به همراه
پرسش ها و پاسخ نامه تشریحی
کنکور ۹۸

کتاب کنکور

رشته علوم تجربی

فیزیک کیمیا دوازدهم

از مجموعه مرشد

حسین ایروانی ■ احسان نوروزی
کیوان طهوری

بسم الله الرحمن الرحیم

مقدمه

به نام خداوند جان و خرد

کزین برتر اندیشه بر نگذرد

در محتوای درس فیزیک نظام جدید آموزش متوسطه تغییرات بسیار عمیقی رخ داده، اما بی‌اغراق سال دوازدهم انقلابی‌تریِنِ این تغییرات را شاهد بوده است. وارد شدن مباحثی نو که در نظام قدیم معادلی نداشتند، دست طراحان کنکور را برای ارائه سؤالات مفهومی بسیار باز می‌کند. همچنین در ظاهر مفاهیمی حذف شده است، اما تنها با یک تغییر دیدگاه مختصر می‌توان تست‌های مرتبط با این مباحث را به نحوی بیان کرد که با محتوای کتاب همخوان باشد.

نویسندگان در «کتاب فیزیک دوازدهم از مجموعه مرشد» نهایت تلاش خود را کرده‌اند که نه تنها مطالب جدید کتاب درسی پوشش کامل داده شود، بلکه با وسواس از آوردن مطالب حذف شده خودداری کرده و در عین حال کوشیده‌اند مفاهیمی که در ظاهر حذف شده‌اند ولی در باطن کتاب همچنان وجود دارند حذف نشوند. به جرات می‌توانیم بگوییم که انتشارات مبتکران از معدود ناشرانی است که توانسته است جامع‌ترین محتوا را تنها در یک جلد ارائه دهد تا به این ترتیب هم ارزشی را که برای وقت دانش‌آموزان عزیز قائلیم را نشان دهیم و هم بدون قربانی کردن کیفیت، به فکر اقتصاد خانواده‌های این عزیزان هم باشیم.

در پایان بر خود واجب می‌دانیم که از مؤلفان محترم کتاب آقایان: احسان نوروزی، حسین ایروانی و کیوان طهوری و حمایت‌های همه جانبهٔ دبیر محترم مجموعه آقای مهندس هادی عزیززاده سپاسگزاری کنیم. همچنین از جناب مهندس عماد نوروزی بابت چندین نوبت بازبینی علمی کتاب و همچنین از عزیزانی که در انتشارات مبتکران با زحمات بی‌شائبه در به ثمر رساندن این کتاب نقش داشته‌اند قدردانی می‌کنیم. به طور خاص قدردانی خود را از خانم نیلوفر صفاری قمصری (حروف‌چین و صفحه آرا) و خانم‌ها نسرین صفری، بهاره خدامی و مینا هرمزی (گرافیست‌ها) ابراز می‌کنیم.

امید است که این کتاب بتواند یاری رسان دانش‌آموزان عزیز در راه موفقیت در کنکور باشد.

انتشارات مبتکران

فهرست

۱

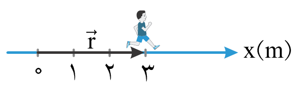
فصل اول:
حرکت بر خط راست

درس‌نامه

فصل ۱: حرکت بر خط راست

بردار مکان، جابه‌جایی ـ مسافت

حرکت یک‌بعدی (حرکت بر روی خط راست): اگر مسیر حرکت متحرکی به شکل خطی راست باشد، حرکت آن را یک‌بعدی می‌گویند.



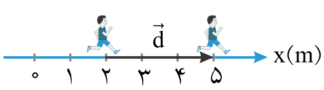
بردار مکان: برای تشخیص مکان یک متحرک، نقطه‌ای را به عنوان مبدأ مکان (مبدأ مختصات) درنظر می‌گیرند و تمام فاصله‌ها را نسبت به این نقطه می‌سنجند. **بردار مکان برداری است که مبدأ مکان (مبدأ مختصات) را به مکان متحرک وصل می‌کند** و معمولاً آن را با نماد $\vec{r}$ نشان می‌دهیم.

توجه مختصات مبدأ مکان صفر در نظر گرفته می‌شود.

توجه بردار مکان جسم هیچ اطلاعی دربارهٔ جهت حرکت جسم به ما نمی‌دهد.

> **نکته** برای این‌که جهت بردار مکان جسم تغییر کند، باید مکان جسم تغییر علامت بدهد؛ یعنی به عنوان مثال از مکان‌های مثبت به مکان‌های منفی برود. در واقع شرط اصلی تغییر جهت بردار مکان جسم این است که جسم از مبدأ مکان عبور کند.

جابه‌جایی: برای نمایش تغییر مکان یک متحرک از بردار «جابه‌جایی» استفاده می‌شود. جابه‌جایی، برداری است که مکان اولیهٔ متحرک را به مکان ثانویهٔ آن وصل می‌کند.



بردار جابه‌جایی را با نماد $\vec{d}$ نشان می‌دهند.

توجه جابه‌جایی یک متحرک را که روی خط راست از مکان x_1 به مکان x_2 می‌رود می‌توان از رابطهٔ زیر محاسبه کرد.

$$\boxed{\vec{d}=(x_2-x_1)\vec{i}=\Delta x\vec{i}} \xrightarrow{\text{نمونه}} \text{در شکل بالا} \quad \vec{d}=(x_2-x_1)\vec{i}=(5-2)\vec{i}=(3m)\vec{i}$$

توجه جابه‌جایی فقط به مکان اولیه و نهایی متحرک بستگی دارد و به شکلِ مسیر طی شده بین این دو نقطه وابسته نیست.

> **نکته** اگر $\Delta x>0$ باشد، یعنی متحرک در جهت محور x و اگر $\Delta x<0$ باشد، یعنی متحرک در خلاف جهت محور x جابه‌جا می‌شود.

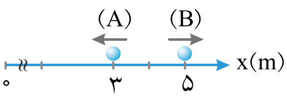
مسافت: **طول مسیر طی شده توسط متحرک را مسافت می‌گویند.** برخلاف جابه‌جایی که اندازه‌اش فقط به فاصلهٔ مکان اولیه تا مکان ثانویهٔ جسم بستگی دارد، مسافت به مسیر طی شده بستگی دارد. مسافت را با نماد ℓ نشان می‌دهیم.

> **نکته** در حرکت‌های رفت و برگشتی که متحرک مجدداً به مکان اولیهٔ خود برمی‌گردد، جابه‌جایی صفر است ولی مسافت صفر نیست و برابر طول مسیر رفت و برگشتی طی شده توسط متحرک است.

> **نکته** در صورتی که متحرک روی خط راست حرکت کند و تغییر جهت ندهد، مسافت و جابه‌جایی آن هم‌اندازه‌اند؛ به‌طور کلی همواره مسافت طی شده توسط متحرک بزرگ‌تر مساویِ جابه‌جایی متحرک است: $\boxed{\ell \geq |\Delta x|}$

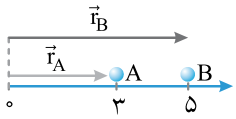
نکته جابه‌جایی یک کمیت **برداری** است و در حرکت یک‌بعدی ممکن است مثبت یا منفی باشد؛ اما مسافت کمیتی **نرده‌ای** و همواره مثبت است.

تست ۱ دو جسم A و B مطابق شکل مقابل بر روی محور x در حرکت‌اند. در لحظهٔ نشان داده شده بردار مکان این جسم در SI کدام است و همچنین اگر جهت حرکت آنها تغییر نکند، بردار جابه‌جایی جسم‌های A و B در یک مدت نسبتاً طولانی، به ترتیب از راست به چپ در کدام جهت است؟



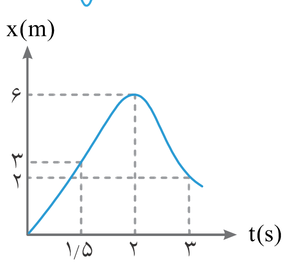
۱) $\vec{r}_A = -۳\vec{i}$ و $\vec{r}_B = ۵\vec{i}$ و $\leftarrow$ و $\rightarrow$
۲) $\vec{r}_A = ۳\vec{i}$ و $\vec{r}_B = ۵\vec{i}$ و $\leftarrow$ و $\rightarrow$
۳) $\vec{r}_A = ۳\vec{i}$ و $\vec{r}_B = ۵\vec{i}$ و $\rightarrow$ و $\rightarrow$
۴) $\vec{r}_A = -۳\vec{i}$ و $\vec{r}_B = ۵\vec{i}$ و $\rightarrow$ و $\rightarrow$

پاسخ بردار مکان، مبدأ را به مکان جسم وصل می‌کند. بنابراین در لحظهٔ نشان داده شده بردار مکان متحرک A برابر با $\vec{r}_A = ۳\vec{i}$ و بردار مکان متحرک B برابر با $\vec{r}_B = ۵\vec{i}$ است.



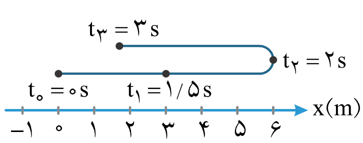
اگر جهت حرکت دو جسم تغییر نکند، جابه‌جایی آن‌ها در جهت حرکت آن‌ها خواهد بود. بنابراین پس از مدتی طولانی A از مبدأ عبور کرده و در سمت منفی محور قرار می‌گیرد. بردار جابه‌جایی جسم A به سمت چپ $(\leftarrow)$ ولی B همواره در سمت راست مبدأ باقی مانده و در نتیجه بردار جابه‌جایی جسم B در جهت راست $(\rightarrow)$ خواهد بود.

مقدمه‌ای بر نمودار مکان ـ زمان $(x-t)$



نموداری است که مکان جسم را در هر لحظه نمایش می‌دهد. از روی نمودار مکان ـ زمان یک متحرک، می‌توان مکان، جابه‌جایی و مسافت طی شده توسط آن را به دست آورد.

۱ مکان جسم در هر لحظه: به عنوان نمونه در شکل مقابل متحرک در لحظهٔ $t = ۱/۵s$ در مکان $x = ۳m$، در لحظهٔ $t = ۲s$ در مکان $x = ۶m$ و در لحظهٔ $t = ۳s$ در مکان $x = ۲m$ است.



توجه مسیر حرکت متحرک نباید به اشتباه با شکل نمودار مکان ـ زمان متحرک یکسان در نظر گرفته شود. همان‌طور که در شکل بالا مشخص است، ممکن است نمودار مکان ـ زمان یک متحرک به شکل منحنی باشد، اما مسیر حرکت آن یک خط راست باشد.

۲ جابه‌جایی: با استفاده از رابطهٔ $\Delta x = x_۲ - x_۱$ و با در دست داشتن مکان متحرک در دو لحظه که آن را از نمودار استخراج می‌کنیم، می‌توان جابه‌جایی متحرک را محاسبه کرد. به عنوان نمونه در شکل بالا جابه‌جایی متحرک در بازهٔ زمانی از $t_۱ = ۱/۵s$ تا $t_۲ = ۳s$ برابر با $\Delta x = x_۲ - x_۱ = ۲ - ۳ = -۱m$ است.

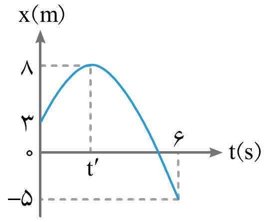
۳ مسافت: اگر مجموع جابه‌جایی‌های متحرک در جهت مثبت را با اندازهٔ مجموع جابه‌جایی‌های آن در جهت منفی جمع کنیم، مسافت طی شده توسط متحرک به دست می‌آید. $\ell = |\Delta x_۱| + |\Delta x_۲| + |\Delta x_۳| + \cdots$

به عنوان نمونه در شکل بالا، مسافت طی شده توسط متحرک در بازهٔ زمانی $t_۱ = ۱/۵s$ تا $t_۲ = ۳s$ برابر است با:

$$\begin{cases} t_۱ = ۱/۵s \to x_۱ = ۳m \\ t_۲ = ۲s \to x_۲ = ۶m \\ t_۳ = ۳s \to x_۳ = ۲m \end{cases} \quad \begin{matrix} \Delta x_۱ = x_۲ - x_۱ = ۶ - ۳ = ۳m \\ \Delta x_۲ = x_۳ - x_۲ = ۲ - ۶ = -۴m \end{matrix} \to \ell = |\Delta x_۱| + |\Delta x_۲| = ۳ + ۴ = ۷m$$

توجه در نمودار بالا متحرک تا لحظهٔ $t = ۲s$ در جهت محور x و از لحظهٔ $t = ۲s$ به بعد در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند. بنابراین متحرک در لحظهٔ $t = ۲s$ تغییر جهت می‌دهد.

تست ۲ **نمودار مکان ـ زمان متحرکی که روی محور xها حرکت می‌کند به صورت مقابل است. در بازهٔ زمانی ۰ تا ۶ ثانیه، نسبت مسافت طی شده توسط متحرک به اندازهٔ جابه‌جایی آن چند است؟**



۱) ۱ ۲) $\frac{۵}{۴}$ ۳) $\frac{۹}{۴}$ ۴) $\frac{۳}{۲}$

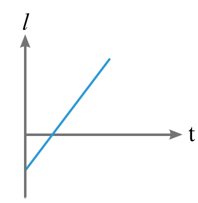
پاسخ با توجه به شکل متحرک در لحظهٔ $t_1=۰$ در مکان $x_1=۳m$ و در لحظهٔ $t_2=۶s$ در مکان $x_2=-۵$ قرار دارد. بنابراین اندازهٔ جابه‌جایی آن برابر است با: $d=\Delta x=x_2-x_1=-۵-۳=-۸m \rightarrow |d|=۸m$

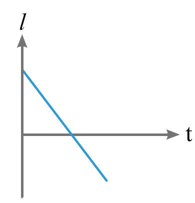
همچنین با توجه به شکل در لحظهٔ t' متحرک تغییر جهت می‌دهد. داریم:

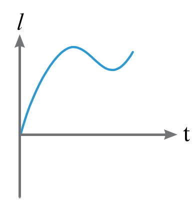
$$t_1=۰ \rightarrow x_1=۳m$$
$$t_۰=t' \rightarrow x'=۸m$$
$$t_2=۶s \rightarrow x_2=-۵m$$
$$\left.\begin{array}{l}\Delta x_1=x'-x_1=۸-۳=۵m\\ \Delta x_2=x_2-x'=-۵-۸=-۱۳m\end{array}\right\} \rightarrow \ell=|\Delta x_1|+|\Delta x_2|=۵+۱۳=۱۸m$$

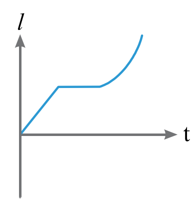
بنابراین نسبت مسافت به اندازهٔ جابه‌جایی برابر می‌شود با: گزینهٔ ۳. $\frac{\ell}{|d|}=\frac{۱۸}{۸}=\frac{۹}{۴}$

تست ۳ **متحرکی روی مسیر مستقیمی حرکت می‌کند. کدام‌یک از نمودارهای زیر می‌تواند نشان‌دهندهٔ مسافت طی شده توسط این متحرک (ℓ) بر حسب زمان باشد؟**

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

پاسخ زمانی که متحرکی در مسیری شروع به حرکت می‌کند، طولی از مسیر که توسط متحرک طی شود، همان مسافت (ℓ) است. بنابراین مسافت طی شده توسط متحرک باید همواره مثبت باشد (حذف گزینه‌های ۱ و ۲) و با گذشت زمان یا مقدار آن افزایش یابد که مربوط به زمانی است که متحرک در حال حرکت است و یا مقدار آن ثابت باقی می‌ماند که مربوط به زمانی است که متحرک ساکن است؛ پس تنها نمودار گزینهٔ «۴» می‌تواند نشان‌دهندهٔ مسافت طی‌شده توسط متحرک برحسب زمان باشد، زیرا در نمودار گزینهٔ «۳» مسافت کاهش یافته است که غیرممکن است.

معادلهٔ حرکت

معادله‌ای ریاضی که مکان متحرک را به صورت تابعی از زمان بیان می‌کند. به کمک این معادله می‌توان مکان متحرک را در هر لحظه مشخص کرد و به این معادله «معادلهٔ مکان ـ زمان» یا «معادلهٔ حرکت» گفته می‌شود. $x=f(t)$

نکته **به مکان متحرک در مبدأ زمان، «مکان اولیهٔ جسم» می‌گوییم. برای محاسبهٔ مکان اولیهٔ جسم، باید $t=۰$ را در معادلهٔ حرکت جای‌گذاری کنیم. مکان اولیه جسم را معمولاً با نماد $x_۰$ نشان می‌دهند.**

توجه **در بعضی از تست‌ها مبدأ شروع بررسی حرکت با مبدأ شروع حرکت ($t=۰$) متفاوت است و باید حواسمان باشد که مکان اولیه را از شروع آن بازهٔ موردنظر در نظر بگیریم (البته جای نگرانی نیست چون خود سؤال می‌گوید).**

نکته در حرکت بر روی محور x ، متحرک به تعداد دفعاتی که در معادلهٔ حرکت آن $x=0$ می‌شود، از مبدأ مکان می‌گذرد.

نکته برای محاسبهٔ جابه‌جایی متحرک بین دو لحظهٔ t_1 و t_2، مکان متحرک در این دو لحظه را با استفاده از معادلهٔ حرکت به دست می‌آوریم و از هم کم می‌کنیم $\Delta x = x_2 - x_1 \xrightarrow{f(t_2)=x_2 \text{ و } f(t_1)=x_1} (\Delta x = f(t_2) - f(t_1))$.

نکته مفهوم زمان
- ثانیهٔ اول یعنی از $t=0$ تا $t=1s$؛ ثانیهٔ دوم یعنی از $t=1s$ تا $t=2s$.
- ثانیهٔ n اُم: از لحظهٔ $(n-1)$ ثانیه تا لحظهٔ n ثانیه
- دو ثانیهٔ اول حرکت یعنی از $t=0$ تا $t=2s$؛ دو ثانیهٔ دوم حرکت یعنی از $t=2s$ تا $t=4s$.
- T ثانیهٔ n اُم: از لحظهٔ $(n-1)T$ ثانیه شروع و به لحظهٔ nT ثانیه ختم می‌شود.

نکته تعیین مسافت طی شده توسط متحرک از روی معادلهٔ حرکت آن

برای محاسبهٔ مسافت طی شده توسط متحرک در یک بازهٔ زمانی، ابتدا مشخص می‌کنیم که آیا در بازه‌های زمانی ارائه شده، جهت حرکت متحرک عوض می‌شود یا نه. در این صورت دو حالت پیش می‌آید:

۱ اگر جهت حرکت متحرک تغییر نکند: در این صورت اندازهٔ جابه‌جایی و مسافت طی شده توسط متحرک با هم برابر است.

۲ اگر جهت حرکت متحرک تغییر کند: در این صورت باید اندازهٔ جابه‌جایی در جهت + محور و نیز اندازهٔ جابه‌جایی، در جهت ـ محور را جداجدا حساب کرده و آنها را با هم جمع کنیم:

$$d = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3| + \cdots$$

تست ۴ معادلهٔ حرکت متحرکی که در مسیر مستقیم حرکت می‌کند. در SI به صورت $x = t^2 - 5t + 6$ است. در کدام‌یک از لحظه‌های زیر متحرک در حال دورشدن از مبدأ مکان است؟

۱) $t=2/4s$ ۲) $t=1s$ ۳) $t=2/7s$ ۴) $t=1/5s$

پاسخ با توجه به ریشه‌های معادلهٔ حرکت درجهٔ ۲ داده شده، ابتدا شکل نمودار مکان ـ زمان متحرک که به شکل سهمی است را رسم می‌کنیم. می‌دانیم نمودار سهمی نسبت به دو ریشهٔ معادله متقارن است، بنابراین $t' = 2/5s$ می‌باشد.

$$x = t^2 - 5t + 6 = 0 \to (t-2)(t-3) = 0 \to t = 2s \, , \, t = 3s$$

با توجه به نمودار، متحرک در لحظهٔ $t=2/4s$ در حال دورشدن از مبدأ مکان است، زیرا $|x|$ آن در حال افزایش است. پس گزینهٔ (۱) پاسخ صحیح است.

سرعت متوسط و تندی متوسط

سرعت متوسط: به نسبت جابه‌جایی متحرک به زمان جابه‌جایی آن، سرعت متوسط می‌گوییم و آن را با نماد v_{av} نشان می‌دهیم. بنابراین

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$$

در حرکت یک‌بعدی خواهیم داشت:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} \xrightarrow{\text{جابه‌جایی روی محور x باشد}} \vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\vec{i}$$

تندی متوسط: به نسبت مسافت طی شده توسط متحرک به زمانی که آن مسافت را طی کرده، تندی متوسط می‌گوییم و آن را با s_{av} نشان می‌دهیم. بنابراین خواهیم داشت:

$$s_{av} = \frac{\ell}{\Delta t}$$

توجه واحد SI سرعت متوسط و تندی متوسط، متر بر ثانیه (m/s) است. ولی واحد دیگر و پرکاربرد آنها کیلومتر بر ساعت (km/h) است و هر کیلومتر بر ساعت برابر با ۳/۶ متر بر ثانیه است. $1km/h = 3/6 m/s$

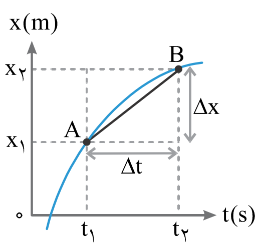
نکته تبدیل واحد کیلومتر بر ساعت و متر بر ثانیه:

$$\left(\frac{km}{h}\right) \underset{\times ۳/۶}{\overset{\div ۳/۶}{\rightleftarrows}} \left(\frac{m}{s}\right)$$

نکته سرعت متوسط کمیتی برداری است و مقدار آن می‌تواند مثبت یا منفی باشد، ولی تندی متوسط کمیتی نرده‌ای و همواره مثبت است. (چرا ؟؟؟)

نکته از آن‌جایی که Δt همواره مثبت است، علامت v_{av} تابع علامت Δx است؛ یعنی اگر متحرک در جهت محور x جابه‌جا شود، $v_{av} > ۰$ و اگر در خلاف جهت محور x جابه‌جا شود، $v_{av} < ۰$ است.

تعیین سرعت متوسط از نمودار مکان ـ زمان:



شکل مقابل نمودار مکان ـ زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در لحظهٔ $t_۱$ در مکان $x_۱$ و در لحظهٔ $t_۲$، در مکان $x_۲$ قرار دارد. اگر نقطهٔ $A(t_۱,x_۱)$ را به نقطهٔ $B(t_۲,x_۲)$ وصل کنیم، پاره‌خطی حاصل می‌شود که شیب آن برابر است با:

$$\text{شیب پاره‌خط } AB = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow v_{av} = \text{شیب پاره‌خط } AB \quad (\text{در بازهٔ زمانی } t_۱ \text{ تا } t_۲)$$

نتیجه سرعت متوسط یک متحرک بین دو لحظه از زمان، برابر با شیب پاره‌خطی است که نقاط متناظر با آن دو لحظه را بر روی نمودار مکان ـ زمان به‌هم وصل می‌کند.

تست ۵ معادلهٔ حرکت متحرکی در SI به صورت $x = ۲t^۳ - t + ۱$ است. در ثانیهٔ دوم حرکت، بردار سرعت متوسط کدام است؟

۱) $\vec{v}_{av} = (۷m/s)\vec{i}$ ۲) $\vec{v}_{av} = (-۷m/s)\vec{i}$ ۳) $\vec{v}_{av} = (-۱۳m/s)\vec{i}$ ۴) $\vec{v}_{av} = (۱۳m/s)\vec{i}$

پاسخ ثانیهٔ دوم یعنی از $t_۱ = ۱s$ تا $t_۲ = ۲s$. پس ابتدا مکان متحرک را در این دو لحظه به‌دست می‌آوریم و سپس از رابطهٔ سرعت متوسط استفاده می‌کنیم:

$$\left.\begin{array}{l} t_۱ = ۱s \rightarrow x_۱ = ۲\times(۱)^۳ - ۱ + ۱ = ۲m \\ t_۲ = ۲s \rightarrow x_۲ = ۲\times(۲)^۳ - ۲ + ۱ = ۱۵m \end{array}\right\} \rightarrow \frac{x_۲ - x_۱}{t_۲ - t_۱}\vec{i} = \frac{۱۵ - ۲}{۲ - ۱}\vec{i} \rightarrow \vec{v}_{av} = (۱۳m/s)\vec{i}$$

پس گزینهٔ (۴) پاسخ صحیح است.

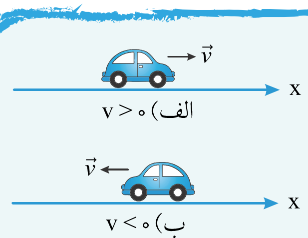
سرعت لحظه‌ای و تندی لحظه‌ای

سرعت لحظه‌ای: سرعت متحرک در هر لحظه را سرعت لحظه‌ای متحرک می‌گویند که با توجه به جهت حرکت متحرک، سرعت لحظه‌ای می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

تندی لحظه‌ای: اندازهٔ سرعت متحرک در هر لحظه است که کمیتی نرده‌ای و همواره مثبت می‌باشد.

توجه عددی که کیلومترشمار (تندی‌سنج) اتومبیل نشان می‌دهد، همان تندی اتومبیل است و اطلاعاتی از جهت حرکت اتومبیل به ما نمی‌دهد.

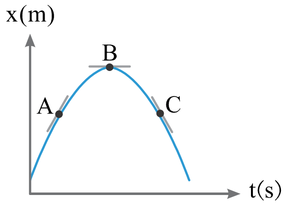
نکته دقت شود که سرعت، یک کمیت برداری است. زمانی که متحرک در جهت محور x حرکت می‌کند، بردار سرعت آن در جهت محور x و $v > ۰$ است و زمانی که متحرک در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند، بردار سرعت آن در خلاف جهت محور x و $v < ۰$ است.



نکته شرط تغییر جهت متحرک، صفر شدن سرعت و سپس تغییرعلامت آن است؛ **زیرا وقتی متحرک می‌ایستد، سرعتش صفر می‌شود و وقتی برمی‌گردد، جهت حرکت عوض می‌شود و علامت سرعت تغییر می‌کند.**

تعیین سرعت لحظه‌ای از روی نمودار مکان ـ زمان:

سرعت متحرک در هر لحظهٔ دلخواه t، برابر با شیب خط مماس بر نمودار مکان – زمان در آن لحظه است. بنابراین اگر خط مماس بر نمودار مکان زمان در یک لحظه ....

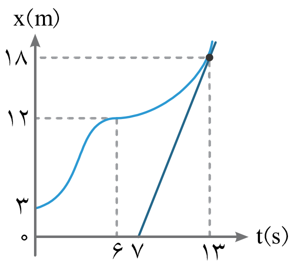


۱ به شکل صعودی باشد (مثل: /)، سرعت متحرک مثبت است $(v > 0) \leftarrow$ مانند نقطهٔ A

۲ به شکل نزولی باشد (مثل: \ )، سرعت متحرک منفی است $(v < 0) \leftarrow$ مانند نقطهٔ C

۳ به شکل افقی باشد (مثل: ــــ)، سرعت متحرک صفر است $(v = 0) \leftarrow$ مانند نقطهٔ B

تست ۶ **نمودار مکان ـ زمان متحرکی که در مسیری مستقیم حرکت می‌کند، به صورت مقابل است. سرعت متوسط متحرک در ۶ ثانیهٔ اول چند متر بر ثانیه از سرعت متحرک در لحظهٔ $t = ۱۳s$ کمتر است؟**



۱) ۳ ۲) ۱/۵

۳) ۲ ۴) ۱/۸

پاسخ: با استفاده از تعریف سرعت متوسط، در ۶ ثانیهٔ اول داریم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\rightarrow (v_{av})_{۰-۶} = \frac{x_۶ - x_۰}{۶ - ۰} = \frac{۱۲ - ۳}{۶ - ۰} = \frac{۹}{۶} = ۱/۵ \, m/s$$

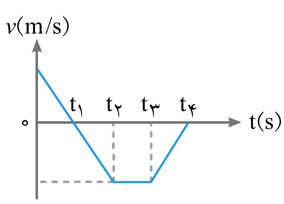
همچنین سرعت در لحظهٔ $t = ۱۳s$ برابر شیب خط مماس بر نمودار مکان ـ زمان در نقطهٔ B است. بنابراین داریم:

$$v_{۱۳} = \frac{۱۸}{۱۳ - ۷} = \frac{۱۸}{۶} = ۳ \, m/s$$

پس سرعت متوسط حرکت در ۶ ثانیهٔ اول به اندازهٔ $۱/۵ \, m/s$ از سرعت لحظه‌ای در $t = ۱۳s$ کمتر و در نتیجه گزینهٔ (۲) پاسخ صحیح است.

مقدمه‌ای بر نمودار سرعت – زمان $(v - t)$

از روی نمودار سرعت ـ زمان متحرک می‌توان موارد زیر را تعیین کرد:



۱ **اندازه و علامت سرعت لحظه‌ای:** به کمک نمودار $v - t$ یک متحرک می‌توان اندازه و جهت بردار سرعت آن را در هر لحظه مشخص کرد.

۲ **جهت حرکت متحرک:** با توجه به علامت بردار سرعت متحرک، می‌توان جهت حرکت آن را از نمودار $v - t$ متحرک مشخص کرد.

به عنوان نمونه از نمودار قبل می‌فهمیم که:

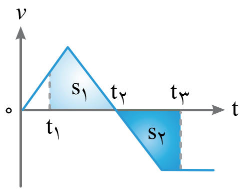
۱. متحرک از لحظهٔ صفر تا $t_۱$ در جهت مثبت محور x حرکت کرده است $(v > 0)$.

۲. در لحظهٔ $t_۱$ سرعت متحرک صفر می‌شود و سپس تغییر علامت می‌دهد؛ بنابراین از این لحظه به بعد حرکت متحرک در خلاف جهت محور x می‌شود. $(v < 0)$.

۳. از لحظهٔ $t_۲$ تا $t_۳$ متحرک با سرعت ثابت در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند.

۴. از لحظهٔ $t_۳$ تا $t_۴$ تندی حرکت متحرک کاهش می‌یابد و در نهایت در لحظهٔ $t_۴$ متوقف می‌شود؛ زیرا سرعت آن برابر صفر شده است.

نکته **به تعداد برخوردهای نمودار سرعت – زمان با محور زمان، سرعت متحرک برابر با صفر می‌شود و در صورت ادامه‌دار بودن نمودار، جهت حرکت متحرک تغییر می‌کند.**



۳ جابه‌جایی: **مساحت سطح بین نمودار سرعت ـ زمان و محور زمان در یک بازهٔ زمانی، برابر جابه‌جایی متحرک در آن بازهٔ زمانی است.** به عنوان نمونه در شکل مقابل جابه‌جایی متحرک در بازهٔ زمانی $t_۱$ تا $t_۳$ برابر است با:

$\Delta x = S_۱ + S_۲$: جابه‌جایی انجام شده

توجه **توجه کنید برای محاسبهٔ جابه‌جایی متحرک، باید مساحت زیر نمودار سرعت ـ زمان با علامت در نظر گرفته شود؛ به این صورت که مساحت‌های بالای محور زمان، با علامت مثبت و مساحت‌های پایین محور زمان، با علامت منفی منظور می‌شوند (به عنوان مثال در شکل بالا، $S_۱ > ۰$ و $S_۲ < ۰$ است).**

۴ مسافت: **مسافت طی شده توسط متحرک در یک بازهٔ زمانی، برابر مجموع قدرمطلق‌های مساحت‌های محصور بین نمودار سرعت ـ زمان و محور زمان، در آن بازهٔ زمانی است؛ به عنوان نمونه در شکل داریم:**

$l = |S_۱| + |S_۲|$: مسافت پیموده شده

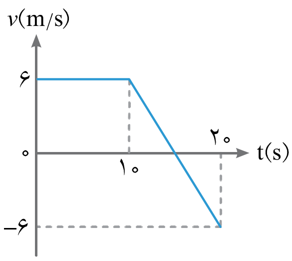
۵ سرعت متوسط: برای محاسبهٔ سرعت متوسط، ابتدا مجموع مساحت‌های زیر نمودار سرعت ـ زمان را با درنظر گرفتن علامت حساب کرده و سپس از رابطهٔ سرعت متوسط استفاده می‌کنیم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{S_۱ + S_۲ + \cdots}{\Delta t}$$

۶ تندی متوسط: برای محاسبهٔ تندی متوسط، ابتدا مجموع قدرمطلق مساحت‌های زیر نمودار سرعت ـ زمان را حساب کرده و سپس از رابطهٔ تندی متوسط استفاده می‌کنیم:

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{|S_۱| + |S_۲| + \cdots}{\Delta t}$$

تست ۷ **نمودار سرعت ـ زمان متحرکی مطابق شکل روبه‌رو است. در ۲۰ ثانیهٔ اول حرکت، سرعت متوسط متحرک چند برابر تندی متوسط آن است؟**

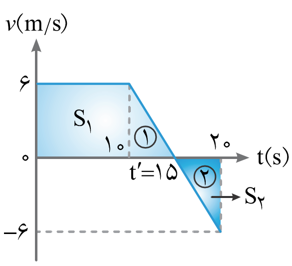


۱) $\frac{۴}{۳}$ ۲) $\frac{۵}{۱۱}$

۳) $\frac{۲}{۳}$ ۴) $\frac{۱۱}{۱۵}$

پاسخ با استفاده از تشابه دو مثلث (۱) و (۲) : t' را به دست می‌آوریم:

$$\frac{t' - ۱۰}{۲۰ - t'} = \frac{۶}{۶} \rightarrow t' - ۱۰ = ۲۰ - t' \rightarrow t' = ۱۵s$$



حال با استفاده از مساحت سطح محصور بین نمودار سرعت ـ زمان و محور t، جابه‌جایی و مسافت طی شده توسط متحرک در مدت ۲۰s را محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{cases} S_۱ = (\frac{۱۰+۱۵}{۲}) \times ۶ = ۷۵ \\ S_۲ = \frac{۵ \times (-۶)}{۲} = -۱۵ \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \text{جابه‌جایی}: \Delta x = S_۱ + S_۲ = ۷۵ - ۱۵ = ۶۰m \\ \text{مسافت}: \ell = |S_۱| + |S_۲| = ۷۵ + ۱۵ = ۹۰m \end{cases}$$

بنابراین نسبت سرعت متوسط به تندی متوسط برابر است با:

$$\frac{v_{av}}{s_{av}} = \frac{\frac{\Delta x}{t}}{\frac{\ell}{t}} = \frac{\Delta x}{\ell} = \frac{۶۰}{۹۰} = \frac{۲}{۳}$$

پس گزینهٔ (۳) پاسخ صحیح است.

شتاب متوسط

نسبت تغییرات بردار سرعت به مدت زمان انجام تغییرات را شتاب متوسط (a_{av}) می‌گویند.

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_۲ - \vec{v}_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

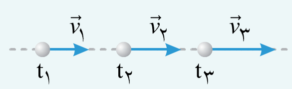
نکته **شتاب متوسط کمیتی برداری است و یکای آن در SI، متر بر مربع ثانیه ($m/s^۲$) است و چون Δt کمیتی اسکالر و همواره مثبت است از معادله فوق می‌توان نتیجه گرفت که بردار شتاب متوسط همواره در جهت بردار تغییرات ($\Delta \vec{v}$) است.**

نکته برای ایجاد حرکت شتابدار، بردار سرعت باید تغییر کند. تغییر بردار سرعت ممکن است در اثر یکی از عوامل زیر باشد:

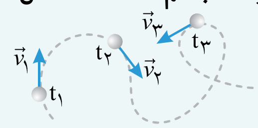
۱ تغییر در اندازهٔ بردار سرعت جسم (تندی جسم) ← مانند شکل «الف»

۲ تغییر در جهت بردار سرعت جسم ← مانند شکل «ب»

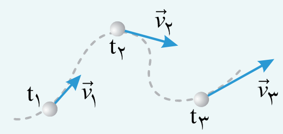
۳ تغییر هم‌زمان در اندازه و جهت بردار سرعت جسم ← مانند شکل «پ»



شکل (الف)



شکل (ب)



شکل (پ)

توجه می‌دانیم بردار سرعت در هر نقطه از مسیر، بر مسیر حرکت مماس است.

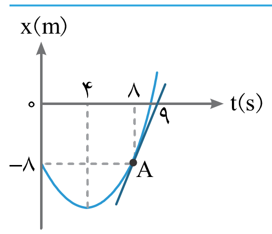
نکته اگر جسم از حال سکون شروع به حرکت کند، بردار شتاب متوسط در جهت بردار سرعت جسم یا همان جهت حرکت جسم قرار می‌گیرد.

اگر $v_1 = 0 \rightarrow \vec{a}_{av} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \dfrac{\vec{v}_2}{\Delta t} \rightarrow$ ($\vec{a}_{av}$ هم‌جهت با $\vec{v}$ قرار می‌گیرد)

نکته اگر متحرک در یک راستا حرکت کند، رابطهٔ برداری شتاب متوسط را می‌توان برای یک راستا به صورت زیر به کار برد ولی با توجه به ماهیت برداری سرعت‌های v_1 و v_2، باید به علامت‌های جبری آنها که نشان‌دهندهٔ جهت حرکت‌اند، توجه کنیم.

$$\boxed{a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}}$$ ← رابطهٔ شتاب متوسط برای حرکت بر خط راست

تست ۸ نمودار مکان ـ زمان جسمی که روی خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. شتاب متوسط متحرک در چهارم ثانیهٔ دوم حرکت چند متر بر مربع ثانیه است؟



۱) صفر ۲) ۴

۳) ۳ ۴) ۲

پاسخ چهار ثانیهٔ دوم یعنی بازهٔ زمانی $t_1 = 4s$ تا $t_2 = 8s$. برای محاسبهٔ شتاب متوسط در این بازهٔ زمانی ابتدا سرعت را در لحظه‌های $t_1 = 4s$ و $t_2 = 8s$ محاسبه کنیم. در لحظهٔ $t_1 = 4s$، خط مماس بر نمودار مکان ـ زمان افقی است و بنابراین شیب آن صفر است؛ پس سرعت در لحظهٔ $t_1 = 4s$ برابر $v = 0$ است. در لحظهٔ $t_2 = 8s$، سرعت برابر شیب خط مماس بر نمودار مکان ـ زمان در نقطهٔ A است و داریم:

$$v_2 = \frac{0 - (-8)}{9 - 8} = \frac{8}{1} = 8\,m/s$$

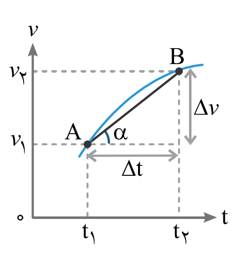
بنابراین شتاب متوسط برابر است با:

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{8 - 0}{8 - 4} = \frac{8}{4} = 2\,m/s^2$$

و در نتیجه پاسخ صحیح گزینهٔ (۴) است.

تعیین شتاب متوسط از روی نمودار سرعت ـ زمان

اگر نمودار سرعت ـ زمان متحرکی مشخص باشد، با توجه به رابطهٔ محاسبهٔ شتاب متوسط ($a_{av} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$) می‌توان نتیجه گرفت:



شتاب متوسط یک متحرک در یک بازهٔ زمانی، برابر شیب پاره‌خطی است که نقاط متناظر با دو لحظهٔ ابتدا و انتهای بازه را بر روی نمودار سرعت ـ زمان، به هم وصل می‌کند.

$$\boxed{\text{AB شیب خط واصل} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = a_{av}\ (t_2 \text{ و } t_1 \text{ در بازهٔ زمانی})}$$

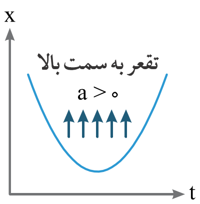
شتاب لحظه‌ای

شتاب متحرک در هر لحظهٔ دلخواه را شتاب لحظه‌ای می‌گویند که با استفاده از معادلهٔ شتاب ـ زمان آن به دست می‌آید.

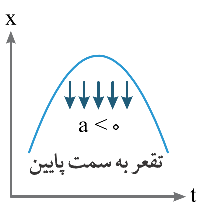
نمونه $a = 8t \xrightarrow{\text{شتاب در لحظهٔ } t = 2s} a = 8\times(2) = 16 m/s^2$

تعیین علامت شتاب از روی نمودار مکان ـ زمان

چون شتاب متحرک با دو بار مشتق گرفتن متوالی از معادلهٔ مکان متحرک نسبت به زمان به دست می‌آید، بنابراین با استفاده از مفاهیم ریاضی (در کتاب حسابان ۲ می‌خوانید که علامت مشتق دوم یک تابع، جهت تقعر آن را نشان می‌دهد) می‌توانیم با کمک گرفتن از تقعر نمودار مکان ـ زمان متحرک، به سادگی علامت شتاب متحرک را تعیین کرد. به همین منظور حالت‌های زیر رخ می‌دهد:



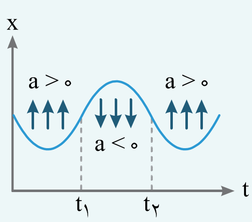
۱ اگر تقعر نمودار مکان ـ زمان به سمت بالا باشد، مشتق دوم مکان متحرک نسبت به زمان مثبت بوده و این یعنی شتاب متحرک مثبت است. در این حالت، **بردار شتاب در جهت محور x است.**



۲ اگر تقعر نمودار مکان ـ زمان متحرک به سمت پایین باشد، مشتق دوم مکان متحرک نسبت به زمان منفی بوده و این یعنی شتاب متحرک منفی است. در این حالت، **بردار شتاب متحرک در خلاف جهت محور x است.**

نکته **در نقاط عطف نمودار مکان ـ زمان، مشتق دوم تابع صفر است و در واقع جهت تقعر نمودار تغییر می‌کند؛ در نتیجه در نقاط عطف نمودار مکان ـ زمان شتاب متحرک صفر شده و علامت آن عوض می‌شود. بنابراین به تعداد نقاط عطف نمودار مکان ـ زمان، جهت شتاب متحرک عوض می‌شود.**

با توجه به این موضوع، در شکل مقابل در لحظات t_1 و t_2 از نمودار مکان ـ زمان، بردار شتاب متحرک تغییر جهت می‌دهد.

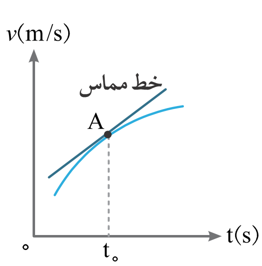


توجه **مفاهیم حسابان کلاً در فیزیک نظام جدید حذف شده است و اگر در این قسمت صحبتی از مشتق کردیم صرفاً برای عمیق‌تر شدن یادگیری شما است وگرنه در کنکور هم سؤالاتی که نیاز به محاسبهٔ مشتق باشد نخواهد آمد.**

تعیین شتاب لحظه‌ای از روی نمودار سرعت ـ زمان

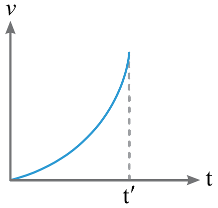
شتاب، مشتق سرعت نسبت به زمان است؛ **بنابراین، شتاب در هر لحظهٔ دلخواه t، برابر شیب خط مماس بر نمودار سرعت ـ زمان در آن لحظه است.** به عنوان نمونه در شکل مقابل داریم:

شیب خط مماس بر نمودار در نقطهٔ $A = a_{t_0}$



نتیجه در مدت زمانی که نمودار سرعت ـ زمان متحرک به شکل **صعودی** باشد (مثل یا یا)، شتاب آن **مثبت** و در مدتی که نمودار آن به شکل **نزولی** است (مثل یا یا)، شتاب آن **منفی** است؛ همچنین اگر نمودار شکل یک خط **افقی** (موازی با محور زمان) باشد، سرعت متحرک ثابت و شتابش **صفر** است.

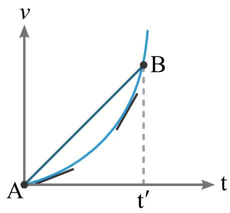
تست ۹ **نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند، به صورت سهمی شکل مقابل است. در بازهٔ زمانی ۰ تا t'، شتاب متوسط متحرک .... از شتاب لحظه‌ایِ متحرک در طول این بازه است.**



۱) همواره کمتر ۲) ابتدا بیشتر و سپس کمتر

۳) همواره بیشتر ۴) ابتدا کمتر و سپس بیشتر

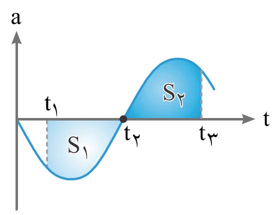
پاسخ شتاب متوسط برابر است با شیب خطی که نقاط ابتدایی و انتهایی این بازه را روی نمودار سرعت ـ زمان به یکدیگر وصل می‌کند (شیب‌خط AB). از طرفی شتاب متحرک در هر لحظه برابر با شیب خط مماس بر نمودار سرعت ـ زمان است که در اینجا دو لحظهٔ مختلف خط‌های مماس بر نمودار را رسم کرده‌ایم. با توجه به شکل مقابل شیب‌خط AB ابتدا از شیب مماس بر نمودار بیشتر و سپس کمتر است؛ بنابراین شتاب متوسط متحرک **ابتدا بیشتر و سپس کمتر** از شتاب متحرک در طول این بازه است. پس گزینهٔ (۲) پاسخ صحیح است.



مقدمه‌ای بر نمودار شتاب ـ زمان (a – t)

اگر نمودار شتاب ـ زمان متحرکی مشخص باشد به کمک این نمودار می‌توان علاوه بر شتاب متحرک در هر لحظه، تغییرات سرعت آن را نیز مشخص کرد که عبارت است از:

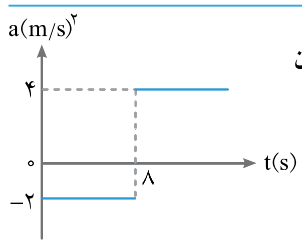
مساحت محصور بین نمودار شتاب ـ زمان متحرک و محور زمان در یک بازهٔ زمانی (Δv). به عنوان نمونه در شکل مقابل تغییرات سرعت متحرک در بازهٔ زمانی t_1 تا t_3 برابر است با:



$$\text{تغییرات سرعت}: \Delta v = S_1 + S_2$$

توجه **توجه کنید باید مساحت‌ها با علامت درنظر گرفته شوند؛ به این صورت که مساحت‌های بالای محور زمان، با علامت مثبت و مساحت‌های پایین محور زمان با علامت منفی منظور می‌شود (به عنوان مثال در شکل بالا $S_1 < ۰$ و $S_2 > ۰$ است.)**

تست ۱۰ **متحرکی با سرعت اولیه $v_0 = -۱۲ \, m/s$ روی محور x در حال حرکت است و نمودار شتاب ـ زمان آن مطابق شکل مقابل است. در کدام لحظه جسم برای لحظه‌ای متوقف شده است؟**



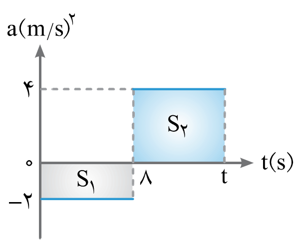
۱) $t = ۱۵s$ ۲) $t = ۷s$

۳) $t = ۱۲s$ ۴) $t = ۱۶s$

پاسخ چون در لحظهٔ t جسم متوقف می‌شود، بنابراین در این لحظه سرعت آن برابر $v = ۰$ است.

پس در مدت t ثانیه، تغییرات سرعت برابر است با: $\Delta v = v - v_0 = ۰ - (-۱۲) = ۱۲ \, m/s$

تغییرات سرعت متحرک برابر سطح محصور بین نمودار شتاب ـ زمان و محور t است، بنابراین داریم:



$$\Delta v = S_1 + S_2 \to ۱۲ = (۸ \times -۲) + (t - ۸) \times ۴ \to ۴ \times (t - ۸) = ۲۸ \to t - ۸ = ۷ \to t = ۱۵s$$

پس گزینهٔ (۱) پاسخ صحیح است.

توجه **چون سرعت اولیهٔ جسم منفی است و تا لحظهٔ $t = ۸s$ نیز شتاب آن منفی است، پس برای این که جسم متوقف شود باید سرعت آن افزایش یابد و این یعنی شتاب مثبت باشد؛ بنابراین لحظهٔ توقف جسم (t)، قطعاً پس از $t = ۸s$ است.**

تعیین نوع حرکت (تندشونده، کندشونده، یکنواخت)

با توجه به نوع تغییر اندازهٔ سرعت (تندی) جسم، حرکت آن را به سه دسته تقسیم‌بندی می‌کنند:

۱ اگر اندازهٔ سرعت (تندی) جسم **افزایش** یابد، حرکت را **تندشونده** می‌نامیم.

۲ اگر اندازهٔ سرعت (تندی) جسم **کاهش یابد**، حرکت را **کندشونده** می‌نامیم.

۳ اگر اندازهٔ سرعت (تندی) جسم **تغییر نکند**، حرکت را **یکنواخت** می‌نامیم.

توجه در حرکت یکنواخت بر خط راست، سرعت متحرک تغییر نمی‌کند؛ لذا متحرک شتاب ندارد ($a = 0$)؛ اما اگر اندازهٔ سرعت متحرک تغییر کند، حرکت آن شتاب‌دار تندشونده یا کندشونده است.

نکته حرکت تندشونده یا کندشونده با توجه به جهت‌گیری بردارهای سرعت و شتاب نسبت به یکدیگر (علامت سرعت و شتاب)، از هم تفکیک می‌شوند به طوری که:

۱ در حرکت تندشونده روی خط راست علامت سرعت و شتاب یکسان است ← سرعت و شتاب متحرک هم‌جهت هستند ← ($a.v > 0$)

۲ در حرکت کندشونده روی خط راست علامت سرعت و شتاب مخالف یکدیگر است ← سرعت و شتاب متحرک در خلاف جهت هم هستند ← ($a.v < 0$)

نکته علامت شتاب به تنهایی مشخص‌کنندهٔ نوع حرکت بر مسیر مستقیم نیست و باید علامت سرعت و شتاب هر دو مشخص باشد.

نکته اگر حرکت کندشونده انجام شود، الزاماً جسم باید دارای سرعت اولیه باشد.

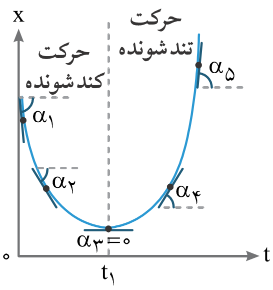
توجه تمام حرکت‌هایی که به حالت سکون ختم می‌شوند، کندشونده هستند.

نکته حرکت تندشونده می‌تواند بدون سرعت اولیه (از حالت سکون) انجام شود.

نکته اگر ابتدای حرکت جسمی به صورت کندشونده انجام شود، پس از توقف جسم به شرط ادامهٔ حرکت، حرکت پس از آن تا زمان مشخصی تندشونده است.

تست‌های این بخش به سه دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند:

۱ **تشخیص نوع حرکت با استفاده از نمودار مکان ـ زمان:** از آن‌جا که شیب خط مماس بر نمودار مکان زمان، بیانگر سرعت لحظه‌ای متحرک است، با تشخیص نحوهٔ تغییرات شیب مماس بر نمودار می‌توان به نحوهٔ تغییرات سرعت متحرک پی برد. **اگر اندازهٔ شیب خط مماس بر نمودار $x-t$ افزایش یابد، حرکت «تندشونده» و اگر اندازهٔ شیب خط مماس بر نمودار $x-t$ کاهش یابد، حرکت «کندشونده» و اگر شیب خط مماس بر نمودار $x-t$ ثابت بماند (نمودار $x-t$ به صورت خط راست باشد)، حرکت به صورت «یکنواخت» است.**



نمونه متحرکی را در نظر بگیرید که نمودار مکان ـ زمان آن به صورت شکل مقابل است. شیب خط مماس بر نمودار را در پنج لحظه رسم کرده‌ایم. با توجه به شکل، از لحظهٔ ۰ تا t_1 حرکت متحرک کندشونده و از این لحظه به بعد تندشونده است. زیرا داریم:

$$\alpha_1 \text{ و } \alpha_2 < 0 \xrightarrow{v_1 \text{و} v_2 < 0} |\tan\alpha_1| > |\tan\alpha_2| > |\cancel{\tan\alpha_3}| \to |v_1| > |v_2| > |\cancel{v_3}|$$

$$\alpha_4 \text{ و } \alpha_5 > 0 \xrightarrow{v_4 \text{و} v_5 > 0} \cancel{\tan\alpha_3} < \tan\alpha_4 < \tan\alpha_5 \to v_3 < v_4 < v_5$$

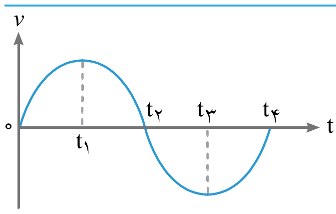
: اگه بخوایم تو حل این سؤال تیزبازی در بیاریم، باید توجه کنیم که چون تو لحظهٔ t_1 سرعت متحرک صفره، بنابراین قبل از لحظهٔ t_1 که حرکت به حالت سکون ختم شده حرکت کندشونده داریم و بعد از این لحظه که حرکت از حالت سکون شروع شده حرکت تندشونده داریم.

۲ تشخیص نوع حرکت با استفاده از نمودار سرعت ـ زمان: برای تعیین نوع حرکت از روی نمودار $v-t$ متحرک، هم می‌توانیم علامت $a \times v$ را تعیین کنیم؛ هم این‌که از راه سادهٔ زیر استفاده کنیم:

اگر نمودار $v-t$ متحرکی از محور زمان دور شود، حرکتش تندشونده (زیرا تندی حرکت زیاد می‌شود) و اگر نمودار $v-t$ متحرکی به محور زمان نزدیک شود، حرکتش کندشونده است. اگر هم نمودار سرعت ـ زمان متحرک به صورت افقی (موازی با محور زمان) باشد، سرعت آن ثابت و حرکتش یکنواخت است.

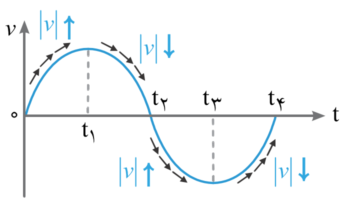
۳ تشخیص نوع حرکت با استفاده از نمودار شتاب ـ زمان: با کمک نمودار شتاب ـ زمان متحرک به تنهایی نمی‌توانیم نوع حرکت آن را مشخص کنیم؛ مگر این‌که سرعت متحرک در یک لحظه، مثلاً سرعت اولیه‌اش، مشخص باشد؛ در این صورت با استفاده از سطح زیر نمودار $a-t$ می‌توانیم سرعت و تغییرات آن را مشخص کنیم و نوع علامت $a \times v$ را تشخیص دهیم.

تست ۱۱ **با توجه به نمودار سرعت ـ زمان مقابل، در کدام بازهٔ زمانی، حرکت متحرک در خلاف جهت محور x و تند شونده است؟**



۱) ۰ تا t_1
۲) t_1 تا t_2
۳) t_2 تا t_3
۴) t_3 تا t_4

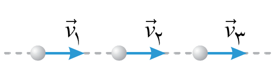
پاسخ: چون حرکت متحرک باید در خلاف جهت محور x باشد، بنابراین در بازهٔ زمانی موردنظر باید سرعت متحرک منفی باشد ($v < 0$). همچنین چون حرکت متحرک در بازهٔ موردنظر تندشونده است، پس تندی آن باید افزایش یابد، یعنی باید نمودار سرعت ـ زمان از محور t دور شود؛ بنابراین در بازهٔ زمانی **t_2 تا t_3** حرکت متحرک در خلاف جهت محور x و تندشونده است.
پس گزینهٔ (۳) پاسخ صحیح است.



: چون در لحظه‌های t_2 و t_4 سرعت صفر است، بنابراین در بازه‌های زمانی t_1 تا t_2 و t_3 تا t_4 که به سرعت صفر ختم میشن، حرکت متحرک کند شوندس.

حرکت با سرعت ثابت

۴ حرکت یکنواخت روی خط راست: دو ویژگی مهم این حرکت عبارت است از:



۱ جهت بردار سرعت ثابت است.

۲ تندی حرکت (اندازهٔ بردار سرعت) ثابت است.

نکته **اندازه و جهت سرعت متحرکی که با سرعت ثابت بر خط راست حرکت می‌کند، تغییر نمی‌کند؛ بنابراین، شتاب چنین متحرکی صفر است ($a = 0$).**

نکته در حرکت با سرعت ثابت روی خط راست، چون متحرک تغییر جهت نمی‌دهد، اندازهٔ جابه‌جایی و مسافت طی شده توسط متحرک با هم برابر است؛ یعنی سرعت متوسط و تندی توسط برابرند ($v_{av} = s_{av}$).

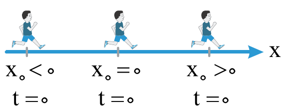
نکته در حرکت یکنواخت روی خط راست، سرعت متوسط متحرک در هر بازهٔ زمانی دلخواه، برابر سرعت لحظه‌ای آن است. بنابراین معادلهٔ جابه‌جایی ـ زمان متحرک در این حرکت به صورت زیر است:

$$v = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \boxed{\Delta x = v\,\Delta t}$$

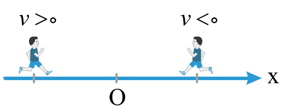
یعنی در حرکت یکنواخت روی خط راست، جابه‌جایی با زمان جابه‌جایی نسبت مستقیم دارد.

معادلهٔ حرکت یکنواخت روی خط راست: اگر فرض کنیم متحرک با سرعت ثابت v، حرکت یکنواخت خود را از مکان x_0 شروع کند، در این صورت معادلهٔ حرکت به صورت زیر است:

$$\Delta x = v\,\Delta t \rightarrow x - x_0 = v(t-0) \rightarrow \boxed{x = vt + x_0}$$



یعنی در حرکت یکنواخت روی خط راست، معادلهٔ مکان تابع درجه اول از زمان است و بین x و t رابطهٔ خطی وجود دارد. در این معادله x_0 مکان اولیهٔ جسم است و می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد.



توجه **در جای‌گذاری در معادله، اگر جسم در خلاف جهت محور حرکت کند، علامت سرعت آن منفی ($v < 0$) و اگر در جهت محور حرکت کند، علامت سرعت آن مثبت ($v > 0$) است.**

تست ۱۲ جسمی با سرعت ثابت بر مسیر مستقیمی در حرکت است. اگر جسم در لحظهٔ $t_1 = 4s$ در مکان $x_1 = -3m$ و در لحظهٔ $t_2 = 10s$ در مکان $x_2 = 15m$ باشد، معادلهٔ مکان ـ زمان در SI کدام است؟

۱) $x = 3t - 3$ ۲) $x = 2t - 3$ ۳) $x = 3t - 15$ ۴) $x = 2t - 2$

پاسخ ابتدا باید سرعت متحرک را محاسبه کنیم. چون سرعت آن ثابت است، بنابراین سرعت آن برابر سرعت متوسط آن در هر بازهٔ زمانی دلخواه است. بنابراین داریم:

$$v = v_{av} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \rightarrow v = \frac{15-(-3)}{10-4} = \frac{18}{6} = 3\,m/s$$

حال با استفاده از فرم کلی معادلهٔ مکان ـ زمان با سرعت ($x = vt + x_0$) و جایگذاری یکی از نقاط مشخص، مکان اولیه متحرک (x_0) را به‌دست می‌آوریم:

$$x = v\,t + x_0 = 3t + x_0 \xrightarrow[x_1=-3m]{t_1=4s} -3 = 3\times(4) + x_0 \rightarrow x_0 = -15 \xrightarrow{\text{معادلهٔ مکان ـ زمان}} x = 3t - 15$$

که گزینهٔ (۳) پاسخ صحیح است.

مفهوم سرعت نسبی

در تست‌هایی که حرکت دو متحرک بررسی می‌شود و زمان رسیدن آنها به یکدیگر یا زمان سبقت گرفتن آنها از هم مدنظر است، برای تسریع در حل تست می‌توانیم از سرعت نسبی استفاده کنیم.

فرض کنید دو اتومبیل A و B با سرعت‌های $15\,m/s$ و $25\,m/s$ مطابق شکل زیر روی محور افقی و در یک لحظه به سمت هم حرکت می‌کنند. در این صورت در هر ثانیه اتومبیل A، ۱۵ متر به سمت راست و اتومبیل B، ۲۵ متر به سمت چپ حرکت کرده و در مجموع ۴۰ متر به یکدیگر نزدیک می‌شوند. اکنون فرض می‌کنیم یکی از دو اتومبیل (مثلاً A) ساکن باشد و اتومبیل B با سرعت $40\,m/s$ به سمت آن حرکت کند، در این صورت نیز در هر ثانیه دو اتومبیل ۴۰ متر به سمت هم حرکت می‌کنند؛ یعنی در هر دو حالت رفتار حرکتی یکسانی مشاهده می‌شود.