در همدان درگذشت. ابن سینا که از کودکی هوشی سرشار داشت، به سرعت علوم زمان خود را فرا گرفت و در ۱۶ سالگی شروع به طبابت کرد. ابن سینا در فنون مختلف و متنوع تألیفات زیادی دارد و آثار او بالغ بر ۲۷۰ عنوان می‌شود. گرچه مهم‌ترین آثار او اثر فلسفی **شفا** و کتاب دایرة المعارف **گونه‌قانون**

در پزشکی است، اما او در علوم و فنون زمانه خود نیز دستی بر آتش داشته است. کتاب **معیار العقول** یکی از کتاب‌های منتسب به ابن سینا است که مباحث آن به فن طراحی و ساخت جرأثقال‌ها مربوط می‌شود و لذا از آثار مهندسی تمدن اسلامی محسوب می‌گردد. در این کتاب نخست به ماشین‌های ساده‌ای مانند اهرم‌های ساده و مرکب، قرقره‌های ساده و مرکب، چرخ و محور اشاره می‌شود که همگی اجزای تشکیل‌دهنده جرأثقال‌ها هستند و سپس به خود جرأثقال پرداخته می‌شود. البته سوای این مطالب، ابن سینا در بخش طبیعیات کتاب‌های مهم خود مانند **شفا، اشارات و تنبیهات** و **دانشنامه علایی** بخش نظری فیزیک مکانیک را نیز توسعه داد و قواعد جدیدی را برای توصیف حرکات عرضه کرد. او ضمن بحث عمیق درباره مفاهیم و کمیت‌های اساسی مکانیک نظری مانند جسم، ماده، هیأت، زمان، مکان، فضا و نظایر آن، عوامل یا نیروهای محرکه را به دو دسته داخلی و خارجی تفکیک کرد و ضمن تشریح منشأ هر کدام، سرانجام موفق به توصیف درست حرکت‌هایی شد که مکانیک ارسطویی از تبیین آنها عاجز بود.

پرسش های فصل دوم

۱ بررسی کنید، کدام معادله ها می تواند مربوط به حرکت ذره ای با شتاب ثابت باشد؟

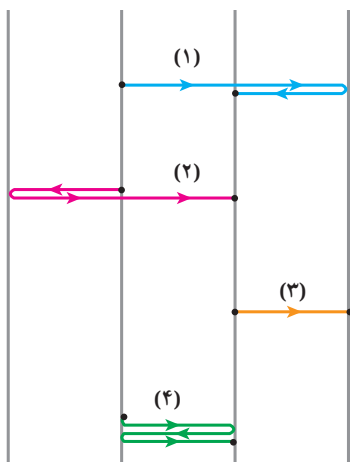
$$v = 4t^2 + 2t - 6 \text{ (ب)}$$

$$v = 3 \text{ m/s (الف)}$$

$$v = \frac{1}{2}t^2 + 5t \text{ (ت)}$$

$$v = 3t - 4 \text{ (پ)}$$

$$v = -\frac{5}{3}t + 8 \text{ (ث)}$$



۲ شکل روبه رو چهار مسیر را نشان می دهد که روی هریک از آنها جسمی از نقطه شروع تا پایان را در بازه زمانی یکسانی می پیماید. فاصله خط های مشخص شده یکسان است.

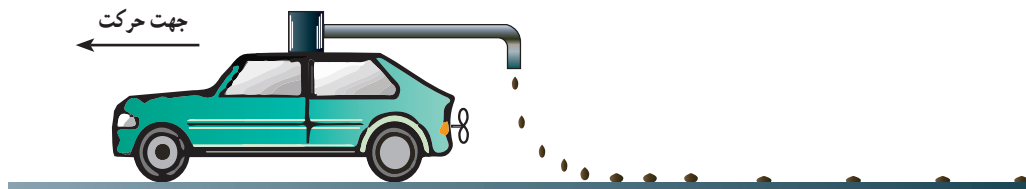
الف) اندازه سرعت متوسط متحرک در این چهار مسیر را با هم مقایسه کنید.

ب) مسیری را رسم کنید که سرعت متوسط جسم در آن در همین بازه زمانی دوبرابر حالت (۲) باشد.

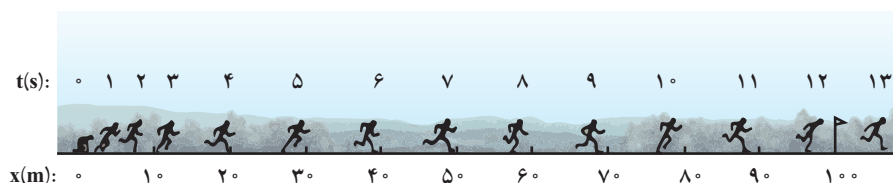
۳ ظرفی حاوی مایع رنگین که با آهنگ ثابتی چکه می کند را مطابق شکل زیر روی یک ماشین بازی کوک شده می گذاریم و آن را

به حرکت درمی آوریم. الف) چگونه با استفاده از رد قطره های مایع رنگین می توان درباره نوع حرکت ماشین کوکی اظهار نظر کرد؟

ب) اگر رد قطره ها به شکل زیر باشد، نوع حرکت را در هر ناحیه تعیین کنید.



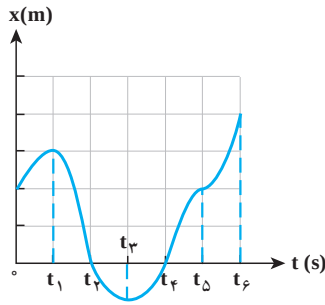
۴ شکل زیر مربوط به یک مسابقه دو ۱۰۰ متر است.



در جدول فاصله دوندۀ تا محل شروع مسابقه در لحظه های مختلف داده شده است :

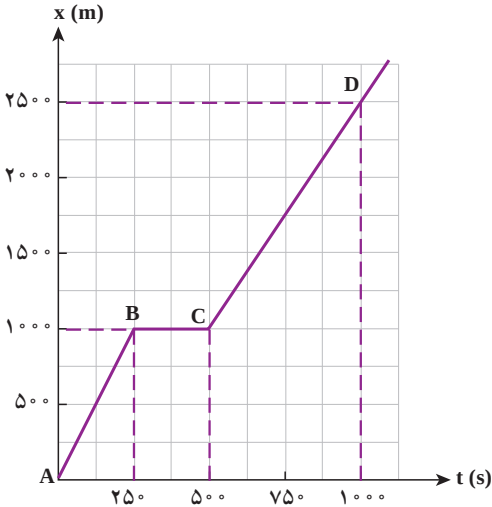
t(s)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲/۵
x(m)	۰	۱	۵	۱۱	۱۹	۲۹	۳۸	۴۸	۵۸	۶۷	۷۷	۸۶	۹۵	۱۰۰

نمودار مکان - زمان دوندۀ را رسم کنید.



- ۵ با توجه به نمودار مکان-زمان شکل روبه‌رو به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:
- الف) متحرک چندبار از مبدأ مکان عبور می‌کند؟
- ب) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال دور شدن از مبدأ است؟
- پ) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است؟
- ت) سوی حرکت چند بار تغییر کرده است؟ در چه لحظه‌هایی؟
- ث) جابه‌جایی کل در جهت محور x هاست یا خلاف آن؟

مسائل فصل دوم



- ۱ شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان حرکت یک دوندۀ دوی نیمه استقامت بر روی یک خط راست را نشان می‌دهد.
- الف) بین کدام دو نقطه، دوندۀ سریع‌تر در حال دویدن بوده است؟
- ب) بین کدام دو نقطه، دوندۀ ایستاده است؟
- پ) سرعت دوندۀ را بین دو نقطه A و B از نمودار حساب کنید.
- ت) سرعت دوندۀ را بین دو نقطه C و D حساب کنید.
- ث) سرعت متوسط دوندۀ را در بازۀ زمانی $t_1 = 0$ s تا $t_2 = 1000$ s حساب کنید.

۲ دانستن محل قرارگیری یک ماهواره در مأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های اصلی کارشناسان فضایی است. بدین منظور تپ‌های الکترومغناطیسی که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند را به طرف ماهواره مورد نظر ارسال می‌کنند و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ $3/0$ ثانیه باشد، فاصله ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چه مقدار است؟

۳ معادلۀ حرکت جسمی که روی خط راست در حرکت است در SI به صورت $x = 3t - 4$ است.

- الف) چه مدت پس از لحظه صفر متحرک به مبدأ می‌رسد؟
- ب) متحرک در لحظه $t = 1$ s در چه مکانی قرار دارد؟
- پ) جابه‌جایی متحرک بین دو لحظه $t = 1$ s و $t = 5$ s چقدر است؟

۴ رانندۀ ای فاصله مستقیم بین دو شهر را به ترتیب زیر می‌پیماید.

- ابتدا به مدت یک ساعت با سرعت متوسط 15 m/s رانندگی کرده و پس از آن به مدت 10 دقیقه توقف می‌کند. آنگاه با سرعت متوسط 20 m/s به مدت 30 دقیقه به رانندگی ادامه می‌دهد و بقیه مسیر را تا مقصد به مدت یک ربع ساعت با سرعت متوسط 12 m/s رانندگی می‌کند.
- الف) فاصله بین دو شهر چند کیلومتر است؟
- ب) سرعت متوسط او در کل مسیر چند کیلومتر بر ساعت است؟

۵ سرعت یک خودرو در مدت ۲۰ ثانیه، روی یک مسیر مستقیم از 10 m/s به 18 km/s می‌رسد.

الف) شتاب متوسط خودرو در این مدت چقدر است؟

ب) اگر سرعت با همین شتاب تغییر کند، پس از چه مدت سرعت آن از 10 m/s به $108 \text{ کیلومتر بر ساعت}$ می‌رسد؟

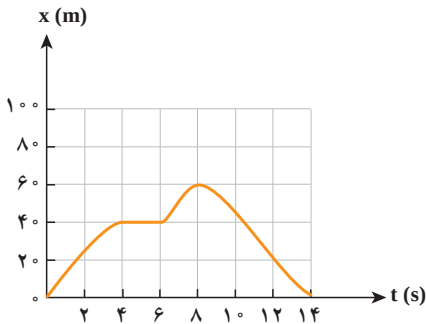
۶ سرعت فضایی ۳۰ ثانیه پس از شروع حرکت به 120 km/h می‌رسد. شتاب متوسط آن در این مدت چقدر است؟

۷ راننده خودرویی که با سرعت 72 km/h در حرکت است، مانعی را مقابل خود می‌بیند و سرعت خود را کم می‌کند به طوری که پس از ۸ ثانیه می‌ایستد.

الف) شتاب متوسط حرکت از لحظه شروع کند شدن حرکت تا توقف خودرو چقدر است؟

ب) اگر در مدت کندشدن حرکت خودرو، شتاب آن ثابت فرض شود، خودرو چه مسافتی را تا لحظه توقف پیموده است؟

۸ شکل روبه‌رو نمودار مکان - زمان متحرکی است که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است.



الف) در چه لحظه‌ای دوچرخه‌سوار بیشترین فاصله از مبدأ را دارد؟

ب) در چه بازه زمانی دوچرخه‌سوار در جهت محور x حرکت می‌کند؟

پ) در چه بازه‌های زمانی دوچرخه‌سوار در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟

ت) در چه بازه زمانی، دوچرخه‌سوار ساکن است؟

ث) جابه‌جایی دوچرخه‌سوار در کل مدت حرکت چقدر است؟

۹ شکل روبه‌رو نمودار مکان - زمان دو خودرو را نشان می‌دهد که روی خط

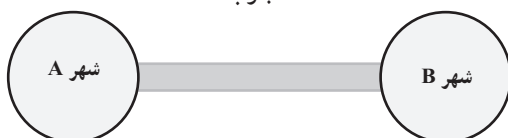
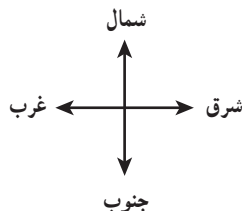
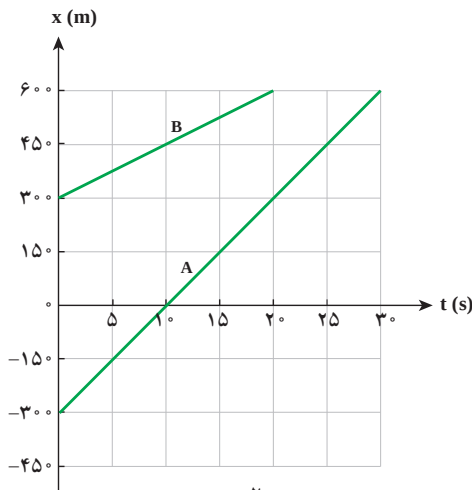
راست حرکت می‌کنند.

الف) معادله حرکت هریک از آنها را بنویسید.

ب) اگر حرکت خودروها با همین سرعت ادامه پیدا کند، در چه لحظه‌ای دو

خودرو به هم می‌رسند؟

پ) در لحظه‌ای که دو خودرو به هم می‌رسند، در چه مکانی هستند؟



۱۰ موتورسواری در یک بزرگراه مستقیم مانند شکل از شهر A به طرف

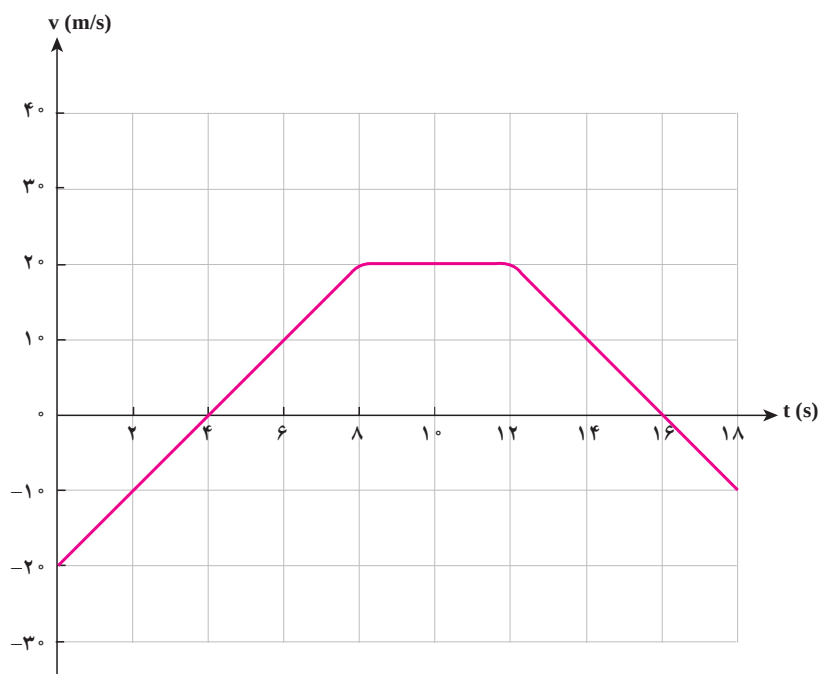
شهر B در حال حرکت است. اگر سرعت موتورسوار در $t_1 = 15 \text{ s}$ ،

18 km/h و در $t_2 = 17 \text{ s}$ ، 90 km/h باشد،

الف) شتاب متوسط موتورسوار در این مدت چقدر و در چه جهتی است؟

ب) اگر در $t_3 = 18 \text{ s}$ ، سرعت موتورسوار به 72 km/h برسد، شتاب متوسط

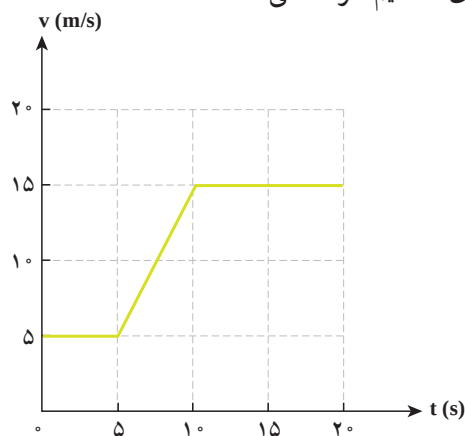
موتورسوار بین لحظه‌های t_2 و t_3 چقدر و در چه جهتی است؟



۱۱ شکل رویه‌رو نمودار سرعت - زمان متحرکی است که روی یک مسیر مستقیم و در راستای محور x در حرکت است. (الف) در چه بازه زمانی موتورسوار در جهت مثبت محور x حرکت می‌کند؟ (ب) در چه بازه‌های زمانی، موتورسوار در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟ (پ) در چه بازه زمانی، موتورسوار با سرعت ثابت حرکت کرده است؟ (ت) در چه لحظه‌هایی جهت حرکت موتورسوار تغییر کرده است؟ (ث) سرعت موتورسوار در لحظه‌های $t = 0$ s و $t = 2$ s و $t = 4$ s و $t = 14$ s و $t = 18$ s را تعیین کنید.

(ج) شتاب حرکت در $t = 4$ s و $t = 10$ s و $t = 16$ s را به دست آورید.

۱۲ شکل رویه‌رو نمودار سرعت - زمان خودرویی را نشان می‌دهد که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند.



(الف) شتاب در لحظه‌های $t = 3$ s، $t = 8$ s، $t = 11$ s و $t = 15$ s را به دست آورید. (ب) شتاب متوسط در بازه زمانی $t_1 = 0$ s تا $t_2 = 2$ s را به دست آورید. (پ) خودرو در هر یک از بازه‌های زمانی $t_1 = 5$ s تا $t_2 = 11$ s و $t_1 = 11$ s تا $t_2 = 15$ s (ت) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های $t_1 = 5$ s تا $t_2 = 11$ s و $t_1 = 15$ s تا $t_2 = 20$ s را به دست آورید.

۱۳ خودرویی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از

۲۰ ثانیه سرعتش به 36 km/h می‌رسد. سپس با همین سرعت به مدت 10 دقیقه

به حرکتش ادامه می‌دهد. پس از آن ترمز می‌کند و بعد از 5 ثانیه متوقف می‌شود. اگر در مدت ترمز کردن شتاب ثابت باشد،

(الف) شتاب حرکت را در هر مرحله معلوم کنید.

(ب) نمودار سرعت - زمان را از لحظه شروع حرکت تا لحظه توقف خودرو رسم کنید.

۱۴ متحرکی روی محور x و با شتاب ثابت در حرکت است. سرعت متحرک در مکان $x = +10\text{ m}$ ، 4 m/s و در مکان $x = +19\text{ m}$ 18 km/h است.

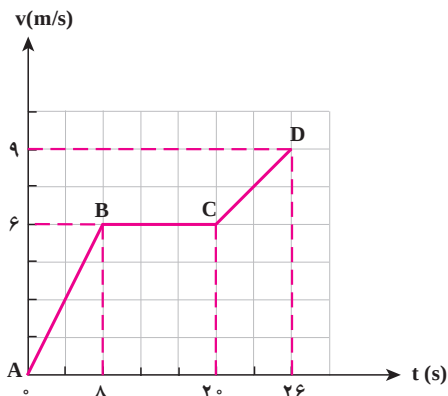
الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب) رسیدن از سرعت 4 m/s به سرعت 18 km/h چه مدتی طول می کشد؟

۱۵ شکل روبه رو نمودار سرعت - زمان متحرکی را در 26 ثانیه نشان می دهد.

الف) شتاب در هریک از مرحله های AB ، BC و CD چقدر است؟

ب) شتاب متوسط در بازه زمانی صفر تا 26 ثانیه چقدر است؟



۱۶ سرب یک دارکوب در حین نخستین تماس منقار آن با تنه درخت، با سرعت $7/5\text{ m/s}$ روبه جلو حرکت می کند. منقار دارکوب پس از سوراخ کردن تنه درخت و فرو رفتن در آن به اندازه $1/87\text{ mm}$ ، متوقف می شود. با فرض آنکه در این حرکت شتاب ثابت باشد، بزرگی شتاب را به دست آورید.

۱۷ سرب یک مار زنگی در حین ضربه زدن به یک طعمه می تواند 5 m/s^2 شتاب بگیرد. اگر یک خودرو می توانست چنین شتابی داشته باشد، چقدر طول می کشید تا از حال سکون به سرعت 100 km/h برسد؟

۱۸ یک دوندۀ در 75° ثانیه اول مسابقه، شتاب 8 m/s^2 می گیرد. الف) سرعت دوندۀ را در پایان 75 s اول محاسبه کنید. ب) اکنون فرض کنید دوندۀ تا آخر مسابقه با سرعت 6 m/s به دویدن ادامه دهد و پس از عبور از خط پایان حرکتش را با شتاب ثابت کند. اگر اندازه شتاب منفی دوندۀ پس از عبور از خط پایان، 2 m/s^2 باشد، پس از عبور از خط پایان چقدر طول می کشد تا دوندۀ متوقف شود؟ و در این مدت چه مسافتی را طی می کند؟

۱۹ نمودار سرعت - زمان یک متحرک مطابق شکل زیر است. نمودار شتاب - زمان متحرک را رسم کنید.

