



جاده‌ای در تپه‌های جنوب سمنان

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

حرکت شناسی

هنگامی که در راه مدرسه به اطراف خود نگاه می کنید، حرکت های بسیاری را مشاهده می کنید. افرادی که از شما دور می شوند یا به شما نزدیک می شوند، اتومبیل هایی که در حرکت اند، پرندگانی که پرواز می کنند، برگی که از درخت می افتد و حرکت های بسیاری دیگر که هر روز مشاهده می کنید.





الف



ب
شکل ۱-۲

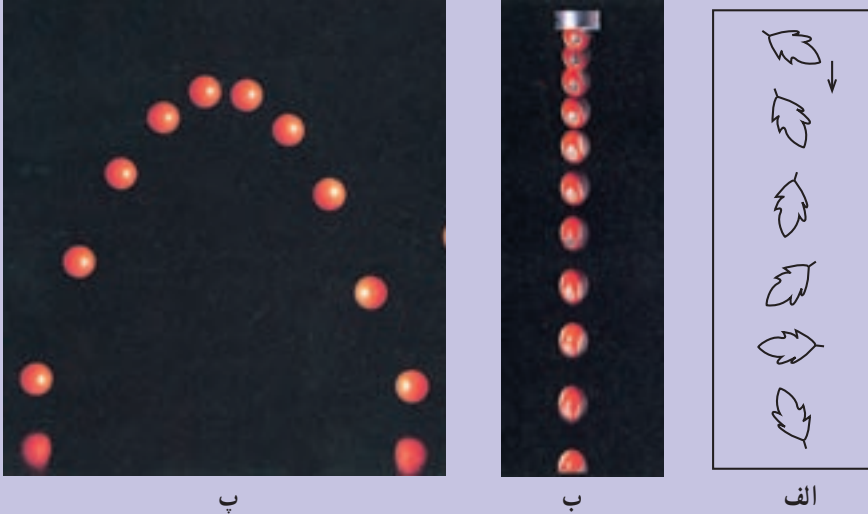
زمانی که حرکت‌هایی نظیر افتادن یک برگ از شاخهٔ درخت یا حرکت یک اتومبیل و مانند آن‌ها را مشاهده می‌کنیم گرچه ظاهراً جسمی را می‌بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می‌کند یا جابه‌جا می‌شود، ولی در بیش‌تر موارد همه بخش‌های جسم به یک اندازه جابه‌جا نشده‌اند و حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه‌سوار را در نظر بگیرید (شکل ۱-۲ - الف). اگرچه این حرکت ساده به نظر 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. به همین ترتیب هریک از اجزای دوچرخه علاوه بر حرکت به همراه دوچرخه، خودشان نیز حرکت‌های دیگری دارند. بعضی از آن‌ها تندتر و بعضی دیگر کندتر در حرکتند.

در شکل (۱-۲-ب) تصویری از یک دوندۀ را می‌بینید. برای تهیه این تصویر، لامپ‌های کوچکی بر روی نقاط مختلفی از بدن دوندۀ که مسیر حرکت آن مورد نظر است، نصب شده است و سپس در طول زمان حرکت از آن عکس‌برداری شده است. همان‌طور که دیده می‌شود هریک از اندام‌ها، حرکت پیچیده‌ای دارند.

این پیچیدگی‌ها، باعث می‌شود که بررسی و توصیف جزئیات حرکت‌هایی که به‌طور معمول با آن‌ها برخورد می‌کنیم، پیچیده و دشوار باشد. بررسی حرکت را از حالتی ساده یعنی حرکت یک جسم بدون در نظر گرفتن حرکت جداگانه هریک از اجزای آن شروع کنیم.

تمرین ۱-۲

در تصویر (الف) یک برگ، در تصویر (ب) یک گلوله کوچک در حال سقوط و در تصویر (پ) گلوله‌ای که به طور غیرقائم به بالا پرتاب شده است، دیده می‌شود. به نظر شما کدام یک از این حرکت‌ها ساده‌تر و بررسی کدام یک دشوارتر است؟ چرا؟



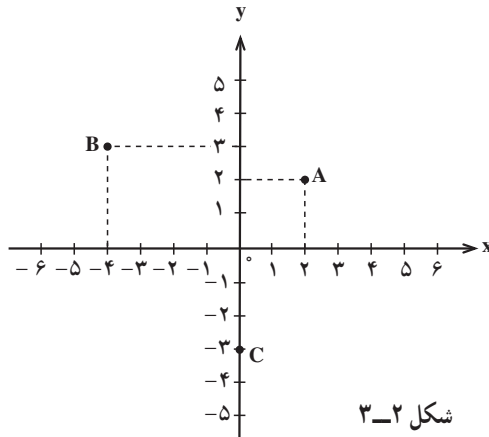
شکل ۲-۲

در ادامه، به منظور سهولت بررسی حرکت یک جسم و در جهت دست‌یابی به زبانی مشترک برای توصیف آن، به تعریف چند کمیت می‌پردازیم.

۱-۲- بردار مکان و بردار جابه‌جایی

برای توصیف و بررسی حرکت یک جسم باید بتوان معلوم کرد که آن جسم در هر زمانی در چه مکانی قرار دارد یا در چه زمانی به چه مکانی می‌رسد. همان‌طور که در درس ریاضی دیده‌اید، برای معرفی مکان یک نقطه می‌توان دستگاه مختصاتی اختیار کرد و مکان نقطه را در آن دستگاه معرفی کرد.

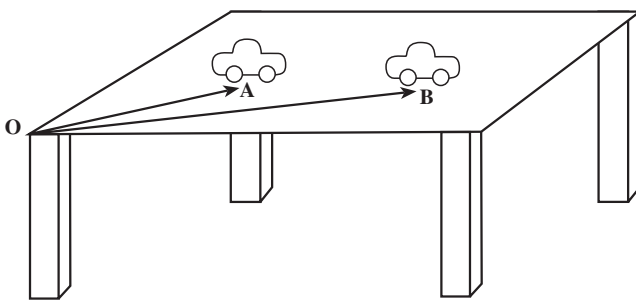
در شکل (۲-۳) مکان نقطه‌های $A(2, 2)$ ، $B(-4, 3)$ و $C(0, -3)$ در صفحه شکل نشان داده شده است.



شکل ۳-۲

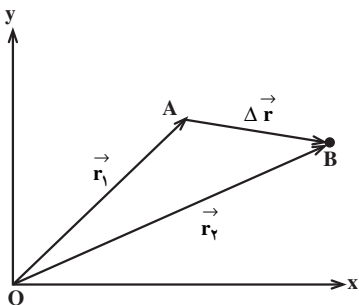
در بررسی حرکت یک جسم نیز، برای نشان دادن مکان جسم از دستگاه مختصات استفاده می‌کنیم.

یک ماشین اسباب‌بازی را در نظر بگیرید که بر روی میزی حرکت می‌کند و در لحظه t_1 (مثلاً ساعت 1°) در مکان A و در لحظه t_2 (مثلاً ساعت 1° و 1 دقیقه) در مکان B قرار دارد. اگر یکی از گوشه‌های میز را مبدأ اختیار کنیم، مکان ماشین در دو لحظه t_1 و t_2 را می‌توان مانند شکل (۴-۲) به ترتیب با بردار \vec{OA} و بردار \vec{OB} نشان داد. بردارهای \vec{OA} و \vec{OB} را به ترتیب بردار مکان



شکل ۴-۲

در لحظه t_1 و بردار مکان در لحظه t_2 می‌گوییم. بردار مکان برداری است که مکان جسم را در هر لحظه مشخص می‌کند. ابتدای این بردار، مبدأ مختصات و انتهای آن مکان جسم است و معمولاً آن را با نماد \vec{r} نشان می‌دهیم.



جابه‌جایی (یا تغییر مکان): جابه‌جایی یک متحرک بین دو لحظه t_1 و t_2 برداری است که ابتدای آن مکان متحرک در لحظه t_1 و انتهای آن مکان متحرک در لحظه t_2 باشد. در شکل (۵-۲) بردار \vec{AB} تفاضل دو بردار \vec{OB} و \vec{OA}

است. یعنی $\vec{\Delta r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$

شکل ۵-۲

$\Delta \vec{r}$ بردار جابه‌جایی بین دو لحظه t_1 و t_2 (یا در بازه زمانی $\Delta t = t_2 - t_1$) است.

مثال ۲-۱

در شکل (۲-۶)، بردار مکان متحرکی

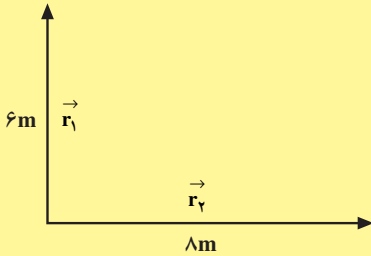
در دو لحظه t_1 و t_2 به ترتیب \vec{r}_1 و \vec{r}_2 است. اگر بزرگی هریک از بردارها به ترتیب 6m و 8m و زاویه بین آنها 90° باشد، بزرگی جابه‌جایی بین این دو لحظه چقدر است؟

حل: با توجه به شکل (۲-۷)، بردار

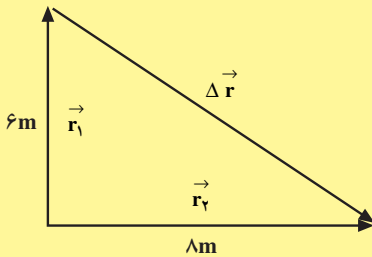
جابه‌جایی یعنی $\Delta \vec{r}$ وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که بزرگی اضلاع آن 6m و 8m است. بنابراین بزرگی جابه‌جایی برابر با:

$$\Delta r = \sqrt{36 + 64} = \sqrt{100} = 10 \text{ m}$$

است.



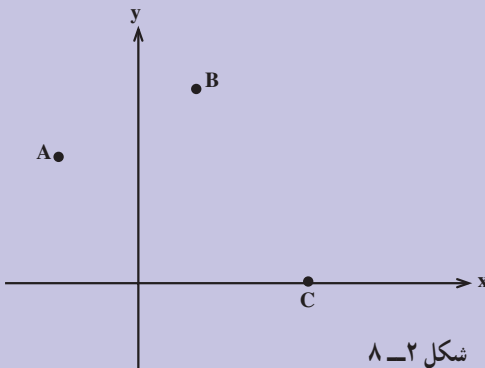
شکل ۲-۶



شکل ۲-۷

تمرین ۲-۲

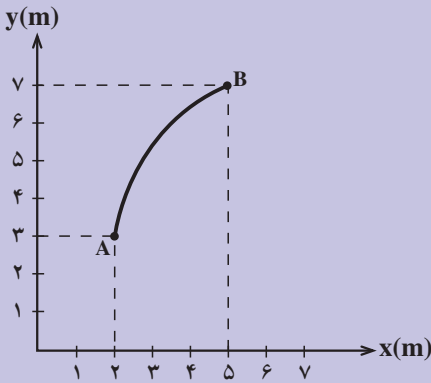
در شکل (۲-۸) متحرکی در لحظه‌های t_1 ، t_2 و t_3 به ترتیب از نقطه‌های A،



شکل ۲-۸

و C عبور کرده است. بردارهای مکان را در لحظه‌های t_1 ، t_2 و t_3 و بردارهای جابه‌جایی را بین دو لحظه t_1 و t_2 و بین دو لحظه t_2 و t_3 و بین دو لحظه t_1 و t_3 رسم کنید.

تمرین ۳-۲



شکل ۹-۲

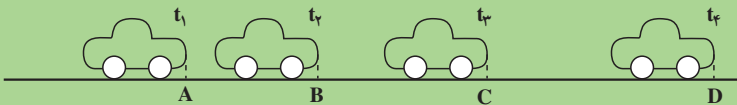
در شکل (۲-۹)، مسیر حرکت متحرکی به صورت منحنی \widehat{AB} نشان داده شده است. بردار جابه‌جایی بین دو نقطه A و B را رسم کنید و بزرگی آن را به دست آورید.

۲-۲- حرکت بر روی خط راست

این نوع حرکت، یکی از ساده‌ترین انواع حرکت است. در این حرکت، مسیر خط راست است. در حرکت بر روی خط راست اگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنیم، بردارهای مکان و بردارهای جابه‌جایی هم راستا هستند و این سبب می‌شود که محاسبه بر روی این بردارها به سادگی انجام پذیرد.

فعالیت ۱-۲

متحرکی نظیر یک اتومبیل را در نظر بگیرید که در مسیری به شکل خط راست در حرکت است. شکل (۲-۱) این اتومبیل را در لحظه‌های t_1 ، t_2 ، t_3 و t_4 در مکان‌های A، B، C و D بر روی مسیر نشان می‌دهد. شکل را مجدداً روی صفحه کاغذ رسم کنید. یک بار مبدأ را در خارج از مسیر و بار دیگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنید و در هر یک از دو حالت بردارهای مکان را رسم کنید. به نظر شما در حرکت بر روی خط راست با معلوم بودن بزرگی بردار مکان در هر یک از دو لحظه t_1 و t_2 محاسبه بزرگی بردار جابه‌جایی در کدام حالت ساده‌تر است؟ چرا؟



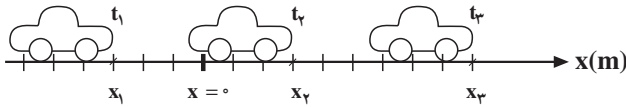
شکل ۱-۲

تمرین ۴-۲

در حرکت بر روی خط راست، بردارهای جابه‌جایی در بازه‌های زمانی متفاوت از نظر راستا و سو نسبت به هم چه وضعی دارند؟

اگر یکی از محورهای مختصات (ox یا oy) را به‌عنوان مسیر حرکت در نظر بگیرید، می‌توانید مکان متحرک را در هر لحظه به‌وسیله مختصه آن (مثلاً مختصه x) که عددی مثبت یا منفی مشخص کنید.

در شکل (۱۱-۲) مسیر حرکت و مکان متحرک در لحظه‌های t_1 ، t_2 و t_3 نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲

در لحظه t_1 مکان متحرک $x_1 = -3\text{m}$ و در لحظه t_2 مکان آن $x_2 = +3\text{m}$ و در لحظه t_3 مکان آن $x_3 = 9\text{m}$ است. از این به بعد در حرکت بر روی خط راست، مکان متحرک را با مختصه مکان مشخص می‌کنیم.

تمرین ۵-۲

شکل (۱۱-۲) را بر روی یک کاغذ به دقت رسم کنید و بزرگی جابه‌جایی را بین بازه‌های زمانی (t_1, t_2) ، (t_2, t_3) و (t_1, t_3) به‌دست آورید. بردار جابه‌جایی را در هر یک از بازه‌های گفته شده رسم کنید.

۳-۲- نمودار مکان-زمان

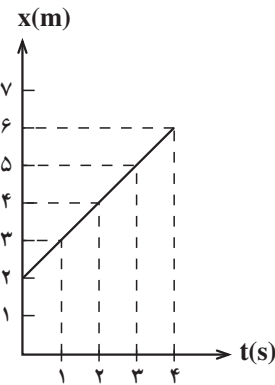
برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نموداری که مکان جسم را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد، استفاده کرد. در بسیاری از موارد رسم این نمودار برای بررسی حرکت بسیار مناسب است. برای رسم این نمودار، غالباً زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم مشخص

می‌کنیم. برای این کار با توجه به ارقام درون جدول، مقیاس مناسبی برای هر محور انتخاب می‌کنیم. به عنوان مثال، برای مکان هر متر جابه‌جایی را با $5/5^\circ$ سانتی‌متر روی محور مکان و برای زمان هر یک ثانیه را با یک سانتی‌متر یا نیم‌سانتی‌متر روی محور زمان نشان می‌دهیم. پس از آن نمودار را به روش نقطه‌یابی رسم می‌کنیم.

در جدول (۱-۲) مکان متحرکی در حرکت بر روی خط راست در چند لحظه داده شده است و نمودار مکان - زمان آن در شکل (۲-۱۲)

جدول ۱-۲

t (ثانیه)	۰	۱	۲	۳	۴
x (متر)	۲	۳	۴	۵	۶



شکل ۲-۱۲

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 لحظه $t = 0$ متحرک در دو متری مبدأ بوده است. یا در بازه $\Delta t = 4 - 3 = 1s$ جابه‌جایی آن $\Delta x = 1m$ است.

تمرین ۲-۶

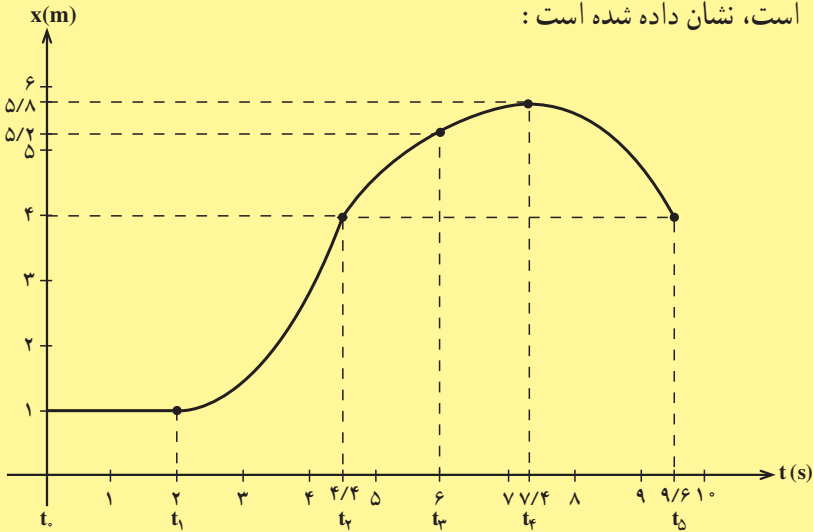
جدول (۲-۲) فاصله متحرکی را تا مبدأ در لحظه‌های داده شده در جدول نشان می‌دهد. نمودار مکان - زمان این متحرک را رسم کنید.

جدول ۲-۲

t(s)	۰	۱	۲	۳	۴	۵
x(m)	۰	۱/۵	۳	۵/۵	۸	۱۱/۵

مثال ۲-۲

در شکل (۲-۱۳)، نمودار مکان - زمان متحرکی که بر خط راست در حرکت است، نشان داده شده است:



شکل ۲-۱۳

الف - در هریک از بازه‌های زمانی $t_1 - t_0$ و $t_2 - t_1$ و $t_5 - t_4$ جابه‌جایی چقدر است؟

ب - بیش‌ترین فاصله متحرک تا مبدأ چقدر است و متحرک در چه لحظه‌ای در این فاصله است؟

پ - از لحظه t_4 تا لحظه t_5 جابه‌جایی چقدر و در چه جهتی است؟

ت - در کدام لحظه جهت حرکت عوض شده است؟

حل: الف - همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، از لحظه صفر تا ۲ ثانیه، مکان

جسم تغییر نکرده و جسم ساکن مانده است. بنابراین، جابه‌جایی در بازه $t_1 - t_0$ برابر

صفر است. در لحظه t_1 متحرک در مکان $x_1 = 1\text{m}$ و در لحظه t_2 در مکان $x_2 = 4\text{m}$

است. بنابراین جابه‌جایی در بازه $t_2 - t_1$ برابر است با: $\Delta x = x_2 - x_1 = 4 - 1 = 3\text{m}$

به همین ترتیب جابه‌جایی در بازه $t_5 - t_4$ برابر است با: $\Delta x = x_5 - x_4 = 4 - 4 = 0$

ب - در لحظه $t_4 = 7.75\text{s}$ فاصله تا مبدأ بیشترین مقدار و برابر $x_4 = 5.8\text{m}$

است.

پ - جابه‌جایی در بازه $t_5 - t_4$ برابر است با: $\Delta x = x_5 - x_4 = 4 - 5.8 = -1.8\text{m}$

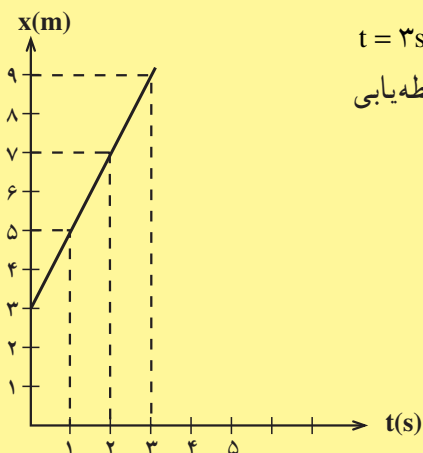
چون جابه‌جایی در این بازه منفی است، معلوم می‌شود که در این بازه جهت حرکت خلاف جهت محور x است. یعنی متحرک برگشته است.

ت- با توجه به نمودار معلوم می‌شود تا لحظه t_4 متحرک از مبدأ دور و از لحظه t_4 تا t_5 به مبدأ نزدیک شده است. یعنی در لحظه t_4 ، جهت حرکت عوض شده است (قبل از لحظه t_4 جابه‌جایی مثبت و از لحظه t_4 تا لحظه t_5 جابه‌جایی منفی است).

مثال ۲-۳

متحرکی بر روی خط راست در حرکت است. رابطه بین مکان این متحرک با زمان به صورت $x = 2t + 3$ است که در آن x به متر و t به ثانیه است. نمودار مکان- زمان این متحرک را رسم کنید و مکان متحرک در دو لحظه $t_1 = 0$ و $t_2 = 3s$ و جابه‌جایی بین این دو لحظه را به دست آورید.

حل: برای رسم نمودار، مکان را در چند لحظه از جمله در $t = 0$ (لحظه صفر، لحظه شروع اندازه‌گیری زمان است و به آن مبدأ زمان می‌گوییم) و $t = 1s$ و $t = 2s$ و $t = 3s$ به دست می‌آوریم و سپس به روش نقطه‌یابی نمودار را رسم می‌کنیم.



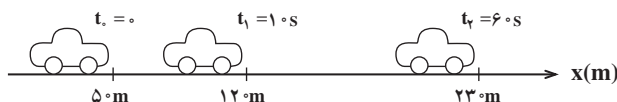
$t(s)$	0	1	2	3
$x(m)$	3	5	7	9

شکل ۲-۱۴

و جابه‌جایی بین $t_1 = 0$ و $t_2 = 3s$ برابر است با: $\Delta x = x_2 - x_1 = 9 - 3 = 6m$ یادآوری: 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 $t = 0$ و $t = 1s$ می‌توان نمودار را رسم نمود.

۴-۲- سرعت متوسط

شکل زیر مکان اتومبیلی را که در حرکت است در چند لحظه متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۱۵-۲

الف - بزرگی جابه‌جایی را در بازه‌های $t_1 - t_0$ و $t_2 - t_1$ به دست آورید.

ب - در هریک از این بازه‌ها اتومبیل به طور متوسط در هر ثانیه چقدر جابه‌جا شده است؟

حل: الف - جابه‌جایی در بازه $\Delta t = t_1 - t_0 = 10\text{ s}$ برابر است با $\Delta x = x_1 - x_0 = 120 - 50 = 70\text{ m}$.

و جابه‌جایی در بازه $\Delta t = t_2 - t_1 = 50\text{ s}$ برابر است با $\Delta x = x_2 - x_1 = 230 - 120 = 110\text{ m}$.

ب - با تقسیم جابه‌جایی به بازه زمانی مربوط به آن، معلوم می‌شود متحرک به طور متوسط در

هر ثانیه چقدر جابه‌جا شده است.

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{70}{10} = 7\text{ m/s}$$

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{110}{50} = 2.2\text{ m/s}$$

به این ترتیب می‌توان با معلوم بودن جابه‌جایی در یک بازه زمانی، متوسط جابه‌جایی در هر ثانیه را در آن بازه زمانی به دست آورد که آن را **سرعت متوسط** در آن بازه زمانی می‌نامیم. اگر بزرگی سرعت متوسط را با نماد \bar{v} نشان دهیم، داریم:

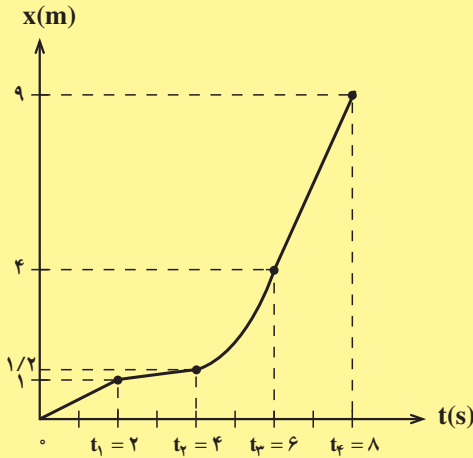
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1-2)$$

سرعت متوسط کمیتی برداری است که با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است. یکای سرعت متوسط متر بر ثانیه (m/s) است.

مثال ۴-۲

در شکل (۱۶-۲) نمودار مکان - زمان متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، نشان داده شده است.

الف - در جدولی هر یک از بازه‌های زمانی صفر تا ۲s و ۲s تا ۴s و ۴s تا ۶s و ۶s تا ۸s و جابه‌جایی مربوط به هر بازه را نشان دهید.



شکل ۲-۱۶

ب - آیا می‌توانید تعیین کنید که در کدام بازه متحرک تندتر حرکت کرده است؟
 پ - در هر یک از این بازه‌های زمانی سرعت متوسط متحرک چقدر است؟
 حل: الف - مقادیر Δx و Δt در جدول زیر محاسبه شده‌اند.
 ب - با توجه به مقادیر جدول در بازه زمانی $t_4 - t_3$ بزرگی جابه‌جایی بیش‌تر از جابه‌جایی‌های دیگر است. یعنی در این بازه زمانی، متحرک تندتر حرکت کرده است.

$\Delta x(m)$	$\Delta t(s)$
$x_1 - x_0 = 1 - 0 = 1$	$t_1 - t_0 = 2 - 0 = 2$
$x_2 - x_1 = 1/2 - 1 = -1/2$	$t_2 - t_1 = 4 - 2 = 2$
$x_3 - x_2 = 4 - 1/2 = 7/2$	$t_3 - t_2 = 6 - 4 = 2$
$x_4 - x_3 = 9 - 4 = 5$	$t_4 - t_3 = 8 - 6 = 2$

پ -

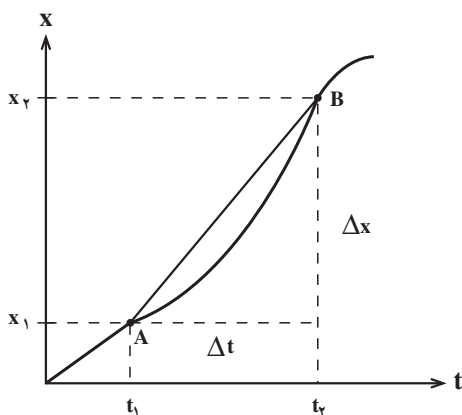
$$\bar{v}_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} = \frac{1}{2} \text{ m/s}$$

$$\bar{v}_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2} = \frac{-1/2}{2} = -1/4 \text{ m/s}$$

$$\bar{v}_3 = \frac{\Delta x_3}{\Delta t_3} = \frac{7/2}{2} = 7/4 \text{ m/s}$$

$$\bar{v}_4 = \frac{\Delta x_4}{\Delta t_4} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ m/s}$$

تعیین سرعت متوسط به کمک نمودار مکان - زمان - نمودار مکان - زمان متحرکی در شکل (۱۷-۲) نشان داده شده است. متحرک در لحظه t_1 در مکان x_1 و در لحظه t_2 در مکان x_2 است. سرعت متوسط متحرک در بازه زمانی Δt برابر است با $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$. همان طور که در درس



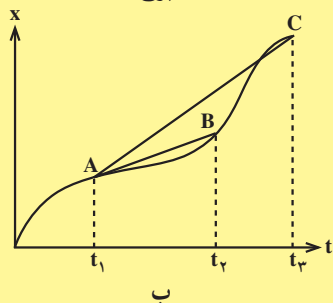
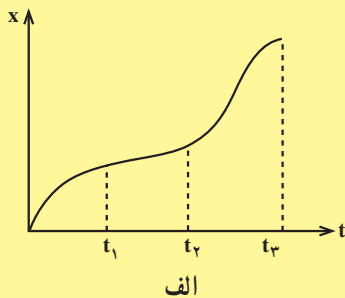
ریاضی دیده‌اید نسبت $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ شیب خطی است که دو نقطه $A(t_1, x_1)$ و $B(t_2, x_2)$ را به یکدیگر وصل می‌کند.

با توجه به این که $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ است، می‌توان گفت سرعت متوسط بین دو نقطه از نمودار مکان - زمان برابر شیب خطی است که آن دو نقطه را به یکدیگر وصل می‌کند.

شکل ۱۷-۲

مثال ۵-۲

در نمودار شکل (۱۸-۲ الف) سرعت متوسط را در بازه‌های $t_2 - t_1$ و $t_3 - t_1$ با هم مقایسه کنید.



شکل ۱۸-۲

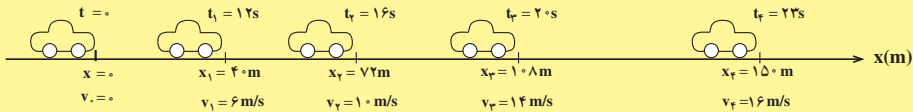
حل: در شکل (۱۸-۲ ب) خط‌های AB و AC به ترتیب بین دو لحظه t_1 و t_2 و دو لحظه t_1 و t_3 رسم شده‌اند. شیب پاره خط AB برابر سرعت متوسط در بازه $t_2 - t_1$ است و شیب پاره خط AC برابر سرعت متوسط در بازه $t_3 - t_1$ است. و چون شیب پاره خط AC بیش‌تر از شیب پاره خط AB است، بنابراین سرعت متوسط در بازه $t_3 - t_1$ بزرگ‌تر از سرعت متوسط در بازه $t_2 - t_1$ است.

۲-۵- سرعت لحظه‌ای

هنگامی که یک اتومبیل در حرکت است اگر به سرعت‌سنج آن نگاه کنیم مشاهده می‌کنیم که عقربه آن در هر لحظه مقدار مشخصی را نشان می‌دهد. اگر سرعت اتومبیل زیاد شود عقربه مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. رابطه بین سرعت متوسط و سرعتی که سرعت‌سنج اتومبیل نشان می‌دهد چیست؟ برای پاسخ به این پرسش به مثال زیر توجه کنید.

مثال ۲-۶

شکل (۲-۱۹) اتومبیلی را که بر مسیر مستقیم در حال حرکت است در لحظه‌های مختلف نشان می‌دهد. مکان و مقداری که سرعت‌سنج اتومبیل نشان می‌دهد در لحظه‌های صفر، ۱۲s، ۱۶s، ۲۰s، ۲۳s در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۹

الف - بازه‌های زمانی $t_4 - t_1$ ، $t_3 - t_1$ و $t_2 - t_1$ ، جابه‌جایی و سرعت متوسط مربوط به هر یک از این بازه‌ها را در جدولی ثبت کنید.

ب - در کدام بازه زمانی سرعت متوسط به مقداری که سرعت‌سنج اتومبیل در لحظه t_1 نشان می‌دهد نزدیک‌تر است؟

حل: الف

$\Delta t(s)$	$\Delta x(m)$	$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} (m/s)$
$t_4 - t_1 = 23 - 12 = 11$	$x_4 - x_1 = 150 - 40 = 110$	۱۰
$t_3 - t_1 = 20 - 12 = 8$	$x_3 - x_1 = 108 - 40 = 68$	۸/۵
$t_2 - t_1 = 16 - 12 = 4$	$x_2 - x_1 = 72 - 40 = 32$	۸

ب - همان‌طور که در جدول دیده می‌شود سرعت متوسط در بازه زمانی $t_2 - t_1$ کوچکتر از بازه‌های $t_3 - t_1$ و $t_4 - t_1$ است.

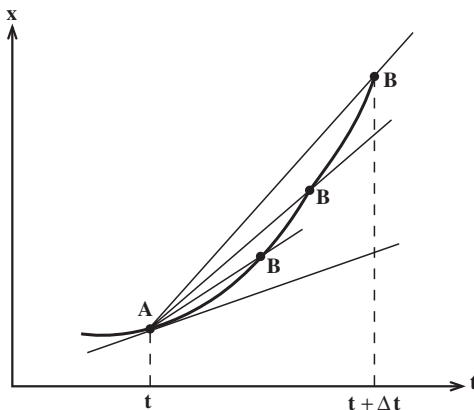
از مقایسه جواب‌های بند (ب) مثال بالا می‌توان نتیجه گرفت که هرچه بازه زمانی کوچکتر باشد سرعت متوسط به سرعتی که سرعت‌سنج نشان می‌دهد نزدیکتر خواهد بود. سرعت متوسط در حدی

که بازه زمانی فوق العاده کوچک می شود سرعت لحظه ای نامیده می شود در واقع می توان گفت که سرعت سنج اتومبیل سرعت لحظه ای را نشان می دهد سرعت لحظه ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می نامیم. جدول ۱-۲، برخی از سرعت های تقریبی را نشان می دهد.

جدول ۱-۲- برخی از سرعت های تقریبی

10^{-3} m/s	۱. سرعت حلزون
2 m/s	۲. راه رفتن سریع
10 m/s	۳. دوندۀ دو سرعت
30 m/s	۴. سرعت پیشینه اتومبیل در بزرگراه
500 m/s	۵. حرکت کاتوره ای مولکول های هوا
1000 m/s	۶. سریع ترین هواپیما
3000 m/s	۷. ماهواره مخابراتی در مدار
8300 m/s	۸. سرعت فضایی خاص
$2/98 \times 10^4 \text{ m/s}$	۹. سرعت مداری زمین
$4/17 \times 10^4 \text{ m/s}$	۱۰. سرعت دنباله دار هالی
$2 \times 10^6 \text{ m/s}$	۱۱. سرعت الکترون در حرکت مداری

تعیین سرعت لحظه ای به کمک نمودار مکان- زمان: دیدیم که سرعت متوسط بین دو لحظه



شکل ۱-۲- با کوچک شدن Δt نقطه B به A نزدیک می شود.

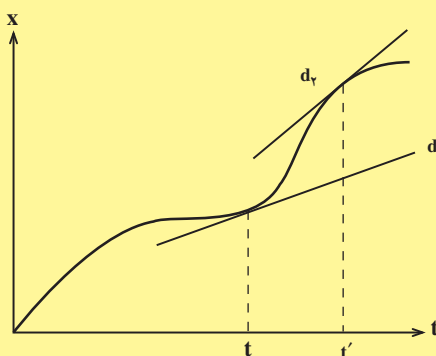
شیب خطی است که نمودار مکان- زمان را در آن دو لحظه قطع می کند. در شکل (۲-۲۰) می بینید که اگر Δt به تدریج کوچک و کوچک تر شود، نقطه های A و B به هم نزدیک و نزدیک تر می شوند به طوری که اگر Δt فوق العاده کوچک شود A و B هم خیلی خیلی به هم نزدیک می شوند و در نهایت خط AB در نقطه A بر نمودار مماس می شود. در این حالت، شیب خط مماس برابر سرعت لحظه ای متحرک در لحظه t است.

پس می‌توان نتیجه گرفت که سرعت در هر لحظه برابر شیب مماس بر نمودار مکان-زمان در آن لحظه است.

مثال ۲-۷

در شکل زیر شیب مماس d_1 سرعت در لحظه t و شیب مماس d_2 سرعت در لحظه t' است. در کدام لحظه سرعت بیش‌تر است؟

حل: همان‌طور که در شکل دیده می‌شود چون شیب d_2 بیش‌تر از شیب d_1



است، $v' > v$ است (سرعت در لحظه t' بیش‌تر از سرعت در لحظه t است). با اندازه‌گیری شیب مماس بر منحنی نمودار مکان-زمان می‌توان سرعت لحظه‌ای را به‌دست آورد.

شکل ۲-۲۱

تمرین ۲-۷

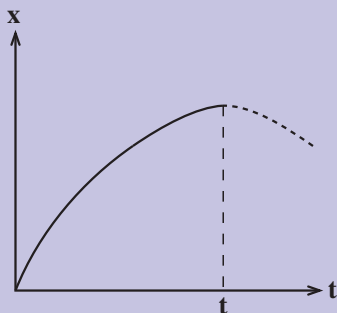
شکل (۲-۲۲) نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد.

الف - از لحظه صفر تا t سرعت رو به افزایش است یا کاهش؟

ب - اگر در لحظه t مماس بر نمودار

موازی محور t باشد، سرعت در این لحظه

چقدر است؟



شکل ۲-۲۲

۲-۶- حرکت یکنواخت بر خط راست

هرگاه سرعت لحظه‌ای متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، در تمام لحظه‌ها یکسان باشد، حرکت آن یکنواخت نامیده می‌شود. در این حرکت نمودار مکان - زمان یک خط راست است (چرا؟) و در نتیجه سرعت متوسط بین هر دو لحظه دلخواه برابر با سرعت لحظه‌ای می‌شود. چرا؟ بنابراین:

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

از رابطه (۲-۲) می‌توان نوشت:

$$\Delta x = v \Delta t \quad (3-2)$$

هرگاه فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه $t = 0$ برابر x_0 و فاصله آن تا مبدأ در لحظه t برابر x باشد:

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

و یا:

$$x = vt + x_0 \quad (4-2)$$

در این رابطه که آن را معادله حرکت یکنواخت می‌نامند، x فاصله تا مبدأ (مکان) بر حسب متر، v سرعت لحظه‌ای بر حسب متر بر ثانیه، t زمان بر حسب ثانیه و x_0 فاصله تا مبدأ در لحظه صفر بر حسب متر است. با توجه به آن چه قبلاً گفته شد، ممکن است مکان مثبت یا منفی باشد. سرعت هم در صورتی که در جهت محور x یا y باشد مثبت، در غیر این صورت منفی است.

مثال ۲-۱

معادله حرکت جسمی که روی خط راست حرکت می‌کند، در SI به صورت $x = 4t$ است.

الف - فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه‌های $t_1 = 2s$ و $t_2 = 5s$ چقدر است؟
جابه‌جایی جسم بین دو لحظه t_1 و t_2 چقدر است؟

ب - سرعت متحرک چقدر است؟ نمودار مکان - زمان آن را رسم کنید.

حل: الف - فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه t_1

$$x_1 = 4t_1 = 4 \times 2 = 8m$$

فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه t_2

$$x_2 = vt_2 = 4 \times 5 = 20 \text{ m}$$

و جابه‌جایی متحرک بین این دو لحظه

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 20 - 8 = 12 \text{ m}$$

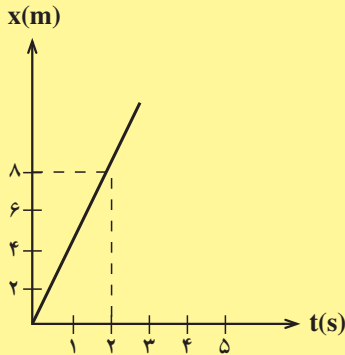
می‌باشد.

ب - در حرکت یکنواخت داریم:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{12}{5-2} = 4 \text{ m/s}$$

با توجه به مقادیر به دست آمده برای t و x ، نمودار را به روشی که قبلاً گفته

شد، رسم می‌کنیم.



t(s)	۰	۲
x(m)	۰	۸

شکل ۲-۲۳

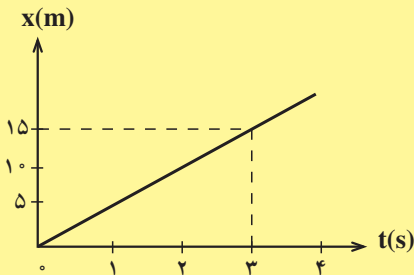
مثال ۲-۹

نمودار مکان-زمان جسمی

که بر روی خط راست حرکت

می‌کند، مطابق شکل (۲-۲۴)

است.



شکل ۲-۲۴

الف - آیا سرعت این حرکت ثابت است؟ اندازهٔ سرعت چقدر است؟
 ب - فاصلهٔ آن تا مبدأ در لحظهٔ صفر و معادلهٔ حرکت آن و جابه‌جایی آن بین دو لحظهٔ $t_1 = 2s$ و $t_2 = 5s$ را محاسبه کنید.

حل: الف - چون نمودار مکان - زمان خط راست است حرکت یکنواخت، و شیب نمودار برابر سرعت است. با توجه به شکل، شیب نمودار $5 = \frac{15}{3}$ ، یعنی $v = 5 \text{ m/s}$ است.

ب - در لحظهٔ $t = 0$ ، $x = 0$ و $x_0 = 0$ است. بنابراین:

$$x = vt + x_0 \quad \text{معادله حرکت}$$

$$x = 5t$$

$$x_1 = 5 \times 2 = 10 \text{ m} \quad \text{و} \quad x_2 = 5 \times 5 = 25 \text{ m}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 25 - 10 = 15 \text{ m} \quad \text{جابه‌جایی بین دو لحظه}$$

تمرین ۸-۲

جسمی با سرعت ثابت v بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر در لحظهٔ $t_1 = 5s$ فاصلهٔ آن تا مبدأ 6 m و در لحظهٔ $t_2 = 20s$ فاصلهٔ آن تا مبدأ 36 m باشد، سرعت و فاصلهٔ آن تا مبدأ در لحظهٔ صفر چقدر است؟ معادلهٔ مکان - زمان را بنویسید. نمودار مکان - زمان را رسم کنید.

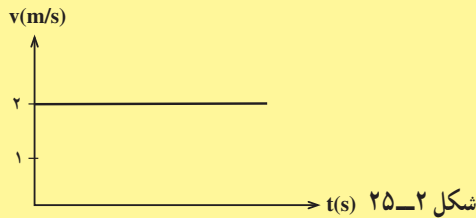
۲-۷ - نمودار سرعت - زمان

دیدیم از نمودار مکان - زمان می‌توان اطلاعاتی در مورد حرکت جسم، مثلاً سرعت یا مکان متحرک و سرعت متوسط آن به دست آورد. به همین ترتیب می‌توان از نمودار سرعت - زمان هم اطلاعاتی دربارهٔ حرکت جسم به دست آورد. برای رسم نمودار سرعت - زمان در دستگاه مختصات $v-t$ ، محور قائم برای سرعت و محور افقی را برای زمان اختیار می‌کنیم و به ترتیبی که برای نمودار مکان - زمان گفته شد، این نمودار را رسم می‌کنیم.

مثال ۲-۱۰

متحرکی با سرعت ثابت در مسیر مستقیم در حرکت است. در لحظه $t_1 = 2s$ در فاصله ۵ متر و در لحظه $t_2 = 12s$ در فاصله ۲۵ متری از مبدأ است. نمودار سرعت - زمان آن را رسم کنید.

$$\text{حل: در حرکت با سرعت ثابت داریم: } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{25-5}{12-2} = \frac{20}{10} = 2 \text{ m/s}$$

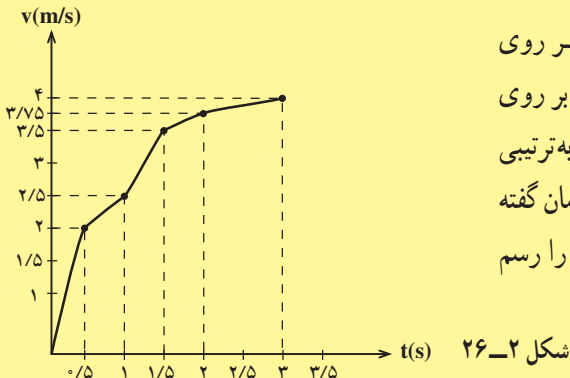


چون در حرکت یکنواخت سرعت ثابت است، نمودار سرعت - زمان به صورت یک خط راست موازی محور زمان است.

مثال ۲-۱۱

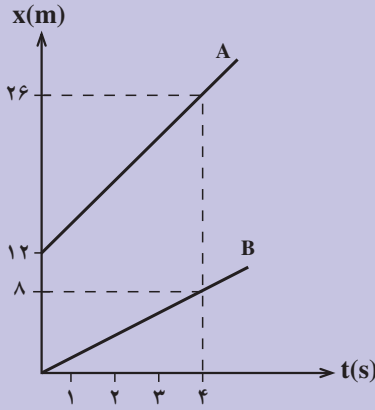
در جدول زیر سرعت متحرکی که بر روی خط راست در حرکت است در چند لحظه مشخص شده است. نمودار سرعت - زمان آن را رسم کنید.

زمان به s	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۳
سرعت به m/s	۰	۲	۲/۵	۳/۵	۳/۷۵	۴



حل: زمان‌ها را بر روی محور افقی و سرعت‌ها را بر روی محور قائم ثبت می‌کنیم و به ترتیبی که برای نمودار مکان - زمان گفته شد، نمودار سرعت - زمان را رسم می‌کنیم.

تمرین ۲-۹



شکل (۲-۲۷) نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد. سرعت هر یک از آن‌ها را حساب کنید و نمودار سرعت-زمان هر کدام را رسم و معادله حرکت هر یک از آن‌ها را بنویسید.

شکل ۲-۲۷

۲-۸- شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

هنگامی که اتومبیل از حال سکون به راه می‌افتد، با مشاهده سرعت‌سنج اتومبیل 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. شتاب متوسط برابر نسبت تغییر سرعت به بازه زمانی است که سرعت تغییر کرده است. اگر تغییر سرعت در بازه زمانی Δt برابر Δv باشد داریم:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2-5)$$

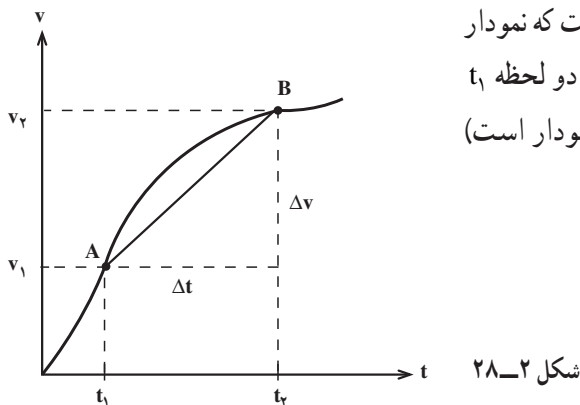
که در آن \bar{a} نماد شتاب متوسط و یکای آن متر بر مجذور ثانیه (m/s^2) است.

مثال ۲-۱۲

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؟

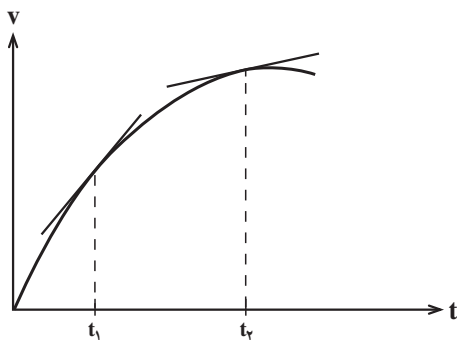
$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{20 - 10}{45 - 20} = \frac{10}{25} = 0.4\text{ m/s}^2 \quad \text{حل:}$$

تعیین شتاب متوسط به کمک نمودار سرعت - زمان: در شکل (۲-۲۸) نمودار سرعت - زمان متحرکی نشان داده شده است. با توجه به تعریف شتاب متوسط معلوم می‌شود که شتاب متوسط بین دو لحظه برابر شیب خطی است که نمودار سرعت - زمان را در آن دو لحظه (یعنی دو لحظه t_1 و t_2 که معادل دو نقطه A و B روی نمودار است) قطع کند.



شتاب لحظه‌ای: در حرکت شتابدار نیز می‌توان گفت که متحرک در هر لحظه دارای شتابی است که آن را شتاب لحظه‌ای می‌نامیم و با a نشان می‌دهیم.

همان‌طور که در سرعت لحظه‌ای دیدیم در اینجا نیز اگر در رابطه $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، Δt بسیار کوچک شود، شتاب متوسط خیلی نزدیک به شتاب لحظه‌ای می‌شود. در این صورت دو نقطه A و B بسیار به هم نزدیک می‌شوند و می‌توان نتیجه گرفت که شتاب لحظه‌ای برابر شیب مماس بر نمودار سرعت - زمان در آن لحظه است. در شکل (۲-۲۹) شیب مماس بر نمودار $v-t$ در لحظه t_1 برابر شتاب در لحظه t_1 و شیب مماس در لحظه t_2 برابر شتاب در لحظه t_2 است. با توجه به این که در شکل (۲-۲۹) شیب مماس در لحظه t_1 بیش‌تر از شیب مماس در لحظه t_2 است، می‌توان نتیجه گرفت که شتاب در لحظه t_1 بیش‌تر از شتاب در لحظه t_2 است.

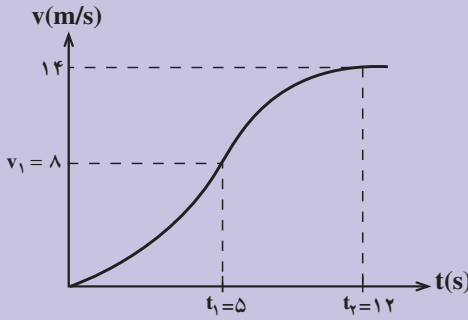


شکل ۲-۲۹

تمرین ۱۰-۲

نمودار سرعت - زمان متحرکی مطابق شکل زیر است. با توجه به آن توضیح

دهید:



شکل ۳۰-۲

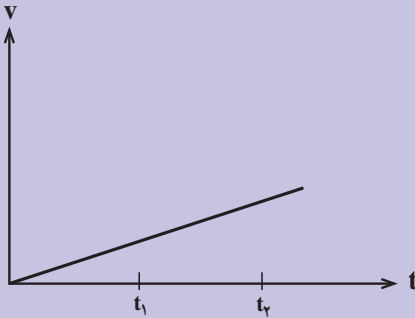
الف - در بازه‌های زمانی $(0, t_1)$ و (t_1, t_2) شتاب متوسط چقدر است؟

ب - در کدام یک از دو لحظه t_1 و t_2 شتاب بیشتر است؟

تمرین ۱۱-۲

الف - در حرکت یکنواخت شتاب حرکت چقدر است؟

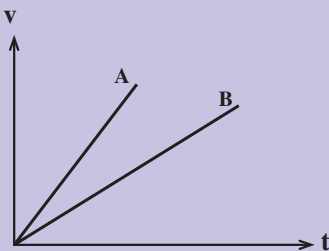
ب - شکل روبرو نمودار سرعت - زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظه t_1 و t_2 با هم مقایسه کنید.



شکل ۳۱-۲

تمرین ۱۲-۲

نمودار سرعت - زمان دو متحرک A و B در شکل روبرو نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.

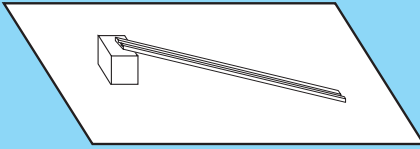


شکل ۳۲-۲

آزمایش ۱-۲

وسایل لازم:

- ۱- تخته شیاردار یا میله‌های چوب پرده، به طول ۲ متر
- ۲- مکعب‌های تخته‌ای به ضخامت‌های ۴cm
- ۳- گلوله‌های شیشه‌ای (تبله) یا ساچمه‌های فلزی
- ۴- زمان‌سنج (کرونومتر)
- ۵- متر نواری



شکل ۲-۳۳

روش آزمایش: یک سرمیله چوب پرده را مطابق شکل (۲-۳۳) بالای یکی از مکعب‌های تخته‌ای قرار دهید. یکی از گلوله‌های شیشه‌ای را از فاصله نیم‌متری انتهای میله که قبلاً یکی از مکعب‌ها را در آنجا قرار داده‌اید رها کنید و در این لحظه کرونومتر را به کار اندازید. (می‌توانید جلوی گلوله خط‌کشی قرار دهید و لحظه‌ای که خط‌کش را برمی‌دارید، کرونومتر را به کار اندازید). لحظه‌ای که گلوله به مکعب انتهای مسیر برخورد می‌کند، کرونومتر را متوقف کنید.

آزمایش را برای فواصل ۱m، ۱/۵m و ۲m تکرار کنید و نتیجه را در جدول روبرو بنویسید.

نمودار x بر حسب t را رسم کنید. نتیجه آزمایش را تجزیه و تحلیل کنید.

ردیف	طول	زمان t	t^2	$\frac{x}{t^2}$
۱	۰/۵			
۲	۱			
۳	۱/۵			
۴	۲			

۹-۲- حرکت بر خط راست با شتاب ثابت

هرگاه در حرکتی شتاب در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، آن را حرکت با شتاب ثابت می‌نامیم. در این حالت نمودار سرعت - زمان به صورت یک خط راست است. چرا؟ در چنین حرکتی، شتاب متوسط بین هر دو لحظه دلخواه با شتاب متحرک در هر لحظه برابر می‌شود یعنی

$$\bar{a} = a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (۶-۲)$$

اگر در رابطه (۶-۲) $t_1 = 0$ و $t_2 = t$ اختیار شود، در این صورت v_1 سرعت در لحظه صفر با نماد v_0 و سرعت در لحظه t با نماد v نشان داده می‌شود و می‌توان نوشت:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$
$$v = at + v_0 \quad (۷-۲)$$

دیدیم در حرکت با شتاب ثابت، نمودار سرعت - زمان بین دو لحظه 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.

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (۸-۲)$$

مثال ۱۳-۲

متحرکی از حال سکون ($v_0 = 0$) با شتاب ثابت 2 m/s^2 شروع به حرکت می‌کند. سرعت آن را در لحظه $t_1 = 4 \text{ s}$ و $t_2 = 12 \text{ s}$ به دست آورید و نمودار سرعت - زمان آن را رسم کنید.

حل: بنا به رابطه (۷-۲):

$$v = at + v_0$$

$$v_1 = 2 \times 4 + 0$$

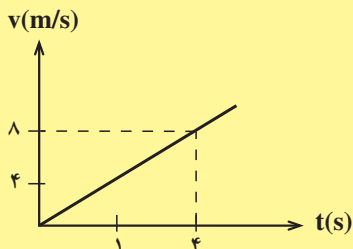
$$v_1 = 8 \text{ m/s}$$

سرعت متحرک در $t_1 = 4 \text{ s}$

$$v_2 = 2 \times 12 + 0 \Rightarrow v_2 = 24 \text{ m/s}$$

سرعت متحرک در $t_2 = 12 \text{ s}$

چون شتاب ثابت است، نمودار سرعت - زمان یک خط راست است. بنابراین، برای رسم آن مشخص نمودن دو نقطه از نمودار کافی است.



t(s)	۰	۴
v(m/s)	۰	۸

شکل ۲-۳۴

مثال ۲-۱۴

سرعت متحرکی در لحظه $t_1 = 4s$ برابر 5 m/s و سرعت آن در لحظه $t_2 = 12s$ برابر 11 m/s است، در صورتی که شتاب آن ثابت باشد، شتاب و سرعت آن را در لحظه صفر به دست آورید و نمودار سرعت - زمان آن را رسم کنید.

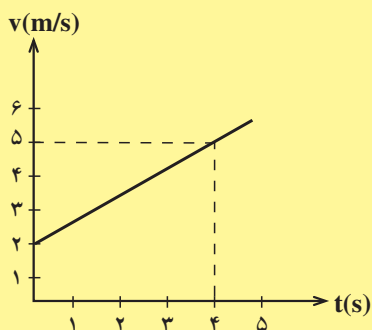
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

حل:

$$a = \frac{11 - 5}{12 - 4} = \frac{6}{8} = \frac{3}{4} \text{ m/s}^2$$

$$v = at + v_0 \Rightarrow v_0 = v - at$$

$$v_0 = 5 - \frac{3}{4} \times 4 = 2 \text{ m/s}$$



t(s)	۰	۴
v(m/s)	۲	۵

شکل ۲-۳۵

۲-۱- معادله مکان - زمان در حرکت با شتاب ثابت بر خط راست
 بنا به رابطه‌های (۲-۱ و ۲-۸) در حرکت با شتاب ثابت

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{و از آن جا}$$

$$\Delta x = \frac{v_1 + v_2}{2} \Delta t \quad (۲-۹)$$

در این رابطه Δx جابه‌جایی در بازه Δt و v_1 و v_2 به ترتیب سرعت در لحظه t_1 و سرعت در لحظه t_2 است. اگر $t_1 = 0$ و $t_2 = t$ و سرعت متحرک در این لحظه‌ها به ترتیب v_0 و v و مکان متحرک در این لحظه‌ها x_0 و x باشد در این صورت

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

و بنا به رابطه (۲-۷)

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

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \quad (۲-۱۰)$$

این رابطه معادله مکان - زمان حرکت بر روی خط راست با شتاب ثابت است. اگر زمان را از رابطه (۲-۷) بدست آوریم و در رابطه (۲-۱۰) قرار دهیم رابطه‌ای بین مکان و سرعت، مستقل از زمان بدست می‌آید.

$$t = \frac{v - v_0}{a} \quad \text{بنابه رابطه (۲-۷)}$$

اگر در رابطه (۲-۱۰) به جای t مقدار اخیر را قرار دهیم خواهیم داشت:

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

که با ساده کردن این رابطه داریم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (۲-۱۱)$$

مثال ۲-۱۵

متحرکی با شتاب ثابت 5 m/s^2 / از حال سکون بر روی خط راست شروع به حرکت می‌کند. پس از 25 m جابه‌جایی سرعت آن چقدر می‌شود؟

حل: بنا به رابطه (۲-۱۱) داریم:

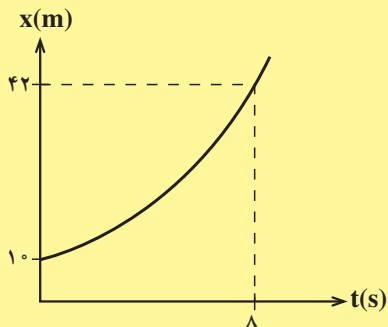
$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

$$v^2 - 0 = 2 \times 0.5(25 - 0)$$

$$v = 5 \text{ m/s}$$

مثال ۲-۱۷

شکل روبرو نمودار مکان-زمان متحرکی است که با شتاب ثابت بر روی خط راست در حرکت است. فرض کنید $v_0 = 2 \text{ m/s}$ است نمودار سرعت-زمان را رسم کنید.



شکل ۲-۳۶

حل:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$$42 = \frac{1}{2}a \times 64 + 16 + 10$$

$$32 = 64a \Rightarrow a = 0.5 \text{ m/s}^2$$

$$v = at + v_0$$

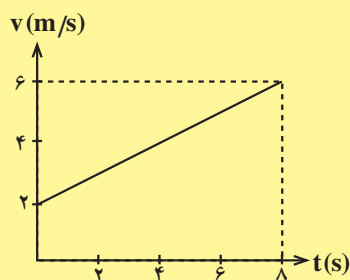
$$v = 0.5t + v_0$$

$$t = 0 \Rightarrow v_0 = 2 \text{ m/s}$$

$$t = 8 \Rightarrow v = ?$$

$$v = at + v_0$$

$$\Rightarrow v = 0.5 \times 8 + 2 = 6 \text{ m/s}$$



شکل ۲-۳۷

سقوط آزاد: سقوط آزاد نمونه طبیعی حرکت با شتاب ثابت است. در این حرکت مسیر خط راست است و در هنگام سقوط، تنها نیروی وارد به جسم، وزن آن است^۱. مثل، سقوط یک جسم در

۱- بررسی کامل حرکت سقوط آزاد در فیزیک (۱) دوره‌ی پیش‌دانشگاهی انجام می‌شود. در این کتاب تنها باید ←



شکل ۲-۳۸

خلاً یا سقوط یک گلوله کوچک فلزی (ساجمه) در هوا که با تقریب خوبی می‌توان حرکت آن را سقوط آزاد فرض کرد. شکل (۲-۳۸) یک گلوله را در ضمن سقوط آزاد نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی مساوی و متوالی $\Delta t = \frac{1}{30} \text{ s}$ از آن عکس گرفته شده است.

تجربه نشان داده است که در سقوط آزاد، شتاب برای همه اجسام یکسان است. بنابراین، معادله‌های حرکت و سرعت در سقوط آزاد همان معادله‌های حرکت با شتاب ثابت است. در سقوط آزاد نماد شتاب g است که آن را شتاب گرانش می‌نامند. بزرگی این شتاب در نزدیکی سطح زمین نزدیک به 9.8 m/s^2 است. در مواردی برای سهولت محاسبه، $g = 10 \text{ m/s}^2$ فرض می‌شود.

در سقوط آزاد، جابه‌جایی در امتداد قائم است مکان متحرک به‌طور معمول با y نشان داده می‌شود و مبدأ نقطه‌ای است که سقوط از آن نقطه شروع می‌شود. اگر جهت مثبت رو به پایین اختیار شود معادله حرکت سقوط آزاد به‌صورت رابطه (۲-۱۲) و معادله سرعت به‌صورت رابطه (۲-۱۳) است.

$$y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t \quad (2-12)$$

$$v = gt + v_0 \quad (2-13)$$



شکل ۲-۳۹

→ مثال‌هایی بررسی شوند که در آن جسم از ارتفاع مشخصی و بدون سرعت اولیه رها می‌شود. ارائه و ارزش‌یابی هر مسئله و پرسشی خارج از آن چه بیان شد، از هدف‌های برنامه درسی این کتاب نیست.

مثال ۲-۱۷

یک سنگ کوچک از ارتفاع ۴/۹ متری زمین رها می‌شود.

الف - پس از چند ثانیه به زمین می‌رسد؟

ب - سرعت آن هنگام رسیدن به زمین چقدر است؟ ($g = 9/8 \text{ m/s}^2$)

حل: الف - $v_0 = 0 \quad y = \frac{1}{2}gt^2$

$$4/9 = \frac{1}{2} \times 9/8 \times t^2$$

$$t^2 = \frac{9/8}{9/8} = 1 \Rightarrow t = 1 \text{ s}$$

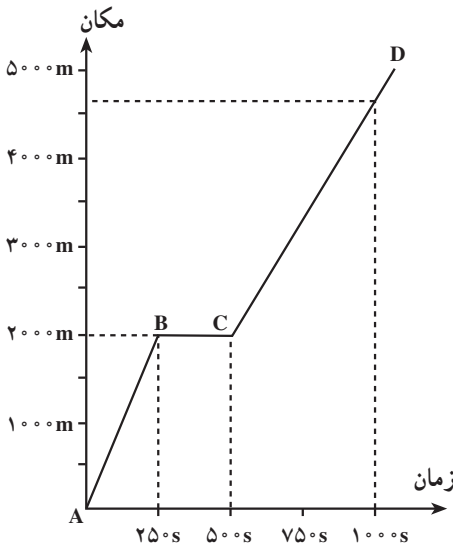
ب - $v = gt$

$$v = 9/8 \times 1 = 9/8 \text{ m/s}$$

تمرین ۲-۱۳

دو جسم A و B به ترتیب از ارتفاع‌های ۲۰ متری و ۴۵ متری بالای سطح زمین بدون سرعت اولیه به‌طور آزاد سقوط می‌کنند. زمان سقوط هر کدام چقدر است؟ و جسم B چند ثانیه پس از A به زمین می‌رسد و سرعت هر یک از آن‌ها در لحظه رسیدن به زمین چقدر است؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$ فرض شود.)

تمرین‌های فصل دوم



شکل ۲-۴۰

- ۱- شکل ۲-۴۰ نمودار مکان - زمان حرکت یک دونه دوی استقامت بر روی یک خط راست را نشان می‌دهد.
 - الف) بین کدام دو نقطه، دونه سریع‌تر در حال دویدن بوده است؟
 - ب) بین کدام دو نقطه، دونه ایستاده است؟
 - پ) سرعت دونه را بین دو نقطه‌ی A و B حساب کنید.
 - ت) سرعت دونه را بین دو نقطه‌ی C و D حساب کنید.
 - ث) سرعت متوسط دونه را در کل زمان حرکت حساب کنید.

۲- معادله حرکت جسمی که بر 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 $t = 1s$ در چه فاصله‌ای از مبدأ قرار دارد و جابه‌جایی آن بین دو لحظه $t = 1s$ و $t = 5s$ چقدر است؟

۳- 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 ماهواره‌ی موردنظر ارسال کرده و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ $3/0$ ثانیه طول بکشد، فاصله‌ی ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چه مقدار است؟

۴- راننده‌ای فاصله 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 می کند.

الف - فاصله بین دو شهر چند کیلومتر است؟

ب - سرعت متوسط او در کل مسیر چند کیلومتر بر ساعت است؟

پ - سرعت متوسط او در طول مدت رانندگی چقدر است؟

۵- الف - اتومبیلی در یک مسیر دایره‌ای شکل به شعاع 100 m دور می زند. مسافتی که

اتومبیل در نیم دور می پیماید، چند متر است؟ شکل مسیر را رسم و بردار جابه‌جایی را روی شکل مشخص کنید و بزرگی آن را به دست آورید.

ب - بزرگی جابه‌جایی اتومبیل را در یک چهارم دور حساب کنید.

ج - جابه‌جایی اتومبیل در یک دور کامل چقدر است؟

۶- سرعت یک اتومبیل در مدت 20 s بر روی یک مسیر مستقیم از 10 m/s به 18 m/s

می رسد.

الف - شتاب متوسط اتومبیل در این مدت چقدر است؟

ب - اگر سرعت اتومبیل با همین شتاب تغییر کند، پس از چه مدت سرعت آن به 108 km/h

کیلومتر بر ساعت می رسد؟

۷- سرعت فضایی 30 s پس از شروع حرکت به 120 km/h می رسد. شتاب متوسط

آن چقدر است؟ این شتاب چند برابر $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ است؟

۸- راننده اتومبیلی که با سرعت 72 km/h در حرکت است، در یک لحظه مانعی را مقابل

خود می بیند و سرعت خود را کم می کند به طوری که پس از 8 s تانیه می ایستد.

الف - شتاب متوسط حرکت از لحظه کند شدن حرکت تا توقف آن چقدر است؟

ب - اگر در مدت کند شدن حرکت اتومبیل، شتاب آن ثابت فرض شود، اتومبیل چه

مسافتی را تا لحظه توقف پیموده است؟

۹- اتومبیلی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می کند و پس از 20 s تانیه

سرعتش به 36 km/h می رسد. سپس با همین سرعت به مدت 10 s دقیقه به حرکتش ادامه می دهد. پس

از آن ترمز می کند و بعد از 5 s تانیه متوقف می شود. اگر در مدت ترمز کردن شتاب ثابت باشد،

الف - جهت سرعت و شتاب حرکت را در هر مرحله معلوم کنید.

ب - نمودار سرعت - زمان را از لحظه شروع حرکت تا لحظه توقف اتومبیل رسم کنید.

۱۰- متحرکی که بر روی خط راست با شتاب ثابت در حرکت است در فاصله 10 m متری مبدأ

سرعتش 4 m/s و در فاصله 19 متری مبدأ سرعتش 18 km/h است.

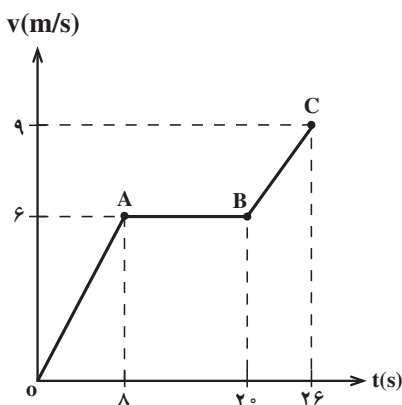
الف - شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب - پس از چه مدت از 10° متری مبدأ به 19 متری مبدأ رسیده است؟

۱۱- شکل ۲-۴۱ نمودار سرعت - زمان متحرکی را در 26 ثانیه نشان می‌دهد.

الف - شتاب هر یک از مرحله‌های OA و AB و BC چقدر است؟

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



شکل ۲-۴۱

۱۲- سنگ کوچکی از لبه پل بدون سرعت اولیه سقوط می‌کند و پس از $1/5$ ثانیه به سطح آب برخورد می‌کند. ارتفاع پل از سطح آب و سرعت سنگ ریزه در موقع رسیدن به سطح آب چقدر است؟ ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$ فرض شود.)

۱۳- گلوله کوچکی از بالای ساختمانی رها می‌شود. وقتی در ارتفاع 15 متری بالای زمین قرار دارد سرعتش 10 m/s است.

الف - سرعت سنگ در لحظه رسیدن به زمین چقدر است؟

ب - ارتفاع ساختمان و سرعت متوسط گلوله در مدت سقوط چقدر است؟

($g = 10 \text{ m/s}^2$ فرض شود.)