# ۲
# حرکت در خط راست

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

جاده‌ای در تپه‌های جنوب سمنان

هنگامی که در راه مدرسه به اطراف خود نگاه می‌کنید، حرکت‌های بسیاری را می‌بینید. افرادی که از شما دور یا به شما نزدیک می‌شوند، خودروهایی که با سرعت‌های متفاوت در حرکت‌اند، افرادی که با دوچرخه در حال رفتن به محل کار خود هستند، پرندگانی که در فضا پرواز می‌کنند، برگ‌هایی که از درخت می‌افتند و ... (شکل ۲ــ۱).

شکل ۲ــ۱ ــ تصویرهایی از حرکت در دنیای پیرامون ما

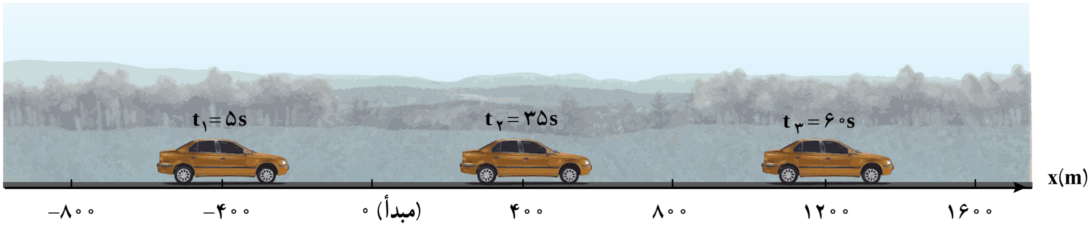
زمانی که حرکت‌هایی مانند افتادن یک برگ از شاخهٔ درخت یا حرکت یک خودرو و ... را مشاهده می‌کنیم گرچه ظاهراً جسمی را می‌بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می‌کند یا جابه‌جا می‌شود، ولی در بیشتر موارد، حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه‌سوار را درنظر بگیرید (شکل ۲ــ۲). اگرچه این حرکت ساده به‌نظر می‌رسد ولی با کمی توجه معلوم می‌شود که همین حرکت ساده بسیار پیچیده است. در حالی که دوچرخه‌سوار در مسیری مستقیم در حرکت است پای او بالا و پایین می‌رود و رکاب در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. به‌همین ترتیب هریک از اجزای دوچرخه علاوه‌بر حرکت به‌همراه دوچرخه، خودشان نیز حرکت‌های دیگری دارند.

شکل ۲ــ۲ــ حرکت دوچرخه‌سوار

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 درنظر 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.

## ۲ــ۱ 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 ($x$ ۰) در نظر می‌گیریم (شکل ۲ــ۳). اگر محور را مدرج کنیم، می‌توانیم مکان خودرو را در هر لحظه گزارش نماییم. یعنی مثلاً بگوییم در لحظهٔ $t_1$ ۵s، مکان خودرو $x_1$ ۴۰۰m است (شکل ۲ــ۳).

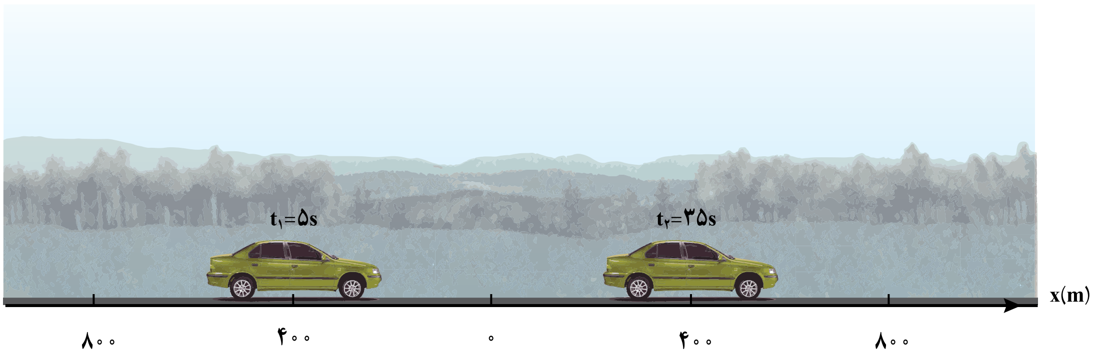



شکل ۲ــ۳ــ مکان خودرو در لحظات مختلف

در شکل ۲ــ۴ خودرو از لحظهٔ $t_1$ ۵s تا لحظهٔ $t_2$ ۳۵s از مکان $x_1$ ۴۰۰m تا مکان $x_2$ ۴۰۰m جابه‌جا شده است. جابه‌جایی خودرو در این بازهٔ زمانی برابر است با:

$$\Delta x \quad x_2 \quad x_1 \quad ۴۰۰ \quad ( \quad ۴۰۰) \quad ۸۰۰m$$

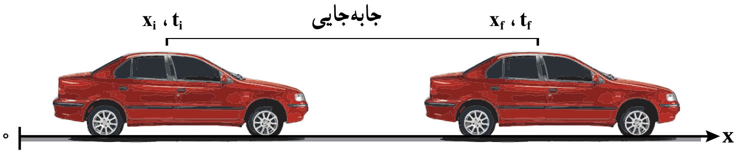
با توجه به علامت مثبت جابه‌جایی به‌دست آمده، خودرو در این بازهٔ زمانی در جهت مثبت محور x جابه‌جا شده است.




شکل ۲ــ۴ــ جابه‌جایی خودرو در بازهٔ زمانی $t_1$ تا $t_2$

بنابراین اگر متحرک در لحظهٔ t در مکان x و در لحظهٔ t درمکان x باشد[1]، جابه‌جایی آن در بازهٔ زمانی t تا t، از رابطهٔ ۲ــ۱ به‌دست می‌آید.

$$\Delta x \quad x \quad x \qquad (۲ــ۱)$$




شکل ۲ــ۵ــ جابه‌جایی در بازهٔ زمانی $t_i$ تا $t_f$

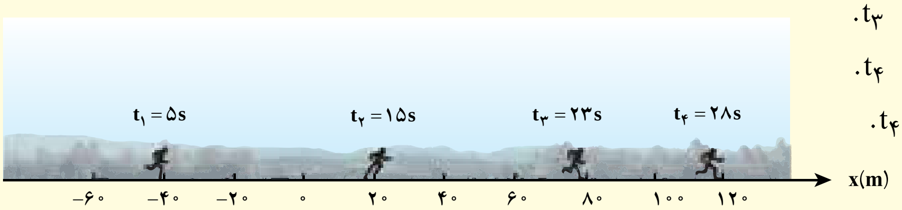
**تمرین ۲ــ۱**

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؟

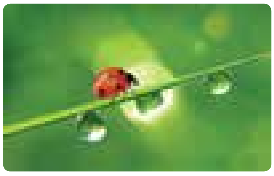
الف) از ۵s $t_1$ تا ۲۳s $t_3$.

ب) از ۱۵s $t_2$ تا ۲۸s $t_4$.

پ) از ۵s $t_1$ تا ۲۸s $t_4$.



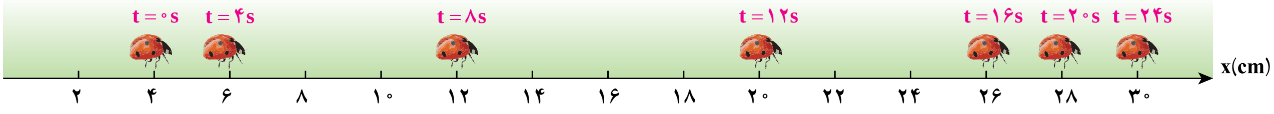

برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نموداری که مکان جسم را در هر لحظه نشان می‌دهد، استفاده کرد. در بسیاری از موارد رسم این نمودار برای بررسی حرکت، مناسب است. برای رسم این نمودار، غالباً زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم مشخص می‌کنیم.



برای مثال، به حرکت کفش‌دوزک که در شکل ۲ــ۶ نشان داده شده است، توجه کنید. این کفش‌دوزک در لحظهٔ ۰s $t_1$ در مکان ۴cm $x_1$ قرار دارد، در ۴s $t_2$ در مکان ۶cm $x_2$ قرار دارد و ... . اگر بخواهیم نمودار مکان ــ زمان حرکت کفش‌دوزک را رسم کنیم، ابتدا هریک از محورهای مکان و زمان را با مقیاسی مناسب مدرّج کرده و در زمان‌های داده شده، مکان کفش‌دوزک را روی محور قائم تعیین می‌کنیم و سپس نمودار مکان ــ زمان را همانند شکل ۲ــ۷ رسم می‌نماییم.

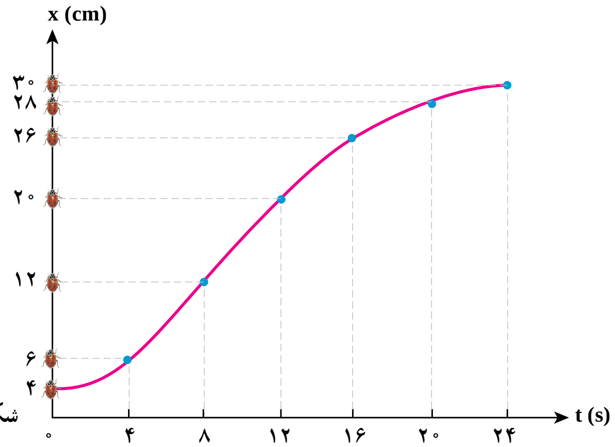
---

۱ــ حرف   از اول کلمهٔ انگلیسی  n t a  به معنای اولیه و حرف f از اول کلمهٔ f na به معنای نهایی گرفته شده است.




شکل ۲ــ۶ــ حرکت کفش‌دوزک 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 بازهٔ زمانی ۱۲s تا ۱۶s جابه‌جایی آن $\Delta x$ ۲۶ ۲۰ ۶cm است.




شکل ۲ــ۷ــ نمودار مکان ــ زمان کفش‌دوزک

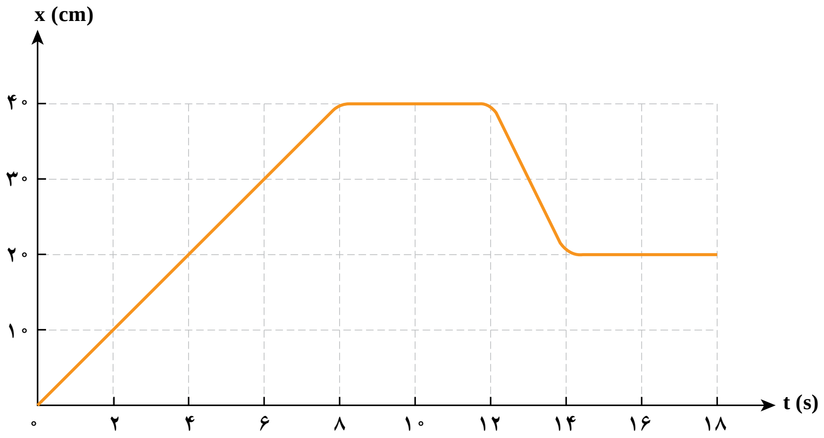
## تمرین ۲ـ۲

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

| t(s) | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x(m) | | −۱ | | ۳ | ۸ | ۱۵ |

## مثال ۲ـ۱

مورچه‌ای روی یک خط راست در حرکت است. نمودار مکان ــ زمان مورچه به شکل روبه‌رو است.




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

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

پ) در چه بازه‌های زمانی مورچه ایستاده است؟

ت) در چه لحظه‌هایی فاصلهٔ مورچه از مبدأ ۳۰cm است؟

ث) در چه بازهٔ زمانی فاصلهٔ مورچه از مبدأ بیشترین مقدار است؟

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

پاسخ :

الف) از لحظهٔ t  ۰s تا لحظهٔ t  ۸s.

ب) از لحظهٔ t  ۱۲s تا لحظهٔ t  ۱۴s.

پ) در بازه‌های زمانی t  ۸s تا t  ۱۲s و t  ۱۴s تا t  ۱۸s.

ت) در لحظه‌های t  ۶s و t  ۱۳s.

ث) در بازهٔ زمانی t  ۸s تا t  ۱۲s

ج) Δx  x  x  ۴۰  ۲۰  ۲۰cm

## مثال ۲ـ۲

رابطهٔ بین مکان و زمان برای دوچرخه‌سواری که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند، از لحظهٔ t  ۰s تا لحظهٔ t  ۶۰۰s به‌صورت x  ۴t  ۴۰ است که در آن، x برحسب متر و t برحسب ثانیه است.

الف) نمودار مکان ــ زمان دوچرخه‌سوار را در بازهٔ زمانی t  ۰s تا t  ۵۰s رسم کنید.

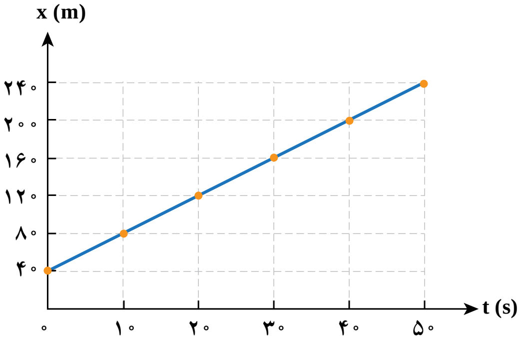
ب) جابه‌جایی دوچرخه‌سوار در بازهٔ زمانی t  ۰s تا t  ۶۰۰s را به‌دست آورید.

پاسخ :

الف) برای رسم نمودار، مکان دوچرخه‌سوار را در چند لحظه، از جمله در t  ۰s (لحظهٔ صفر، لحظهٔ شروع اندازه‌گیری زمان است و به آن مبدأ زمان می‌گوییم)، t  ۱۰s ، ... و t  ۵۰s به‌دست می‌آوریم و با استفاده از نقطه‌های به‌دست آمده خطی که از این نقطه‌ها می‌گذرد را رسم می‌کنیم.

چون رابطهٔ داده شده معادله یک خط راست است و برای رسم نمودار آن، داشتن دو نقطه کافی است، با معلوم کردن مکان در دو لحظهٔ t  ۰ و t  ۵۰s نیز می‌توان نمودار را رسم نمود.

| t(s) | x(m) |
|---|---|
| | ۴ |
| ۱ | ۸ |
| ۲ | ۱۲ |
| ۳ | ۱۶ |
| ۴ | ۲ |
| ۵ | ۲۴ |

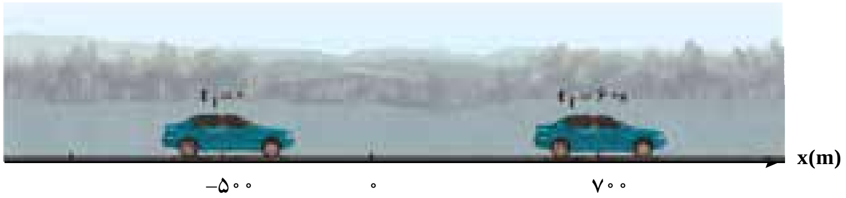



ب)

$$\left.\begin{array}{l} t_i = ۰s \Rightarrow x_i = ۴۰m \\ t_f = ۶۰۰s \Rightarrow x_f = ۴\times۶۰۰+۴۰ = ۲۴۴۰m \end{array}\right\} \Rightarrow \Delta x = x_f - x_i = ۲۴۴۰ - ۴۰ = +۲۴۰۰m$$

## ۲ــ۲ سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای

شکل ۲ــ۸ مکان خودرویی را که در حرکت است در دو لحظهٔ متفاوت نشان می‌دهد.




شکل ۲ــ۸ــ مکان خودرو در دو لحظهٔ متفاوت

این خودرو از لحظهٔ t ۰ تا لحظهٔ t ۶۰s به اندازهٔ t ۱۲۰۰m (۵۰۰ ) ۷۰۰ x x Δx در جهت محور x جابه‌جا شده است، یعنی به‌طور متوسط در هر ثانیه ۲۰m در جهت محور x جابه‌جا شده است ($\frac{۱۲۰۰m}{۶۰s}$ = ۲۰m / s) . در فیزیک به نسبت جابه‌جایی به مدت زمان جابه‌جایی، سرعت متوسط جسم می‌گویند و آن را به‌صورت زیر نشان می‌دهند.

$$\text{سرعت متوسط} \quad \frac{\text{جابه‌جایی}}{\text{زمان جابه‌جایی}} \qquad (۲ــ۲)$$

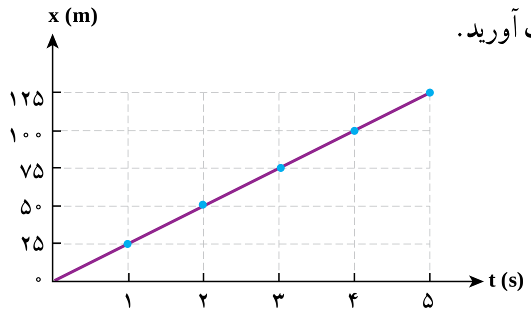
جابه‌جایی را با Δx، زمان جابه‌جایی را با Δt و سرعت متوسط را با $\bar{v}$ نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توانیم رابطهٔ ۲ــ۲ را به‌صورت زیر بنویسیم.

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۳ــ۲)$$

در رابطهٔ ۲ــ۳ یکای Δx، متر (m)، یکای Δt، ثانیه (s) و یکای $\bar{v}$ ، متر بر ثانیه (m/s) است. البته یکاهای دیگری نیز برای سرعت استفاده می‌شود مانند km/h، mil/h و ... . توجه داریم سرعت متوسط یک جسم متحرک همواره با جابه‌جایی آن هم‌جهت است.

### مثال ۲ـ۳

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




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

۱ــ از t ۰ تا t ۲s
۲ــ از t ۰ تا t ۴s
۳ــ از t ۲s تا t ۴s
۴ــ از t ۲s تا t ۵s
۵ــ از t ۳s تا t ۵s

ب) از مقایسهٔ سرعت‌های متوسط به‌دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

**پاسخ :**

الف ـ ۱) $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{۵۰-۰}{۲-۰}=۲۵\ m/s$

الف ـ ۲) $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{۱۰۰-۰}{۴-۰}=۲۵\ m/s$

الف ـ ۳) $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{۱۰۰-۵۰}{۴-۲}=۲۵\ m/s$

الف ـ ۴) $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{۱۲۵-۵۰}{۵-۲}=۲۵\ m/s$

الف ـ ۵) $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{۱۲۵-۷۵}{۵-۳}=۲۵\ m/s$

ب) از مقایسهٔ سرعت‌های متوسط به‌دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف در بند الف، درمی‌یابیم سرعت متوسط خودرو در همهٔ بازه‌های زمانی مختلف مساوی بوده است. در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم سرعت خودرو، ثابت است.

## مثال ۲ـ۴

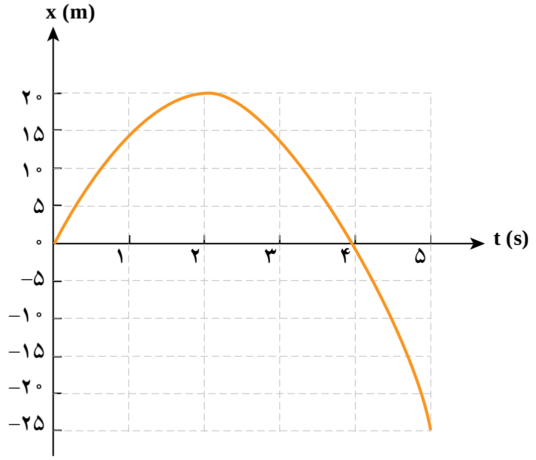
شکل مقابل، نمودارمکان ــ زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند را نشان می‌دهد.

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 بازهٔ زمانی، در جدول، اندازهٔ سرعت متوسط بیشینه و در کدام یک اندازهٔ 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 مقایسهٔ سرعت‌های متوسط به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟




| بازهٔ زمانی | $\Delta x(m)$ | $\bar{v}(m/s)$ |
|---|---|---|
| از t= تا t=۲s | | |
| از t= تا t=۴s | | |
| از t=۲s تا t=۴s | | |
| از t=۲s تا t=۵s | | |
| از t=۳s تا t=۵s | | |

**پاسخ :**

الف)

| بازهٔ زمانی | $\Delta x(m)$ | $\bar{v}(m/s)$ |
|---|---|---|
| از t= تا t=۲s | +۲ | +۱ |
| از t= تا t=۴s | | |
| از t=۲s تا t=۴s | −۲ | −۱ |
| از t=۲s تا t=۵s | −۴۵ | −۱۵ |
| از t=۳s تا t=۵s | −۴ | −۲ |

ب) در بازهٔ t  ۳s تا t  ۵s، اندازهٔ سرعت متوسط بیشینه، و در بازهٔ t  ۰s تا t  ۴s اندازهٔ 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 مقایسهٔ سرعت‌های متوسط به‌دست‌آمده در بازه‌های زمانی مختلف، درمی‌یابیم سرعت متوسط خودرو در بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت است. در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم سرعت خودرو متغیر است.

شکل ۲ــ۹ــ سرعت‌سنج خودرو در هر لحظه، اندازهٔ سرعت لحظه‌ای را نشان می‌دهد.

سرعت متحرک در هر لحظه از زمان یا در هر نقطه از مسیر را سرعت لحظه‌ای می‌گویند. در حالت‌هایی مانند مثال ۲ــ۳ که سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، یکسان است، سرعت لحظه‌ای با سرعت متوسط برابر است؛ اما در حالت‌هایی مانند مثال ۲ــ۴ که سرعت متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت است، سرعت لحظه‌ای متحرک در حال تغییر است. توجه داریم که سرعت‌سنج خودرو (شکل ۲ــ۹) در هر لحظه، اندازهٔ سرعت لحظه ای خودرو را نشان می‌دهد. در کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی با مفهوم سرعت لحظه‌ای بیشتر آشنا می‌شویم.

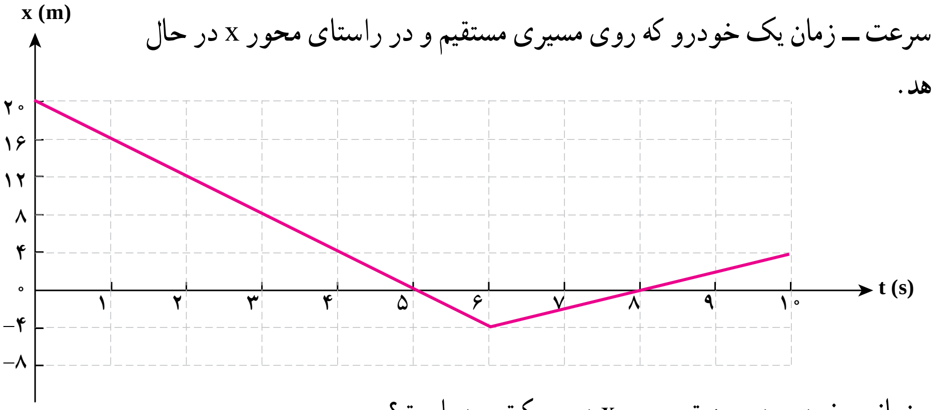
سرعت لحظه‌ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می‌نامیم و آن‌را با v نشان می‌دهیم. یکای سرعت لحظه‌ای در SI، متر بر ثانیه (m/s) است. جدول ۲ــ۱، برخی از سرعت‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

**جدول ۲ــ۱ــ برخی از سرعت‌های تقریبی**

| | |
|---|---|
| سرعت حلزون | ۱ $^{-۳}$m/s |
| راه‌رفتن سریع | ۲m/s |
| دونده دوِی سرعت | ۱  m/s |
| سرعت بیشینه خودرو در بزرگراه | ۳  m/s |
| حرکت کاتوره‌ای مولکول‌های هوا | ۵   m/s |
| سریع‌ترین هواپیما | ۱    m/s |
| ماهواره مخابراتی در مدار | ۳    m/s |
| سرعت فضاپیمای خاص | ۸۳   m/s |
| سرعت مداری زمین | ۲/۹۸×۱ $^{۴}$m/s |
| سرعت دنباله‌دار هالی | ۴/۱۷×۱ $^{۴}$m/s |
| سرعت الکترون در حرکت مداری | ۲×۱ $^{۶}$m/s |
| سرعت نور در خلأ یا هوا | ۳/ ×۱ $^{۸}$m/s |

## مثال ۲ـ۵

شکل مقابل نمودار سرعت ــ زمان یک خودرو که روی مسیری مستقیم و در راستای محور x در حال حرکت است را نشان می‌دهد.




الف) در چه بازه‌های زمانی، خودرو در جهت محور x در حرکت بوده است؟

ب) در چه بازهٔ 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 $t_1$ ۲s ، $t_2$ ۶s، $t_3$ ۷s، $t_4$ ۱۰s تعیین کنید.

ج) در بازهٔ زمانی t ۰s تا t ۱۰s تغییر سرعت خودرو را به‌دست آورید.

**پاسخ :**

الف) در بازهٔ زمانی t ۰s تا t ۵s و همچنین t ۸s تا t ۱۰s.

ب) در بازهٔ زمانی t ۵s تا t ۸s.

پ) در لحظه‌های t ۵s و t ۸s.

ت) در لحظه‌های t ۵s و t ۸s.

ث) $t_2$ ۶s ⇒ $v_2$ ۴m/s ‏ ‏ ‏ $t_1$ ۲s ⇒ $v_1$ ۱۲m/s

$t_4$ ۱۰s ⇒ $v_4$ ۴m/s ‏ ‏ ‏ $t_3$ ۷s ⇒ $v_3$ ۲m/s

ج)

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

## تمرین ۲ـ۳

در جدول زیر سرعت متحرکی که بر روی خط راست در حرکت است، در چند لحظه مشخص شده است.

الف) نمودار سرعت ــ زمان را برای آن رسم کنید.

ب) از روی نمودار در مورد نحوهٔ تغییر سرعت متحرک بحث کنید.

| t(s) | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| v(m/s) | /۷ | ۱/۲ | ۱/۵ | ۱/۶ | ۱/۵ |

## ۲ــ۳ حرکت یکنواخت

هرگاه سرعت لحظه‌ای متحرکی که برروی 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 ــ زمان، یک خط راست است مانند شکل ۲ــ۱۰ و در نتیجه سرعت متوسط بین هر دو لحظهٔ دلخواه با سرعت لحظه‌ای برابر است. بنابراین :

$$v = \bar{v} \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۲ــ۴)$$

از رابطهٔ ۲ــ۴ می‌توان نوشت :

$$\Delta x \quad v\Delta t \qquad (۲ــ۵)$$

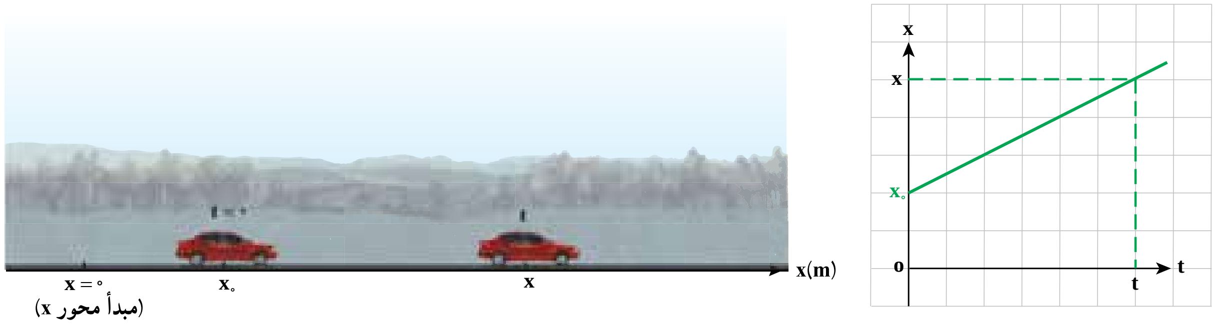
اگر متحرک در لحظهٔ t ۰ در مکان $x_0$ و در لحظهٔ t در مکان x باشد :

$$x \quad x_0 \quad v(t \quad 0)$$

و یا :

$$x \quad vt \quad x_0 \qquad (۲ــ۶)$$

در این رابطه که آن را معادله حرکت یکنواخت می‌نامند، x برحسب متر (m)، vبرحسب 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 این‌صورت منفی است.




شکل ۲ــ۱۰ــ نمودار مکان ــ زمان در حرکت با سرعت ثابت با فرض مثبت بودن x و v

### مثال ۲ــ ۶

معادلهٔ حرکت قطاری که روی یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، در SI به‌صورت x ۲۰t ۲۰۰۰ است. (مبدأ مختصات، ایستگاه درنظر گرفته شده است.)

الف) سرعت قطار چند متر بر ثانیه و چند کیلومتر بر ساعت است؟

ب) مکان قطار در $t \quad ۰s$، $t \quad ۱۰۰s$ و $t \quad ۵۰۰s$ را برحسب متر و کیلومتر تعیین کنید.

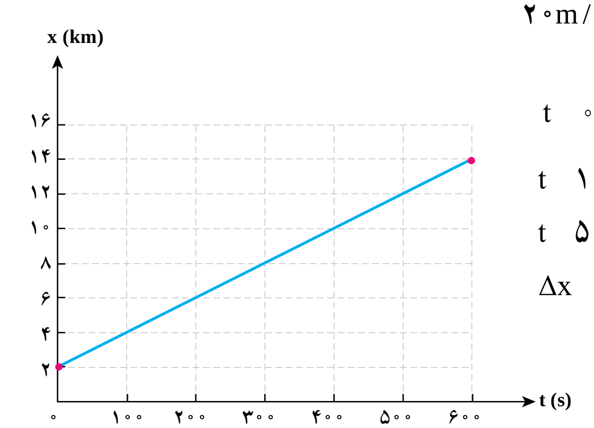
پ) اگر قطار با همین سرعت به حرکت خود ادامه دهد، در مدت ۱/۵ h چند کیلومتر مسافت می‌پیماید؟

ت) نمودار مکان ــ زمان قطار را دربازهٔ زمانی $t \quad ۰s$ تا $t \quad ۶۰۰s$ رسم کنید.

**پاسخ :**

الف) با مقایسهٔ معادلهٔ حرکت قطار با رابطهٔ ۲ــ۶ معلوم می‌شود که سرعت قطار ۲۰ m/s است.

$$۲۰m/s = ۲۰ \times \frac{۰/۰۰۱km}{\frac{۱}{۳۶۰۰}h} = ۲۰ \times ۳/۶ \frac{km}{h} = ۷۲km/h$$




ب) $t \quad ۰s \rightarrow x \quad ۲۰۰۰m \quad ۲km$

$t \quad ۱۰۰s \rightarrow x \quad ۲۰ \times ۱۰۰ \quad ۲۰۰۰ \quad ۴۰۰۰m \quad ۴km$

$t \quad ۵۰۰s \rightarrow x \quad ۲۰ \times ۵۰۰ \quad ۲۰۰۰ \quad ۱۲۰۰۰m \quad ۱۲km$

پ) $\Delta x \quad v\Delta t \rightarrow \Delta x \quad ۷۲km/h \times ۱/۵h \quad ۱۰۸km$

ت)

## مثال ۲ــ۷

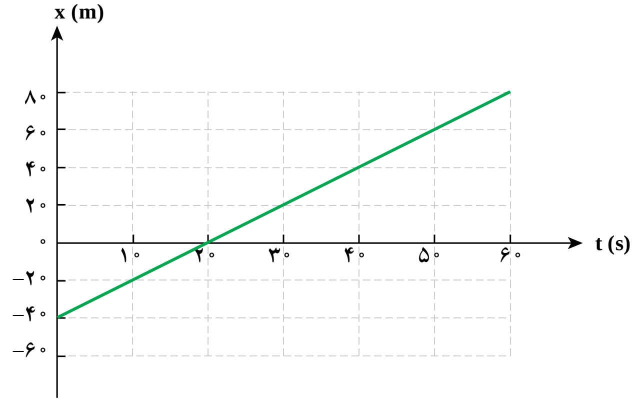
شکل مقابل نمودار مکان ــ زمان شخصی را نشان می‌دهد که با سرعت ثابت در مسیری مستقیم حرکت می‌کند.

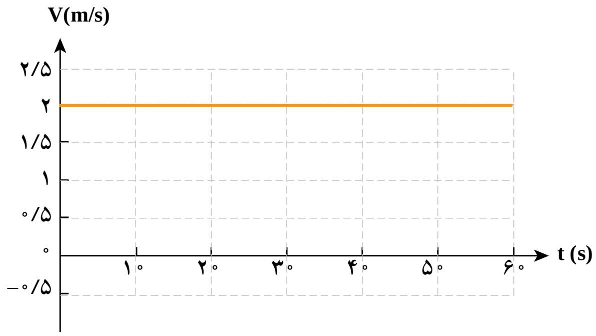
الف) سرعت حرکت این شخص چقدر است؟ نمودار سرعت ــ زمان را برای آن رسم کنید.

ب) شخص در مبدأ زمان ($t \quad ۰s$) در چه مکانی قرار دارد؟

پ) شخص در مدت ۵ min چند متر جابه‌جا می‌شود؟

ت) در چه لحظه‌هایی شخص در فاصلهٔ ۲۰ متری مبدأ است؟




**پاسخ :**

الف) $v = \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۶۰}{۳۰} = ۲m/s$

ب) $t \quad ۰s \rightarrow x_۰ \quad ۴۰m$

پ) $\Delta x \quad v.\Delta t \quad ۲ \times (۵ \times ۶۰) \quad ۶۰۰m$

ت) در لحظه‌های $t \quad ۱۰s$ و $t \quad ۳۰s$.

**تمرین ۲ـ۴**

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

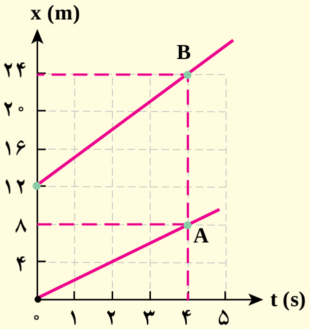
الف) مکان متحرک در لحظهٔ t ۰ و سرعت آن را بیابید.

ب) معادلهٔ مکان ــ زمان را بنویسید.

پ) نمودار مکان ــ زمان را رسم کنید.

**تمرین ۲ـ۵**

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




## ۲ــ۴ 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 درهنگام 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 به‌صورت زیر نشان می‌دهند :

$$\text{شتاب متوسط} \quad \frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{زمان تغییر سرعت}} \qquad (۲ــ۷)$$

تغییر سرعت را با $\Delta v$ ، مدت زمان تغییر سرعت را با $\Delta t$ و شتاب متوسط را با $\bar{a}$ نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توانیم رابطهٔ ۲ــ۷ را به‌صورت زیر بنویسیم.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \qquad (۲ــ۸)$$

در رابطهٔ ۲ــ ۸ یکای $\Delta v$، متر بر ثانیه (m/s)، یکای $\Delta t$، ثانیه (s) و یکای $\bar{a}$ ، متر برمجذور ثانیه ($m/s^2$) است. توجه داریم که شتاب متوسط همواره با تغییر سرعت، هم‌جهت است. هنگامی که

درخودرویی با سرعت ۹۰km/h یا در هواپیمایی با سرعت ۹۰۰km/h سفر می‌کنید، بدن شما هیچ حسی از این حرکت ندارد. ولی اگر خودرو یا هواپیما در مدت زمان کوتاهی تغییر سرعت دهد، این تغییررا به شدت احساس می‌کنید و حتی ممکن است از آن وحشت‌زده شوید. بخشی از هیجان ایجاد شده هنگام سوار شدن در وسایل شهربازی‌ها نیز ناشی از تغییرات سریع سرعت است. یعنی بدن ما به شتاب‌ها واکنش نشان می‌دهد اما به سرعت‌ها واکنش نشان نمی‌دهد.

### مثال ۲ـ۸

سرعت متحرکی در لحظهٔ $t_1$ ۲۰s برابر ۱۰m/s و در لحظهٔ $t_2$ ۴۵s برابر ۲۰m/s است. شتاب متوسط آن بین دو لحظهٔ $t_1$ و $t_2$ چقدر است؟

پاسخ :

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \bar{a} = \frac{۲۰-۱۰}{۴۵-۲۰} = \frac{۱۰}{۲۵} = ۰/۴ m/s^۲$$

### مثال ۲ـ۹

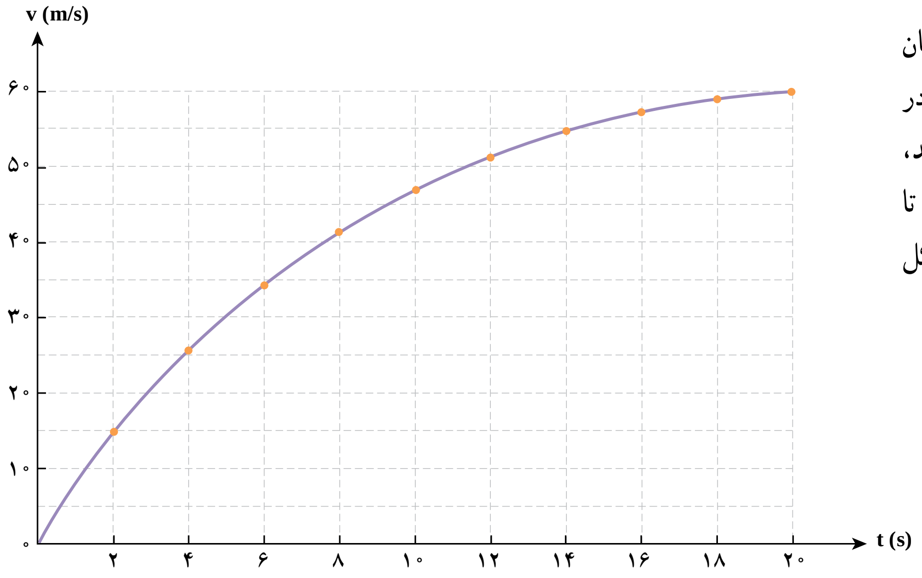
وقتی ملخی می‌خواهد بپرد، خودش را با فشار به پاهایش، از زمین بلند می‌کند و به این روش شتاب روبه بالا می‌گیرد. فیلم‌برداری از ملخ در این حالت، نشان می‌دهد ملخ به مدت ۰/۰۱۳s به پاهایش فشار می‌آورد و در پایان این مدت سرعتش ۳m/s می‌شود. شتاب متوسط ملخ در این مدت چقدر است؟

پاسخ :

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{۳-۰}{۰/۰۱۳} = ۲۳۱ m/s^۲$$

### مثال ۲ـ۱۰

نمودار سرعت ـ زمان برای یک ماشین مسابقه که در مسیر مستقیم حرکت می‌کند، از لحظهٔ شروع حرکتش تا ۲۰s پس از این لحظه در شکل روبه‌رو رسم شده است.



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

۱ــ $t_1$ ۰s تا $t_2$ ۲s

۲ــ $t_2$ ۴s تا $t_3$ ۱۴s

۳ــ $t_3$ ۱۴s تا $t_4$ ۲۰s

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

پاسخ :

الف ــ۱) $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۱۵-۰}{۲-۰} = +۷/۵ m/s^۲$

الف ــ۲) $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۵۵-۲۵}{۱۴-۴} = +۳/۰ m/s^۲$

الف ــ۳) $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۶۰-۵۵}{۲۰-۱۴} = +۰/۸ m/s^۲$

ب) در بازه‌های زمانی بند الف، در بازهٔ زمانی $t_1$ ۰s تا $t_2$ ۲s ، شتاب متوسط بیشینه، و در بازهٔ زمانی $t_4$ ۱۴s تا $t_5$ ۲۰s ، شتاب متوسط کمینه است.

## مثال ۲ــ۱۱

رابطهٔ بین سرعت و زمان برای موتورسواری که در بخشی از یک بزرگراه مستقیم حرکت می‌کند، v ۲t ۴ است، که t برحسب s و v برحسب m/s است.

الف) نمودار سرعت ــ زمان موتورسوار در بازهٔ زمانی $t_1$ ۰s تا $t_2$ ۱۲s را بکشید.

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

۱) $t_1$ ۰s تا $t_2$ ۴s

۲) $t_2$ ۴s تا $t_3$ ۸s

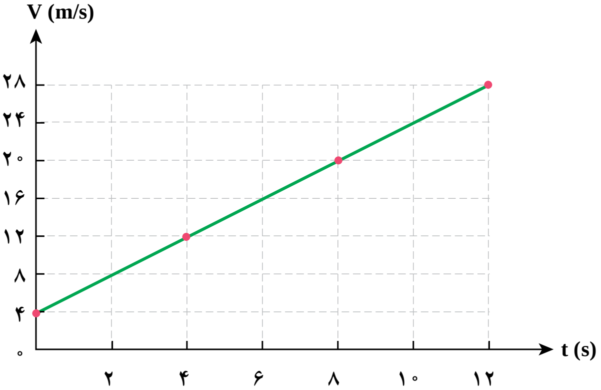
۳) $t_3$ ۸s تا $t_4$ ۱۲s

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

پاسخ :

الف) سرعت موتورسوار در لحظه‌های $t_1$ ۰s ، $t_2$ ۴s، $t_3$ ۸s و $t_4$ ۱۲s را با استفاده از رابطهٔ بین سرعت و زمان به‌دست می‌آوریم، سپس با استفاده از نقاط به‌دست آمده، نمودار سرعت ــ زمان را می‌کشیم.

| t(s) | | ۴ | ۸ | ۱۲ |
|---|---|---|---|---|
| v(m/s) | ۴ | ۱۲ | ۲ | ۲۸ |



ب ــ ۱) $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۱۲-۴}{۴-۰} = +۲m/s^{۲}$

ب ــ ۲) $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۲۰-۱۲}{۸-۴} = +۲m/s^{۲}$

ب ــ ۳) $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۲۸-۲۰}{۱۲-۸} = +۲m/s^{۲}$

پ) از مقایسه شتاب متوسط‌های به‌دست 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.

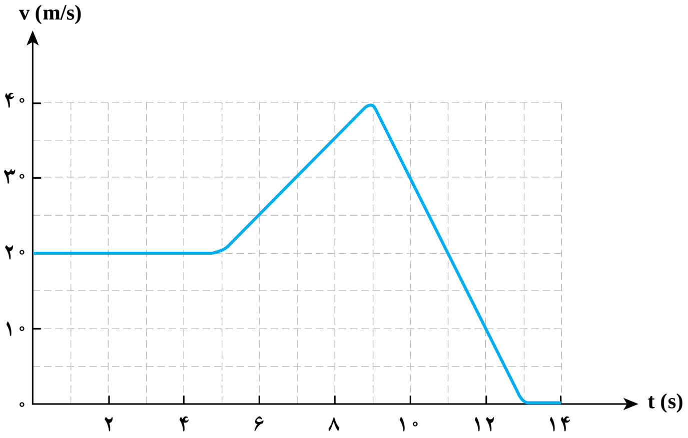
در حالت‌هایی مانند مثال ۲ــ۱۱ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف، یکسان است، شتاب لحظه‌ای با شتاب متوسط برابر است، اما درحالت‌هایی مانند مثال ۲ــ۱۰ که شتاب متوسط در بازه‌های زمانی مختلف متفاوت است، شتاب لحظه‌ای متحرک در حال تغییر است. در کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی با مفهوم شتاب لحظه‌ای بیشتر آشنا می‌شویم. شتاب لحظه‌ای را پس از این برای سادگی شتاب می‌نامیم که به معنی شتاب جسم در یک لحظهٔ مشخص است. شتاب لحظه‌ای را با a نشان می‌دهیم و یکای آن در SI، متر بر مجذور ثانیه ($m/s^{۲}$) است. جدول ۲ــ۲ برخی از شتاب‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

**جدول ۲ــ۲ــ برخی شتاب‌های تقریبی**

| | |
|---|---|
| شتاب توپ فوتبال هنگام یک برخورد محکم با پا | $۳ \times ۱\ {}^{۳}m/s^{۲}$ |
| شتاب کک (نوعی حشره) در ابتدای پرش | $۲ \times ۱\ {}^{۳}m/s^{۲}$ |
| شتاب تصادف خودرو (با سرعت km/h ۱ با دیوار) | $۱ \times ۱\ {}^{۳}m/s^{۲}$ |
| شتاب (حداکثر) چترباز در لحظهٔ باز شدن چتر | $۳/۲ \times ۱\ {}^{۲}m/s^{۲}$ |
| شتاب سقوط آزاد بر سطح خورشید | $۲/۷ \times ۱\ {}^{۲}m/s^{۲}$ |
| شتاب (حداکثر) پرتاب انفجاری صندلی هواپیما | $۱/۵ \times ۱\ {}^{۲}m/s^{۲}$ |
| شتاب سقوط آزاد بر سطح زمین | $۹/۸\ m/s^{۲}$ |
| شتاب ترمز خودرو | $۸\ m/s^{۲}$ |
| شتاب سقوط آزاد بر سطح ماه | $۱/۷\ m/s^{۲}$ |

## مثال ۲ــ۱۲

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




الف) t ۲s

ب) t ۷s

پ) t ۱۰s

پاسخ :

الف) $a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۲۰-۲۰}{۵-۰} = ۰\,m/s^۲$

ب) $a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۴۰-۲۰}{۹-۵} = +۵\,m/s^۲$

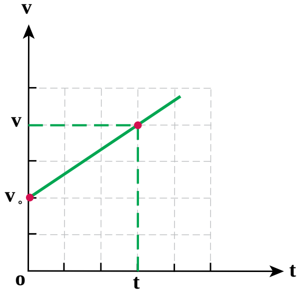
پ) $a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۰-۴۰}{۱۳-۹} = -۱۰\,m/s^۲$

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.

## ۲ــ۵ 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 ــ زمان به‌صورت یک خط راست است (مانند شکل ۲ــ۱۱) در چنین حرکتی، شتاب در هر لحظهٔ دلخواه با شتاب متوسط متحرک در هر بازهٔ زمانی برابر می‌شود یعنی :

$$a = \bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \qquad (۲ــ۹)$$




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

اگر در رابطهٔ (۲ــ۹) ۰ t و t t باشد در این صورت v سرعت در لحظهٔ صفر با نماد $v_0$ و v سرعت در لحظهٔ t با نماد v است و می‌توان نوشت :

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

$$v \quad at \quad v_0 \qquad (۲ــ۱۰)$$

دیدیم در حرکت با شتاب ثابت، نمودار سرعت ــ 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 :

$$\bar{v} = \frac{v_i + v_f}{۲} \qquad (۲ــ۱۱)$$

### مثال ۲ــ۱۳

قطاری زیرزمینی از یک ایستگاه به راه می‌افتد، در امتداد ریل‌های مستقیم با شتاب ثابت $۱m/s^۲$ حرکت می‌کند و به سرعت مناسب $۲۰m/s$ 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 :**

الف) $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}\Rightarrow ۱=\frac{۲۰-۰}{\Delta t}\Rightarrow \Delta t=۲۰s$

ب) $\bar{v}=\frac{v_i+v_f}{۲}=\frac{۰+۲۰}{۲}=۱۰m/s$

پ) $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}\Rightarrow ۱۰=\frac{\Delta x}{۲۰}\Rightarrow \Delta x=۲۰۰m$

**مثال ۲ـ۱۴**

خودرویی در یک جادهٔ مستقیم و خشک با سرعت ۲۴m/s درحرکت است. راننده با دیدن مانعی ترمز می‌کند. اگر اندازهٔ شتاب منفی خودرو هنگام ترمز $۸m/s^۲$ باشد،

الف) چقدر طول می‌کشد تا خودرو بایستد؟

ب) از لحظهٔ ترمز تا ایست کامل، خودرو چقدر پیش می‌رود؟

پ) نمودار سرعت ــ زمان خودرو از لحظهٔ ترمز تا ایست کامل را رسم کنید.

**پاسخ :**

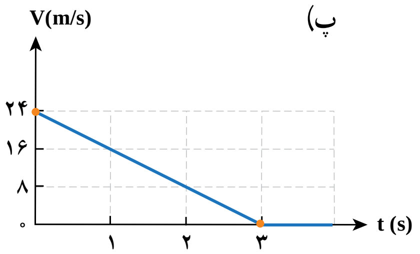
الف) $v \quad at \quad v_{\circ}$

$۰ \quad ۸t \quad ۲۴ \Rightarrow t \quad ۳s$

ب) $\bar{v}=\frac{v_i+v_f}{۲}=\frac{۲۴+۰}{۲}=۱۲m/s$

$\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}\Rightarrow ۱۲=\frac{\Delta x}{۳-۰}\Rightarrow \Delta x=۳۶m$

پ)




برای به‌دست آوردن رابطهٔ ریاضی میان مکان و زمان در حرکت با شتاب ثابت، با استفاده از رابطه‌های ۲ــ۳ و ۲ ــ ۱۱ داریم :

$$\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{v_i+v_f}{۲}$$

و از آنجا می‌توان نوشت :

$$\Delta x=\frac{v_i+v_f}{۲}\Delta t \qquad (۲ـ۱۲)$$

در این رابطه $\Delta x$ جابه‌جایی در بازهٔ $\Delta t$ و $v$ و $v$ به ترتیب سرعت در لحظهٔ t و سرعت در لحظهٔ t است. اگر متحرک در لحظهٔ ۰ t در مکان $x_{\circ}$ x و دارای سرعت $v_{\circ}$ v باشد و در لحظهٔ t t در مکان x x و دارای سرعت v v باشد، داریم :

$$x-x_{\circ}=\frac{v+v_{\circ}}{۲}t$$

و بنا به رابطهٔ ۲ـ۱۰

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

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \qquad (2\text{–}13)$$

این رابطه معادلهٔ مکان ــ زمان حرکت با شتاب ثابت است.

## مثال ۲ـ۱۵

یک نوع هواپیمای جت با شتاب ثابت $2/5 m/s^2$ شروع به حرکت روی مسیر مستقیم می‌کند و پس از $40 s$ از روی باند فرودگاه بلند می‌شود.

الف) سرعت هواپیما در لحظهٔ بلند شدن چقدر است؟

ب) هواپیما پیش از بلند شدن چه فاصله‌ای را می‌پیماید؟

پ) نمودار مکان ــ زمان هواپیما را رسم کنید.

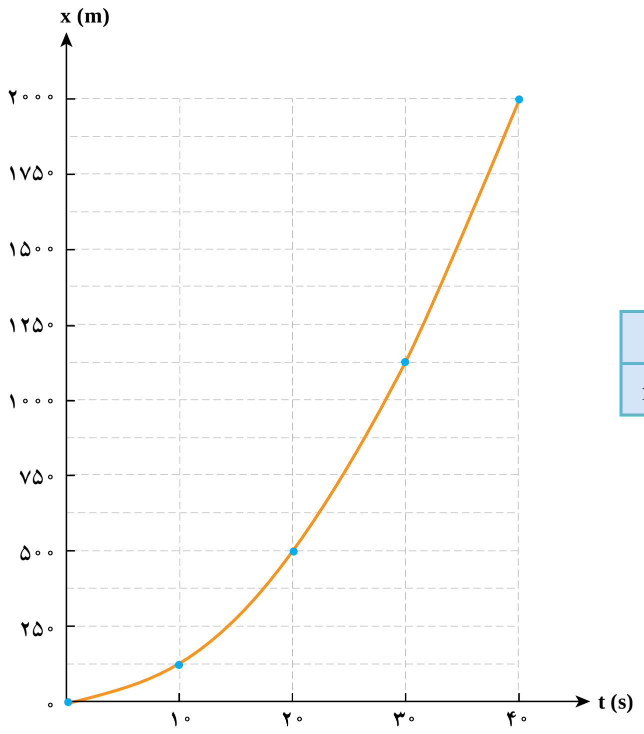
**پاسخ :**

الف) $v = at + v_0 = 2/5 \times 40 + 0 = 100 m/s$

ب) $x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \Rightarrow \Delta x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t = \frac{1}{2} \times 2/5 \times 40^2 + 0 = 2000 m$

پ) با استفاده از معادلهٔ $x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$ و با درنظرگرفتن ۰ $x_0$، مکان هواپیما را در چند لحظهٔ متفاوت پیدا می‌کنیم.

| t(s) | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
|---|---|---|---|---|---|
| x(m) | | ۱۲۵ | ۵ | ۱۱۲۵ | ۲ |



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

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \qquad (۱۴\text{ــ}۲)$$

### فعالیت ۲ــ۱

با استفاده از رابطه‌های حرکت با شتاب ثابت، رابطهٔ ۲ــ۱۴ را به‌دست آورید.

### مثال ۲ــ۱۶

در یک آزمایش تصادف، خودرویی با سرعت ۵۴km/h با دیواری ثابت و محکم برخورد می‌کند. پس از این که قسمت جلوی خودرو ۰/۴m 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)

$$v_0 = ۵۴ km/h = \frac{۵۴ \times ۱۰۰۰}{۳۶۰۰} m/s = ۱۵ m/s$$

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

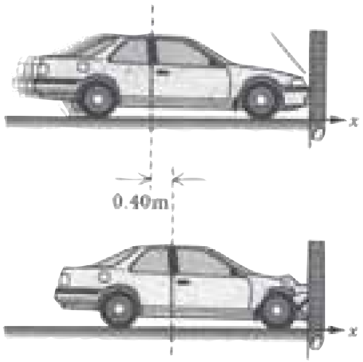
$$۰ - ۱۵^2 = ۲a \times ۰/۴ \Rightarrow a \simeq -۲۸۰ m/s^2$$

ب)

$$v = at + v_0$$

$$۰ = -۲۸۰t + ۱۵ \Rightarrow t \simeq ۰/۰۵ s$$

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

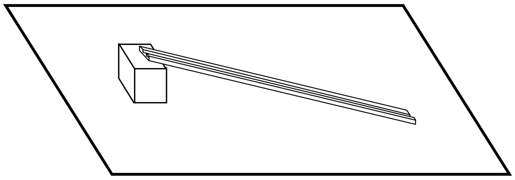


## آزمایش ۲ـ۱

**وسایل لازم :**

۱ـ تختهٔ شیاردار یا میلهٔ پرده به طول ۲m یا بیشتر
۲ـ گلولهٔ شیشه‌ای (تیله) یا فلزی
۳ـ زمان‌سنج (کرنومتر)
۴ـ 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 :



۱ــ 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.

۲ــ 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.

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

۴ــ 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.

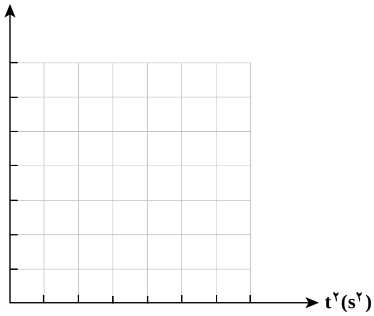
۵ــ اندازه‌گیری زمان حرکت را برای طول راه‌های بعدی مطابق جدول انجام دهید و نتایج را در جدول ثبت کنید.

**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 ۱/۰۰m، ۱/۲۰m و ... از انتهای میله بگیرید.

۶ــ با استفاده از رابطهٔ $x=\frac{۱}{۲}at^{۲}$ ، شتاب را محاسبه و در جدول ثبت کنید.

۷ــ نمودار ۲x برحسب $t^{۲}$ را رسم کنید.

| ردیف | مسافت (m) | زمان (s) | $a=۲x/t^{۲}$ |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۱/ | | |
| ۲ | ۱/۲ | | |
| ۳ | ۱/۴ | | |
| ۴ | ۱/۶ | | |
| ۵ | ۱/۸ | | |
| ۶ | ۲/ | | |



## ابن سینا

ابوعلی حسین‌بن‌عبداللّه، ملقب به ابن سینا که در غرب به اَوی سینا معروف است در سال ۳۵۹ هجری شمسی در اَفشنه در نزدیکی بخارا به دنیا آمد و در سال ۴۱۶ هجری شمسی در همدان درگذشت. ابن‌سینا 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 مهم ترین آثار او اثر فلسفی شفا و کتاب دایرة المعارف گونهٔ قانون در پزشکی است، امّا او در علوم و فنون زمانهٔ خود نیز دستی بر آتش داشته است. کتاب معیار العقول یکی از کتاب‌های منتسب به ابن سینا است که مباحث آن به فنّ طراحی و ساخت جرثقال‌ها 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 تشکیل‌دهندهٔ جرثقال‌ها هستند و سپس به خودِ جرثقال پرداخته می‌شود. البته سوای این مطالب، ابن سینا در بخش طبیعیات کتاب‌های مهم خود مانند شفا، اشارات و تنبیهات و دانشنامهٔ علایی بخش نظری فیزیک مکانیک را نیز توسعه داد و قواعد جدیدی را برای توصیف حرکات عرضه کرد. او ضمن بحث عمیق دربارهٔ مفاهیم و کمیت‌های اساسی مکانیک نظری مانند جسم، ماده، هیأت، زمان، مکان، فضا و نظایر آن، عوامل یا نیروهای محرّکه را به دو دستهٔ داخلی و خارجی تفکیک کرد و ضمن تشریح منشأ هرکدام، سرانجام موفق به توصیف درست حرکت‌هایی شد که مکانیک ارسطویی از تبیین آنها عاجز بود.

## پرسش‌های فصل دوم

۱ بررسی کنید، کدام معادله‌ها می‌تواند مربوط به حرکت ذره‌ای با شتاب ثابت باشد؟

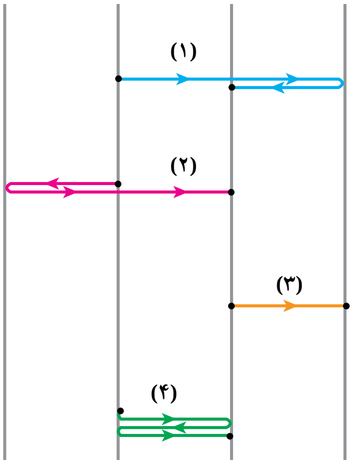
الف) $v \quad ۳m/s$

ب) $v \quad ۴t^{۲} \quad ۲t \quad ۶$

پ) $v \quad ۳t \quad ۴$

ت) $v = \frac{۱}{۲}t^{۲} + ۵t$

ث) $v = -\frac{۵}{۳}t + ۸$

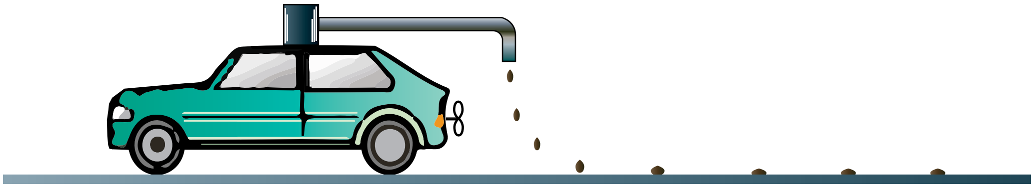



۲ شکل روبه‌رو چهار مسیر را نشان می‌دهد که روی هریک از آنها جسمی از نقطهٔ شروع تا پایان را در بازهٔ زمانی یکسانی می‌پیماید. فاصلهٔ خط‌های مشخص شده یکسان است.

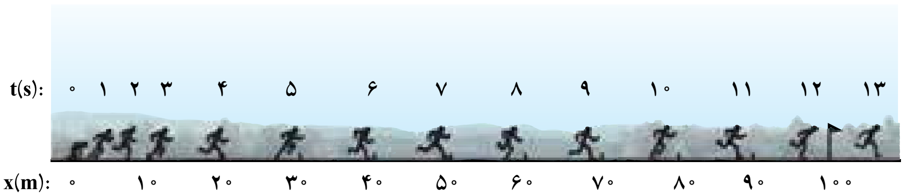
الف) اندازهٔ سرعت متوسط متحرک در این چهار مسیر را با هم مقایسه کنید.

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

۳ ظرفی حاوی مایع رنگین که با آهنگ ثابتی چکّه می‌کند را مطابق شکل زیر روی یک ماشین بازی کوک شده می‌گذاریم و آن را به حرکت درمی‌آوریم. الف) چگونه با استفاده از ردّ قطره‌های مایع رنگین می‌توان دربارهٔ نوع حرکت ماشین کوکی اظهارنظر کرد؟
ب) اگر ردّ قطره‌ها به شکل زیر باشد، نوع حرکت را در هر ناحیه تعیین کنید.



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

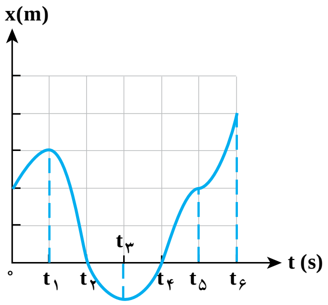



در جدول فاصلهٔ دونده تا محل شروع مسابقه در لحظه‌های مختلف داده شده است :

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

نمودار مکان ــ زمان دونده را رسم کنید.

۵ با توجه به نمودار مکان ــ زمان شکل روبه‌رو به پرسش‌های زیر پاسخ دهید :




الف) متحرک چندبار از مبدأ مکان عبور می‌کند؟

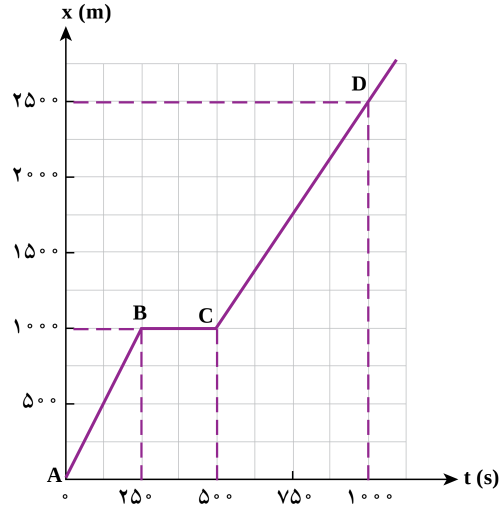
ب) در کدام بازه‌های زمانی متحرک درحال دورشدن از مبدأ است؟

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 xهاست یا خلاف آن؟

## مسائل فصل دوم




۱ شکل روبه‌رو نمودار مکان ــ زمان حرکت یک دوندهٔ دوی نیمه استقامت برروی یک خط راست را نشان می‌دهد.

الف) بین کدام دو نقطه، دونده سریع‌تر در حال دویدن بوده است؟

ب) بین کدام دو نقطه، دونده ایستاده است؟

پ) سرعت دونده را بین دو نقطهٔ A و B از نمودار حساب کنید.

ت) سرعت دونده را بین دو نقطهٔ C و D حساب کنید.

ث) سرعت متوسط دونده را در بازهٔ زمانی ۰ $t_1$ تا ۱۰۰۰s $t_2$ حساب کنید.

۲ دانستن محل قرارگیری یک ماهواره درمأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های اصلی کارشناسان فضایی است. بدین منظور تَپ‌های الکترومغناطیسی که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند را به طرف ماهوارهٔ موردنظر ارسال می‌کنند و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ ۰/۳ ثانیه باشد، فاصلهٔ ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چه مقدار است؟

۳ معادلهٔ حرکت جسمی که روی خط راست در حرکت است در SI به‌صورت x ۳t ۴ است.

الف) چه مدت پس از لحظهٔ صفر متحرک به مبدأ می‌رسد؟

ب) متحرک در لحظهٔ t ۱s در چه مکانی قرار دارد؟

پ) جابه‌جایی متحرک بین دو لحظهٔ t ۱s و t ۵s چقدر است؟

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

ابتدا به مدت یک ساعت با سرعت متوسط ۱۵m/s رانندگی کرده و پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه توقف می‌کند. آنگاه با سرعت متوسط ۲۰m/s به مدت ۳۰ دقیقه به رانندگی ادامه می‌دهد و بقیه مسیر را تا مقصد به مدت یک ربع ساعت با سرعت متوسط ۱۲m/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 ۱۰m/s به ۱۸m/s می‌رسد.

الف) شتاب متوسط خودرو در این مدت چقدر است؟

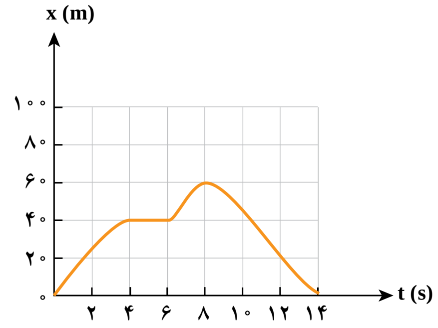
ب) اگر سرعت با همین شتاب تغییر کند، پس از چه مدت سرعت آن به ۱۰۸ کیلومتر بر ساعت می‌رسد؟

۶ سرعت فضاپیمایی ۳۰ ثانیه پس از شروع حرکت به ۱۲۰۰km/h می‌رسد. شتاب متوسط آن در این مدت چقدر است؟ این شتاب چند برابر ۹/۸$m/s^2$ g است؟

۷ رانندهٔ خودرویی که با سرعت ۷۲km/h در حرکت است، مانعی را مقابل خود می‌بیند و سرعت خود را کم می‌کند به‌طوری که پس از ۸ ثانیه می‌ایستد.

الف) شتاب متوسط حرکت از لحظهٔ 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 لحظهٔ توقف پیموده است؟




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

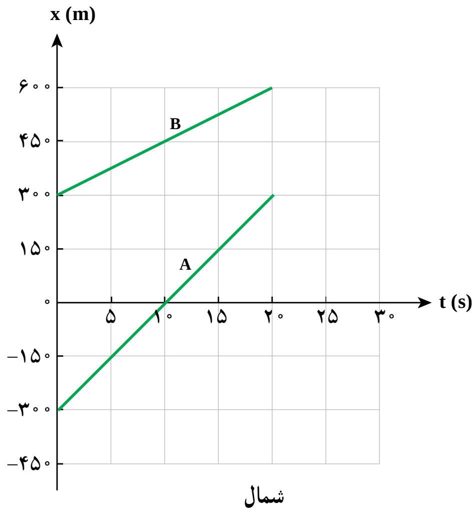
الف) در چه لحظه‌ای دوچرخه‌سوار بیشترین فاصله از مبدأ را دارد؟

ب) در چه بازهٔ زمانی دوچرخه سوار در جهت محور x حرکت می‌کند؟

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

ت) در چه بازهٔ زمانی، دوچرخه‌سوار ساکن است؟

ث) جابه‌جایی دوچرخه‌سوار در کل مدت حرکت چقدر است؟

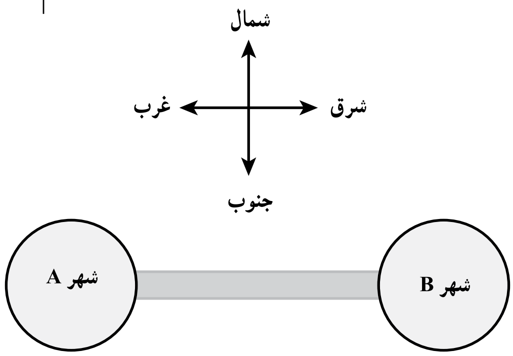



۹ شکل روبه‌رو نمودار مکان ــ زمان دو خودرو را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کنند.

الف) معادلهٔ حرکت هریک از آنها را بنویسید.

ب) اگر حرکت خودروها با همین سرعت ادامه پیدا کند، در چه لحظه‌ای دو خودرو به هم می‌رسند؟

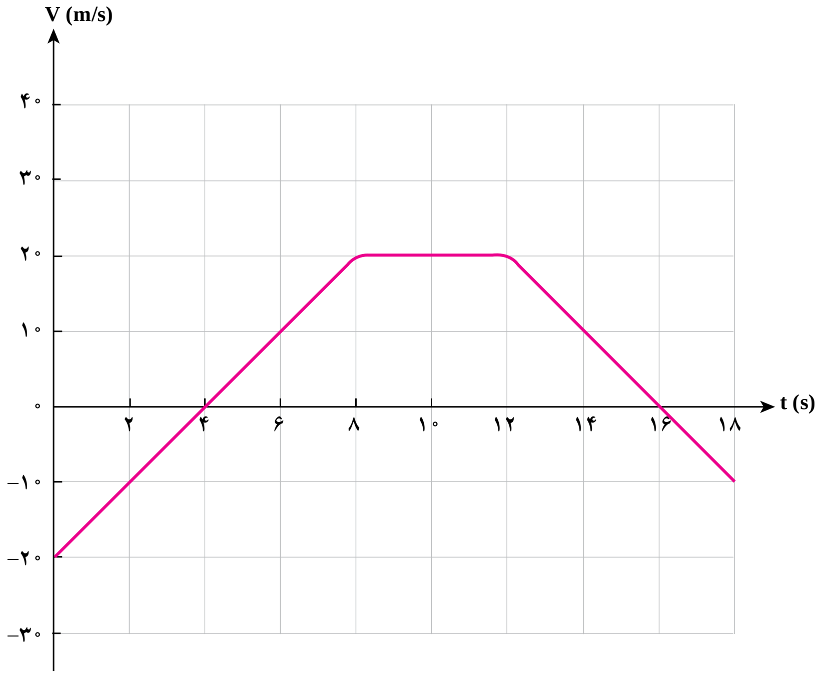
پ) در لحظه‌ای که دو خودرو به هم می‌رسند، در چه مکانی هستند؟




۱۰ موتورسواری در یک بزرگراه مستقیم مانند شکل از شهر A به طرف شهر B در حال حرکت است. اگر سرعت موتورسوار در $t_1$ ۱۵۰s، ۱۸km/h و در $t_2$ ۱۷۰s، ۹۰km/h باشد،

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

ب) اگر در $t_3$ ۱۸۰s، سرعت موتورسوار به ۷۲km/h برسد، شتاب متوسط موتورسوار بین لحظه‌های $t_2$ و $t_3$ چقدر و در چه جهتی است؟




۱۱ شکل روبه‌رو نمودار سرعت ــ زمان موتورسواری است که روی یک مسیر مستقیم و در راستای محور x در حرکت است.

الف) در چه بازهٔ زمانی موتورسوار در جهت مثبت محور x حرکت می‌کند؟

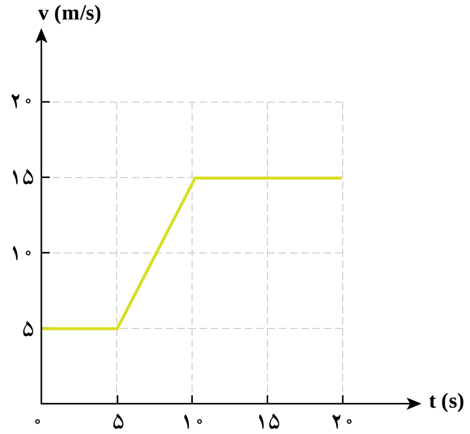
ب) در چه بازهٔ زمانی، موتورسوار در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟

پ) در چه بازهٔ زمانی، موتورسوار با سرعت ثابت حرکت کرده است؟

ت) در چه لحظه هایی جهت حرکت موتورسوار تغییر کرده است؟

ث) سرعت موتورسوار در لحظه‌های t ۰s و t ۲s و t ۴s و t ۱۴s و t ۱۸s را تعیین کنید.

ج) شتاب حرکت در t ۴s و t ۱۰s و t ۱۶s را به‌دست آورید.




۱۲ شکل روبه‌رو نمودار سرعت ــ زمان خودرویی را نشان می‌دهد که از حال سکون، روی مسیری مستقیم شروع به حرکت می‌کند.

الف) شتاب در لحظه‌های t ۳s، t ۸s، t ۱۰s و t ۱۵s را به‌دست آورید.

ب) شتاب متوسط در بازهٔ زمانی $t_1$ ۰s تا $t_2$ ۲۰s را به‌دست آورید.

پ) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های $t_1$ ۶s تا $t_2$ ۱۱s و $t_3$ ۱۵s تا $t_4$ ۲۰s را به‌دست آورید.

ت) خودرو در هریک از بازه‌های زمانی $t_1$ ۶s تا $t_2$ ۱۱s و $t_2$ ۱۱s تا $t_3$ ۲۰s چقدر جابه‌جا شده است؟

۱۳ خودرویی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از ۲۰ ثانیه سرعتش به ۳۶km/h می‌رسد. سپس با همین سرعت به مدت ۱۰ دقیقه به حرکتش ادامه می‌دهد. پس از آن ترمز می‌کند و بعد از ۵ ثانیه متوقف می شود. اگر در مدت ترمز کردن شتاب ثابت باشد،

الف) شتاب حرکت را در هر مرحله معلوم کنید.

ب) نمودار سرعت ــ زمان را از لحظهٔ شروع حرکت تا لحظهٔ توقف خودرو رسم کنید.

۱۴ متحرکی روی محور x و با شتاب ثابت در حرکت است. سرعت متحرک در مکان x ۱۰m، ۴m/s و در مکان x ۱۹m ۱۸ km/h است.

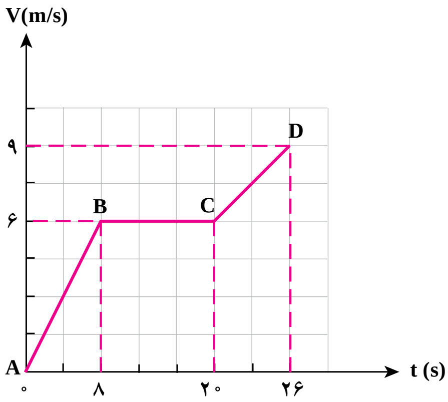
الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب) رسیدن از سرعت ۴m/s به سرعت ۱۸ km/h چه مدتی طول می‌کشد؟

۱۵ شکل روبه‌رو نمودار سرعت ــ زمان متحرکی را در ۲۶ ثانیه نشان می‌دهد.

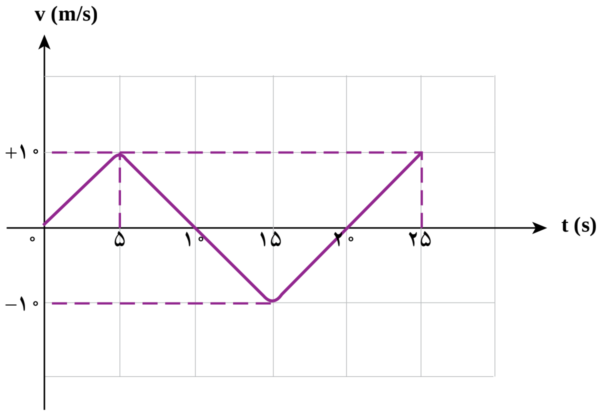
الف) شتاب در هریک از مرحله‌های AB ، BC و CD چقدر است؟

ب) شتاب متوسط در بازهٔ زمانی صفر تا ۲۶ ثانیه چقدر است؟




۱۶ سر یک دارکوب در حین نخستین تماس منقار آن با تنهٔ درخت، با سرعت ۷/۴۹m/s روبه جلو حرکت می‌کند. منقار دارکوب پس از سوراخ کردن تنهٔ درخت و فرو رفتن در آن به اندازهٔ ۱/۸۷mm، متوقف می‌شود. با فرض آنکه در این حرکت شتاب ثابت باشد، بزرگی شتاب را به‌دست آورید.

۱۷ سر یک مار زنگی در حین ضربه زدن به یک طعمه می‌تواند ۵۰m/s² شتاب بگیرد. اگر یک خودرو می‌توانست چنین شتابی داشته باشد، چقدر طول می‌کشید تا از حال سکون به سرعت ۱۰۰km/h برسد؟

۱۸ یک دونده در ۰/۷۵ ثانیهٔ اول مسابقه، شتاب ۸/۰m/s² می‌گیرد. الف) سرعت دونده را در پایان ۰/۷۵ s اول محاسبه کنید. ب) اکنون فرض کنید دونده تا آخر مسابقه با سرعت ۶/۰ m/s به دویدن ادامه دهد و پس از عبور از خط پایان حرکتش را با شتاب ثابت کُند کند. اگر اندازهٔ شتاب منفی دونده پس از عبور از خط پایان، ۲/۰m/s² باشد، پس از عبور از خط پایان چقدر طول می‌کشد تا دونده متوقف شود؟ و در این مدت چه مسافتی را طی می‌کند؟

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