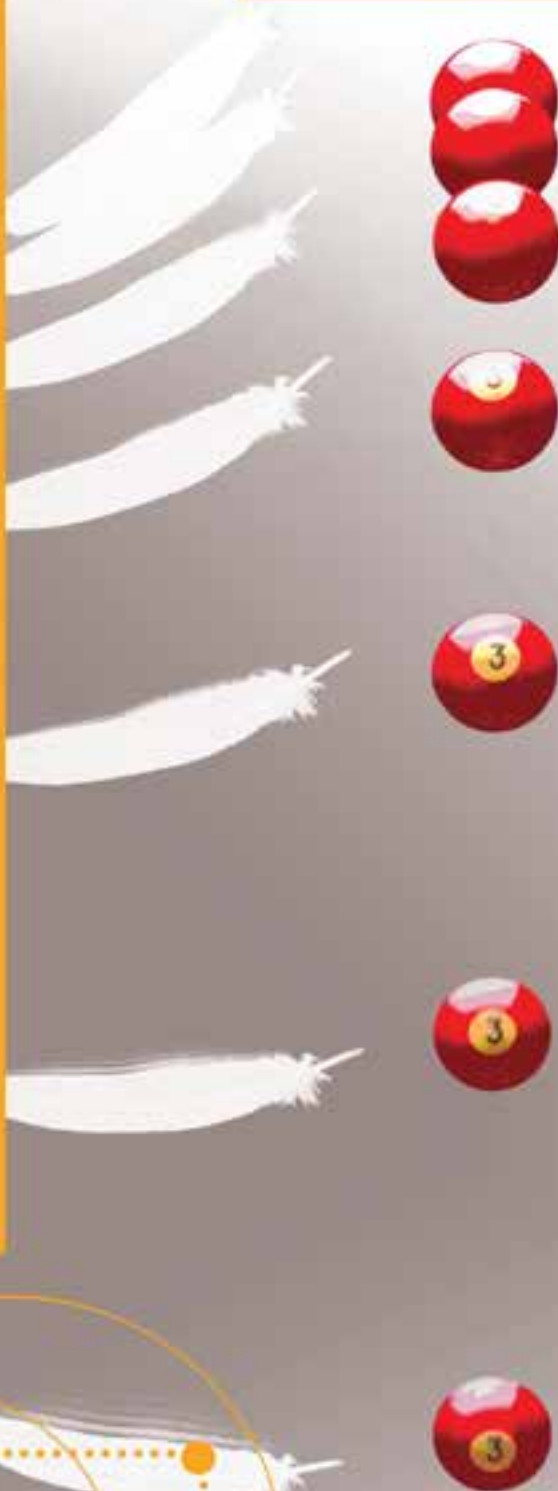


# فصل اول

## حرکت روی خط راست



در چه شرایطی یک پر و یک گوی ارتفاع یکسانی را در زمان مساوی طی می کنند؟

## سیمای فصل

۱-۲ مکان و جابه‌جایی

۲-۲ سرعت متوسط

۳-۲ حرکت یکنواخت روی خط راست

۴-۲ شتاب

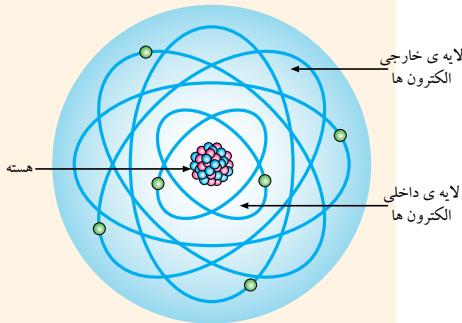
۵-۲ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

۶-۲ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها

# حرکت روی خط راست



جهان و هرچه در اوست همواره در حرکت اند. زمین، افزون بر آن که به دور خود می چرخد، به دور خورشید نیز دوران می کند. خورشید به دور مرکز کهکشان راه شیری و کهکشان راه شیری نسبت به کهکشان های دیگر حرکت می کند. کوچک ترین جزء سازنده ی ماده، یعنی اتم، از ذره های بسیار ریزی تشکیل شده است که آن ها نیز همواره در حرکت اند (شکل ۱-۲).

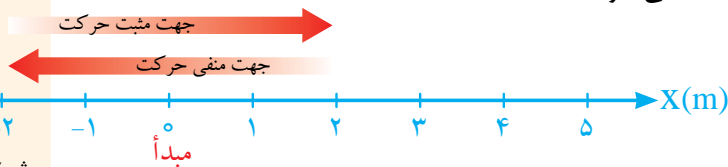
در این فصل علاوه بر آشنایی با مفاهیم بنیادی حرکت به توصیف و بررسی حرکت جسم روی خط راست نیز خواهیم پرداخت.



## ۱-۲ مکان و جابه جایی

برای بررسی حرکت هر جسم ابتدا لازم است مکان آن را نسبت به یک نقطه ی مرجع تعیین کنیم. در صورتی که حرکت جسم در یک بعد و روی خط راست باشد نقطه ی مرجع اغلب مبدا (یا نقطه ی صفر) محوری مانند محور  $x$  در شکل ۲-۲ در نظر گرفته می شود. **جهت مثبت** حرکت در جهت افزایش عددها (مختصات) است که در شکل ۲-۲ به سمت راست در نظر گرفته شده است. جهت مخالف آن **جهت منفی** حرکت است.

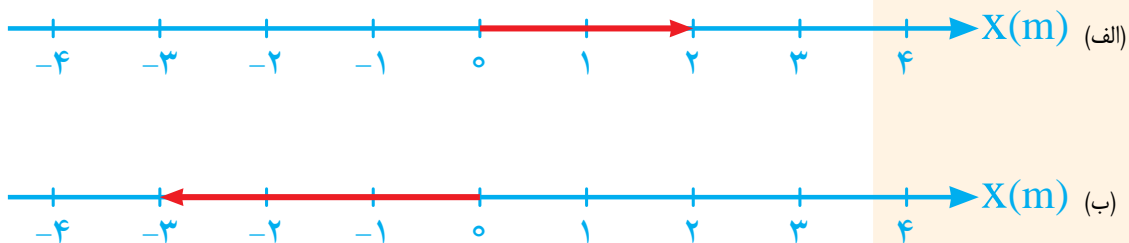
شکل ۱-۲ حرکت اجسام در مقیاس های بسیار کوچک و بسیار بزرگ



شکل ۲-۲ مکان جسمی که روی یک محور تعیین می شود بر حسب یکای طول (در اینجا متر) نشانه گذاری می شود و در دو جهت تا بی نهایت ادامه دارد. نام محور، در اینجا  $x$ ، همواره در قسمت مثبت مبدأ قرار دارد.

به عنوان مثال، اگر ذره ای در  $x=4m$  قرار داشته باشد، به معنای آن است که به فاصله ی  $4m$  در طرف مثبت مبدأ قرار دارد. اگر ذره در  $x=-4m$  باشد، در این صورت به همان فاصله از مبدأ ولی در طرف مخالف واقع است. در صورتی که ذره ای در طرف مثبت مبدأ قرار داشته باشد لزومی ندارد علامت مثبت را برای مختصه ی مکان بگذارید ولی در صورتی که ذره یا جسم در سمت منفی مبدأ باشد علامت منفی حتماً باید برای مختصه ی مکان نشان داده شود.

می‌شود. برداری که از مبدا مختصات به مکان جسم رسم شود بردار مکان نامیده می‌شود.  
 شکل ۲-۳ الف و ب بردار مکان مربوط به ذره‌ی متحرکی را به ترتیب در مکان‌های  $x = 2m$  و  $x = -3m$  نشان می‌دهد.

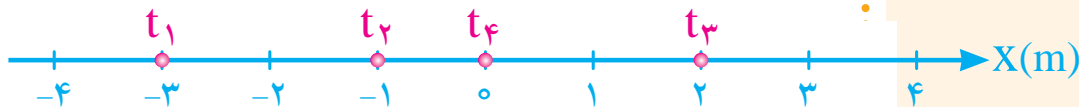


### مثال ۱-۲

شکل ۲-۳ بردار مکان از مبدا مختصات به مکان جسم رسم می‌شود.

جسمی که در امتداد محور  $X$  در حرکت است در هریک از لحظه‌های  $t_1, t_2, t_3$  و  $t_4$  به ترتیب در مکان‌های  $3m, -1m, -3m$  و  $2m$  قرار دارد.  
 الف) مکان متحرک را در هریک از این لحظه‌ها روی محور  $X$  تعیین کنید.  
 ب) مختصه‌ی مکان متحرک را به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر بنویسید.  
 پ) در کدام بازه‌ی زمانی جهت حرکت متحرک مثبت و در کدام بازه‌ی زمانی منفی است؟

**حل:** الف) شکل ۲-۴ مکان متحرک را در لحظه‌های مورد نظر نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴

ب) مختصه‌ی  $3m, -1m$ ، کوچک‌تر از  $1m$  است. همین‌طور مختصه‌ی  $1m$  کوچک‌تر از  $0$  و  $2m$  است. بنابراین مختصه‌ی مکان متحرک به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر به صورت  $3m, -1m, 0m$  و  $2m$  است.  
 پ) در بازه‌ی زمانی  $t_1$  تا  $t_2$  جهت حرکت مثبت و در بازه‌ی زمانی  $t_2$  تا  $t_3$  جهت حرکت منفی است. توجه کنید در بازه‌ی زمانی  $t_3$  و  $t_4$  متحرک از مکان  $x = 2m$  به مکان  $x = 0$  برگشته است.

**جابه‌جایی:** تغییر مکان متحرک از  $x_1$  به مکان دیگر  $x_2$ ، جابه‌جایی  $\Delta x$  نامیده می‌شود که برابر است با

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

هرگاه متحرک در جهت مثبت محور  $X$  حرکت کند جابه‌جایی مثبت است (به سمت راست شکل ۲-۲)، و در صورتی که در جهت منفی محور  $X$  حرکت کند جابه‌جایی منفی است (به سمت چپ شکل ۲-۲).

## فصل دوم / حرکت روی خط راست

برای مثال، اگر ذره‌ای از  $x_1 = 4\text{m}$  به  $x_2 = 11\text{m}$  حرکت کند، آنگاه  $\Delta x = (11\text{m}) - (4\text{m}) = +7\text{m}$ . نتیجه‌ی مثبت بدان معناست که حرکت یا جابه‌جایی در جهت مثبت بوده است. ولی اگر ذره‌ای از  $x_1 = 4\text{m}$  به  $x_2 = 1\text{m}$  برود، آنگاه  $\Delta x = (1\text{m}) - (4\text{m}) = -3\text{m}$ . نتیجه‌ی منفی نشان می‌دهد که حرکت یا جابه‌جایی ذره در جهت منفی بوده است. نکته‌ی مهمی که در اینجا باید به آن توجه شود آن است که جابه‌جایی یک متحرک تنها به نقطه‌های آغازی و پایانی آن بستگی دارد و مقدار مسافت پیموده‌شده در طی حرکت مهم نیست.

برای روشن‌تر شدن این موضوع فرض کنید ذره‌ای از  $x = 3\text{m}$  تا  $x = 15\text{m}$  حرکت کند و سپس به  $x = 3\text{m}$  برگردد، در این صورت جابه‌جایی از آغاز تا پایان حرکت برابر است با  $\Delta x = (3\text{m}) - (3\text{m}) = 0$ . همان‌طور که دیده می‌شود مسافت پیموده شده توسط متحرک  $24\text{m}$  است (چرا؟) در صورتی که جابه‌جایی آن صفر است. زیرا به مکان اولیه‌ی خود بازگشته است. علامت مثبت جابه‌جایی لازم نیست نشان داده شود ولی علامت منفی باید همواره نشان داده شود. برای مثال  $\Delta x = +3\text{m}$  و  $\Delta x = 3\text{m}$  هر دو به معنای جابه‌جایی به اندازه‌ی  $3\text{m}$  در جهت مثبت محور  $x$  است در صورتی که  $\Delta x = -3\text{m}$  به معنای جابه‌جایی به اندازه‌ی  $3\text{m}$  در جهت منفی محور  $x$  است. به این ترتیب همان‌طور که دیده می‌شود اندازه یا بزرگی جابه‌جایی‌های  $\Delta x = 3\text{m}$  و  $\Delta x = -3\text{m}$  مساوی و برابر  $3\text{m}$  است در حالی که جهت آن‌ها مخالف یکدیگر است. بنابراین

هشدار: توجه کنید که  $\Delta x$  حاصل ضرب  $\Delta$  در  $x$  نیست، بلکه این یک تک‌نماد است با معنای «تغییر در کمیت  $x$ ». همواره برای نمایش تغییر در یک کمیت از حرف یونانی  $\Delta$  (دلتا) استفاده می‌کنیم. تغییر در یک کمیت برابر است با مقدار پایانی کمیت منهای مقدار آغازی آن و هرگز برعکس نیست.

### شبیه‌سازی

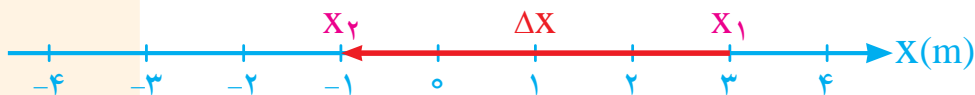


• بردار جابه‌جایی

جابه‌جایی کمیتی برداری است که علاوه بر بزرگی جهت نیز دارد.

### ..... مثال ۲-۲

مکان آغازی و پایانی ذره‌ی متحرکی به ترتیب  $x_1 = 3\text{m}$  و  $x_2 = -1\text{m}$  است. بردار جابه‌جایی این متحرک را روی محور  $x$ ‌ها نشان دهید.  
**حل:** کافی است مکان آغازی و پایانی متحرک را روی محور  $x$  تعیین و سپس این دو نقطه را توسط یک بردار به هم وصل کنیم.



شکل ۲-۵ بردار جابه‌جایی،  $\Delta x = (-1\text{m}) - (3\text{m}) = -4\text{m}$ ، بزرگی این بردار  $4\text{m}$  و جهت آن به سمت چپ است.

در پایان این بخش نگاهی خواهیم داشت به این که اساساً حرکت امری نسبی است. به این منظور فرض کنید که درون اتوبوس در حال حرکتی نشست‌اید. شخصی که روی صندلی مقابل شماست از نظر شما هیچ‌گونه حرکتی ندارد و ساکن است. در حالی که همین شخص از دید کسی که در بیرون اتوبوس در کنار خیابان ایستاده است و از پنجره‌ی اتوبوس او را می‌بیند ساکن نیست و همراه اتوبوس در حال حرکت است. با توجه به مثال‌هایی از این قبیل می‌توان نتیجه گرفت که سکون و حرکت هر جسم نسبت به اجسام دیگر سنجیده می‌شود. به عبارت دیگر **حرکت و سکون مفاهیمی نسبی‌اند**. به طور کلی اگر بردار مکان ذره‌ای در یک دستگاه مختصات معین با گذشت زمان تغییر نکند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه ساکن است. ولی اگر بردار مکان ذره با گذشت زمان تغییر کند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه در حال حرکت است.

## ۲-۲ سرعت متوسط

فرض کنید ذره‌ی متحرکی در لحظه‌ی  $t_1$  در مکان  $x_1$  و در لحظه‌ی  $t_2$  در مکان  $x_2$  واقع است (شکل ۲-۶). بنا بر تعریف نسبت جابه‌جایی ذره،  $\Delta x = x_2 - x_1$ ، به بازه‌ی زمانی این جابه‌جایی،

$\Delta t = t_2 - t_1$ ، **سرعت متوسط** ذره نامیده می‌شود. یعنی

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

که در این رابطه  $\bar{v}$  نماد سرعت متوسط است و یکای آن در SI، متر بر ثانیه (m/s) است.



شکل ۲-۶

از آنجاکه  $\Delta t = t_2 - t_1$  همواره مقداری مثبت است لذا جابه‌جایی و سرعت متوسط دارای یک علامت‌اند. به بیان دیگر، سرعت متوسط نیز کمیتی برداری است که با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است. برای مثال، اگر جهت جابه‌جایی متحرک به طرف مثبت محور  $x$  باشد، جهت سرعت متوسط نیز به همین طرف است.

## ..... مثال ۲-۳

متحرکی در لحظه‌ی  $t_1 = 0$  از مبدأ زمان می‌گذرد و در لحظه‌ی  $t_2 = 2s$  به ۸ متری مبدأ می‌رسد. سرعت متوسط متحرک را در این بازه‌ی زمانی پیدا کنید.

**حل:** ابتدا داده‌های مسئله را می‌نویسیم

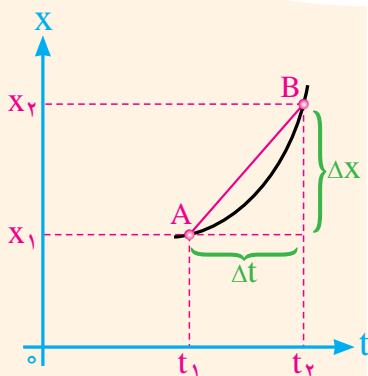
$$(t_1 = 0 \text{ و } x_1 = 0) \text{ و } (t_2 = 2s \text{ و } x_2 = 8m)$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(8m) - (0)}{(2s) - (0)} = 4m/s$$

توجه کنید که مقدار سرعت متوسط ۴m/s و جهت آن به طرف مثبت محور  $x$  است.

### مثال ۲-۴



شکل ۲-۷

مکان جسمی را که روی یک خط راست، مثلاً محور  $X$  ها، حرکت می‌کند می‌توان مانند شکل ۲-۷ بر حسب زمان روی نموداری رسم کرد. نمودار حاصل را نمودار مکان-زمان و یا به اختصار نمودار  $X-t$  می‌نامند. در این نمودار محور افقی برای نشان دادن زمان به کار رفته است و مبداء آن، با عدد صفر مشخص شده است. همین‌طور محور قائم برای نشان دادن مکان جسم به کار رفته است.

الف) مزیت این نمودار چیست؟

ب) شیب پاره‌خط  $AB$  را در این نمودار به‌دست آورید و بگویید مقدار به دست آمده نشان‌دهنده‌ی چه کمیتی است؟

**حل:** الف) از نمودار مکان-زمان می‌توان دریافت که در یک زمان معین جسم کجا بوده است، یعنی مکانش چه بوده یا چه وقت جسم در مکان معینی قرار داشته است. دقت کنید که نمودار مکان-زمان شکل ۲-۷ را به عنوان نمودار مسیر حرکت جسم روی صفحه در نظر نگیرید! در اینجا مسیر حرکت جسم روی خط راست است که بر محور  $X$  منطبق است.

ب) از روی نمودار شکل ۲-۷ پیداست که شیب پاره‌خط  $AB$  برابر است با:

$$\text{شیب پاره‌خط } AB = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

که در واقع همان سرعت متوسط متحرک است.

### مثال ۲-۵

معادله‌ی مکان-زمان جسمی که در امتداد محور  $x$  حرکت می‌کند در SI به صورت  $x = 2t^2 - t + 4$  است. سرعت متوسط متحرک بین دو لحظه‌ی  $t_1 = 2s$  و  $t_2 = 4s$  چقدر است؟

**حل:** ابتدا مکان متحرک را در دو لحظه‌ی مورد نظر پیدا می‌کنیم:

$$x_1 = 2(2)^2 - 2 + 4 = 10 \text{ m}$$

$$x_2 = 2(4)^2 - 4 + 4 = 32 \text{ m}$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(32 \text{ m}) - (10 \text{ m})}{(4 \text{ s}) - (2 \text{ s})} = 11 \text{ m/s}$$

هشدار: همواره یکاها را در محاسبه‌های خود بنویسید. هنگامی که در یک مسئله به انجام محاسبه‌هایی با استفاده از عددها و یکاها نیاز باشد همواره عددها را با یکاهای درست بنویسید و با یکاها در تمام محاسبه‌ها مانند مثال ۲-۵ رفتار کنید. این کار آزمون بسیار مفیدی برای محاسبه‌هاست. اگر در مرحله‌ای از یک محاسبه دریافتید که یک معادله یا رابطه دارای یکاهای ناسازگار است متوجه می‌شوید که در جایی اشتباه کرده‌اید. در این کتاب همواره یکاها را در تمامی محاسبه‌ها وارد می‌کنیم و به شما قویاً توصیه می‌کنیم که هرگاه مسئله‌ای حل می‌کنید همین کار را انجام دهید.

### مثال ۲-۴

شناگری طول یک استخر ۲۵ متری را در مدت ۴۰ ثانیه رفته و در مدت ۵۰ ثانیه برگشته است. سرعت متوسط این شناگر در طول مسیر رفت و برگشت چقدر است؟

**حل:** چون شناگر پس از طی طول استخر در دو مرحله‌ی رفت و برگشت، به مکان اولیه‌ی خود بازگشته است لذا جابه‌جایی آن  $\Delta x = 0$  است. بنابراین سرعت متوسط شناگر نیز در طول مسیر رفت و برگشت صفر خواهد بود. توجه کنید تعریف سرعت متوسط در فیزیک با تعریفی که در مسابقه‌های ورزشی یا در جاهای دیگر استفاده می‌شود متفاوت است. برای مثال در مسابقه‌های ورزشی مانند شنا، نسبت مسافت پیموده شده (نه جابه‌جایی) به زمان انجام آن سرعت متوسط یا سرعت میانگین نامیده می‌شود که در این کتاب از این تعریف استفاده نمی‌شود.

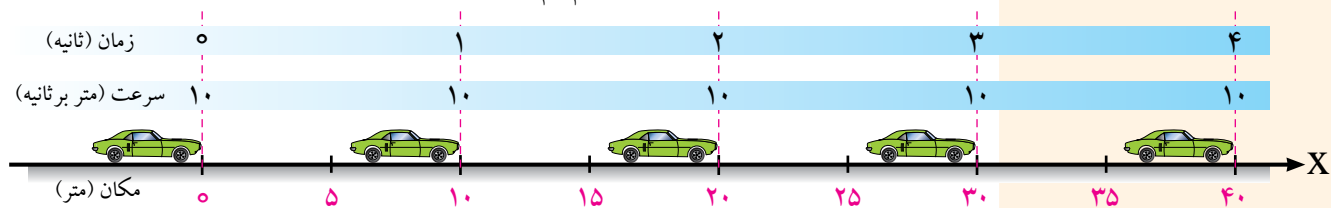
### فعالیت ۲-۱

در صورتی که جسمی حرکت نکند، یعنی ساکن باشد، نمودار مکان-زمان آن را رسم کنید.

### ۲-۳ حرکت یکنواخت روی خط راست

اتومبیلی را در نظر بگیرید که روی خط راست در حرکت است. مکان این اتومبیل در زمان‌های مختلف مشخص شده است (شکل ۲-۸). سرعت متوسط این اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه محاسبه شده و در جدول ۲-۱ آمده است. به طوری که می‌بینید سرعت متوسط این اتومبیل در هر بازه‌ی زمانی دلخواه ثابت است. اگر سرعت متوسط یک متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، متحرک با سرعت ثابت حرکت می‌کند. در این صورت سرعت در هر لحظه با سرعت متوسط متحرک برابر است، یعنی  $v = \bar{v}$ . با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$v = \bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$



اگر لحظه‌ی  $t_1$  را مبداء زمان انتخاب کنیم، یعنی  $t_1 = 0$ ، و مکان اولیه‌ی متحرک را نسبت به مبداء با  $x_0$  نشان دهیم ( $x_1 = x_0$ )، خواهیم داشت:

$$v = \frac{x - x_0}{t} \quad \text{یا} \quad x = vt + x_0$$

که در آن  $x$  مکان متحرک در لحظه‌ی  $t$  است. این معادله را، معادله‌ی حرکت یکنواخت روی خط راست می‌نامند.

شکل ۲-۸ حرکت یکنواخت اتومبیلی در امتداد محور  $x$



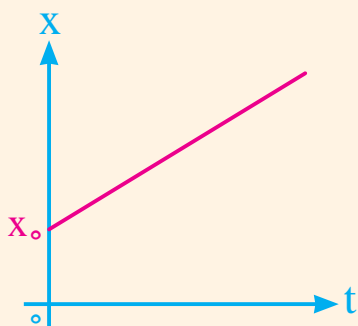
جدول ۱-۲ سرعت متوسط اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه

لحظه‌ی آغازی $t_1$ (s)	لحظه‌ی پایانی $t_2$ (s)	بازه‌ی زمانی $\Delta t$ (s)	جابه‌جایی $\Delta x$ (m)	سرعت متوسط $\bar{v} = \Delta x / \Delta t$ (m/s)
۰	۱	۱-۰=۱	۱۰-۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰
۱	۲	۲-۱=۱	۲۰-۱۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰
۲	۴	۴-۲=۲	۴۰-۲۰=۲۰	۲۰/۲=۱۰
۰	۴	۴-۰=۴	۴۰-۰=۴۰	۴۰/۴=۱۰

آزمایشگاه مجازی



● حرکت در یک بعد (مرد متحرک)



شکل ۹-۲ نمودار مکان-زمان حرکت یکنواخت روی خط راست. در این نمودار  $X_0$  مقداری مثبت و در طرف راست مبدأ است.

..... مثال ۲-۷

نمودار مکان-زمان جسمی که با سرعت ثابت (به‌طور یکنواخت) روی یک خط راست در جهت محور  $x$  حرکت می‌کند، رسم کنید. (فرض کنید در مبدأ زمان متحرک در فاصله‌ی  $X_0$  از طرف راست مبدأ مکان است.)

**حل:** چون در حرکت یکنواخت سرعت ثابت است، شیب خط مماس بر نمودار مکان-زمان باید همواره مقدار ثابتی باشد. پس نمودار  $x-t$  یک خط راست است که در شکل ۹-۲ رسم شده است. روشن است که هرچه سرعت متحرک بیش‌تر باشد شیب نمودار مکان-زمان نیز بیش‌تر خواهد شد. (چرا؟)

..... مثال ۲-۸

معادله‌ی حرکت متحرکی در SI به صورت  $x = 12t - 24$  است.

الف) جابه‌جایی متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟

ب) در چه لحظه‌ای متحرک به مبدأ مکان می‌رسد؟

پ) نمودار مکان-زمان متحرک را رسم کنید.

**حل:** الف) مکان متحرک در لحظه‌های  $t = 0$  و  $t = 1$  s به ترتیب برابر است با:

$$x_1 = x_0 = 12 \times 0 - 24 = -24 \text{ m}$$

$$x_2 = x = 12 \times 1 - 24 = -12 \text{ m}$$

به این ترتیب جابه‌جایی متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت برابر است با:

$$\Delta x = x - x_0 = (-12 \text{ m}) - (-24 \text{ m}) = 12 \text{ m}$$

ب) وقتی متحرک به مبدأ مکان می‌رسد که  $x = 0$  باشد بنابراین با استفاده از معادله‌ی

مکان-زمان در مبدأ مکان داریم:

$$0 = 12t - 24 \Rightarrow t = 2 \text{ s}$$

پ) برای رسم نمودار کافی است مختصات دو مکان متحرک را در دو لحظه‌ی دلخواه روی

نمودار  $x-t$  تعیین کنید (شکل ۲-۱۰).

$t$ (s)	$x$ (m)
۰	-۲۴
۲	۰

### مثال ۲-۹

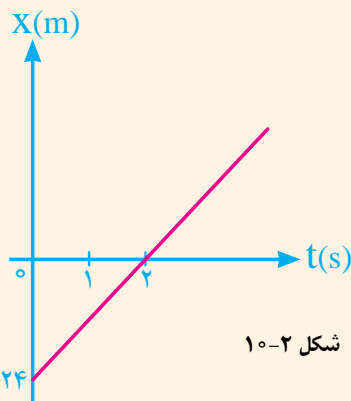
اتومبیلی با سرعت ثابت  $72 \text{ km/h}$  در امتداد خط راست حرکت می‌کند. چه مدت طول می‌کشد تا جابه‌جایی اتومبیل برابر  $500$  متر باشد؟

**حل:** ابتدا یکای سرعت را از  $\text{km/h}$  به  $\text{m/s}$  تبدیل می‌کنیم. در نتیجه داریم:

$$72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \times \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 72 \times \frac{10}{36} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \text{ m/s}$$

با استفاده از معادله‌ی حرکت یکنواخت  $x = vt + x_0$  خواهیم داشت:

$$\Delta x = x - x_0 = vt \Rightarrow 500 \text{ m} = (20 \text{ m/s})t \Rightarrow t = 25 \text{ s}$$



شکل ۲-۱۰

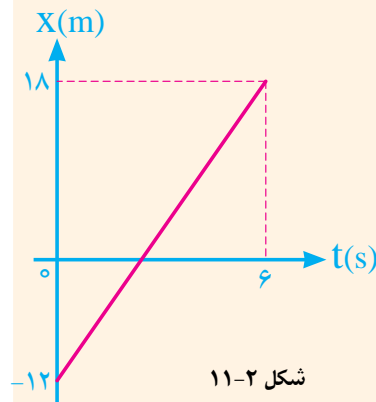
### تمرین ۲-۱

شکل ۲-۱۱ نمودار مکان-زمان متحرکی را در  $6$  ثانیه‌ی اول حرکت نشان می‌دهد.

الف) نوع حرکت متحرک را تعیین کنید.

ب) معادله‌ی حرکت متحرک را بنویسید.

پ) جابه‌جایی متحرک در  $2$  ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟



شکل ۲-۱۱

### ۲-۴ شتاب متوسط

هرگاه سرعت متحرکی تغییر کند، گفته می‌شود که ذره شتاب گرفته یا حرکت آن شتابدار است

(شکل ۲-۱۲). برای حرکت در راستای یک خط راست، شتاب متوسط  $\bar{a}$  در بازه‌ی زمانی  $\Delta t$

عبارت است از:

$$\text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{مدت زمان لازم برای تغییر سرعت}}$$

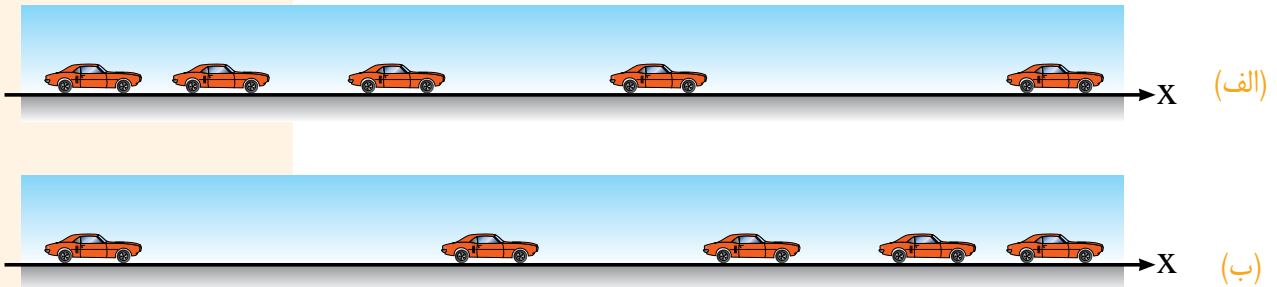
$$\bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

که در آن متحرک در لحظه‌ی  $t_i$  دارای سرعت  $v_i$  و در لحظه‌ی  $t_f$  دارای سرعت  $v_f$  است. یکای

شتاب در SI متر بر مجذور ثانیه است که با نماد  $\text{m/s}^2$  نشان داده می‌شود.

### فصل دوم / حرکت روی خط راست

شتاب نیز مانند جابه‌جایی و سرعت کمیتی برداری است؛ یعنی هم دارای بزرگی و هم دارای جهت است. علامت جبری شتاب جهت آن را روی یک محور نمایش می‌دهد. شتاب با مقدار مثبت در جهت مثبت محور و شتاب با مقدار منفی در جهت منفی محور است.



شکل ۲-۱۲ حرکت شتابدار اتومبیل ناشی از افزایش سرعت (شکل الف) و ناشی از کاهش سرعت (شکل ب).

### مثال ۲-۱

اتومبیلی از حال سکون در امتداد محور X شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸ ثانیه سرعت آن به  $24 \text{ m/s}$  می‌رسد. شتاب متوسط آن را حساب کنید.

**حل:** با توجه به فرض‌های مسئله و تعریف شتاب متوسط داریم:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = (24 \text{ m/s}) - (0) = 24 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 8 \text{ s}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{24 \text{ m/s}}{8 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}^2$$

علامت مثبت نشان می‌دهد که شتاب اتومبیل در جهت مثبت محور X است.

### مثال ۲-۱۱

اگر سرعت لحظه‌ای جسمی را که روی یک خط راست حرکت می‌کند مانند شکل ۲-۱۳ بر حسب زمان روی یک نمودار رسم کنیم، نمودار حاصل را نمودار سرعت-زمان یا نمودار  $v-t$  می‌نامند.

الف) مزیت نمودار  $v-t$  چیست؟

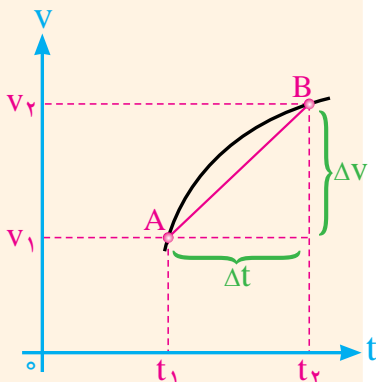
ب) شیب پاره خط AB را در این نمودار به دست آورید و بگویید مقدار به دست آمده نشان‌دهنده‌ی چه کمیتی است؟

**حل:** الف) از این نمودار می‌توان سرعت جسم را در هر لحظه معین کرد.

ب) از این نمودار پیداست که شیب پاره خط AB برابر است با:

$$\text{شیب پاره خط AB} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

با توجه به تعریف شتاب متوسط، شیب پاره خط AB همان شتاب متوسط جسم در حال حرکت است.



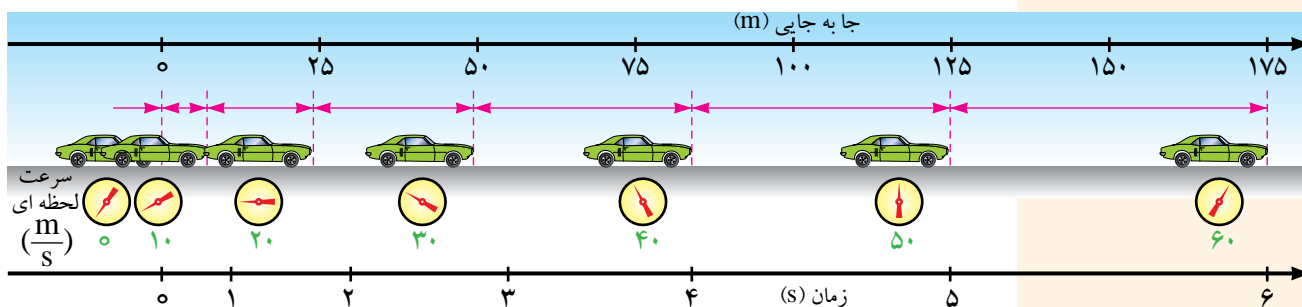
شکل ۲-۱۳

### تمرین ۲-۲

شتاب متوسط متحرکی که در مدت ۰/۵ ثانیه سرعت آن از ۱ cm/s به ۹۹ cm/s می‌رسد چند m/s<sup>۲</sup> است؟

## ۲-۵ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

شکل ۲-۱۴ اتومبیلی را نشان می‌دهد که روی یک خط راست در امتداد محور  $x$  حرکت می‌کند. در جدول ۲-۲ شتاب متوسط این اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه حساب شده است. همان‌طور که دیده می‌شود شتاب متوسط این اتومبیل در تمام بازه‌های زمانی یکسان است. اگر شتاب متوسط متحرکی در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، شتاب متحرک ثابت و برابر شتاب متوسط است. توجه کنید که در این حرکت تغییر سرعت در هر بازه‌ی زمانی مساوی، یکسان است.



شکل ۲-۱۴ حرکت با شتاب ثابت

به این ترتیب در صورتی که شتاب متوسط یک متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، متحرک با شتاب ثابت حرکت می‌کند. پس شتاب در هر لحظه با شتاب متوسط برابر است، یعنی

$a = \bar{a}$  با توجه به تعریف شتاب متوسط داریم:

$$a = \bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

اگر لحظه‌ی  $t_1$  را مبداء زمان انتخاب کنیم، یعنی  $t_1 = 0$ ، و سرعت اولیه‌ی متحرک را با  $v_0$  نشان

دهیم، خواهیم داشت:

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad \text{یا} \quad v = at + v_0$$

که در آن  $v$  سرعت متحرک در لحظه‌ی  $t$  است. این معادله را، معادله‌ی سرعت - زمان حرکت

با شتاب ثابت روی خط راست می‌نامند.

جدول ۲-۲ شتاب متوسط اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه

لحظه‌ی آغازی	لحظه‌ی پایانی	بازه‌ی زمانی	تغییر سرعت	شتاب متوسط $\bar{a} = \Delta v / \Delta t$ (m/s <sup>۲</sup> )
$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$\Delta t$ (s)	$\Delta v$ (m/s)	
۰	۱	۱-۰=۱	۱۰-۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰
۱	۲	۲-۱=۱	۲۰-۱۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰
۳	۵	۵-۳=۲	۵۰-۳۰=۲۰	۲۰/۲=۱۰

#### فعالیت عملی



● بررسی حرکت شتاب ثابت

#### شبیه‌سازی



● مقایسه‌ی حرکت با سرعت ثابت و شتاب ثابت

مثال ۲-۱۲

موتور سواری با شتاب ثابت  $2 \text{ m/s}^2$  بر مسیری مستقیم از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. پس از  $10$  ثانیه سرعت آن چقدر خواهد شد؟

**حل:** با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$a = 2 \text{ m/s}^2 \text{ و } v_0 = 0 \text{ و } t = 10 \text{ s و } v = ?$$

$$v = at + v_0 = (2 \text{ m/s}^2)(10 \text{ s}) + 0 = 20 \text{ m/s}$$

حرکت این موتور سوار تند شونده است زیرا همان‌طور که دیده می‌شود سرعت آن با گذشت زمان افزایش یافته است.

مثال ۲-۱۳

اتومبیلی با سرعت  $54 \text{ km/h}$  در حرکت است. راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از مدت  $10$  ثانیه می‌ایستد. اگر شتاب اتومبیل در این مدت ثابت باشد مقدار آن را حساب کنید.

**حل:**

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

$$t = 10 \text{ s و } v = 0 \text{ و } a = ?$$

$$v = at + v_0 \Rightarrow 0 = a \times (10 \text{ s}) + (15 \text{ m/s}) \Rightarrow a = -1.5 \text{ m/s}^2$$

حرکت این اتومبیل کند شونده است زیرا سرعت آن با گذشت زمان کاهش یافته است.

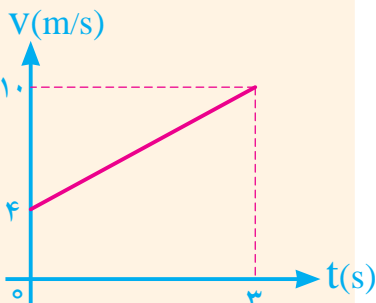
مثال ۲-۱۴

شکل ۲-۱۵ نمودار سرعت-زمان متحرکی را نشان می‌دهد.

(الف) چرا شتاب متحرک ثابت است؟

(ب) شتاب متحرک و معادله‌ی سرعت-زمان آن را پیدا کنید.

(پ) سرعت متحرک در لحظه‌ی  $t = 2 \text{ s}$  چقدر است؟



شکل ۲-۱۵

**حل:** (الف) با توجه به معادله‌ی  $v = at + v_0$  از آنجا که نمودار  $v-t$  متحرک به صورت خطی

با شیب ثابت است، شتاب آن نیز باید ثابت باشد.

(ب) با توجه به داده‌های روی نمودار شکل ۲-۱۵ داریم:

$$(t = 0 \text{ s و } v_0 = 4 \text{ m/s}) \text{ و } (t = 3 \text{ s و } v = 10 \text{ m/s})$$

$$v = at + v_0 \Rightarrow 10 \text{ m/s} = a(3 \text{ s}) + (4 \text{ m/s}) \Rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

پس معادله‌ی  $v-t$  متحرک در SI به صورت  $v = 2t + 4$  خواهد شد.

(پ) در لحظه‌ی  $t = 2 \text{ s}$  داریم:

$$v = (2 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ s}) + (4 \text{ m/s}) = 8 \text{ m/s}$$

هشدار: بسیار مراقب باشید که شتاب و سرعت را باهم اشتباه نگیرید. سرعت توصیف می‌کند که مکان یک جسم با زمان چگونه تغییر می‌کند؛ می‌گوید که جسم چقدر سریع و در چه جهتی حرکت می‌کند. شتاب توصیف می‌کند که سرعت چگونه با زمان تغییر می‌کند؛ می‌گوید که جهت حرکت و بزرگی سرعت چگونه تغییر می‌کنند. به خاطر سپردن این گزاره می‌تواند سودمند باشد که «ارتباط شتاب با سرعت همانند ارتباط سرعت با مکان است.»

همچنین سودمند است که خود را در حال راندن همراه با یک جسم متحرک تصور کنید. اگر جسم رو به جلو شتاب بگیرد و سرعت خود را افزایش دهد، احساس می‌کنید که در صندلی خود به عقب فشرده می‌شوید. اگر جسم به عقب شتاب بگیرد و از سرعت خود بکاهد احساس می‌کنید که به جلو هل داده می‌شوید. اگر سرعت ثابت باشد و شتابی در کار نباشد هیچ یک از این دو حس را نخواهید داشت. (دلیل این احساس را در فصل بعد خواهید یافت.)

**معادله‌ی مکان-زمان:** علاوه بر معادله‌ی سرعت-زمان که با آن آشنا شدیم، معادله‌ی مکان-زمان نیز در توصیف و حل مسائل حرکت با شتاب ثابت مفیداست. از آنجا که در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط متحرک در دو لحظه‌ی دلخواه برابر  $\bar{v} = \frac{v_1+v_2}{2}$  است، داریم

$$\left. \begin{aligned} \bar{v} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ \bar{v} &= \frac{v_1+v_2}{2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta x = \left( \frac{v_1+v_2}{2} \right) \Delta t$$

اگر در لحظه‌ی  $t_1=0$  مکان اولیه‌ی متحرک  $x_0$  و سرعت آن  $v_0$  و همچنین در لحظه‌ی  $t$  مکان متحرک  $x$  و سرعت آن  $v$  باشد، داریم:

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

با جای گذاری  $v=at+v_0$  در رابطه‌ی بالا داریم:

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

یا

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$$

به این رابطه، معادله‌ی مکان-زمان یا مستقل از سرعت در حرکت با شتاب ثابت می‌گویند. همان‌طور که دیده می‌شود معادله‌ی مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت تابعی درجه دوم از زمان است.

### مثال ۲-۱۵

معادله‌ی مکان-زمان متحرکی در SI به صورت زیر است:

$$x = t^2 + 2t + 1$$

(الف) شتاب، سرعت اولیه و مکان اولیه‌ی متحرک را تعیین کنید.

(ب) سرعت متحرک در لحظه‌ی  $t=2s$  چقدر است؟

**حل:** (الف) با مقایسه‌ی این معادله با معادله‌ی مکان-زمان حرکت با شتاب ثابت داریم:

$$a = 2m/s^2 \quad v_0 = 2m/s \quad x_0 = 1m$$

(ب) با استفاده از معادله‌ی سرعت-زمان داریم:

$$v = at + v_0 = (2m/s^2)(2s) + (2m/s) = 6m/s$$

**معادله‌ی سرعت-مکان:** برای یافتن  $t$  از معادله‌ی سرعت-زمان داریم:

$$v = at + v_0 \Rightarrow t = \frac{v - v_0}{a}$$

با جای گذاری  $t$  در معادله‌ی مکان-زمان خواهیم داشت:

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 = \frac{1}{2} a \left( \frac{v - v_0}{a} \right)^2 + v_0 \left( \frac{v - v_0}{a} \right) + x_0$$



حکیم ابن سینا (۳۵۹ شمسی-۴۱۶ شمسی) که در غرب به اوی سینا (Avicenna) معروف است، در افسنه نزدیک بخارا متولد شد و در همدان وفات یافت. پدرش کارمند حکومت وقت بود و خانه‌اش محل ملاقات و گفت‌وگوی علاقه‌مندان علم و کمال. او هوش سرشاری داشت و به سرعت علوم زمان خود را فراگرفت و از ۱۶ سالگی به کار طبابت پرداخت.

ابن سینا در علوم گوناگون زمانه‌ی خود تالیف‌های بسیاری دارد و آثار او متجاوز از ۲۷۰ عنوان است. مهم‌ترین اثر فلسفی ابن سینا کتاب «شفا» است که دانش‌نامه‌ی عظیمی است در چهار بخش شامل منطق، طبیعیات (فیزیک)، ریاضیات (هندسه، حساب، موسیقی و نجوم) و مابعد الطبیعه (متافیزیک). ابن سینا، هم‌چون دانشمندان یونانی، فیزیک را مطالعه‌ی اجسام طبیعی و حرکت می‌دانست.

ابن سینا معتقد بود که: «قوای که در جسم جای گیرند بر سه نوع اند. برای مثال نوع اول قوای است که در همه‌ی اجسام سربان دارند و کمالات، شکل، مکان طبیعی و اعمال آن‌ها را حفظ می‌کنند. اگر اجسام از مکان طبیعی خود دور شوند یا به نحوی شکل طبیعی خود را از دست دهند، این قوا به وضع پیشین برشان می‌گردانند و بدان وضع نگاهشان می‌دارند و این امر بدون معرفت و قصد اختیاری صورت می‌گیرد.» او هم‌چنین می‌گوید: «سکون فقدان حرکت است در اجسامی که بالقوه پذیرای حرکت باشند، بنا بر این سکون را نمی‌توان صرفاً نفی حرکت

با ساده کردن این رابطه داریم:

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

این رابطه، معادله‌ی سرعت- مکان یا مستقل از زمان در حرکت با شتاب ثابت نامیده می‌شود. در این معادله، مکان جسم در دو وضعیت اختیاری، به سرعت جسم در آن مکان‌ها مربوط شده است. توجه کنید که ترتیب نوشتن مکان‌ها و سرعت‌ها مشابه است. همان‌طور که می‌دانید  $(x - x_0)$  جابه‌جایی متحرک است.

### مثال ۲-۱۷

قطاری از حال سکون و با شتاب ثابت  $0.4 \text{ m/s}^2$  شروع به حرکت می‌کند. پس از جابه‌جایی  $1 \text{ km}$ ، سرعت قطار چقدر است؟

حل:

$$v_0 = 0 \quad \text{و} \quad a = 0.4 \text{ m/s}^2 \quad \text{و} \quad x - x_0 = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m} \quad \text{و} \quad v = ?$$

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

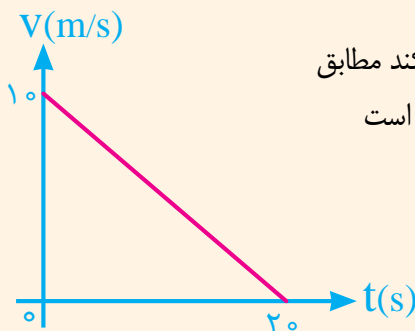
$$v^2 - 0 = 2(0.4 \text{ m/s}^2)(1000 \text{ m}) \Rightarrow v^2 = 800 \text{ (m}^2/\text{s}^2)$$

$$v = 20\sqrt{2} \text{ m/s} \approx 28 \text{ m/s}$$

دانست. همه‌ی حرکات جسم از علتی که متمایز از جسم ناشی می‌شوند؛ جسم به خودی خود هیچ حرکتی ندارد. حرکت را منحصرأ باید ناشی از علت آن دانست.» وی در زندگی نامه‌ای که خود نوشته است می‌گوید: کتاب قانون را در گرگان آغاز کرده، بخشی از آن را در ری، زادگاه رازی، نوشته و آن را در همدان به پایان رسانده است. طبیبان این کتاب را (که بزرگ‌ترین اثر طبی این سیناست) بسیار می‌پسندیدند و آن را بر کتاب «حای» تألیف رازی و حتی آثار جالینوس ترجیح می‌دادند. در کتاب قانون ضمن شرح دستاوردهای عمده‌ی پزشکی روم و یونان، فهرست ۷۶۰ دارو و فرآورده‌های پزشکی به طور نظام مند فراهم آمده است.

### تمرین ۲-۱۶

نمودار  $v-t$  متحرکی که بر مسیری مستقیم در امتداد محور  $x$  در حرکت می‌کند مطابق شکل ۱۶-۲ است. اگر در  $t = 0$  متحرک از مبدا مکان عبور کرده باشد، مطلوب است (الف) شتاب متحرک، (ب) معادله‌ی سرعت- زمان متحرک، (پ) سرعت متوسط متحرک در ۲۰ ثانیه‌ی اول حرکت، (ت) معادله‌ی مکان- زمان متحرک.



شکل ۱۶-۲

## ۶-۲ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

یک مورد از حرکت بر خط راست با شتاب ثابت، حرکت اجسام در راستای قائم و در نزدیکی سطح زمین است که آن را **سقوط آزاد** می‌نامند. آزمایش نشان می‌دهد که اگر بتوان اثر مقاومت هوا بر حرکت اجسام را نادیده گرفت، شتاب همه‌ی اجسام در حال سقوط آزاد ثابت و در راستای قائم و به طرف پایین است. اندازه‌ی این شتاب را با  $g$  نشان می‌دهیم و مقدار آن تقریباً  $9.8 \text{ m/s}^2$  است، که گاهی برای آسان کردن محاسبه، مقدار  $g$  را با تقریب برابر  $10 \text{ m/s}^2$  می‌گیریم. در این کتاب تنها حرکت سقوط آزاد بدون سرعت اولیه ( $v_0 = 0$ ) و با نادیده گرفتن مقاومت هوا بررسی می‌شود.

چون جسم در سقوط آزاد در راستای قائم حرکت می‌کند، برای تعیین مکان، سرعت و شتاب

جسم، مانند شکل ۲-۱۷، از یک محور قائم استفاده می‌کنیم و روی آن در یک سو، مثلاً به طرف بالا، را مثبت انتخاب می‌کنیم.

اگر جسمی در لحظه‌ی  $t = 0$  از مبدا مکان ( $y_0 = 0$ ) رها شود، یعنی  $(v_0 = 0)$ ، معادله‌های حرکت سقوط آزاد جسم به ترتیب زیر است:

$$v = -gt$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$v^2 = -2gy$$

توجه کنید که چون جهت شتاب در سقوط آزاد به طرف پایین است و سوی مثبت محور قائم به طرف بالا انتخاب شده است، در معادله‌های حرکت با شتاب ثابت در امتداد محور  $x$ ، به جای  $-g \rightarrow a$  و  $y \rightarrow x$  جای‌گذاری شده است. دوباره تأکید می‌شود که در این کتاب تنها سقوط آزاد بدون سرعت اولیه، ( $v_0 = 0$ )، مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۱۷

### مثال ۲-۱۷

گلوله‌ای از طبقه‌ی ششم ساختمانی رها می‌شود. مطلوب است  $(g = 10 \text{ m/s}^2)$

الف) مکان و سرعت گلوله ۱s پس از سقوط آزاد.

ب) اگر گلوله پس از ۳ ثانیه به زمین برخورد کند، فاصله‌ی گلوله را، پیش از رها شدن از سطح زمین، پیدا کنید.

حل: الف)  $y = -\frac{1}{2}gt^2 = -\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s}^2)(1\text{s})^2 = -5\text{m}$

$$v = -gt = (-10 \text{ m/s}^2)(1\text{s}) = -10 \text{ m/s}$$

توجه کنید چون مبدا مکان را محل رها شدن گلوله و سوی مثبت محور قائم به طرف بالا انتخاب شده است،  $y$  و  $v$  هر دو با علامت منفی به دست آمده‌اند.

ب)  $y = -\frac{1}{2}gt^2 = -\frac{1}{2}(10 \text{ m/s}^2)(3\text{s})^2 = -45\text{m}$

به این ترتیب ارتفاع گلوله پیش از رها شدن از سطح زمین برابر ۴۵m است.

### مثال ۲-۱۸

جسمی را از ارتفاع ۱۲۵ متری بالای سطح زمین رها می‌کنیم. مطلوب است  $(g = 10 \text{ m/s}^2)$

الف) زمان سقوط آزاد جسم،

ب) سرعت متوسط سقوط آزاد جسم،

پ) جابه‌جایی جسم را بین دو لحظه‌ی  $t_1 = 3\text{s}$  و  $t_2 = 4\text{s}$  پیدا کنید.

#### شبیه‌سازی



• حرکت سقوط آزاد



**حل:** الف) با توجه به شکل ۱۸-۲ داریم

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$-125\text{m} = -\frac{1}{2} \times (10\text{m/s}^2) t^2$$

$$t^2 = 25 \Rightarrow t = 5\text{s}$$

توجه کنید زمان همواره مقداری مثبت است.

ب) با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{-125\text{m}}{5\text{s}} = -25\text{m/s}$$

علامت منفی نشان می‌دهد جهت سرعت متوسط جسم به طرف زمین و بر خلاف راستای

مثبت محور  $y$  است.

پ) جابه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ی  $t_1 = 3\text{s}$  برابر است با:

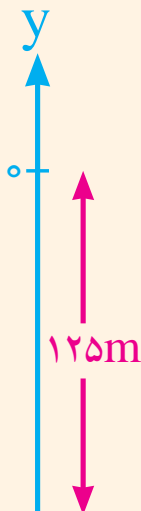
$$y_1 = -\frac{1}{2}(10\text{m/s}^2)(3\text{s})^2 = -45\text{m}$$

جابه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ی  $t_2 = 4\text{s}$  برابر است با:

$$y_2 = -\frac{1}{2}(10\text{m/s}^2)(4\text{s})^2 = -80\text{m}$$

به این ترتیب جابه‌جایی متحرک بین دو لحظه‌ی  $t_1$  و  $t_2$  برابر است با:

$$\Delta y = y_2 - y_1 = (-80\text{m}) - (-45\text{m}) = -35\text{m}$$



سطح زمین

شکل ۱۸-۲

بیش تر بدانید



• زمان تعلیق

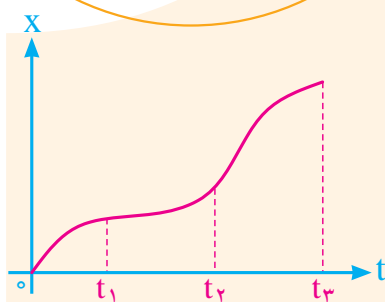
### تمرین ۲-۳

گلوله‌ای را باید از چه ارتفاعی رها کنیم تا پس از  $10$  ثانیه به زمین برسد؟ سرعت گلوله

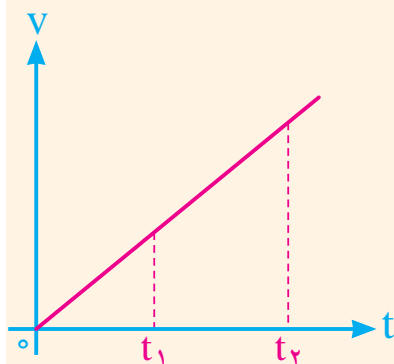
در لحظه‌ی برخورد به زمین چقدر است؟ ( $g = 10\text{m/s}^2$ )

### پرسش‌های مفهومی

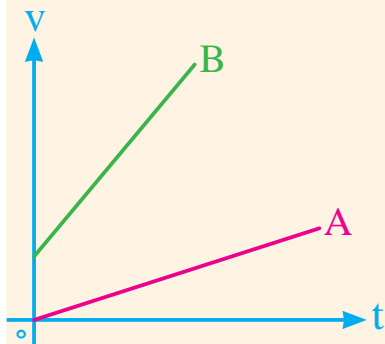
- ۱- در حرکت یکنواخت بر خط راست، سرعت متوسط متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه چه رابطه‌ای با سرعت متحرک در هر لحظه دارد؟
- ۲- در هریک از عبارتهای زیر، واژه‌ای را از داخل پرانتز که جمله را درست بیان می‌کند، انتخاب کنید.
  - الف) در حرکت روی خط راست (راستای، جهت) بردار مکان ثابت می‌ماند و تنها (سوی، امتداد) آن می‌تواند تغییر کند.
  - ب) اگر جسمی روی خط راست حرکت کند، معمولاً مبداء مختصات را روی خطی که جسم بر آن حرکت می‌کند در نظر می‌گیرند. در این صورت بردارهای مکان و جابه‌جایی بر آن خط (منطبق، عمود) هستند.
- ۳- در نمودار  $X-t$  شکل ۱۹-۲ سرعت متوسط متحرک را که در امتداد محور  $X$  حرکت می‌کند در بازه‌های  $(t_1, t_2)$  و  $(t_2, t_3)$  با هم مقایسه کنید.
- ۴- الف) در حرکت یکنواخت روی خط راست شتاب حرکت چقدر است؟  
 ب) شکل ۲۰-۲ نمودار سرعت-زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظه‌ی  $t_1$  و  $t_2$  با هم مقایسه کنید.
- ۵- نمودار  $v-t$  دو متحرک  $A$  و  $B$  در شکل ۲۱-۲ نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.



شکل ۱۹-۲



شکل ۲۰-۲



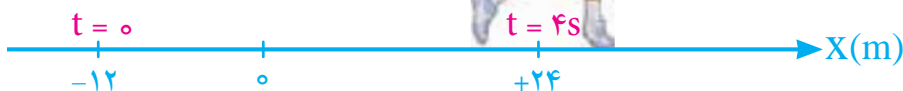
شکل ۲۱-۲

### مسئله‌ها

- ۱- متحرکی روی خط راست در حرکت است. معادله‌ی مکان-زمان این متحرک به صورت  $X = 2t + 3t^2$  است که در آن  $X$  بر حسب متر و  $t$  بر حسب ثانیه است.
  - الف) نمودار مکان-زمان این متحرک را رسم کنید.
  - ب) مکان متحرک را در دو لحظه‌ی  $t_1 = 0$  و  $t_2 = 3s$  و همچنین جابه‌جایی آن را بین این دو لحظه به دست آورید.
- ۲- دونه‌ای در لحظه‌ی  $t = 0$  (مبداء زمان) در مکان  $12m-$  و در لحظه‌ی  $t = 4s$  در مکان  $24m+$  است (شکل ۲۲-۲).



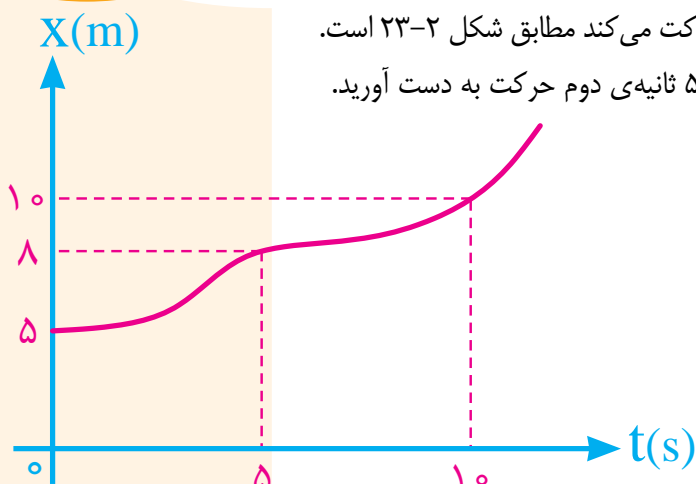
شکل ۲۲-۲



الف) بردارهای مکان دونده را در هر لحظه رسم کنید.

ب) بردار جابه‌جایی دونده را در بازه‌ی زمانی رسم و اندازه‌ی آن را پیدا کنید.

۳- نمودار مکان- زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند مطابق شکل ۲-۲۳ است. سرعت متوسط متحرک را در ۵ ثانیه‌ی اول و همچنین ۵ ثانیه‌ی دوم حرکت به دست آورید.



شکل ۲-۲۳

۴- معادله‌ی مکان - زمان ذره‌ای که در امتداد محور X حرکت می‌کند به صورت  $x=At^2-Bt+C$

است، که در آن X بر حسب متر و t بر حسب ثانیه است.

الف) ضریب‌های ثابت A، B، و C در SI چه یکایی دارند؟

ب) اگر مقدارهای A، B، و C در SI به ترتیب ۱، ۲، و ۴ باشد، جابه‌جایی و سرعت متوسط ذره در ۴

ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟

۵- متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند بین دو لحظه‌ی  $t_1=2s$  و  $t_2=10s$  به ترتیب

در فاصله‌های ۵m و ۵m- از مبدأ قرار دارد. سرعت متوسط متحرک بین این دو لحظه چقدر

است؟

۶- سرعت موتورسواری در لحظه‌ی  $t=2s$  برابر  $36\text{km/h}$  و در لحظه‌ی

$t_1=8s$  برابر  $54\text{km/h}$  است. شتاب متوسط این موتورسوار چقدر است؟

۷- اتومبیلی از حال سکون و با شتاب ثابت در امتداد خط راست شروع

به حرکت می‌کند و پس از ۳ ثانیه سرعت آن به  $18\text{km/h}$  می‌رسد.

الف) معادله‌ی سرعت- زمان اتومبیل را بنویسید.

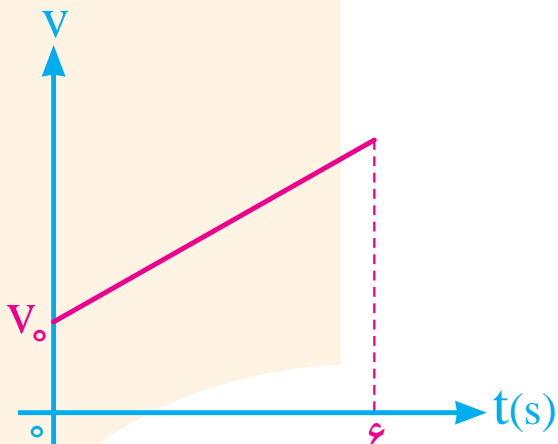
ب) نمودار سرعت- زمان اتومبیل را رسم کرده و سرعت آن را ۱۰ ثانیه

پس از شروع حرکت پیدا کنید.

۸- نمودار  $v-t$  متحرکی که بر مسیری مستقیم در حال حرکت است

مطابق شکل ۲-۲۴ است. معادله‌ی مکان- زمان این متحرک را پیدا

کنید. در  $t=0$  متحرک از مبدأ مکان عبور کرده است.



شکل ۲-۲۴

۹- گلوله‌ای را از ارتفاع ۸۰ متری سطح زمین در شرایط خلأ رها می‌کنیم. با فرض

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

الف) گلوله پس از چه مدت به زمین می‌رسد؟

ب) سرعت آن در لحظه‌ی برخورد به زمین چقدر است؟

پ) سرعت متوسط گلوله در مدت این حرکت چقدر است؟

۱۰- جسمی را در شرایط خلأ از یک بلندی رها می‌کنیم و پس از مدتی با سرعت  $30 \text{ m/s}$  به

زمین برخورد می‌کند. ارتفاع بلندی چند متر است؟ ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )