

www.soalsara.ir



وبسایت سؤال سرا

جزوات کنکوری

درسنامه های کلیه دروس

نمونه سؤالات دروس دبیرستان با پاسخ تشریحی

دانلود سؤالات و پاسخنامه کنکور سراسری (کلیه رشته ها)

دانلود سؤالات و پاسخنامه کنکور سراسری خارج کشور (کلیه رشته ها)

دانلود سؤالات و پاسخنامه کنکور کارشناسی ارشد (کلیه رشته ها)

دانلود کتاب های درسی ، دانشگاهی و حل المسائل ها

دانلود نرم افزارهای درسی مختلف

و خدمات دیگر

www.soalsara.ir

سؤال سرا



فصل دوم: حرکت شناسی (سینماتیک)

مقدمه:

اگر بخواهیم مبدأ و معنای واژه‌ی فیزیک را جستجو کنیم به کلمه‌ی *Physis* در یونان باستان می‌رسیم که در اصل به مفهوم طبیعت یا ماهیت است. حرکت از مشخصات جدایی ناپذیر طبیعت یا ماهیت، جهانی است که ما جزئی از آن هستیم. اگر به پیرامون خود نظر بیفکنیم جلوه‌های بی‌شماری از حرکت را مشاهده خواهیم کرد. فرو افتادن برگ درختان، حرکت اتومبیل‌ها، پرواز پرندگان، جابه‌جایی ماه و خورشید در آسمان و ... بنابراین بررسی موضوع حرکت در فیزیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شاخه‌ای از فیزیک که به مطالعه‌ی حرکت اختصاص دارد مکانیک نامیده می‌شود. (این واژه نیز از لغت یونانی *Mechane* به معنی ماشین گرفته شده است زیرا که اصلی‌ترین جنبه‌ی یک ماشین حرکت اجزاء مختلف آن است) معمولاً علم مکانیک به دو بخش تقسیم می‌شود:

(۱): سینماتیک (حرکت شناسی)

(۲): دینامیک (نیروشناسی)

در سینماتیک در پی یافتن روابطی بین مکان، سرعت، شتاب و زمان هستیم و پاسخ به پرسش‌هایی از این قبیل که چه عامل‌هایی و چگونه در حرکت یک جسم یا مجموعه‌ای از چند جسم دخالت دارند موضوع بخش دینامیک است که در فصل ۳ با مقدمات آن آشنا می‌شویم.

مکان و جابه‌جایی

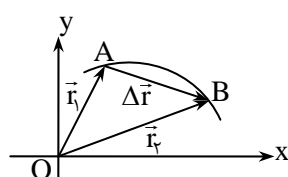
اگر از هر یک از دانش‌آموزان کلاسی پرسیده شود که تخته سیاه در چه فاصله‌ای از او قرار گرفته است، آنان اندازه‌های مختلفی را بیان خواهند کرد در واقع هر یک خود را مبدأ گرفته و فاصله را نسبت به آن مبدأ در نظر می‌گیرند. پس نخستین گام در مطالعه‌ی حرکت، انتخاب مبدأ و توصیف مکان جسم نسبت به آن است. در این جا مکان جسم را در دستگاه مختصات عمودبر هم *XOY* در نظر می‌گیریم و مبدأ مختصات را به عنوان مبنایی برای تعیین موقعیت جسم برمی‌گزینیم.

بردار مکان:

بردار مکان است که موقعیت یک جسم را در هر لحظه مشخص می‌کند به طوری که ابتدای آن مبدأ مختصات و انتهای آن به محل قرار گرفتن جسم می‌رسد.

بردار جابه‌جایی:

بردار مکان است که ابتدای آن محل اولیه‌ی جسم و انتهای آن محل ثانویه را نشان دهد. در شکل زیر \vec{r}_1 و \vec{r}_2 بردارهای مکان و $\Delta\vec{r}$ بردار جابه‌جایی است.



$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

* توجه داشته باشیم که جسم الزاماً بر روی بردار جابه‌جایی حرکت نمی‌کند.

سرعت متوسط:

نسبت جابه‌جایی یک جسم به فاصله‌ی زمانی‌ای که در طی آن جابه‌جایی انجام شده است را سرعت متوسط می‌نامیم.

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

در SI یکای سرعت متوسط و به طور کلی سرعت، $\frac{m}{s}$ است.

* **توجه:** سرعت متوسط یک کمیت برداری است و طبق آنچه که تعریف شد با بردار جابه‌جایی هم‌سو (هم‌جهت) است زیرا Δt یک کمیت نرده‌ای و همواره مثبت است.



سؤال: آیا سرعت متوسطی که در بالا تعریف کردیم همواره با آنچه در زندگی روزمره به عنوان سرعت متوسط می‌شناسیم یکسان است؟

پاسخ: خیر. در زندگی عادی ما همواره طول مسیر حرکت (مسافت) را به مدت حرکت تقسیم می‌کنیم و سرعت متوسط را به دست می‌آوریم. در حالی که در مکانیک، طول یا شکل مسیر اهمیتی ندارد بلکه باید فاصله‌ی مستقیم مبدأ تا مقصد را بر مدت حرکت تقسیم کنیم تا سرعت متوسط حاصل شود. فقط در حالتی که حرکت بر مسیر مستقیم و بدون تغییر جهت باشد این دو تعریف در زندگی عادی و فیزیک با هم سازگاری دارند.

مسئله ۱: دانش‌آموزی برای رسیدن به مدرسه، ابتدا ۹۰۰ متر رو به شمال می‌رود سپس ۳۰۰ متر به طرف شرق رفته و سپس ۵۰۰ متر به طرف جنوب حرکت می‌کند چنان‌چه کل مدت حرکت او ۵ دقیقه باشد.

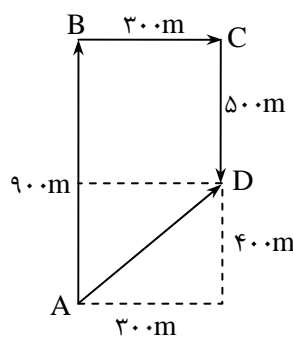
الف) مسافت پیموده شده را بدست آورید.

ب) سرعت متوسط او را در SI به دست آورید.

پاسخ: اگر از A شروع به حرکت کرده باشد باید طول همه مسیرهای پیموده شده را با هم جمع کنیم تا مسافت طی شده بدست آید:

الف)

$$\text{مسافت} = AB + BC + CD = 1700 \text{ m}$$



ب: برای محاسبه‌ی سرعت متوسط لازم است که بردار جابه‌جایی کل را به دست آوریم. همانطوری که در سؤال قبل گفته شد برای محاسبه سرعت متوسط در فیزیک از مسافت طی شده استفاده نمی‌کنیم بلکه باید بردار جابه‌جایی را بدست آوریم و برای این کار کافایت که مبدأ حرکت را مستقیماً به مقصد وصل کنیم.

$$\text{جابه‌جایی } \vec{AD} = \vec{AB} + \vec{BC} + \vec{CD}$$

$$|\vec{AD}| = \sqrt{300^2 + 400^2} = 500 \text{ m}$$

$$|\vec{V}| = \frac{|\vec{AD}|}{\Delta t} = \frac{500 \text{ m}}{300 \text{ s}} = \frac{5 \text{ m}}{3 \text{ s}}$$

* **توجه:** توجه می‌کنیم که سرعت متوسط را در زندگی روزمره معمولاً بصورت $\vec{V} = \frac{1700 \text{ m}}{300 \text{ s}} = \frac{17 \text{ m}}{3 \text{ s}}$ به دست می‌آوریم که البته در فیزیک این‌گونه نیست.

مسئله ۲: شناگری طول یک استخر ۵۰ متری را در یک دقیقه طی می‌کند و همین فاصله را در ۱/۵ دقیقه برمی‌گردد. سرعت متوسط

او در کل مسیر چند $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ است؟

پاسخ: صفر. زیرا جابه‌جایی کل صفر است. یعنی اگر مبدأ حرکت را به مقصد وصل کنیم برداری با طول صفر بدست می‌آید. پس طبق $\vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$

سرعت متوسط صفر شده است. توجه کنید که اگر در طی یک مسابقه شنا بخواهیم سرعت شناگر را حساب کنیم:

$$\vec{V} = \frac{2 \times 50}{\frac{2}{5} \times 60} = \frac{2 \text{ m}}{3 \text{ s}}$$

چون مکان اولیه‌ی و ثانویه‌ی شناگر در یک مکان قرار دارد پس بردار جابه‌جایی کل صفر است.

و این مثال تفاوت سرعت متوسط را در فیزیک و امور روزمره نشان می‌دهد.

مسئله ۳: متحرکی مطابق شکل روی محور xها در حرکت است. این متحرک در $t_1 = 2 \text{ s}$ در A قرار دارد، در لحظه‌ی $t_2 = 5 \text{ s}$

به نقطه‌ی B می‌رسد و سپس برگشته و در $t_3 = 10 \text{ s}$ از نقطه‌ی C می‌گذرد.

الف) سرعت متوسط آنها در فاصله‌ی t_1 تا t_2 بدست آورید.

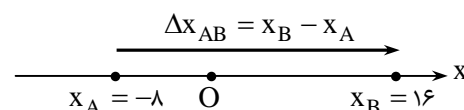
ب) سرعت متوسط آنها در فاصله‌ی t_1 تا t_3 بدست آورید.

پاسخ: الف) چون حرکت بر روی محور xهاست به جای $\Delta \vec{r}$ می‌توانیم از Δx استفاده کنیم:

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \rightarrow \Delta x = x_2 - x_1$$

$$\Delta x_{AB} = x_B - x_A = 16 - (-8) = 24 \text{ m}$$

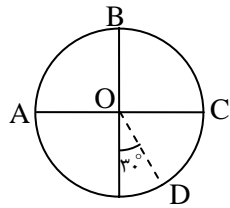
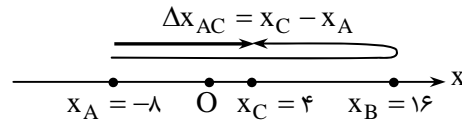
$$\vec{V}_{AB} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{24}{5-2} = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



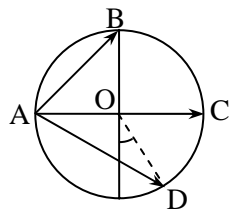
(ب)

$$\Delta x_{AC} = x_C - x_A = 4 - (-8) = 12 \text{ m}$$

$$\bar{v}_{AC} = \frac{12}{10-2} = \frac{3}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



مسئله ۴: متحرکی محیط دایره‌ای به شعاع ۱۲ متر را طی می‌کند. به گونه‌ای که A تا B را در ۳ s، B تا C را در ۲ ثانیه و C تا D را در ۱ ثانیه می‌پیماید. سرعت متوسط آن را از A تا B و از C تا A و از A تا D به دست آورید.



پاسخ: نیازی به استفاده از اندازه‌ی محیط دایره نیست. کافی است که فاصله‌های مستقیم AB، AC و AD را با استفاده از رابطه‌هایی که در بحث بردارها آموختیم محاسبه کنیم.

$$|\bar{v}_{AB}| = \frac{|\overline{AB}|}{\Delta t} = \frac{\sqrt{12^2 + 12^2}}{3} = \frac{12\sqrt{2}}{3} = 4\sqrt{2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$|\bar{v}_{AC}| = \frac{|\overline{AC}|}{\Delta t} = \frac{24}{5} = 4.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

جابجایی \overline{AC} نیز همان قطر دایره است ($|\overline{AC}| = 24 \text{ m}$)

برای محاسبه‌ی $|\overline{AD}|$ از قضیه‌ی کسینوس‌ها استفاده می‌کنیم.

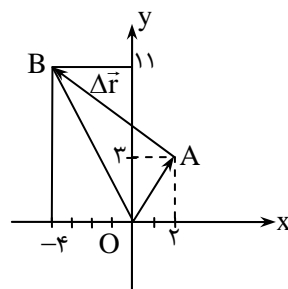
$$|\overline{AD}| = \sqrt{(AO)^2 + (OD)^2 - 2(OA)(OD)\cos 120^\circ}$$

چون $OA = OD$ می‌توان آن را به شکل ساده‌تری هم نوشت: (به فصل قبل قسمت تفاضل دو بردار مراجعه شود)

$$|\overline{AD}| = 2|OA| \sin\left(\frac{120^\circ}{2}\right) = 12\sqrt{3} \text{ m}$$

$$|\bar{v}| = \frac{12\sqrt{3}}{6} = 2\sqrt{3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

مسئله ۵: جسمی در صفحه‌ی xOy از مکان $A \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix}$ در مدت ۵ ثانیه به $B \begin{pmatrix} -4 \\ 11 \end{pmatrix}$ می‌رسد. سرعت متوسط آن را به دست آورید.



پاسخ: نقاط A و B را در صفحه مختصات نشان می‌دهیم سپس فاصله‌ی AB را با استفاده از فرمول فاصله بین دو نقطه در درس ریاضی بدست می‌آوریم.

$$|\Delta \vec{r}| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} = \sqrt{(-6)^2 + 8^2} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\bar{v} = \frac{10}{5} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

دقت کنید که با توجه به معلومات مسئله مسیر حرکت بر ما معلوم نیست. یعنی جسم الزاماً بر روی بردار $\Delta \vec{r}$ حرکت نکرده است.

مسئله ۶: متحرکی روی محور x ها حرکت می‌کند. مکان آن بر حسب زمان با رابطه‌ی $x = t^2 - 2t + 5$ در SI داده شده است. سرعت متوسط آن را در بازه زمانی $t_1 = 1 \text{ s}$ تا $t_2 = 3 \text{ s}$ بدست آورید.

پاسخ: به چنین رابطه‌ای که بین مکان و زمان متحرک برقرار است معادله‌ی حرکت گفته می‌شود برای حل این سؤال کافی است که مکان آنرا در لحظه‌های مورد نظر بدست آوریم:

$$\left. \begin{aligned} t_1 = 1 \text{ s} \rightarrow x_1 &= (1)^2 - 2(1) + 5 = 4 \\ t_2 = 3 \text{ s} \rightarrow x_2 &= (3)^2 - 2(3) + 5 = 8 \end{aligned} \right\} \rightarrow \Delta x = 8 - 4 = 4 \text{ m}, \quad \Delta t = t_2 - t_1 = 2 \text{ s}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{4}{2} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



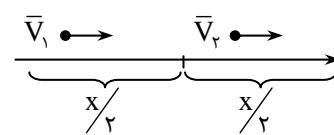
○ **مسئله ۷:** متحرکی روی خط راست در یک جهت حرکت می‌کند. نیمی از مسیر حرکت را با سرعت متوسط $۱۰ \frac{m}{s}$ و نیمه دیگر را با سرعت متوسط $۱۵ \frac{m}{s}$ می‌پیماید سرعت متوسط در کل مسیر چند $\frac{m}{s}$ است؟

پاسخ: ممکن است خیلی سریع پاسخ این سؤال را به صورت $\bar{V} = \frac{۱۰+۱۵}{۲} = ۱۲/۵ \frac{m}{s}$ بیان کنیم، اما توجه داشته باشید که تعریف اساسی سرعت متوسط نسبت جابجایی به مدت انجام جابجایی است، نه میانگین سرعت‌ها! در اینجا هم باید مدت حرکت هر قسمت را بطور جداگانه بدست آوریم:

$$\bar{V}_1 = \frac{x}{t_1} \rightarrow t_1 = \frac{x}{\bar{V}_1}$$

$$\bar{V}_2 = \frac{x}{t_2} \rightarrow t_2 = \frac{x}{\bar{V}_2}$$

$$\bar{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \bar{V} = \frac{\frac{x}{2} + \frac{x}{2}}{t_1 + t_2} \rightarrow \bar{V} = \frac{x}{\frac{x}{2\bar{V}_1} + \frac{x}{2\bar{V}_2}} = \frac{x}{x(\frac{1}{2\bar{V}_1} + \frac{1}{2\bar{V}_2})}$$

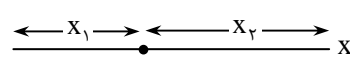
$$\bar{V} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{V}_1} + \frac{1}{\bar{V}_2}} \rightarrow \bar{V} = \frac{2\bar{V}_1\bar{V}_2}{\bar{V}_1 + \bar{V}_2} \rightarrow \bar{V} = \frac{2 \times 10 \times 15}{10 + 15} = 12 \frac{m}{s}$$


○ **مسئله ۸:** متحرکی روی خط راست نیمی از مدت حرکت را با سرعت متوسط $۱۰ \frac{m}{s}$ و باقی مدت حرکت را با سرعت متوسط $۱۵ \frac{m}{s}$ طی می‌کند. سرعت متوسط در کل مدت حرکت چند $\frac{m}{s}$ است؟

پاسخ: در این حالت جابجایی‌ها در دو قسمت برابر نیست. مثلاً فرض کنید که شما یک ساعت را با سرعت متوسط $۱۰ \frac{m}{s}$ و یک ساعت بعدی را با سرعت متوسط $۱۵ \frac{m}{s}$ طی می‌کنید واضح است که در ساعت دوم حرکت فاصله‌ی بیشتری را پیموده‌اید. در اینجا لازم است که جابجایی هر قسمت را بدست آورده، با هم جمع کنیم و سپس بر کل مدت حرکت تقسیم نماییم:

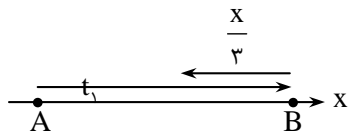
$$\bar{V}_1 = \frac{x_1}{t} \rightarrow x_1 = \bar{V}_1 \frac{t}{2}$$

$$\bar{V}_2 = \frac{x_2}{t} \rightarrow x_2 = \bar{V}_2 \frac{t}{2}$$

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_1 \frac{t}{2} + \bar{V}_2 \frac{t}{2}}{\frac{t}{2} + \frac{t}{2}} \Rightarrow \bar{V} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{2} \rightarrow \frac{۱۰+۱۵}{۲} = ۱۲/۵ \frac{m}{s}$$


○ **مسئله ۹:** متحرکی با سرعت متوسط $۴۰ \frac{m}{s}$ روی خط راست فاصله‌ی AB را طی می‌کند و سپس $\frac{1}{3}$ همین مسیر را با سرعت متوسط $۲۰ \frac{m}{s}$ بر می‌گردد. سرعت متوسط را در کل جابجایی بدست آورید.

پاسخ: ابتدا جابجایی انجام شده را محاسبه می‌کنیم (می‌توانیم کل مسیر را X بگیریم)

$$\Delta x = x - \frac{1}{3}x = \frac{2}{3}x$$


مطابق روال قبل مدت حرکت هر قسمت را بدست می‌آوریم:

$$t_1 = \frac{x_1}{V_1} \rightarrow t_1 = \frac{x}{40}$$

$$t_2 = \frac{x_2}{V_2} \rightarrow t_2 = \frac{\frac{1}{3}x}{20} = \frac{x}{60}$$

حال رابطه‌ی سرعت متوسط را می‌نویسیم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \bar{v} = \frac{x - \frac{1}{3}x}{t_1 + t_2} = \frac{\frac{2}{3}x}{\frac{x}{40} + \frac{x}{60}} = \frac{\frac{2}{3}x}{x \left(\frac{3+2}{120} \right)}$$

$$\bar{v} = \frac{120 \times 2}{3 \times 5} = \frac{240}{15} = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

تذکره: برخی از دانش‌آموزان انتظار دارند که به جای Δt بنویسیم $t_2 - t_1$ در حالی که منظور از Δt مدت حرکت است. که در اینجا کل مدت حرکت $\Delta t = t_1 + t_2$ بوده است.

○ **مسئله‌ی ۱۰:** متحرکی با سرعت ثابت $72 \frac{\text{m}}{\text{h}}$ بر مسیر مستقیم (فرض کنید بر روی محور x ها) در حرکت است. اگر در مبدأ زمان ($t = 0$) از 40 متری مبدأ مکان (یعنی $x = 0$) بگذرد الف) معادله حرکت آن را بنویسید ب) مکان متحرک را در $t = 5\text{s}$ بیابید. پ) جابه‌جایی متحرک در این مدت چند متر است؟

پاسخ: الف) ابتدا سرعت را بر حسب $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ می‌نویسیم:

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

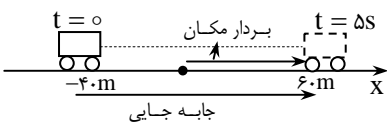
برای نوشتن معادله حرکت باید به جای x و v مقدار آن‌ها قرار دهیم تا رابطه‌ای بین x و v بدست آید:

$$x = vt + x_0 \Rightarrow x = 20t - 40$$

ب) کافی است که $t = 5\text{s}$ را در معادله حرکت قرار دهیم:

$$x = 20 \times 5 - 40 = 60 \text{ m}$$

پ) محاسبه‌ی جابه‌جایی:



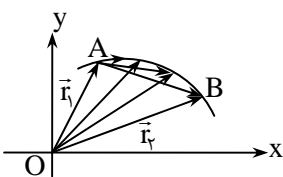
$$x = vt + x_0 \Rightarrow x - x_0 = vt$$

$$\Delta x = vt = 20 \times 5 = 100 \text{ m}$$

دقت کنید که بردارهای مکان و جابه‌جایی فقط در صورتی با هم یکسان می‌شوند که مبدأ حرکت همان مبدأ مختصات باشد.

سرعت لحظه‌ای:

با وجود آن‌که سرعت متوسط کمیت مفیدی است اما اطلاعات چندانی را درباره‌ی چگونگی حرکت و تغییرات آن در لحظات مختلف نمی‌دهد. چنان‌چه بازه‌ی زمانی Δt را در نزدیکی یک لحظه‌ی معین فوق‌العاده کوچک کنیم، جابه‌جایی انجام شده یعنی $\Delta \vec{r}$ هم بسیار کوچک خواهد بود.

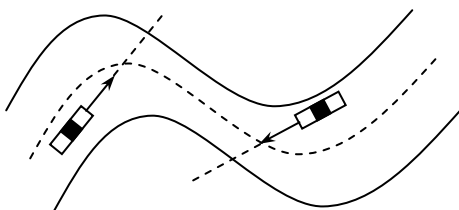


در این صورت به نسبت $\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ سرعت لحظه‌ای می‌گوییم در واقع سرعت لحظه‌ای همان سرعت متوسطی

است که در یک بازه‌ی زمانی بسیار کوتاه حاصل شده است. ملاحظه می‌شود که با کوچک شدن بازه‌ی زمانی Δt ، \vec{r}_1 به \vec{r}_2 نزدیک شده و در نهایت $\Delta \vec{r}$ در نقطه‌ی A بر مسیر مماس می‌شود و طبق

$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ سرعت متوسط که حال به سرعت لحظه‌ای تبدیل شده بر مسیر حرکت مماس است.

به عنوان مثال به حرکت اتومبیل‌ها در مسیرهای خمیده توجه کنیم که در صورت لغزنده بودن جاده یا بی‌احتیاطی راننده، خودرو مماس بر راستای سرعت از هر نقطه از مسیر خارج می‌شود.



حرکت با سرعت ثابت (یکنواخت):

در این حرکت سرعت لحظه ای در تمام لحظه‌ها یکسان است پس می‌توان گفت که سرعت متوسط در هر بازه‌ی زمانی دلخواه با سرعت لحظه‌ای برابر است، یعنی $\bar{V} = V$. مثلاً فرض کنید که در کارنامه شما نمره همه درس‌ها یکسان باشد، قطعاً متوسط یا معدل نمرات شما نیز برابر نمره هر درس شما خواهد بود.

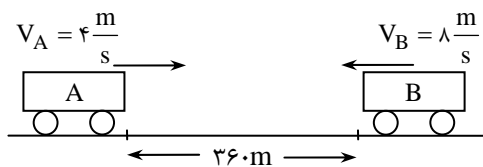
معادله‌ی حرکت یکنواخت: اگر نمودار مکان- زمان این حرکت را رسم کنیم، به صورت خط مستقیم است زیرا شیب این نمودار که معرف سرعت است همواره مقدار یکسانی است. فرض کنید که متحرک روی محور x حرکت می‌کند و مبدأ زمان یعنی $t_0 = 0$ انتخاب می‌شود. اگر مکان اولیه جسم x_0 باشد داریم:

$$\bar{V} = V \rightarrow V = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$V = \frac{x - x_0}{t - t_0} \xrightarrow{t_0=0} V = \frac{x - x_0}{t} \rightarrow \boxed{x = Vt + x_0}$$

همان‌طور که گفته شد شیب نمودار $x - t$ همان V است که می‌تواند مثبت یا منفی باشد. در این معادله V یعنی سرعت همان ضریب زاویه معادله خط نیز هست.

مسئله‌ی ۱۱: مطابق شکل دو متحرک در یک لحظه به طور یکنواخت به طرف هم به حرکت درمی‌آیند:



الف) در چه محلی این دو از کنار هم می‌گذرند؟
ب) پس از چه مدت فاصله‌ی آن‌ها باز هم به ۳۶۰ متر می‌رسد؟

پاسخ: الف) می‌توانیم از یک تناسب ساده استفاده کنیم. متحرک A در هر ثانیه ۴ متر به طرف راست حرکت می‌کند و متحرک B در هر ثانیه ۸ متر به طرف چپ حرکت می‌نماید پس در هر ثانیه $8 + 4 = 12 \text{ m}$ به هم نزدیک می‌شوند:

$$\begin{array}{l} 12 \text{ s} \\ t \end{array} \quad \begin{array}{l} 12 \\ 360 \end{array} \Rightarrow t = 30 \text{ s}$$

پس کافی است که هر یک به اندازه‌ی ۳۰s حرکت کنند:

$$\Delta x_B = 30 \times 8 = 240 \text{ m} \quad , \quad \Delta x_A = 30 \times 4 = 120 \text{ m}$$

ب) می‌توان گفت که ۳۰ ثانیه پس از عبور آن‌ها از کنار یکدیگر دوباره در ۳۶۰ متری هم قرار می‌گیرند.

روش دوم حل این مسئله:

محل اولیه‌ی متحرک A را مبدأ می‌گیریم و جهت مثبت را نیز به طرف راست انتخاب می‌کنیم و معادله‌های حرکت هر یک را نسبت به این مبدأ می‌نویسیم. مکان اولیه A برابر صفر می‌شود و مکان اولیه متحرک B برابر ۳۶۰ متر است. حرکت متحرک A در جهت محور بوده و $V_A = 4$ می‌باشد، در صورتی که جهت حرکت متحرک B خلاف جهت محور بوده و $V_B = -8$ است.

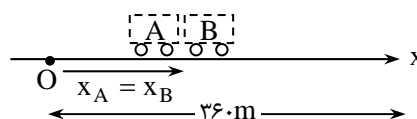
$$x = vt + x_0$$

$$x_A = 4t \quad , \quad x_B = -8t + 360$$

در لحظه‌ای که به هم می‌رسند $x_A = x_B$ است.

$$x_A = x_B \rightarrow 4t = -8t + 360 \rightarrow t = 30 \text{ s}$$

$$x_A = x_B = 4 \times 30 = 120 \text{ m}$$



دقت کنید که وقتی به هم می‌رسند مکان هر دو نسبت به مبدأ O یکسان است ($x_A = x_B$) ولی مسافت‌های یکسانی را طی نکرده‌اند.

○ **مسئله ۱۲:** اتومبیل‌های A و B به طور هم‌زمان با سرعت‌های ثابت $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ و $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ فاصله‌ی مستقیم دو شهر را طی می‌کنند. اگر اتومبیل تندرو به اندازه‌ی ۲۰ دقیقه زودتر به شهر مقصد برسد فاصله‌ی دو شهر چند کیلومتر بوده است؟
پاسخ: به هر حال دو اتومبیل فاصله‌ی یکسانی را طی کرده‌اند:

$$\Delta x_A = \Delta x_B \rightarrow V_A t_A = V_B t_B \quad (1)$$

$$t_A = t_B - \frac{1}{3}$$

اما مدت حرکت اتومبیل A به اندازه‌ی ۲۰ دقیقه یا $\frac{1}{3}$ ساعت از B کم‌تر بوده است. (زیرا سریعتر از B حرکت می‌کند) پس از جاگذاری t_A و t_B در معادله (۱) خواهیم داشت:

$$120 \cdot (t_B - \frac{1}{3}) = 90 \cdot t_B$$

$$4t_B - \frac{4}{3} = 3t_B \rightarrow t_B = \frac{4}{3} \text{ h}$$

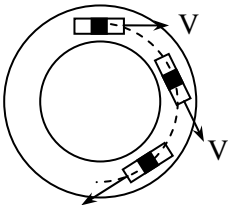
$$\Delta x_A = V_A t_A = 120 \cdot \frac{\text{km}}{\text{h}} \times (\frac{4}{3} \text{ h} - \frac{1}{3} \text{ h}) = 120 \times 1 = 120 \text{ km}$$

حرکت شتاب‌دار:

قبلاً گفتیم که سرعت یک کمیت برداری است و تغییر سرعت به معنی تغییر در اندازه یا جهت آن است و چنانچه در حرکتی یکی از این دو (اندازه یا جهت سرعت) تغییر کند به آن حرکت شتاب‌دار می‌گوییم.

سؤال: اتومبیلی در یک روز خلوت یکی از میادین شهر را با سرعتی که اندازه‌ی ثابتی دارد طی می‌کند. آیا حرکت آن شتاب‌دار است؟

پاسخ: بله، زیرا جهت بردار سرعت دائماً در حال تغییر است. با وجود آنکه اندازه سرعت ثابت است این حرکت شتاب‌دار محسوب می‌شود. دقت کنید که تعریف شتاب نیز با آنچه در زندگی روزمره بکار می‌بریم متفاوت است. زیرا در زندگی عادی معمولاً منظور از شتاب فقط میزان افزایش سرعت در یک مدت معین است در حالی که در فیزیک کاهش سرعت یا تغییر جهت حرکت نیز به معنی وجود شتاب است.



شتاب متوسط:

نسبت تغییرات سرعت به مدت زمان این تغییرات را شتاب متوسط می‌گوییم.

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{V}}{\Delta t} \quad (\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{ در SI بر حسب } \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

○ **مسئله ۱۳:** موتور سواری روی خط راست با سرعت $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ در حرکت است. در مدت 5 s سرعت خود را به $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ می‌رساند. شتاب متوسط آن را به دست آورید؟

پاسخ: می‌توان گفت که در هرثانیه سرعت موتورسوار $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ افزایش یافته است.

$$\bar{a} = \frac{V_f - V_i}{\Delta t} \rightarrow \bar{a} = \frac{18 - 8}{5} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



○ **مسئله ۱۴:** اتومبیلی با سرعت $۱۰ \frac{m}{s}$ رو به شمال در حرکت است. راننده‌ی اتومبیل که چیزی را در خانه جا گذاشته است در همان راستا رو به جنوب و با سرعت $۱۵ \frac{m}{s}$ به سمت خانه برمی‌گردد و اگر کل مدت این تغییر سرعت ۵۰ ثانیه باشد شتاب متوسط را در این فاصله‌ی زمانی به دست آورید.

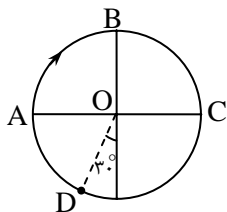
پاسخ: دقت کنید که سرعت ثانویه کاملاً در خلاف جهت سرعت اولیه است.

باز هم یادآوری می‌کنیم که سرعت یک بردار است. وقتی در اینجا سرعت اتومبیلی $-۱۵ \frac{m}{s}$ می‌شود یعنی اینکه اتومبیل با سرعتی به اندازه‌ی $۱۵ \frac{m}{s}$ در خلاف جهت مثبت در حرکت بوده است.

$$V_1 = 10, V_2 = -15 \rightarrow \Delta V = V_2 - V_1 = -25 \frac{m}{s}, \quad \bar{a} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = -\frac{25}{50} = -\frac{1}{2} \frac{m}{s^2}$$

یعنی به طور میانگین در هر ثانیه به اندازه‌ی $\frac{1}{2} \frac{m}{s}$ سرعت تغییر کرده است.

در این جا جهت شمال را مثبت و جهت جنوب را منفی گرفته‌ایم و علامت منفی شتاب متوسط یعنی این که جهت شتاب رو به جنوب بوده است.

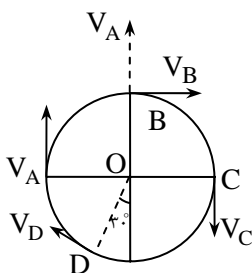


* ○ **مسئله ۱۵:** متحرکی محیط دایره‌ای را با سرعتی با بزرگی ثابت $۶ \frac{m}{s}$ طی می‌کند به گونه‌ای که

هر ربع دایره در ۳ ثانیه پیموده می‌شود. با توجه به شکل، شتاب متوسط را در فاصله‌ای که برای اولین بار از A به B و از B به C و از C به A و از A به D می‌رسد محاسبه کنید.

پاسخ: اغلب دانش‌آموزان، شتاب این حرکت را صفر می‌دانند و استدلال آن‌ها این است که اندازه‌ی سرعت ثابت مانده است. اما دقت کنید که سرعت یک کمیت برداری است و اگر فقط جهت آن تغییر کند آن نیز شتاب‌دار می‌گوییم و این مثال نمونه‌ای از آن است.

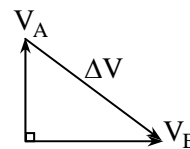
با توجه به این که بردار سرعت در هر نقطه از مسیر بر آن مماس است بردارهای سرعت را در نقطه‌های A، B و C روی محیط دایره نمایش می‌دهیم. حال باید تفاضل دو بردار \vec{V}_B و \vec{V}_A را به دست آوریم. برای این کار برداری نظیر A را به نقطه‌ی شروع V_B منتقل می‌کنیم و سپس بردار $\Delta \vec{V}$ را محاسبه می‌کنیم.



$$\Delta \vec{V} = \vec{V}_B - \vec{V}_A$$

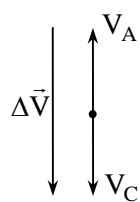
$$|\Delta \vec{V}| = \sqrt{6^2 + 6^2} = 6\sqrt{2}$$

$$\bar{a}_{AB} = \frac{6\sqrt{2}}{3} = 2\sqrt{2} \frac{m}{s^2}$$



به همین ترتیب بردار نظیر A را به C و D منتقل کرده و $\Delta \vec{V}$ را رسم کرده و محاسبه می‌کنیم.

زمان حرکت از A تا C، ۶ ثانیه است، پس:



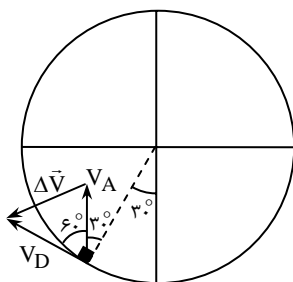
$$\Delta \vec{V} = \vec{V}_C - \vec{V}_A \quad |\Delta \vec{V}| = 12 \quad \bar{a}_{AC} = \frac{12}{6} = 2 \frac{m}{s^2}$$

زمان جابه‌جایی از A تا D برابر $۱۰s$ است زیرا هر ربع دایره را در مدت $۳s$ و زاویه ۳۰° را در $۱s$ می‌پیماید پس:

$$\Delta t = 3 \times 3 + 1 = 10s$$

$$\Delta \vec{V} = \vec{V}_D - \vec{V}_A$$

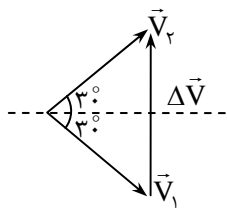
$$|\Delta \vec{V}| = 2V \sin \frac{60^\circ}{2} \Rightarrow |\Delta \vec{V}| = 6 \frac{m}{s} \Rightarrow |\bar{a}| = \frac{|\Delta \vec{V}|}{\Delta t} \rightarrow \bar{a}_{AD} = \frac{6}{10} \frac{m}{s^2}$$



* **مسئله ۱۶:** یک توپ تنیس با سرعت $\frac{m}{s}$ به میزی برخورد کرده و مطابق شکل با سرعتی به همان بزرگی برمی گردد. اگر مدت تماس توپ با میز 0.05 ثانیه باشد بزرگی و جهت شتاب متوسط را در مدت برخورد توپ با میز به دست آورید.



پاسخ: ابتدای دو بردار \vec{V}_1 و \vec{V}_2 را باید از یک نقطه رسم کنیم تا بتوانیم تفاضل دو بردار را محاسبه نماییم. چون دو بردار هم اندازه‌اند، تفاضل آنها را از رابطه‌ی زیر می‌توان بدست آورد.



$$\Delta V = 2V \sin \frac{60}{2} \Rightarrow \Delta V = 2 \times 18 \times \frac{1}{2} = 18 \frac{m}{s}$$

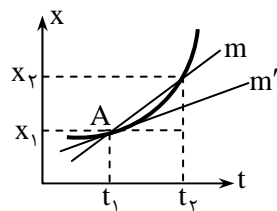
$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} \rightarrow |\vec{a}| = \frac{18}{0.05} = 360 \frac{m}{s^2}$$

جهت \vec{a} نیز هم جهت با $\Delta \vec{V}$ یعنی قائم رو به بالاست. آنچه از مثالهای قبل آموختیم اینست که برای محاسبه شتاب متوسط باید طول بردار $\Delta \vec{V}$ را بدست آورده و بر Δt تقسیم کنیم.

شتاب لحظه‌ای:

با استدلالی نظیر آن چه در مورد سرعت لحظه‌ای بیان کردیم در این جا نیز باید فاصله‌ی زمانی Δt را فوق العاده کوچک بگیریم که در این صورت $\Delta \vec{V}$ نیز بسیار کوچک شده و نسبت $\frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$ را شتاب لحظه‌ای می‌نامیم. بحث گسترده‌تر درباره‌ی شتاب لحظه‌ای و رابطه‌ی آن با سرعت لحظه‌ای در سطح پیش دانشگاهی مطرح خواهد شد.

نمودار مکان - زمان و تعبیر هندسی سرعت



فرض کنید متحرکی روی محور x ها در حرکت باشد و طوری که در هر لحظه از حرکت مکان آن را نسبت به مبدأ مختصات بدانیم، می‌توانیم مکان را روی محور قائم و زمان را بر روی محور افقی نمایش دهیم. چنانچه نمودار مکان-زمان متحرکی به صورت زیر باشد شیب خطی که دو نقطه‌ی A و B را به هم وصل می‌کند برابر: $m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ همان سرعت متوسط در فاصله‌ی زمانی t_1 تا t_2 است.

حال اگر Δt به تدریج کوچک و کوچک‌تر شود شیب خط در نهایت در نقطه‌ی A به گونه‌ای می‌شود که خط AB بر نمودار مماس می‌شود پس می‌توان گفت:

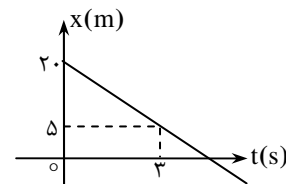
شیب خط مماس بر نمودار مکان-زمان در هر لحظه برابر سرعت لحظه‌ایست: $m' = V$

نتیجه می‌گیریم که کمیت‌هایی مثل سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای را که با آنها تا به حال آشنایی داشته‌ایم را می‌توانیم با استفاده از نمودارهای مکان - زمان نیز توصیف کنیم و در واقع آنها را بطور هندسی نیز بیان کنیم.

* **مسئله ۱۷:** نمودار مکان-زمان متحرکی داده شده است.

الف) نوع و معادله‌ی حرکت را مشخص کنید.

ب) در چه لحظه‌ای از مبدأ می‌گذرد؟



پاسخ: الف) شیب این خط (سرعت) ثابت است پس حرکت یکنواخت است.

$$V = \frac{x - x_0}{t}$$

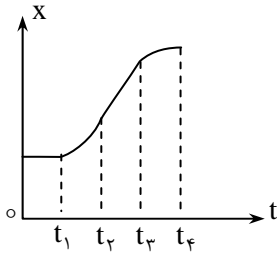
$$V = \frac{5 - 20}{3} = -5 \frac{m}{s} \rightarrow x = Vt + x_0 \rightarrow x = -5t + 20$$

ب) در لحظه‌ی عبور از مبدأ $x = 0$ می‌شود.

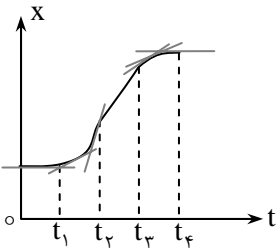
$$0 = -5t + 20 \rightarrow t = 4s$$



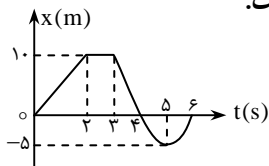
سؤال: نمودار مکان- زمان متحرکی که بر مسیر مستقیم حرکت می کند داده شده است. چگونگی سرعت را در بازه های زمانی مختلف بررسی کنید.



پاسخ: $(0 - t_1)$ ، شیب خط مماس بر نمودار (سرعت) صفر است یعنی متحرک ساکن است.
 $(t_1 - t_2)$ شیب خط مماس در حال افزایش است یعنی سرعت زیاد می شود.
 $(t_2 - t_3)$ شیب خط مماس (سرعت) ثابت است.
 $(t_3 - t_4)$ شیب خط مماس در حال کاهش است و در t_4 جسم متوقف می شود.



مسئله ۱۸: نمودار تغییرات مکان متحرکی که بر محور x حرکت می کند بر حسب زمان داده شده است.



الف) سرعت متوسط آنرا در بازه های زمانی 0 تا 2 س و 2 تا 4 س و 4 تا 6 س بدست آورید.
 ب) متحرک در مدت 6 س چه مسافتی پیموده است؟

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10 - 0}{2 - 0} = 5 \frac{m}{s}$$

پاسخ: الف) سرعت متوسط از 0 تا 2 س:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - 10}{4 - 2} = -5 \frac{m}{s}$$

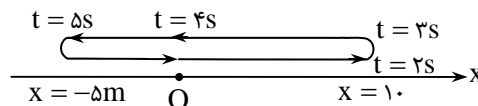
سرعت متوسط از 2 تا 4 س:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - 0}{6 - 4} = 0$$

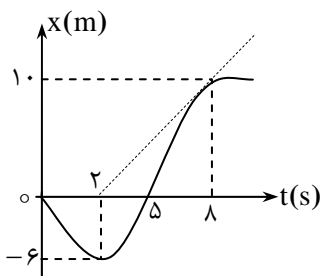
سرعت متوسط از 4 تا 6 س:

ب) این متحرک در 2 س اول با سرعت ثابتی از $x = 0$ تا $x = 10$ متری مبدا را در جهت $+$ می رود از 2 تا 4 س متوقف است. از $t = 4$ س تا $t = 5$ س به طرف مبدا برمی گردد (سرعت آن منفی است). از $t = 4$ س تا $t = 5$ س از مبدأ تا $x = -5$ متری می رود در بازه ی زمانی $t = 5$ س تا $t = 6$ س دوباره به مبدا برمی گردد. شکل واقعی حرکت را می توانیم بصورت زیر نمایش دهیم:

مسافت پیموده شده $= 10 + 10 + 5 + 5 = 30$ m



مسئله ۱۹: نمودار مکان- زمان متحرکی که بر محور x حرکت می کند مطابق شکل زیر است.



الف) حرکت واقعی متحرک را روی محور x ها به طرز ساده ای نمایش دهید.

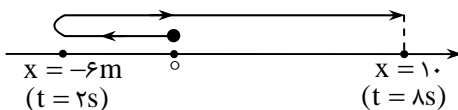
ب) متحرک در مدت 8 س چند متر جابه جا شده است؟

پ) متحرک در مدت 8 س چند متر از طول مسیر (چه مسافتی) پیموده است؟

ت) سرعت متوسط متحرک در مدت 8 س چند متر بر ثانیه است؟

ث) شتاب متوسط در فاصله ی زمانی $t_1 = 2$ س تا $t_2 = 8$ س چند $\frac{m}{s^2}$ است.

پاسخ: الف) ابتدا به طرز ساده ای مسیر حرکت را نشان می دهیم.



ب)

$$\Delta x = x_f - x_i = 10 - 0 = 10 \text{ m}$$

پ) متحرک در ۲ ثانیه‌ی اول ۶ متر در خلاف جهت محور x حرکت کرده است. سپس به همین اندازه برمی‌گردد تا به مبدأ برسد، سپس به اندازه‌ی ۱۰ متر دیگر در جهت محور x حرکت کرده است پس مسافت کل:

$$S = 6 + 6 + 10 = 22 \text{ m}$$

$$\bar{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10 - 0}{8} = 1/25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

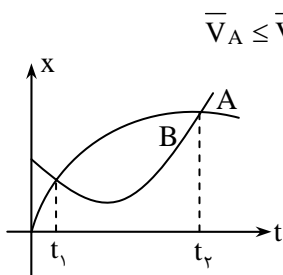
ت)

ث) برای محاسبه‌ی شتاب متوسط باید سرعت متحرک یعنی شیب خط مماس بر نمودار را در لحظات $t_1 = 2\text{s}$ و $t_2 = 8\text{s}$ به دست آوریم. در

$$t = 2\text{s} \text{ شیب خط مماس یعنی سرعت صفر است و در } t = 8\text{s} \text{ شیب خط مماس } m = \frac{10}{8-2} = \frac{5}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \frac{5 - 0}{8 - 2} = \frac{5}{6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

تست ۱: شکل زیر نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B را که بر محور x حرکت می‌کنند نشان می‌دهد کدام گزینه درباره‌ی سرعت متوسط آن‌ها در بازه‌ی زمانی t_1 تا t_2 درست است؟



$$\bar{V}_A \leq \bar{V}_B \quad (۴)$$

$$\bar{V}_A = \bar{V}_B \quad (۳)$$

$$\bar{V}_A < \bar{V}_B \quad (۲)$$

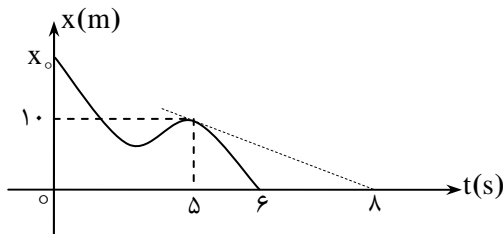
$$\bar{V}_A > \bar{V}_B \quad (۱)$$

پاسخ: اگر نقطه‌ی تلاقی دو نمودار را به هم وصل کنیم دو خط مستقیم خواهیم داشت که کاملاً بر هم منطبق‌اند.

یعنی شیب این دو خط نیز که همان سرعت متوسط است با هم برابر خواهد بود. از طرفی با توجه در نمودار در بازه‌ی زمانی t_1 تا t_2 جابه‌جایی دو متحرک برابر است پس سرعت متوسط یکسان است.

گزینه‌ی ۳ صحیح است.

مسئله‌ی ۱۰: اگر سرعت متوسط متحرکی در مدت ۶ ثانیه اول برابر سرعت در لحظه‌ی $t = 5\text{s}$ باشد متحرک در مبدأ زمان در چه مکانی بوده است؟



پاسخ: ابتدا سرعت در لحظه‌ی $t = 5\text{s}$ را به دست می‌آوریم که همان شیب خطی است که در $t = 5\text{s}$ بر نمودار مماس شده است:

چون شیب خط مماس بر نمودار در $t = 5\text{s}$ منفی است سرعت در این لحظه منفی شده است.

$$\bar{V} = \frac{0 - x_0}{6}$$

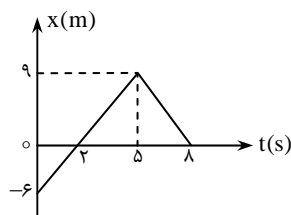
اما سرعت متوسط در مدت ۶ ثانیه:

$$\bar{V} = v \Rightarrow -\frac{x_0}{6} = -\frac{10}{3} \rightarrow x_0 = 20 \text{ m}$$

با برابر قرار دادن سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای خواهیم داشت:

مسئله‌ی ۱۱: نمودار مکان-زمان متحرکی بصورت مقابل است.

الف) سرعت متوسط متحرک را در ۵s اول حرکت و ۳ ثانیه آخر حرکت بدست آورید.



ب) سرعت متوسط در مدت ۸s چند $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ است؟

پ) سرعت متحرک در $t = 4\text{s}$ چند $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ است؟

ت) متحرک در چه لحظه‌ای از مبدأ مکان عبور کرده است؟

ث) حرکت واقعی متحرک را به طرز ساده‌ای نشان دهید.



$$\bar{V} = \frac{x_5 - x_0}{5 - 0} = \frac{9 - (-6)}{5} = 3 \frac{m}{s}$$

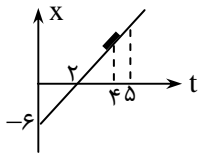
پاسخ: الف) در ۵ ثانیه اول:

$$\bar{V} = \frac{x_8 - x_5}{8 - 5} = \frac{0 - 9}{3} = -3 \frac{m}{s}$$

در ۳ ثانیه آخر:

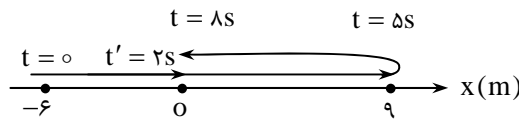
$$\bar{V} = \frac{x_8 - x_0}{8 - 0} = \frac{0 - (-6)}{8} = \frac{3}{4} \frac{m}{s}$$

ب) در کل مدت ۸s:



پ) چون شیب نمودار بین ۰ تا ۵ ثانیه ثابت است پس در هر لحظه‌ای که بر نمودار مماس کنیم شیب خط حاصل یکسان خواهد بود بنابراین سرعت در لحظه‌ی $t = 4s$ برابر با همان سرعت متوسط در مدت ۵s است.

ت) با توجه به نمودار در $t = 2s$ مکان متحرک $x = 0$ است پس در $t = 2s$ متحرک از مبدأ مکان می‌گذرد.
ث)



معادله‌ی حرکت (مکان- زمان): اگر بین مکان متحرک و زمان حرکت رابطه‌ی ریاضی خاصی وجود داشته باشد به آن معادله‌ی حرکت یا مکان- زمان می‌گوییم.

مسئله‌ی ۱۲۲: رابطه‌ی بین مکان یک متحرک با زمان به صورت $x = 3t - 6$ است.

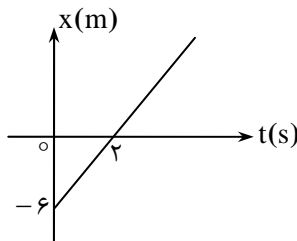
الف) نمودار مکان- زمان آن را رسم کنید.

ب) سرعت متحرک را در لحظه‌ی $t = 2s$ مشخص کنید و با سرعت متوسط در دو ثانیه‌ی اول مقایسه کنید.

پاسخ: الف) در این معادله، x بر حسب زمان به صورت خطی مستقیم است شیب نمودار سرعت متحرک را مشخص می‌کند. پس سرعت این متحرک ثابت و برابر ۳ است.

ب) دقت کنید که در لحظه‌ی $t = 2s$ متحرک از مبدأ مختصات می‌گذرد اما شیب نمودار (سرعت)

همواره $3 \frac{m}{s}$ است. اگر بخواهیم سرعت متوسط را در ۲ ثانیه‌ی آغاز حرکت به دست آوریم:



$$\bar{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$t = 0 \rightarrow x_1 = -6 \Rightarrow \bar{V} = \frac{0 - (-6)}{2} = 3 \frac{m}{s}$$

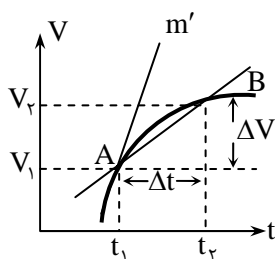
$$t = 2 \rightarrow x_2 = 0$$

چون شیب خط ثابت است، سرعت متوسط در هر فاصله‌ی زمانی مقدار ثابت است.

نمودار سرعت- زمان و تغییر هندسی شتاب

اگر محور قائم را برای سرعت و محور افقی را برای زمان در نظر بگیریم با داشتن سرعت متحرک در لحظه‌های مختلف نمودار سرعت- زمان به دست می‌آید. با استفاده از این نمودار علاوه بر اطلاعاتی که درباره‌ی حرکت به دست می‌آوریم می‌توانیم شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای را نیز محاسبه کنیم. نمودار سرعت- زمان متحرکی به صورت روبرو است:

شیب خطی که دو نقطه‌ی A و B را به هم وصل می‌کند، برابر شتاب متوسط متحرک در این فاصله‌ی زمانی است:



$$\begin{cases} m = \frac{\Delta V}{\Delta t} \\ \bar{a} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \end{cases} \rightarrow m = \bar{a}$$

حال اگر Δt دائماً کوچک و کوچک‌تر شود نقطه‌ی B به A نزدیک‌تر شده و خط بین A و B در نهایت در نقطه‌ی A، بر نمودار مماس می‌شود و شیب این خط مماس، برابر شتاب لحظه‌ای (در لحظه‌ی t_1) است.