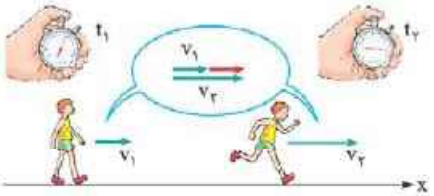
فصل اول
حرکت‌شناسی

ما چیزی را به مردم آموزش نمی‌دهیم!
همه‌چیز درون خودشان وجود دارد و ما،
فقط کمک‌شان می‌کنیم آن چیزها را
درون خودشان کشف کنند.

گالیلیو گالیله

درس چهارم: شتاب متوسط و لحظه‌ای

در این درس‌نامه، با آخرین کمیتی که در بررسی چگونگی حرکت‌ها به کار می‌رود، آشنا می‌شوید. برای شروع بحث، شخصی را در نظر بگیرید که همانند شکل زیر، ابتدا بر یک خط راست، قدم می‌زند و سپس، شروع به دویدن می‌کند. در این شکل بردارهای سرعت شخص را در دو لحظه، با رنگ سبز می‌بینید. این بردارها را با رعایت اندازه‌هایشان رسم کرده‌ایم.



در بالای همین شکل، دو بردار سرعت را طوری رسم کرده‌ایم که ابتدای آن‌ها، در یک جا باشد. بردار قرمزرنگی که از انتهای بردار v_1 به انتهای بردار v_2 رسم شده است، در حقیقت نشان می‌دهد که بردار سرعت، چه‌قدر تغییر کرده است. این بردار را **تغییر سرعت** می‌نامیم و با نماد Δv نشان می‌دهیم:

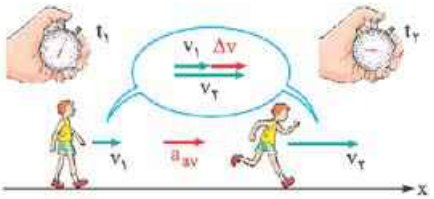
$$\Delta v = v_2 - v_1$$

اغلب، چیزی که اهمیت دارد، این است که یک تغییر سرعت، در چه‌مدت زمانی رخ داده است؛ از این‌رو، تغییر سرعت را بر مدت‌زمان تقسیم می‌کنیم و به آن، **شتاب متوسط** (با نماد a_{av}) می‌گوییم:

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

یکای شتاب متوسط در SI، با توجه به رابطهٔ بالا، به صورت متر بر ثانیه بر ثانیه $\left(\frac{m/s}{s}\right)$ نتیجه می‌شود که آن را به صورت **متر بر مربع ثانیه** (m/s^2) خلاصه می‌کنیم. برای درک مفهوم این کمیت، از یک مثال عددی کمک می‌گیریم! فرض کنید به شما گفته شود که شتاب متوسط یک خودرو، $2\ m/s^2$ است، می‌توانید نتیجه بگیرید که تغییر سرعت این خودرو در هر یک ثانیه، به طور متوسط برابر $2\ m/s$ است.

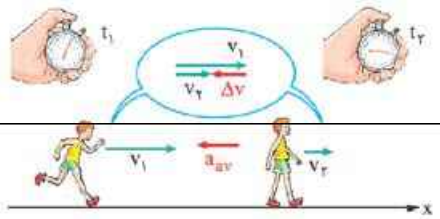
نکته‌ای که در این‌جا باید مورد توجه قرار گیرد، این است که شتاب متوسط، یک کمیت برداری است و جهت آن، هم‌جهت با تغییر سرعت (Δv) است. (به دو بردار قرمزرنگ در شکل روبه‌رو توجه کنید!) چنان‌که از نخستین درس‌نامه یاد گرفتیم، وقتی حرکت در راستای یک محور صورت می‌گیرد، جهت یک بردار را می‌توان با یک علامت مثبت یا منفی مشخص کرد؛ به این ترتیب، در این شکل، شتاب متوسط شخص، مثبت بوده است، چرا که بردارهای قرمزرنگ، هم‌جهت با محور x‌اند.



ببخشید! می‌تونیم بگیم شتاب متوسط، همیشه با خودِ سرعت (یعنی بردارهای سبزرنگ) هم‌جهته؟!

لزوماً خیر! درست است که در شکلی که داشتیم، این‌گونه به نظر می‌رسید؛ اما شما نباید به این راحتی، موضوعی را که در یک مورد می‌بینید، تعمیم (عمومیت) دهید! *(پس از پایان این درس‌نامه، یک پوک علمی ـ تفریحی در همین مورد، براتون تعریف می‌کنم که بفهمید چه‌قدر باید توو عمومیت دادن، با احتیاط باشید!)*

بگذارید برای توضیح بیشتر، از شکل دیگری به صورت روبه‌رو، استفاده کنم. در این شکل، شخصی را می‌بینید که ابتدا در حال دویدن بوده و سپس، حرکت خود را کُند کرده و به قدم‌زدن می‌پردازد. بردارهای سبزرنگ، باز هم سرعت شخص را در دو لحظه نشان می‌دهند. در بالای همین شکل، دو بردار سرعت را طوری کشیده‌ایم که ابتدایشان در یک‌جا باشد و بردار تغییر سرعت را از انتهای v_1 به انتهای v_2 رسم کرده‌ایم. می‌بینید که Δv و همین‌طور شتاب متوسط، در خلاف جهت بردارهای سرعت‌اند.



توجه کنید که در این شکل، سرعت در هر دو لحظه (بردارهای سبز)، مثبت (یعنی هم‌جهت با محور x) است؛ اما تغییر سرعت و شتاب متوسط (بردارهای قرمز)، منفی (یعنی در خلاف جهت محور x) هستند.

البته ما از این به بعد، از رسم برداری استفاده نخواهیم کرد! **اگر سرعت‌ها را با در نظر گرفتنِ علامت مثبت یا منفی‌شان در رابطهٔ شتاب متوسط قرار دهیم، علامتی که برای شتاب متوسط به دست می‌آوریم، جهت آن را در مقایسه با جهت مثبتِ محور x، به ما نشان خواهد داد.**

بیفشید! ... ما اصلاً نمی‌تونیم درک درستی از جهت شتاب متوسط داشته باشیم! یعنی چی که شخص به سمت راست حرکت می‌کنه، ولی شتاب متوسطش به سمت چپه؟!

حق با شما است! واقعیت این است که شتاب متوسط، از نظر جهت، یک موجود ریاضی است و نمی‌توان یک درک شهودی و احساسی از جهت آن داشت. در محدودهٔ بحث ما، کافی است با استفاده از داده‌های یک مسئله، بتوانید جهت شتاب متوسط را به درستی تعیین کنید؛ اما نیازی نیست از این جهت، برداشتِ احساسیِ خاصی داشته باشید!

بیفشید! ... یه سوال دیگه! ... از دوتا شکلی که برامون کشیدید، می‌تونیم نتیجه بگیریم که هر وقت حرکتی، تندشونده باشه، شتاب متوسط (یعنی بردار قرمزه)، هم‌جهت با سرعت (یعنی بردار سبزا) و هر وقت کندشونده باشه، شتاب متوسط در خلاف جهت سرعته؟!

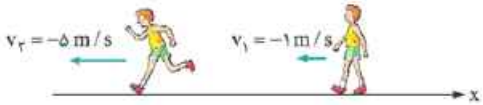
همین‌طور است! البته خواهیم دید که بهتر است این نتیجه‌گیری را در مورد مقایسهٔ جهت شتاب **لحظه‌ای** و جهت سرعت **لحظه‌ای** داشته باشیم. *(به‌زودی یهتون می‌گم شتاب لحظه‌ای چیه؛ اما قبلش، باید یکی دو مثال حل کنیم!)*

منونو ۱۱

من شکل روبه‌رو، شخصی را نشان می‌دهد که در مدت‌زمان ۵ s، تندی خود را از ۱ m / s به ۵ m / s می‌رساند. کدام گزینه، اندازهٔ شتاب متوسط او در این مدت‌زمان (برحسب متر بر مربع ثانیه) و جهت آن را، درست بیان می‌کند؟

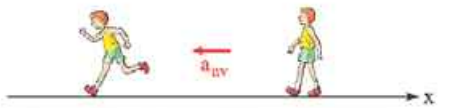
۱) ۱/۲، هم‌جهت با محور x
۲) ۱/۲، در خلاف جهت محور x
۳) ۸/۰، در خلاف جهت محور x
۴) ۸/۰، هم‌جهت با محور x

پاسخ برای استفاده از رابطهٔ شتاب متوسط، **به سرعت** متحرک در دو لحظه نیاز داریم؛ نه به تندی آن! همان‌گونه که در شکل زیر می‌بینید، چون شخص در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند، سرعتش باید با علامت منفی در نظر گرفته شود:



$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{-5-(-1)}{5} = -\frac{4}{5} = -0/8\ m/s^2$$

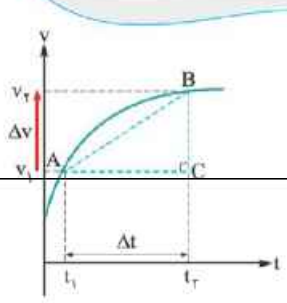
به این ترتیب، اندازهٔ (قدرمطلق) شتاب متوسط، $0/8\ m/s^2$ است و علامت منفی، نشان می‌دهد که همانند شکل روبه‌رو، جهت شتاب متوسط، در خلاف جهت محور x است. **گزینهٔ ۳**



تو **شکل روبه‌رو، شخصی را نشان می‌دهد که در مدت‌زمان ۵ s، تندی خود را از ۶ m / s به ۱ m / s کاهش می‌دهد. کدام گزینه در مورد اندازهٔ شتاب متوسط او در این بازهٔ زمانی (برحسب متر بر مربع ثانیه) و جهت آن، درست است؟**

۱) ۱، هم‌جهت با محور x
۲) ۱، در خلاف جهت محور x
۳) ۱/۴، در خلاف جهت محور x
۴) ۱/۴، هم‌جهت با محور x

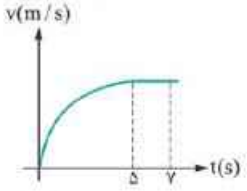
بد نیست یادی هم بکنیم از نمودار سرعت ـ زمان! در شکل روبه‌رو، یک نمودار سرعت ـ زمان را برای متحرکی که بر محور x حرکت می‌کند، می‌بینید. اگر از ما شتاب متوسط در یک بازهٔ زمانی، مثلاً t_1 تا t_2 را بخواهند، ابتدا نقطه‌های مربوط به این دو لحظه را روی نمودار (A و B)، تعیین می‌کنیم. اگر این دو نقطه را با خطی به هم وصل کنیم و سپس، یک مثلثِ قائم‌الزاویه بسازیم، چنان که می‌بینید، ضلع قائم آن (BC)، بیانگر تغییر سرعت (Δv) و ضلع افقی آن (AC)، بیانگر مدت‌زمان است؛ به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که:



شیب خط واصل هر دو نقطه از نمودار سرعت ـ زمان، برابر با شتاب متوسط متحرک در بازهٔ زمانی بین آن دو نقطه است.

منو تو ۱۲

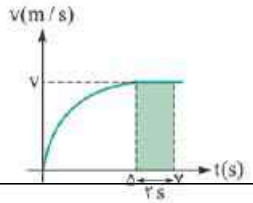
من نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که بر محور x حرکت می‌کند به شکل زیر است. اگر جابه‌جایی این متحرک در بازهٔ زمانی ۵ s تا ۷ s، برابر ۱۸ m باشد، شتاب متوسط آن در ۵ ثانیهٔ اول حرکت، چند متر بر مربع ثانیه است؟



۱) ۱/۸ ۲) ۴/۵
۳) ۳/۶ ۴) ۰/۷۲

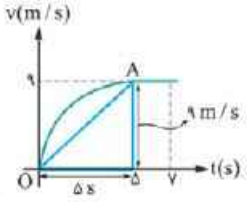
لزومی نداره فوری پایینو نگاه کنید! درسته که این مثال، مال منه؛ اما ممکنه خودتون هم بتونید حلش کنید! بد نیست یه تلاشی بکنید؛ بعدش پاسخ منو بخونید!

تو گفته بودیم که سطح زیر نمودار سرعت ـ زمان در هر بازهٔ زمانی، جابه‌جایی در آن بازه را به ما می‌دهد؛ بنابراین با توجه به شکل روبه‌رو، می‌توان نوشت:



$$\text{مساحت مستطیل} : v \times ۲ = ۱۸ \Rightarrow v = ۹\ m/s$$

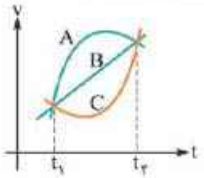
اکنون می‌توانیم شیب خط OA در شکل روبه‌رو را تعیین کنیم و یا از رابطهٔ شتاب متوسط $(a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t})$ استفاده کنیم.



گزینهٔ ۱

$$\text{شیب خط OA} = +\frac{\text{ضلع قائم}}{\text{ضلع افقی}} = \frac{۹}{۵} = ۱/۸\ m/s^۲$$

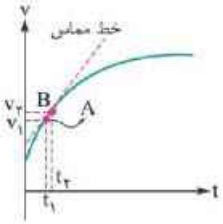
تو نمودار سرعت ـ زمان سه متحرک A، B و C که بر محور x حرکت می‌کنند، مطابق شکل است. کدام گزینه، در مقایسهٔ شتاب متوسط این سه متحرک در بازهٔ زمانی بین دو لحظهٔ $t_۱$ و $t_۲$ درست است؟



۱) $a_{avA} = a_{avB} = a_{avC}$ ۲) $a_{avA} > a_{avB} > a_{avC}$
۳) $a_{avA} = a_{avB} < a_{avC}$ ۴) $a_{avA} < a_{avB} < a_{avC}$

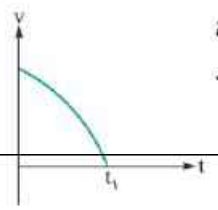
ببخشید! ... تو نمودار سرعت ـ زمان، شیب خط مماس هم به دردمون می‌خوره؟!

البته! اگر لحظهٔ $t_۲$، بسیار نزدیک به لحظهٔ $t_۱$ باشد، نقطهٔ B هم بسیار نزدیک به نقطهٔ A خواهد شد و چنان که در شکل روبه‌رو می‌بینید، خط واصل دو نقطه، به خط مماس تبدیل می‌شود. شیب این خط مماس، **شتاب لحظه‌ای** را به ما می‌دهد. منظور از شتاب لحظه‌ای، شتاب متحرک در هر لحظه از زمان است و معمولاً برای خلاصه‌گویی، عبارت لحظه‌ای را نمی‌گوییم.



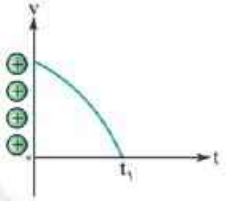
منو تو ۱۳

من نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند، به شکل روبه‌رو است. در بازهٔ زمانی بین دو لحظهٔ صفر و $t_۱$، سرعت این متحرک، ..... ، شتاب آن، ..... و حرکت آن، ..... است. (به‌ترتیب از راست به چپ)



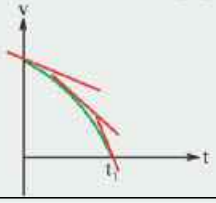
۱) منفی ـ منفی ـ کندشونده ۲) مثبت ـ منفی ـ کندشونده
۳) مثبت ـ منفی ـ تندشونده ۴) منفی ـ منفی ـ تندشونده

پاسخ برای قضاوت در مورد علامت سرعت، کافی است توجه کنید که نمودار، کلاً در ربع اول واقع شده است و همان‌گونه که در شکل روبه‌رو می‌بینید، سرعت متحرک، همواره مثبت بوده است.



اما سرعت که داره کاهش پیدا می‌کنه! نباید بگیم سرعت منفیه؟!

به هیچ‌وجه! درست است که سرعت متحرک از نظر اندازه، کاهش می‌یابد و چون نمودار، به محور زمان نزدیک می‌شود، حرکت متحرک، کندشونده است؛ اما این موضوع، ربطی به علامت سرعت ندارد. یادتان باشد که در فیزیک، **علامت مثبت یا منفیِ سرعت، صرفاً جهت آن را بیان می‌کند و ربطی به افزایش یا کاهش یافتن آن ندارد!**

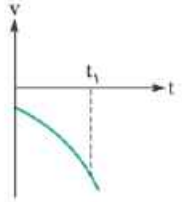


برای تعیین علامت شتاب، کافی است به شکل روبه‌رو توجه کنید! چنان که می‌بینید، اگر در هر نقطه از نمودار، مماسی بر آن رسم کنیم، شیب آن که بیانگر شتاب است، منفی است. *(یادتونه که وقتی یه خط، سرازیری بود، می‌گفتید شیبِ اون، منفیه!)* حالا دیگر تردیدی نداریم که گزینهٔ ۲ درست است!

بیفشید! پون خط‌های مماس دارن به راستای قائم نزدیک می‌شن، می‌تونیم بگیم اندازهٔ شتاب متحرک، در حال افزایشه؟

کاملاً درست است! البته، فعلاً استفادهٔ خاصی از این موضوع نمی‌کنیم؛ فقط یک بار دیگر، این را تذکر بدهم که منفی‌بودنِ شتاب هم، همانند سرعت، ربطی به افزایش یا کاهشِ اندازه‌اش ندارد و فقط جهت شتاب را نشان می‌دهد. گزینهٔ ۲

تست **نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند، به شکل روبه‌رو است. در بازهٔ زمانی بین دو لحظهٔ صفر و t_1، سرعت این متحرک، ..... شتاب آن، ..... و حرکت آن، ..... است. (به ترتیب از راست به چپ)**



۱) منفی ـ منفی ـ کندشونده
۲) مثبت ـ منفی ـ کندشونده
۳) مثبت ـ منفی ـ تندشونده
۴) منفی ـ منفی ـ تندشونده

از دو مثال قبل، می‌توان نتیجه‌گیری مهمی کرد که در ابتدای این درس‌نامه هم، به آن نزدیک شده بودیم!

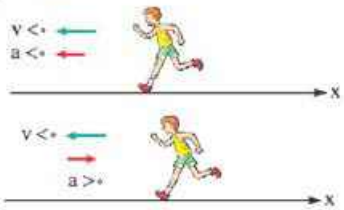
در حرکت‌های تندشونده، شتاب و سرعت متحرک، هم‌علامت (هم‌جهت) و در حرکت‌های کندشونده، شتاب و سرعت، دارای علامت‌های مخالف (در خلاف جهت یکدیگر) هستند.

از نظر ریاضی، وقتی دو چیز، هم‌علامت‌اند (یعنی هر دو مثبت یا هر دو منفی‌اند)، حتماً حاصل‌ضربشان مثبت است؛ هم‌چنین، اگر دو چیز، علامت‌های مخالف یکدیگر داشته باشند (یکی مثبت و دیگری منفی باشد)، حاصل‌ضربشان منفی است. با این توضیح، نکتهٔ بالا را می‌توان با یک بیان ریاضی به صورت زیر، خلاصه‌تر کرد.

در حرکت‌های تندشونده، $a.v > 0$ و در حرکت‌های کندشونده، $a.v < 0$ است.

(منظور از $a.v$، حاصل‌ضرب شتاب در سرعت است که البته، علامتش مورد توجه ما است.) نتیجه‌گیریِ اخیر، از این نظر قابل توجه است که به ما، امکان قضاوت در مورد چگونگی حرکت را از روی علامت‌های سرعت و شتاب در هر لحظه می‌دهد. برای این که از عظمتِ این نتیجه‌گیری آگاه شوید، به شکل زیر، توجه کنید! در این شکل، شخصی را می‌بینید که در خلاف جهت محور x می‌دود و به همین دلیل، سرعتش منفی است. آیا می‌توانید بگویید حرکت این شخص، تندشونده است یا کندشونده؟!

متأسفانه خیر! شما گفتین که منفی‌بودنِ سرعت، ربطی به افزایش یا کاهش یافتنِ اندازش نداره!



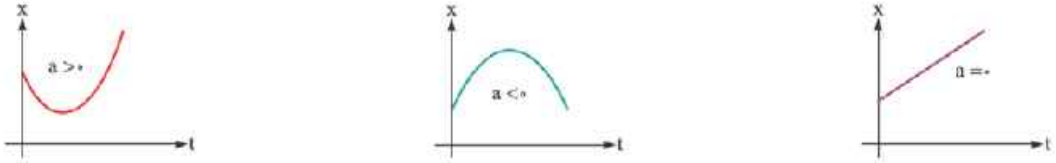
حق با شما است! اما فرض کنید به شما، جهت شتاب لحظه‌ای را هم، همانند شکل روبه‌رو، بدهند؛ در این صورت، می‌توانید بدون آن‌که از لحظه‌های بعدی خبری داشته باشید، پیش‌بینی کنید که حرکت این دونده، تندشونده است و او، **اندازهٔ سرعت** خود را افزایش خواهد داد!

به همین ترتیب، اگر همانند شکل روبه‌رو، جهت شتاب دونده را در خلاف جهت سرعتش بدهند، می‌توانیم پیش‌بینی کنیم که حرکت دونده، کندشونده است؛ یعنی او، **اندازهٔ** سرعت خود را کاهش خواهد داد.

ببخشید! از وقتی شما یادمون دادید که چه‌جوری از روی نمودار سرعت ـ زمان، می‌شه شتاب رو تعیین کرد، یه سؤالی برامون پیش اومد که الان می‌خوایم بپرسیم!... از روی نمودار مکان ـ زمان هم می‌شه شتاب رو فهمید؟!

در آیندهٔ نزدیک، در درس ششم، خواهیم دید که در حالت خاصی که شتاب یک متحرک، ثابت باشد، چگونه می‌توان از روی نمودار مکان ـ زمان، شتاب را تعیین کرد؛ اما در حالت کلی‌تر، راهکاری وجود دارد که بتوان از روی نمودار مکان ـ زمان، **علامت** شتاب را تشخیص داد. این راهکار را برایتان می‌گوییم؛ اما بحث در مورد جزئیات ریاضی آن، در محدودهٔ کار ما نمی‌گنجد و به آن نمی‌پردازیم. ثابت شده است که سوی تقعر نمودار مکان ـ زمان، بیانگر علامت شتاب است. *(تقعر، به زبون ساده، یعنی گودیِ نمودار!)* اگر سه شکل زیر را از چپ به راست، به دقت نگاه کنید، متوجه منظورم خواهید شد.

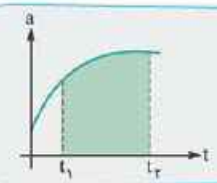
وقتی همانند شکل سمت چپ، تقعر نمودار به طرف بالا است، در ریاضی گفته می‌شود تقعر، مثبت است؛ در این حال، شتاب حرکت هم مثبت است. اگر تقعر نمودار همانند شکل وسطی رو به پایین باشد، از نظر ریاضی گفته می‌شود تقعر، منفی است. در این حال، شتاب حرکت هم منفی است. در صورتی که نمودار مکان ـ زمان، همانند شکل سمت راست خطی باشد، تقعرش صفر است و شتاب حرکت هم، صفر خواهد بود.



یه سؤال دیگه هم داریم!... می‌خواستیم ببینیم، نمودار شتاب ـ زمان هم داریم؟!

البته که داریم! این آخرین نموداری است که باید بشناسید! نمودار شتاب ـ زمان، می‌تواند به ما شتاب لحظه‌ای متحرک را در هر لحظه از زمان، نشان دهد. کاربرد این نمودار، کم‌تر از نمودارهای مکان ـ زمان و سرعت ـ زمان است و مهم‌ترین چیزی که می‌توان از آن برداشت کرد، تغییر سرعت متحرک است:

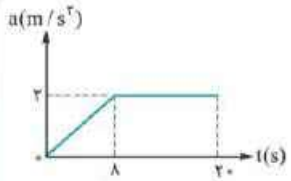
سطح زیر نمودار شتاب ـ زمان در هر بازهٔ زمانی، برابر تغییر سرعت (یعنی Δv) در آن بازه است.



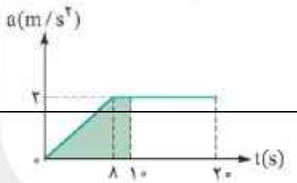
مثال ۱۴

مثال نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که از حال سکون و در مسیری مستقیم شروع به حرکت کرده، مطابق شکل روبه‌رو است. شتاب متوسط متحرک در بازهٔ زمانی $t_1 = ۰$ تا $t_2 = ۱۰\,s$ چند متر بر مربع ثانیه است؟ *(آزمون کانون فرهنگی آموزش ۹۷)*

۱) ۱/۲ ۲) ۱/۶ ۳) ۱ ۴) ۲



پاسخ برای محاسبهٔ شتاب متوسط، به **تغییر سرعت** نیاز داریم و چنان‌که گفتیم، باید به سراغ سطح زیر نمودار در بازهٔ زمانی خواسته شده برویم:

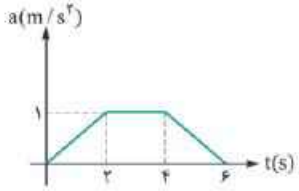


$$\frac{\overbrace{(۱۰+۲)}^{\text{مجموع دوقاعده}}\times \overbrace{۲}^{\text{ارتفاع}}}{۲} = \Delta v \Rightarrow \Delta v = ۱۲\ m/s$$

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۱۲}{۱۰} = ۱/۲\ m/s^2$$

اکنون می‌توان شتاب متوسط را به راحتی، به دست آورد: **گزینهٔ ۱**

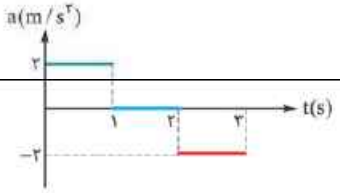
تو **نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که بر روی محور x حرکت می‌کند، به شکل زیر است. اگر سرعت این متحرک در لحظهٔ ۶ s برابر ۵+ متر بر ثانیه باشد، سرعتش در لحظهٔ صفر چند متر بر ثانیه است؟**



۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) صفر

یه سؤال! نمودارهای شتاب ـ زمانی که به ما می‌دن، مثل نمودارهای سرعت ـ زمان و مکان ـ زمان، می‌تونن هر شکلی داشته باشن؟!

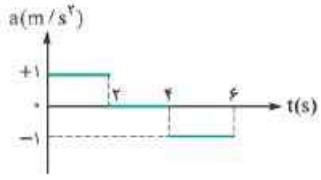
بله؛ همین طور است! البته در چارچوب کتاب درسی شما، بیشتر به حالت‌هایی پرداخته می‌شود که حرکت، از چند بازهٔ زمانی تشکیل شده که در هر کدام، شتاب متحرک، ثابت است؛ به عنوان نمونه، در شکل روبه‌رو، شتاب حرکت در بازهٔ زمانی صفر تا ۱ s ثابت و برابر $2\,m/s^2$، در بازهٔ زمانی ۱ s تا ۲ s ثابت و برابر صفر و بالأخره، در بازهٔ زمانی ۲ s تا ۳ s، ثابت و برابر $-2\,m/s^2$ بوده است.



مهم‌ترین کاری که باید در همین درس‌نامه یاد بگیرید، روش رسم نمودار سرعت ـ زمان، از روی چنین نمودارهای شتاب ـ زمانی است. این کار را با استفاده از این موضوع انجام می‌دهیم که **شیب نمودار سرعت ـ زمان، بیانگر شتاب متحرک است و وقتی شتاب در یک بازهٔ زمانی ثابت باشد، شیب نمودار سرعت ـ زمان هم ثابت است و در نتیجه، این نمودار، باید یک خط راست باشد.** *(یادتونه که اگر توو هر نقطه، به یه خط راست، مماس می‌کردیم، اون مماس به خطمون منطبق می‌شد و به همین دلیل، می‌گفتیم شیب، ثابته!)* **در منوتو ۱۵**، رسم نمودار سرعت ـ زمان از روی نمودار شتاب ـ زمان را به خوبی فرا می‌گیرید!

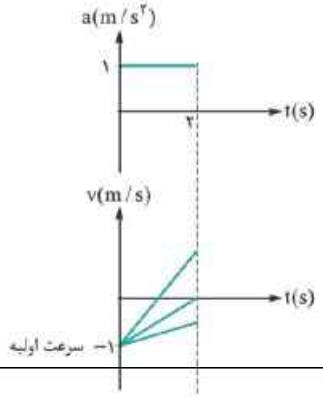
منوتو ۱۵

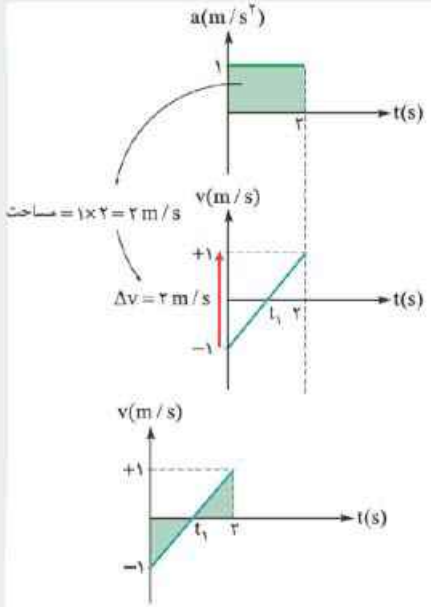
من **نمودار شتاب ـ زمان حرکت متحرکی که در مسیر مستقیم حرکت می‌کند، مطابق شکل زیر است. اگر سرعت اولیهٔ متحرک $-1\,m/s$ باشد، در ۶ ثانیهٔ ابتدایی حرکت، چند ثانیه حرکت متحرک تندشونده بوده است؟** *(آزمون کانون فرهنگی آموزش ۹۶)*



۱) صفر
۲) ۱
۳) ۲
۴) ۳

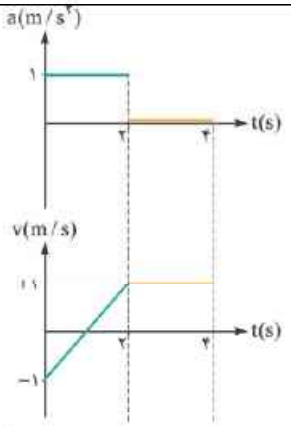
پاسخ ابتدا به ۲ ثانیهٔ اول، توجه کنید. در این مدت، شتاب حرکت، ثابت و مثبت است؛ در نتیجه، نمودار سرعت ـ زمان، باید یک خط راست با شیب مثبت *(یعنی به خط سربالایی)* باشد. این خط، باید از سرعت اولیه (یعنی $-1\,m/s$) آغاز شود. نکتهٔ مهم، این است که این خط باید در لحظهٔ ۲ s، به کجا برسد! سه حالت ممکن را در شکل روبه‌رو می‌بینید.



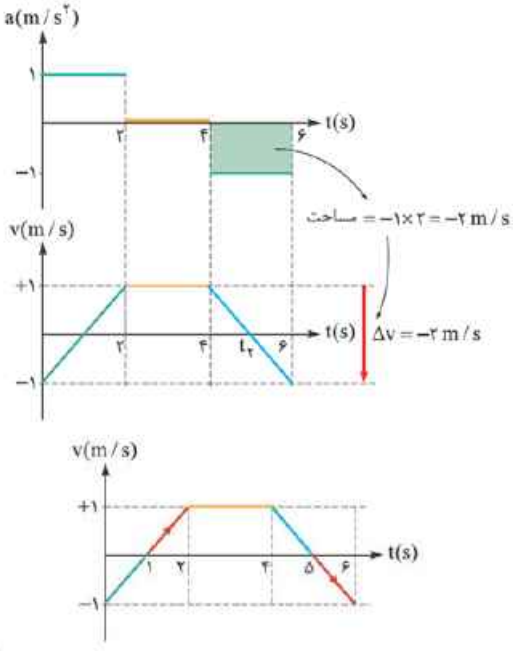


برای تشخیص نقطهٔ انتهایی نمودار سرعت ـ زمان، کافی است از سطح زیر نمودار شتاب ـ زمان، کمک بگیریم. سطح زیر نمودار شتاب ـ زمان، تغییر سرعت را نشان می‌دهد و در این‌جا که این سطح، برابر $2\ m/s$ است، باید نمودار، از نقطهٔ شروع، به اندازهٔ $2\ m/s$ بالا برود. (به قسمت قرمزرنگ شکل روبه‌رو توجه کنید!) چون این خط، از $-1\ m/s$ آغاز می‌شود، بدیهی است که پس از $2\ m/s$ بالارفتن، به $+1\ m/s$ خواهد رسید.

پیش از ادامهٔ کار، باید لحظهٔ t_1 را هم تعیین کنیم. *(فکر کنم تو این کار کاملاً مرفه‌ای شده باشید!)* حتماً متوجه شده‌اید که دو مثلثِ مشخص‌شده در شکل روبه‌رو، با هم مساوی‌اند. *(یادتون باشه که اگه دو مثلثِ متشابه، یه ضلعشون برابر باشه، اون دو مثلث، مساوی هستن.)* به این ترتیب، لحظهٔ t_1، باید درست در وسط لحظه‌های صفر و $2\ s$ باشد: $t_1 = 1\ s$.



حالا به ۲ ثانیهٔ دوم (یعنی بازهٔ زمانی بین $2\ s$ و $4\ s$) توجه کنید! در این بازه، شتاب حرکت، صفر است؛ بنابراین، باید شیب نمودار سرعت ـ زمان نیز صفر باشد. سرعت متحرک در پایان بازهٔ زمانی قبلی، به $+1\ m/s$ رسیده بود و باید خطی افقی از همان‌جا رسم کرد؛ درست مانند شکل روبه‌رو!



و بالأخره به بازهٔ زمانی $4\ s$ تا $6\ s$ می‌رسیم. در این بازه، شتاب، منفی است؛ بنابراین، باید نمودار سرعت ـ زمان را از پایان بازهٔ قبلی، با شیب منفی *(یعنی به صورتِ سرازیری)* رسم کنیم. باز هم برای این‌که بفهمیم این خط، باید تا کجا پایین برود، از سطح زیر نمودار شتاب ـ زمان استفاده می‌کنیم. منفی‌بودنِ سطح زیر نمودار در این بازه نشان می‌دهد که باید از نقطهٔ پایانی قسمت قبلی، به اندازهٔ $2\ m/s$ پایین برویم؛ یعنی از $+1\ m/s$ به $-1\ m/s$ خواهیم رسید. لحظهٔ t_2، به همان دلیلی که برای t_1 گفتیم، درست وسط دو لحظهٔ $4\ s$ و $6\ s$ است: $t_2 = 5\ s$.

پس از رسم نمودار سرعت ـ زمان، آمادهٔ پاسخ‌گویی به تست هستیم! به یاد دارید که هر وقت نمودار سرعت ـ زمان، از محور افقی دور می‌شد، حرکت، تندشونده بود؛ به این ترتیب در قسمت‌هایی از نمودار که در شکل روبه‌رو با رنگ قرمز مشخص کرده‌ام، حرکت، تندشونده بوده است. این دو قسمت، بازهٔ زمانی بین $1\ s$ و $2\ s$ (به مدت $1\ s$) و همین‌طور، بین $5\ s$ و $6\ s$ (به مدت $1\ s$) است؛ یعنی کلاً به مدت $2\ s$. **گزینهٔ ۳**

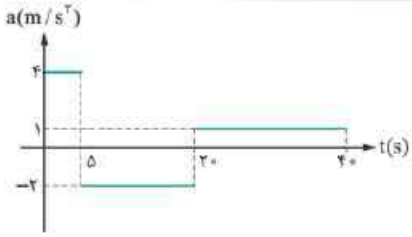
یعنی برای پاسخ‌دادن به این‌جور تست‌ها، حتماً باید نمودار سرعت ـ زمان بکشیم؟!

بهترین و سریع‌ترین راه ممکن، رسم نمودار سرعت ـ زمان است. البته روش‌های دیگری هم وجود دارد؛ اما اجرای آن‌ها، بسیار طولانی‌تر است. به زودی خواهید دید که **نمودار سرعت ـ زمان، یک ابزار توانمند برای حل تست‌های حرکت است** و باید تسلط بالایی بر رسم این نمودار پیدا کنید. خوشبختانه، کار چندان سختی هم نیست و با تکالیفی که در پایان این درس‌نامه، به شما محول خواهم کرد، مطمئنم که آن را به خوبی فرا می‌گیرید.

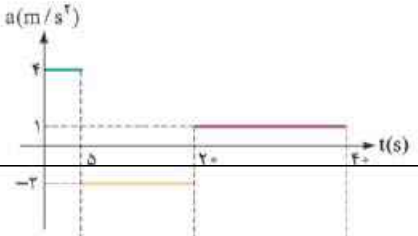
تو **شکل روبه‌رو، نمودار شتاب ـ زمان متحرکی را که از حال سکون شروع به حرکت می‌کند، نشان می‌دهد. متحرک در چه لحظه‌ای برحسب ثانیه برای دومین بار تغییر جهت حرکت می‌دهد؟** *(آزمون کانون فرهنگی آموزش ۹۶)*

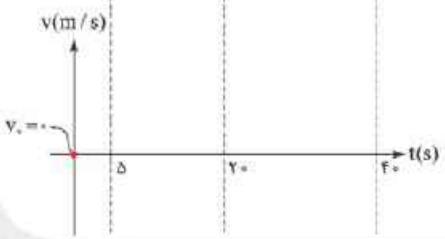
۱) ۲۰ ۲) ۳۰

۳) ۲۵ ۴) ۱۵



پس منتظر چی هستید؟! ... شروع کنید دیگه! ... من براتون زمینهٔ شکلو آماده کردم و شما فقط باید زحمت بکشید و نمودار سرعت ـ زمانو توو جای قورش بکشید! چون گفته «از حال سکون»، سرعت اولیه، صفره و باید نمودار سرعت ـ زمانو از مبدأ شروع کنید. یادتون نره برای رسم هر قسمت، از سطح زیر نمودار شتاب ـ زمان کمک بگیرید.

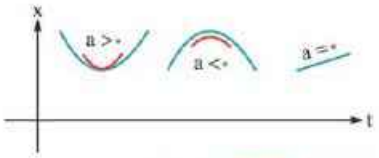




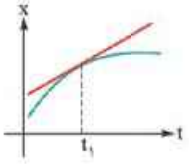
بسیار خوب! کم‌کم به پایان این درس‌نامه نزدیک می‌شویم! دو کار کوچک باقی‌مانده است. ابتدا می‌خواهم کاربردهای مهم همهٔ نمودارهایی را که خواندیم، یک بار برای جمع‌بندی، برایتان بیاورم. لطفاً آن‌ها را با دقت تمام مرور کنید:

نمودار مکان ـ زمان

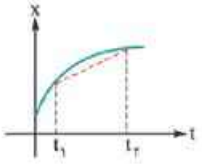
علامت شتاب = سوی تقعر نمودار



سرعت در هر لحظه = شیب خط مماس بر نمودار

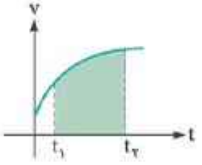


سرعت متوسط = شیب خط واصل دو نقطه

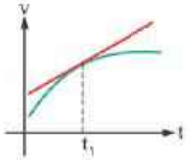


نمودار سرعت ـ زمان

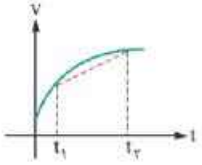
جابه‌جایی در هر بازهٔ زمانی = سطح زیر نمودار



شتاب در هر لحظه = شیب خط مماس

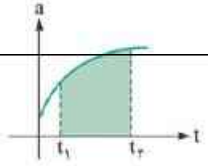


شتاب متوسط = شیب خط واصل دو نقطه



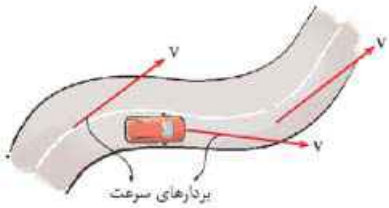
نمودار شتاب ـ زمان

تغییر سرعت در هر بازهٔ زمانی = سطح زیر نمودار



آخرین موضوعی که باید در این درس‌نامه، به آن اشاره کنم، مربوط به موقعی است که حرکت جسم، بر خط راست نباشد. گرچه تمرکز اصلیِ کتاب درسی، بر حرکت‌هایی است که در راستای یک خط راست صورت می‌گیرند، اما برای بحث‌هایی که در آیندهٔ نزدیک با آن‌ها مواجه می‌شویم، به اطلاعات مختصری در این مورد نیازمندیم.

دیده بودیم که بردار سرعت، برداری است که در هر لحظه، جهت حرکت متحرک را نشان می‌دهد. وقتی مسیر حرکت جسم، خط راست نیست، بردار سرعت در هر نقطه از مسیر، مماس بر مسیر است و سوی آن، سوی حرکت را در آن نقطه نشان می‌دهد. در شکل روبه‌رو، این بردار را برای خودرویی که در یک مسیر خمیده حرکت می‌کند، در چند نقطه از مسیر، می‌بینید. به نظر شما، حرکت خودرویی که در این شکل می‌بینید، شتاب‌دار بوده است یا خیر؟!



از کجا بدونیم؟! ... معلوم نیست که سرعت این ماشین تغییر می‌کنه یا نه!

جالب است! سرعت این خودرو قطعاً تغییر می‌کند! توجه کنید که سرعت، یک کمیت برداری است و **یک کمیت برداری، زمانی ثابت است که هم اندازه و هم جهت آن، ثابت باشد.** در شکل زیر، خودرویی با سرعت ثابت را می‌بینید. توجه کنید که علاوه بر یکسان‌بودنِ اندازهٔ بردارهای سرعت، جهت همگی نیز یکسان است.

وقتی مسیر حرکت، خمیده است، حتی اگر اندازهٔ سرعت ثابت باشد، جهت آن، مدام تغییر می‌کند و به همین دلیل است که می‌توان با قاطعیت گفت:

اگر مسیر حرکت متحرکی، خمیده (منحنی) باشد، آن حرکت حتماً شتاب‌دار است.

اکنون از شما دعوت می‌کنم که بانک تست بروید و تست‌های ۶۱ تا ۹۰ را حل کنید! *البته قبل از اون، می‌تونین پوک علمی تخیلی زیر رو بخونید و بعد از رفع خستگی، به سراغ تست‌ها برید!*

گوسفند قهوه‌ای

می‌گویند یک آدم کنجکاو، عکسی از یک گوسفند قهوه‌ای انداخت و آن را نشان سه نفر داد: یک ستاره‌شناس، یک فیزیک‌دان و یک ریاضی‌دان. آن‌ها باید با دیدن عکس به این پرسش پاسخ می‌دادند:

اگر شما گوسفندان سیارهٔ زمین را ندیده بودید، با دیدن این عکس و با توجه به رشتهٔ تخصصی خود، در مورد رنگ آن‌ها چه نتیجه‌گیری‌ای می‌کردید؟!

ستاره‌شناسان، عادت به تعمیم (یعنی عمومیت دادنِ موضوعات) دارند و مثلاً اگر ببینند که مسیر حرکت سیاره‌های منظومهٔ خورشیدی به شکل بیضی است، ممکن است نتیجه بگیرند که مسیر حرکت سیاره‌ها در همهٔ منظومه‌های جهان، به شکل بیضی است. می‌گویند ستاره‌شناسی که عکس گوسفند قهوه‌ای را به او نشان دادند، در پاسخ به پرسش بالا، نگاهی به عکس انداخت و گفت: «نتیجه می‌گرفتم که همهٔ گوسفندان روی زمین، قهوه‌ای هستند.»

نوبت به فیزیک‌دان رسید! فیزیک‌دان‌ها در تعمیم‌دادن، با احتیاط‌تر از ستاره‌شناس‌ها هستند! می‌گویند فیزیک‌دان، نگاهی به عکس گوسفند کرد و در پاسخ به پرسش سبزرنگِ بالا گفت: «نتیجه می‌گرفتم که روی زمین، حداقل یک گوسفند قهوه‌ای وجود دارد.»

آخر از همه، نوبت ریاضی‌دان بود! ریاضی‌دان‌ها، بسیار با احتیاط‌اند و به این سادگی‌ها، چیزی را تعمیم نمی‌دهند! او نگاهی به عکس انداخت و گفت: «نتیجه می‌گرفتم که روی زمین، گوسفندی وجود دارد که یک طرفش قهوه‌ای است.»!!

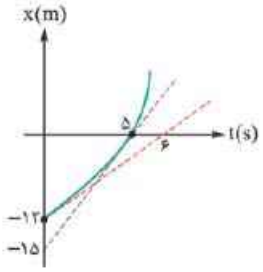
می‌بینید که ریاضی‌دان ما، چون طرف دیگر گوسفند را در عکس نمی‌دید، درمورد رنگ آن، اظهارنظری نکرد! از شما هم انتظار دارم که وقتی می‌خواهید چیزی را تعمیم دهید، به اندازهٔ ریاضی‌دان داستان ما، با احتیاط باشید!

شتاب متوسط و لحظه‌ای

۶۱- توپی روی یک سطح افقی، همانند شکل روبه‌رو، با سرعتی به اندازهٔ $20\ m/s$، به پای فوتبالیستی می‌رسد و او پس از مدت $0/1\ s$ که توپ با پایش تماس دارد، به توپ، سرعتی به اندازهٔ $30\ m/s$ در خلاف جهت اولیه می‌دهد. شتاب متوسط توپ در مدت تماس با پای شخص، چند متر بر مربع ثانیه بوده است؟

۱) $+100$ ۲) -100

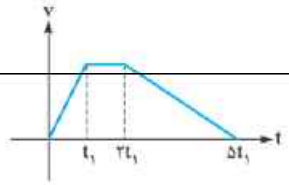
۳) $+500$ ۴) -500



۶۲- شکل روبه‌رو، نمودار مکان ـ زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در راستای محور x حرکت می‌کند. خط‌های نقطه‌چین، مماس در دو نقطه از این نمودار را نشان می‌دهند. این متحرک، با سرعت ..... متر بر ثانیه از مبدأ مکان می‌گذرد و شتاب متوسط آن از لحظهٔ صفر تا عبور از مبدأ مکان، ..... متر بر مربع ثانیه است. (به ترتیب، از راست به چپ)

۱) $+2\ ,\ +0/2$ ۲) $+3\ ,\ -0/2$

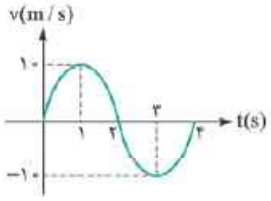
۳) $+3\ ,\ +0/2$ ۴) $-3\ ,\ -0/2$



۶۳- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی در مسیر مستقیم، مطابق شکل است. اندازهٔ شتاب متوسط در کدام بازهٔ زمانی، بیشتر است؟

۱) صفر تا t_1 ۲) t_1 تا $5t_1$

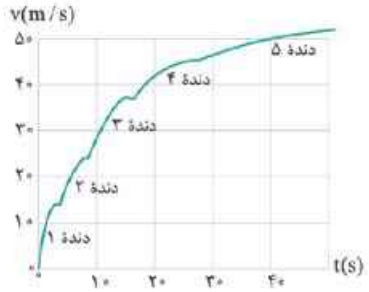
۳) صفر تا $3t_1$ ۴) $3t_1$ تا $5t_1$



۶۴- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، یک نمودار سینوسی مطابق شکل است. شتاب متوسط و سرعت متوسط در بازهٔ زمانی ۱ تا ۳ ثانیه، به ترتیب از راست به چپ در SI، برابر است با: (سراسری ریاضی ۸۳)

۱) صفر، صفر ۲) -10 ، صفر

۳) صفر، -10 ۴) -10 ، 10



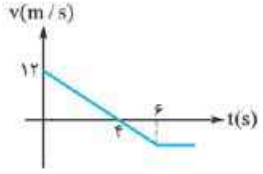
۶۵- نمودار تقریبی سرعت ـ زمان یک خودرو که از حال سکون به حرکت درآمده، ضمن تعویض دنده، از دندهٔ ۱ تا دندهٔ ۵، به صورت روبه‌رو است. (قسمت‌های کوچک افقی، مدت‌زمان‌های مربوط به تعویض دنده‌اند.) شتاب متوسط این خودرو در ۴۰ ثانیه نخست، چند متر بر مربع ثانیه است؟

۱) $0/8$

۲) $1/25$

۳) $2/5$

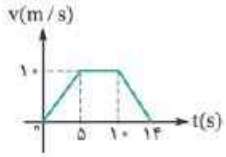
۴) 1



۶۶- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل است. بزرگی شتاب متوسط متحرک در بازهٔ زمانی $3\ s \le t \le 6\ s$، چند متر بر مربع ثانیه است؟ (سراسری تجربی ۸۹)

۱) ۱ ۲) ۳

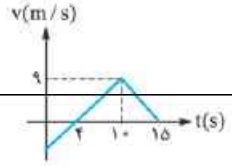
۳) ۴ ۴) ۵



۶۷- متحرکی در مسیر مستقیم حرکت می‌کند و نمودار سرعت ـ زمان آن، مطابق شکل روبه‌رو است. شتاب متوسط این متحرک در بازهٔ زمانی $t = 2\ s$ تا $t = 12\ s$، چند متر بر مجذور ثانیه است؟ (سراسری تجربی ۹۲)

۱) $\frac{1}{10}$ ۲) $\frac{5}{10}$

۳) $\frac{7}{10}$ ۴) صفر



۶۸- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. شتاب متوسط متحرک در بازهٔ زمانی $t = 0$ تا $t = 15\ s$ چند متر بر مجذور ثانیه است؟ (خارج تجربی ۹۳)

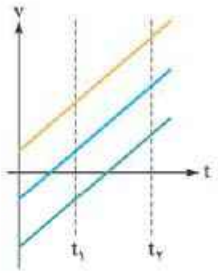
۱) $0/4$ ۲) $0/6$

۳) $0/8$ ۴) 1

۶۹- در حرکت بر محور x، مکان، سرعت و شتاب متحرک را با x، v و a نشان می‌دهیم. اگر متحرک به طور کندشونده، هم‌جهت با محور x حرکت کند، کدام گزینه الزاماً درست است؟

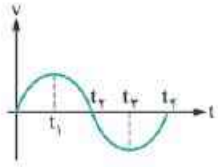
۱) x منفی و a مثبت است.
۲) x مثبت و a منفی است.
۳) x و v مثبت و a منفی است.
۴) v مثبت و a منفی است.

۷۰- نمودار سرعت ـ زمان سه متحرک که بر مسیری مستقیم حرکت می‌کنند، سه خط موازی به شکل روبه‌رو است. در بازهٔ زمانی بین دو لحظهٔ t_1 و t_2، ..... .



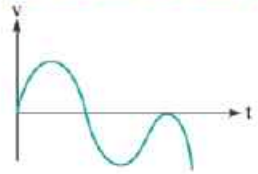
۱) فقط سرعت متوسط آن‌ها مساوی است.
۲) فقط شتاب آن‌ها مساوی است.
۳) سرعت متوسط و شتاب آن‌ها مساوی است.
۴) جابه‌جایی آن‌ها مساوی است.

۷۱- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. در چه فاصلهٔ زمانی‌ای، بردار شتاب متحرک در جهت مثبت محور x است؟ *(سراسری ریاضی ۸۶)*



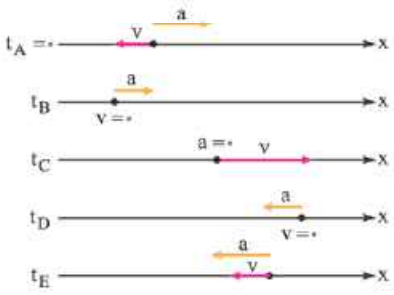
۱) صفر تا t_1
۲) صفر تا t_2
۳) t_2 تا t_4
۴) t_3 تا t_4

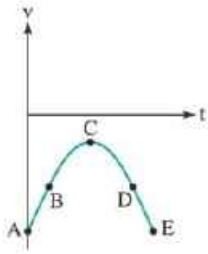
۷۲- نمودار سرعت ـ زمان حرکت متحرکی که روی محور xها حرکت می‌کند، مطابق شکل زیر است. کدام‌یک از عبارت‌های زیر در رابطه با این متحرک نادرست است؟ *(آزمون کانون فرهنگی آموزش ۹۶)*

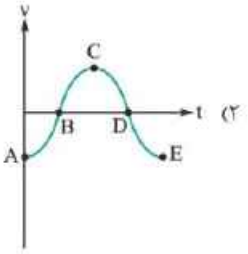


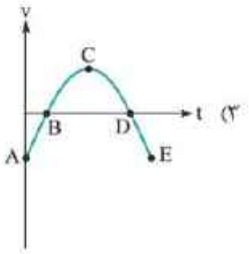
۱) متحرک پس از شروع حرکت دو بار متوقف شده است.
۲) متحرک دو بار جهت حرکت خود را تغییر می‌دهد.
۳) جهت شتاب متحرک سه بار تغییر می‌کند.
۴) شتاب حرکت متحرک، متغیر می‌باشد.

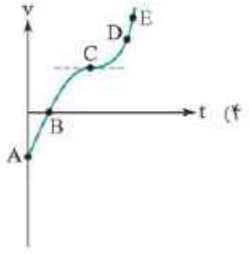
۷۳- شکل‌های روبه‌رو، ذره‌ای را نشان می‌دهند که در راستای محور x حرکت می‌کند. در این شکل‌ها، بردارهای سرعت و شتاب ذره، در پنج نقطهٔ A، B، C، D و E (با رعایت اندازه‌های نسبی آن‌ها)، نشان داده شده‌اند. کدام گزینه، می‌تواند نمودار سرعت ـ زمان این ذره باشد؟



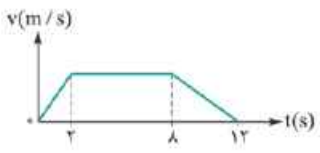
۱)


۲)


۳)


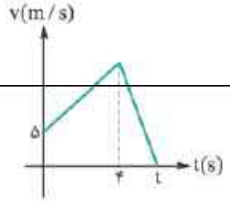
۴)


۷۴- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. بزرگی شتاب متحرک در مرحله‌ای که حرکت آن تندشونده است، چند برابر بزرگی شتاب متحرک در مرحله‌ای است که حرکت آن کندشونده می‌باشد؟ *(آزمون کانون فرهنگی آموزش ۹۷)*



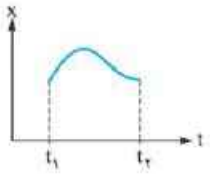
۱) ۲
۲) ۴
۳) $\frac{۱}{۲}$
۴) $\frac{۱}{۴}$

۷۵- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی در شکل روبه‌رو رسم شده است. اگر شتاب حرکت در قسمت اول و دوم حرکت، به ترتیب ۲/۵ و ۷/۵- متر بر مربع ثانیه باشد، جابه‌جایی متحرک از لحظهٔ صفر تا t چند متر است؟ *(سراسری ریاضی ۷۶)*



۱) ۴۵
۲) ۵۰
۳) ۵۵
۴) ۶۰

۷۶- شکل روبه‌رو، نمودار مکان ـ زمان حرکت ذره‌ای را که بر مسیر مستقیم حرکت می‌کند، نشان می‌دهد. بین دو لحظهٔ t_1 و t_2، جهت شتاب چند بار عوض شده است؟



۱) صفر
۲) ۱
۳) ۲
۴) ۳

۷۷- کدام گزینه، امکان‌پذیر است؟ (در هر چهار گزینه، حرکت بر یک خط راست، صورت می‌گیرد.)

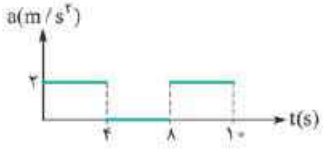
۱) آسانسوری از حال سکون، رو به بالا به حرکت درمی‌آید؛ اما شتابش در آغاز حرکت، رو به پایین است.

۲) سرعت متوسط در یک بازهٔ زمانی، صفر است؛ اما سرعت لحظه‌ای، هرگز صفر نبوده است.

۳) سرعت متوسط در یک بازهٔ زمانی، $10\ m/s$ است؛ اما سرعت لحظه‌ای، هرگز $10\ m/s$ نبوده است.

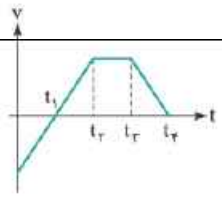
۴) در حالی که اندازهٔ شتاب حرکت، کاهش می‌یابد، تندی متحرک، افزایش می‌یابد.

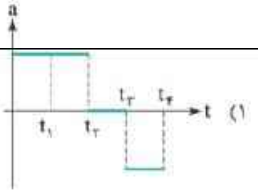
۷۸- شکل روبه‌رو، نمودار شتاب ـ زمان متحرکی را در مسیر مستقیم نشان می‌دهد. اندازهٔ شتاب متوسط در مدت ۱۰ ثانیه چند متر بر مجذور ثانیه است؟ (خارج تجربی ۸۳)

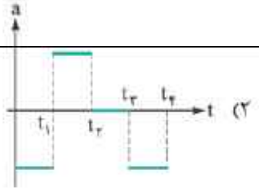


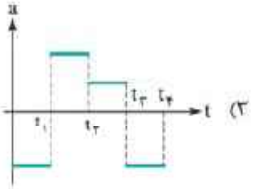
۱) ۰/۴
۲) ۰/۸
۳) ۱/۲
۴) ۱/۶

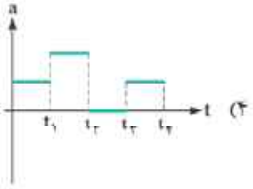
۷۹- با توجه به نمودار سرعت ـ زمان روبه‌رو، نمودار تقریبی شتاب ـ زمان متحرک کدام است؟ (سراسری ریاضی ۷۷)



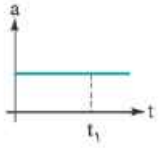
۱)


۲)


۳)


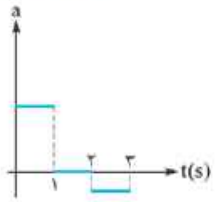
۴)


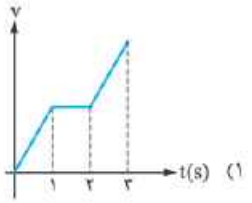
۸۰- نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که در مسیر مستقیم حرکت می‌کند، به صورت شکل روبه‌رو است. حرکت متحرک در بازهٔ زمانی صفر تا t_1 چگونه است؟ (خارج ریاضی ۸۶)

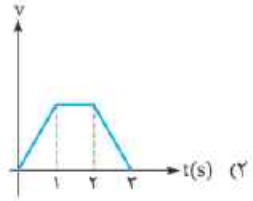


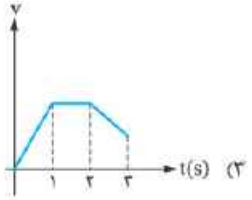
۱) تندشونده
۲) کندشونده
۳) کندشونده و سپس تندشونده
۴) بستگی به سرعت اولیه دارد.

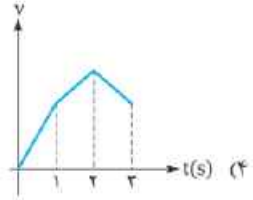
۸۱- نمودار شتاب ـ زمان متحرکی، به صورت روبه‌رو است. نمودار سرعت ـ زمان آن، به کدام صورت زیر است؟ (سراسری تجربی ۷۱)



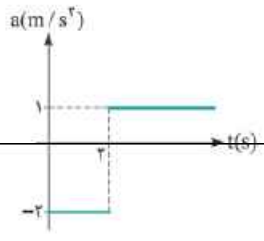
۱)


۲)


۳)


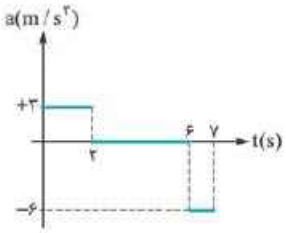
۴)


۸۲- متحرکی از حال سکون در مسیری مستقیم به حرکت درمی‌آید و نمودار شتاب ـ زمان آن مطابق شکل است. در کدام لحظه (برحسب ثانیه) جهت سرعت عوض می‌شود؟ (خارج تجربی ۸۹)



۱) ۲
۲) ۴
۳) ۶
۴) ۸

۸۳- آسانسوری از حال سکون، از طبقهٔ همکف، رو به بالا به راه می‌افتد و نمودار شتاب ـ زمان آن مطابق شکل روبه‌رو است. در لحظهٔ $7\ s$ آسانسور در چه ارتفاعی (برحسب متر) از طبقهٔ همکف قرار دارد؟



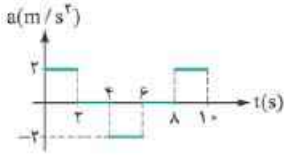
۱) صفر

۲) ۱۱

۳) ۲۲

۴) ۳۳

۸۴- نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که از حال سکون بر محور x به حرکت درآمده، به شکل روبه‌رو است. در ۱۰ ثانیهٔ نشان داده‌شده، این متحرک چند ثانیه ساکن بوده است؟



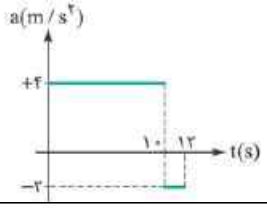
۱) ۲

۲) ۴

۳) ۶

۴) صفر

۸۵- نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که سرعتش در مبدأ زمان $+5$ متر بر ثانیه است. به صورت شکل روبه‌رو می‌باشد. سرعت متوسط متحرک در این ۱۲ ثانیه، چند متر بر ثانیه است؟ *(سراسری ریاضی ۹۴)*



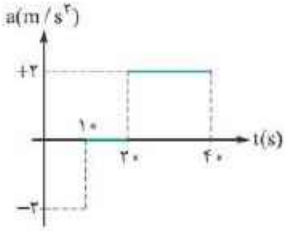
۱) $۱۳/۵$

۲) ۱۴

۳) ۲۷

۴) ۲۸

۸۶- نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که از حال سکون، روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. در بازهٔ زمانی $t_1 = 20\ s$ تا $t_2 = 35\ s$، کدام مورد درست است؟ *(سراسری تجربی ۹۴)*



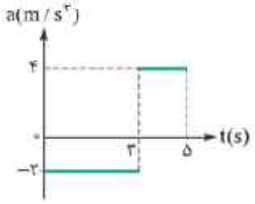
۱) حرکت تندشونده است.

۲) حرکت کندشونده است.

۳) جهت حرکت یک بار تغییر می‌کند.

۴) متحرک در جهت محور x حرکت می‌کند.

۸۷- شکل روبه‌رو نمودار شتاب ـ زمان متحرکی را که روی خط راست حرکت می‌کند، نشان می‌دهد. اگر سرعت اولیهٔ متحرک $2\ m/s$ و در جهت محور xها باشد، در کدام‌یک از بازه‌های زمانی زیر، بزرگی جابه‌جایی با مسافت طی‌شده توسط متحرک برابر است؟ *(آزمون کانون فرهنگی آموزش ۹۶)*



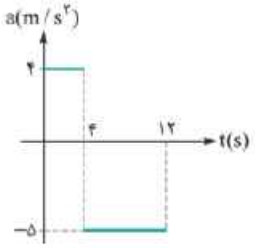
۱) ۱s تا ۵s

۲) ۲s تا ۵s

۳) ۱s تا ۴s

۴) ۳s تا ۵s

۸۸- نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که در مبدأ زمان با سرعت ۴ متر بر ثانیه از مبدأ مکان می‌گذرد، مطابق شکل است. مسافت طی‌شده در بازهٔ زمانی صفر تا ۱۲ ثانیه چند متر است؟ *(خارج تجربی ۹۲)*



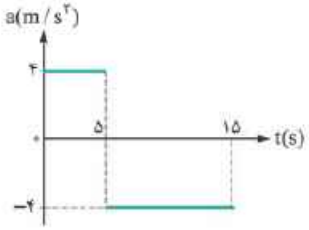
۱) ۴۸

۲) ۹۶

۳) ۱۲۸

۴) ۱۶۰

۸۹- نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. اگر در مبدأ زمان، متحرک با سرعتی به اندازهٔ $10\ m/s$ در خلاف جهت محور x در حرکت باشد، تندی متوسط متحرک در این $15\ s$، چند متر بر ثانیه است؟ *(آزمون کانون فرهنگی آموزش ۹۷)*



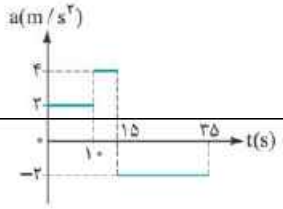
۱) ۴

۲) ۱۰

۳) ۲۴

۴) ۱۵

۹۰- نمودار شتاب ـ زمان متحرکی که روی محور x در لحظهٔ $t = 0$ از مبدأ می‌گذرد، مطابق شکل روبه‌رو است. اگر $v_0 = -10\ m/s$ باشد، بیشترین فاصلهٔ متحرک از مبدأ در بازهٔ زمانی $t = 0$ تا $t = 35\ s$ چند متر است؟ *(سراسری تجربی ۹۵)*



۱) ۲۱۰

۲) ۲۲۵

۳) ۳۲۵

۴) ۳۵۰

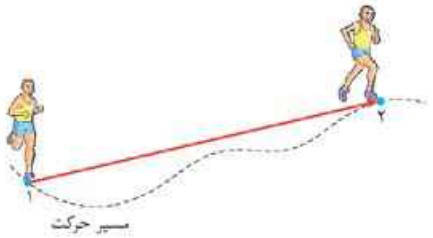
آشتی با کتاب درسی

«منبع اصلی طرح تست‌های کنکور سراسری، کتاب درسی است.» این جمله را مسئولین سازمان سنجش، بارها در سخنان خود، مورد تأکید قرار داده‌اند. متأسفانه بسیاری از داوطلبان کنکور، به جای تمرکز بر کتاب‌های درسی، بیشتر زمان خود را بر روی جزوه‌ها یا تست‌های منابع گوناگون می‌گذرانند و با کتاب درسی، قهرند! از طرف دیگر، در کنکورهای اخیر، بسیار دیده شده است که تمرین‌ها یا مثال‌های کتاب درسی، عیناً در کنکور سراسری، به صورت چهار گزینه‌ای، داده شده‌اند.

در این کتاب، در هر فصل، بخشی با عنوان آشتی با کتاب درسی وجود دارد که در آن، از سطربه‌سطر کتاب درسی، تست طرح شده است. در طرح این تست‌ها، از متن، مثال‌ها، تمرین‌ها، آزمایش‌ها و فعالیت‌های غیرتحقیقی کتاب، استفاده کرده‌ایم و با پاسخگویی به تست‌های این قسمت، خیالتان از کتاب درسی، از هر نظر آسوده خواهد شد!

بد نیست این تست‌ها را به صورت آزمون، با محدودکردن زمان، پاسخ دهید. برای هر تست، به طور متوسط، ۷۴ ثانیه زمان به خودتان بدهید و پس از پایان زمان آزمون، به سراغ پاسخ‌های تشریحی بروید. توجه داشته باشید که سطح دشواری آزمون‌های آشتی با کتاب درسی، درست در سطح کتاب درسی شما است و اگر تست‌های بانک تست را به خوبی درک کرده باشید، این آزمون‌ها، باید به نظرتان ساده بیایند!

۲۳۸- در شکل روبه‌رو، در حرکت دونده از نقطهٔ (۱) تا (۲)، ..... را ..... می‌نامیم.
(گزینه‌ها را به ترتیب، از راست به چپ بخوانید.)



۱) طول مسیر حرکت، جابه‌جایی
۲) اندازهٔ جابه‌جایی، مسافت پیموده‌شده
۳) طول مسیر حرکت، مسافت پیموده‌شده
۴) اندازهٔ جابه‌جایی، تندی متوسط

۲۳۹- شخصی همانند شکل زیر، بر مسیری مستقیم، از نقطهٔ (۱) به نقطهٔ (۲) می‌رود و سپس، در خلاف جهت اولیه بازمی‌گردد. اگر نقطهٔ (۳) درست وسط دو نقطهٔ (۱) و (۲) واقع باشد، در حرکت از نقطهٔ (۱) به (۲) و سپس به نقطهٔ (۳)، مسافت پیموده‌شده، چند برابر اندازهٔ جابه‌جایی است؟

۱) ۲
۲) ۳
۳) ۱/۵
۴) ۱

۲۴۰- همانند شکل روبه‌رو، دو نقطهٔ (۱) و (۲) را در مسیر حرکت ماه به دور زمین، در نظر گرفته‌ایم. با توجه به سوی گردش ماه در این شکل، کدام گزینه درست است؟

۱) اندازهٔ جابه‌جایی ماه در حرکت از نقطهٔ (۱) به (۲)، کوچک‌تر از اندازهٔ جابه‌جایی آن، در حرکت از نقطهٔ (۲) به (۱) است.

۲) بردار جابه‌جایی ماه در حرکت از نقطهٔ (۱) به (۲)، برابر با بردار جابه‌جایی آن، در حرکت از نقطهٔ (۲) به (۱) است.

۳) مسافت پیموده‌شده در حرکت از نقطهٔ (۱) به (۲)، کوچک‌تر از اندازهٔ جابه‌جایی ماه در حرکت از نقطهٔ (۲) به (۱) است.

۴) مسافت پیموده‌شده در حرکت از نقطهٔ (۱) به (۲)، کوچک‌تر از مسافت پیموده‌شده در حرکت از نقطهٔ (۲) به (۱) است.

۲۴۱- در یک بازهٔ زمانی معین، تندی متوسط یک جسم، همیشه ..... اندازهٔ سرعت متوسط آن است.

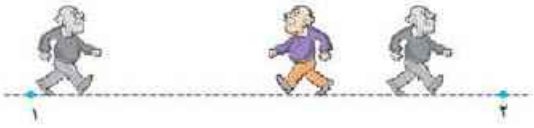
۱) برابر با ۲) کم‌تر از ۳) بیشتر از ۴) برابر یا بیشتر از

۲۴۲- در کدام گزینهٔ زیر، اندازهٔ سرعت متوسط در یک بازهٔ زمانی معین، الزاماً برابر با تندی متوسط در همان بازه است؟

۱) جسمی بر روی یک خط راست، حرکت می‌کند. ۲) جسمی جهت حرکت خود را تغییر نمی‌دهد.

۳) جسمی هرگز توقف نمی‌کند. ۴) هر سه گزینهٔ قبل.

۲۴۳- شخصی همانند شکل زیر، بر روی یک خط راست، از نقطهٔ (۱) به نقطهٔ (۲) می‌رود و پس از توقفی کوتاه در آن نقطه، دوباره به نقطهٔ (۱) بازمی گردد و مدام، همین حرکت را تکرار می‌کند. بازهٔ زمانی‌ای را در نظر می‌گیریم که شخص در ابتدای آن، در نقطهٔ (۱) و در پایان آن، در نقطهٔ (۲) است. اگر در این بازهٔ زمانی، جهت حرکت شخص ۲ مرتبه تغییر کرده باشد، تندی متوسط شخص در این بازه، چند برابر اندازهٔ سرعت متوسط آن است؟



۱) ۱

۲) ۲

۳) ۳

۴) ۱/۵

۲۴۴- یک روز عصر، برای این‌که در تهران، با خودرو از میدان انقلاب به میدان تجریش برویم، از نقشهٔ گوگل استفاده می‌کنیم. سه مسیر پیشنهادی گوگل، در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. در کدام مسیر، تندی متوسط بیشتری خواهیم داشت؟

۱) مسیر (الف)

۲) مسیر (ب)

۳) مسیر (پ)

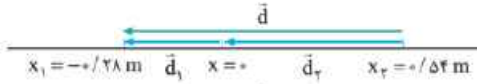
۴) تندی متوسط در هر سه مسیر پیشنهادی، یکسان است.

۲۴۵- دونده‌ای بدون آن‌که جهت حرکت خود را تغییر دهد، بر محور x می‌دود و مکان او در دو لحظهٔ t_1 و t_2، به ترتیب، برابر x_1 و x_2 است. جابه‌جایی او در بازهٔ زمانی بین دو لحظهٔ t_1 و t_2، برابر ..... و مسافتی که در همین مدت پیموده، برابر ..... است. (به ترتیب، از راست به چپ)

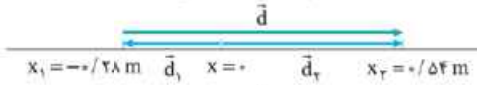
۱) $|x_2+x_1|.(x_2+x_1)\vec{i}$ ، $|x_2+x_1|.(x_2+x_1)\vec{i}$ ۲) $|x_2-x_1|.(x_2+x_1)\vec{i}$ ، $|x_2-x_1|.(x_2+x_1)\vec{i}$ ۳) $|x_2-x_1|.(x_2-x_1)\vec{i}$ ، $|x_2-x_1|.(x_2-x_1)\vec{i}$ ۴) $|x_2+x_1|.(x_1-x_2)\vec{i}$ ، $|x_2+x_1|.(x_1-x_2)\vec{i}$

۲۴۶- کفشدوزکی همانند شکل زیر، بر محور x حرکت می‌کند و مکان آن، در دو لحظهٔ $t_1=0$ و $t_2=82\,s$ به ترتیب، برابر $x_1=-0/28\,m$ و $x_2=0/54\,m$ است. در کدام گزینه، سرعت متوسط این کفشدوزک در بازهٔ زمانی بین این دو لحظه، درست نوشته شده و بردارهای مکان در آغاز و پایان این بازه $(\vec{d}_1, \vec{d}_2)$ و بردار جابه‌جایی آن در این بازهٔ زمانی $(\vec{d})$، درست رسم شده است؟

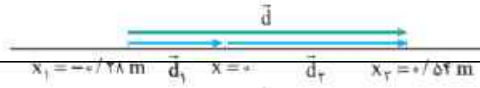
۱) x ، $-0/01\,m/s$



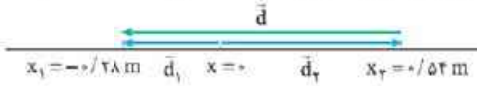
۲) x ، $+0/01\,m/s$



۳) x ، $+0/01\,m/s$



۴) x ، $-0/01\,m/s$



۲۴۷- جدول زیر، مربوط به دو متحرک، در یک بازهٔ زمانی ۴ ثانیه‌ای است. در کدام گزینه، این جدول به درستی کامل شده است؟

	مکان آغازین	مکان پایانی	جابه‌جایی	سرعت متوسط
متحرک A		$(-۲/۵\,m)\vec{i}$	$(-۵/۶\,m)\vec{i}$	
متحرک B	$(-۱/۴\,m)\vec{i}$			$(۲/۴\,m/s)\vec{i}$

۱)

	مکان آغازین	مکان پایانی	جابه‌جایی	سرعت متوسط
متحرک A	$(۸/۱\,m)\vec{i}$	$(-۲/۵\,m)\vec{i}$	$(-۵/۶\,m)\vec{i}$	$(-۲/۰۲۵\,m/s)\vec{i}$
متحرک B	$(-۱/۴\,m)\vec{i}$	$(۱۱\,m)\vec{i}$	$(۹/۶\,m)\vec{i}$	$(۲/۴\,m/s)\vec{i}$

۲)

	مکان آغازین	مکان پایانی	جابه‌جایی	سرعت متوسط
متحرک A	$(۸/۱\,m)\vec{i}$	$(-۲/۵\,m)\vec{i}$	$(-۵/۶\,m)\vec{i}$	$(-۲/۰۲۵\,m/s)\vec{i}$
متحرک B	$(-۱/۴\,m)\vec{i}$	$(۸/۲\,m)\vec{i}$	$(۹/۶\,m)\vec{i}$	$(۲/۴\,m/s)\vec{i}$

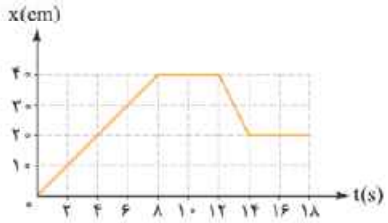
۳)

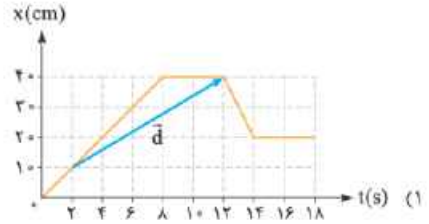
	مکان آغازین	مکان پایانی	جابه‌جایی	سرعت متوسط
متحرک A	$(۳/۱\,m)\vec{i}$	$(-۲/۵\,m)\vec{i}$	$(-۵/۶\,m)\vec{i}$	$(-۱/۴\,m/s)\vec{i}$
متحرک B	$(-۱/۴\,m)\vec{i}$	$(۸/۲\,m)\vec{i}$	$(۹/۶\,m)\vec{i}$	$(۲/۴\,m/s)\vec{i}$

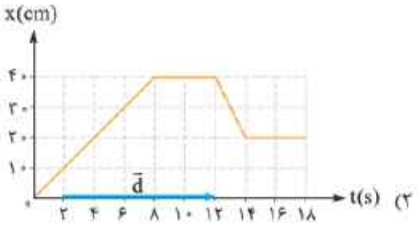
۴)

	مکان آغازین	مکان پایانی	جابه‌جایی	سرعت متوسط
متحرک A	$(۳/۱\,m)\vec{i}$	$(-۲/۵\,m)\vec{i}$	$(-۵/۶\,m)\vec{i}$	$(-۱/۴\,m/s)\vec{i}$
متحرک B	$(-۱/۴\,m)\vec{i}$	$(۱۱\,m)\vec{i}$	$(۹/۶\,m)\vec{i}$	$(۲/۴\,m/s)\vec{i}$

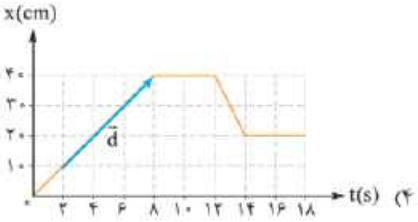
۲۴۸- نمودار مکان ـ زمان متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند، به شکل روبه‌رو است. در کدام گزینه، بردار جابه‌جایی $(\vec{d})$ متحرک در بازهٔ زمانی (۲ s،۱۲ s)، درست نشان داده شده است؟



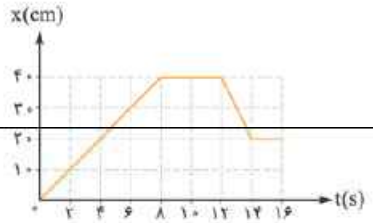
۱)


۲)


۳)

۴)


۲۴۹- نمودار مکان ـ زمان حرکت مورچه‌ای بر محور x، به شکل روبه‌رو است. در ..... درصد از بازهٔ زمانی بین صفر تا ۱۶ s، حرکت این مورچه در خلاف جهت محور و در ..... درصد از این بازهٔ زمانی، مورچه ساکن است. (به ترتیب، از راست به چپ)



۱) ۲۵ ،۱۲/۵
۲) ۳۷/۵ ،۲۵
۳) ۲۵ ،۲۵
۴) ۳۷/۵ ،۱۲/۵

پرسش‌های امتحانی

سال دوازدهم، بیش از دو سال گذشته، حساس و سرنوشت ساز است! شما باید علاوه بر کنکور سراسری، برای امتحان‌های نهایی نیز آماده شوید. خوشبختانه در درس فیزیک، برای موفقیت در دو آزمون، نیازی به پیمودن دو مسیر متفاوت نیست! چنان‌که تا این‌جا هم دیدید، تست‌های کنکور، به خصوص در دههٔ ۹۰، گاهی چنان تشریحی‌اند که هیچ‌یک از مسئله‌های امتحان نهایی، به پای آن‌ها نمی‌رسد! به همین دلیل است که کسی نمی‌تواند ادعا کند در فیزیک، خوب تست می‌زند؛ اما نمی‌تواند به خوبی از عهدهٔ سؤال‌های امتحانی برآید.

به هر روی، در همین کتاب، همهٔ آن‌چه برای موفقیت در کنکور و امتحان نهایی نیاز دارید، پیش‌بینی شده است و نباید نگران هیچ چیز باشید! آخرین بخش هر فصل، به نمونه سؤال‌های امتحانی اختصاص دارد. سعی شده است که همهٔ مدل‌های رایج در آزمون‌های تشریحی، ارائه شود تا شما به خوبی، آمادگی برخورد با هر نوع پرسش یا مسئله‌ای را داشته باشید. یادتان باشد که پیش از امتحان‌های تشریحی، علاوه بر مطالعهٔ این بخش، تست‌های مهم بانک تست و همهٔ تست‌های آزمون آشتی با کتاب درسی را هم مرور کنید.

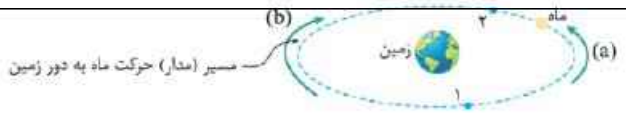
درست‌یا‌نادرست

لطفاً هر یک از عبارت‌های زیر را به دقت بخوانید و جلوی هر کدام، یکی از دو واژهٔ درست یا نادرست را بنویسید.

۱- به اندازهٔ جابه‌جایی یک جسم، مسافت پیموده‌شده گفته می‌شود.

۲- پاره‌خط جهت‌داری که مکان آغازین یک متحرک را به مکان پایانی آن وصل می‌کند، جابه‌جایی نام دارد.

۳- در شکل روبه‌رو، اگر ماه در سوی (a)، از مکان (۱) به مکان (۲) برود، جابه‌جایی‌اش در خلاف جهت حالتی است که در سوی (b)، از مکان (۱) به مکان (۲) برود.



۴- وقتی جسمی بر روی یک خط راست حرکت می‌کند، مسافت پیموده‌شده با اندازهٔ جابه‌جایی مساوی است.

۵- تندی متوسط در یک بازهٔ زمانی، برابر با اندازهٔ سرعت متوسط در آن بازه است.

۶- تندی متوسط، کمیتی نرده‌ای و سرعت متوسط، کمیتی برداری است.

۷- شیب خطی که دو نقطه از نمودار مکان ـ زمان را به یکدیگر وصل می‌کند، برابر با سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی بین آن دو نقطه است.

۸- در هر لحظه از حرکت، اندازهٔ سرعت لحظه‌ای، برابر تندی لحظه‌ای است.

۹- در حرکت بر خط راست، سرعت در هر لحظهٔ دلخواه، شیب خط مماس بر نمودار مکان ـ زمان در آن لحظه است.

۱۰- در شکل روبه‌رو، اندازهٔ سرعت گلوله در لحظهٔ t_1، الزاماً کم‌تر از اندازهٔ سرعت آن در لحظهٔ t_2 بوده است.

۱۱- وقتی جسمی در یک راستا حرکت می‌کند و شتاب متوسط آن را از رابطهٔ $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ محاسبه می‌کنیم، علامت جبری v_1 و v_2 رادر نظر نمی‌گیریم.

۱۲- اگر در حرکت بر خط راست، شتاب متحرک ثابت باشد، سرعت متوسط در هر بازهٔ زمانی دلخواه، با سرعت لحظه‌ای مساوی است.

۱۳- اگر نمودار سرعت ـ زمان، برای متحرکی که بر محور x حرکت می‌کند، خط راست باشد، شتاب متوسط در هر بازهٔ زمانی دلخواه با شتاب لحظه‌ای مساوی است.

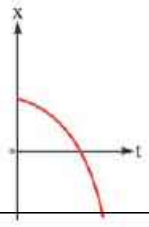
۱۴- در حرکت با سرعت ثابت بر خط راست، سرعت متوسط متحرک در هر بازهٔ زمانی دلخواه، با سرعت لحظه‌ای مساوی است.

۱۵- اگر سرعت متوسط متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند، در یک بازهٔ زمانی مثبت باشد، جهت حرکت متحرک در تمام لحظات آن بازه، هم‌جهت با محور x بوده است.

۱۶- مکان متحرک در لحظهٔ $t = 0$ را مبدأ مکان می‌نامند.

۱۷- در حرکت با شتاب ثابت بر خط راست، نمودار سرعت ـ زمان، به شکل سهمی است.

۱۸- نمودار روبه‌رو که برای یک حرکت با شتاب ثابت بر محور x رسم شده است، مربوط به حالتی است که $x_0 > 0$ و $a < 0$ باشد.



۱۹- منظور از سقوط آزاد، فقط حالتی است که جسمی را از حال سکون، به طرف زمین رها کنیم و تأثیر مقاومت هوا بر آن ناچیز باشد.

۲۰- شتاب سقوط آزاد، برای اجسام سنگین، بیشتر از اجسام سبک است.

تمرین‌های دوقلو

قُل اول:

فعلاً کاری به جریان دوقلو نداشته باشید! لطفاً یک مداد بردارید و جاهای خالی در عبارت‌های زیر را پر کنید.

۲۱- وقتی متحرکی از یک مکان، به مکانی دیگر می‌رود، طول مسیر حرکت را ..... می‌نامیم.

۲۲- به پاره‌خط جهت‌داری که مکان متحرک در آغاز یک بازهٔ زمانی را به مکان آن در پایان آن بازه وصل می‌کند، ..... گفته می‌شود.

۲۳- در حرکت بر خط راست، اگر ..... تغییر نکند، مسافت پیموده‌شده با اندازهٔ جابه‌جایی مساوی است.

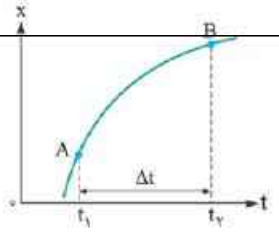
۲۴- اگر متحرکی در بازهٔ زمانی Δt، جابه‌جایی‌ای برابر d داشته باشد و مسافت l را طی کند، تندی متوسط آن در این بازهٔ زمانی، از رابطهٔ ..... و سرعت متوسط آن، از رابطهٔ ..... به دست می‌آید.

۲۵- در حرکت بر خط راست، اگر جهت حرکت تغییر نکند، اندازهٔ سرعت متوسط در یک بازهٔ زمانی، با ..... برابر است.

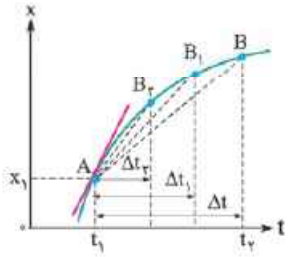
۲۶- برداری که مبدأ مکان را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، ..... نام دارد.

۲۷- تندی متحرک در ..... را تندی لحظه‌ای می‌نامیم. اگر هنگام گزارش تندی لحظه‌ای، به جهت حرکت متحرک هم اشاره کنیم، در واقع ..... آن را بیان کرده‌ایم.

۲۸- در شکل روبه‌رو که نمودار مکان ـ زمان متحرکی است که در راستای محور x حرکت می‌کند، سرعت متوسط در بازهٔ زمانی بین دو لحظهٔ t_1 و t_2، برابر ..... خط AB است.

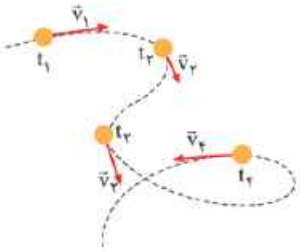


۲۹- شکل روبه‌رو، نمودار مکان ـ زمان متحرکی است که در راستای محور x حرکت می‌کند. این شکل نشان می‌دهد که اگر لحظهٔ t_2 به لحظهٔ t_1 بسیار نزدیک شود، خط واصل دو نقطهٔ نمودار، به ..... تبدیل می‌شود و ..... این خط، برابر سرعت لحظه‌ای در لحظهٔ t_1 است.



۳۰- هرگاه ..... جسمی تغییر کند، حرکت آن جسم، شتابدار است. این تغییر، می‌تواند از نظر ..... یا ..... و یا هر دوی این‌ها باشد.

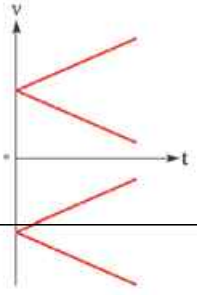
۳۱- در شکل روبه‌رو، بردار سرعت یک گلوله در چهار لحظه با رعایت مقیاس در اندازه‌هایشان، نشان داده شده‌اند. به دلیل تغییر ..... و ..... سرعت، حرکت این جسم، شتابدار است.



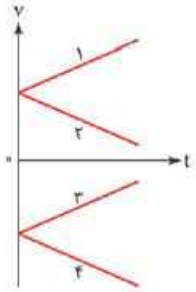
۳۲- شتاب لحظه‌ای، یعنی شتاب متحرک در .....، که برابر با ..... بر نمودار سرعت ـ زمان در آن لحظه است.

۳۳- در حرکت با سرعت ثابت بر خط راست، شیب نمودار مکان ـ زمان در تمام لحظات، ..... است؛ در نتیجه سرعت متوسط در هر بازهٔ زمانی دلخواه، برابر با ..... است.

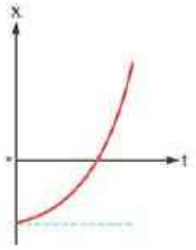
۳۴- نمودارهای روبه‌رو، مربوط به متحرکی هستند که ..... حرکتش، ثابت است.



۳۵- از نمودارهای روبه‌رو، دو موردی که با شماره‌های ..... و ..... مشخص‌شده‌اند، حرکتی کندشونده را نشان می‌دهند.



۳۶- نمودار مکان ـ زمان متحرکی که با شتاب ثابت، در راستای محور x حرکت می‌کند، به شکل روبه‌رو است. علامت شتاب این متحرک، ..... ، علامت مکان اولیه‌اش، ..... و سرعت اولیه‌اش، ..... است.



۳۷- به حرکت جسمی که تحت تأثیر ..... قرار دارد و تأثیر مقاومت هوا را بر آن، می‌توان نادیده گرفت، سقوط آزاد گفته می‌شود.

۳۸- حرکت سقوط آزاد، افزون بر رها کردن یک جسم، ..... را نیز شامل می‌شود.

قُل دوم:

بسیار خوب! حالا وقت آن رسیده که بفهمید منظور از تمرین‌های دوقلو، چیست! موضوع از این قرار است که در این قسمت، تعدادی پرسش برایتان گذاشته‌ایم که پاسخ هر کدام، عبارتی از قل اول است که کامل کردید. اگر به عنوان مثال، پاسخ پرسش ۱۲ در قل دوم را نمی‌دانستید، کافی است به قل اول مراجعه کنید و عبارت شمارهٔ ۱۲ را ببینید! (بد نیست قبل از پرداختن به پرسش‌های زیر، پاسخ‌های قُل اول را ببینید.)

۲۱- منظور از «مسافت پیموده‌شده» چیست؟

۲۲- منظور از جابه‌جایی در یک بازهٔ زمانی چیست؟

۲۳- در حرکت بر خط راست، در چه صورت مسافت پیموده‌شده با اندازهٔ جابه‌جایی مساوی است؟

۲۴- رابطه‌های مربوط به تندی متوسط و سرعت متوسط را بنویسید. هر یک از نمادهایی که در این رابطه‌ها به کار برده‌اید، بیانگر چه کمیتی هستند؟

۲۵- در چه صورت اندازهٔ سرعت متوسط متحرک، با تندی متوسط آن برابر است؟

۲۶- منظور از بردار مکان چیست؟

۲۷- تندی لحظه‌ای و سرعت لحظه‌ای را تعریف کنید.

۲۸- با رسم یک نمودار مکان ـ زمان دلخواه برای متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند، توضیح دهید چگونه می‌توان از روی آن، سرعت متوسط متحرک را در یک بازهٔ زمانی، تعیین کرد.

۲۹- با استفاده از یک نمودار مکان ـ زمان برای متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند، مفهوم سرعت لحظه‌ای را بیان کنید.

۳۰- در چه صورت حرکت یک جسم، شتاب‌دار است؟

۳۱- با رسم یک شکل، حرکتی را نشان دهید که در آن، شتاب، هم به دلیل تغییر اندازه و هم به دلیل تغییر جهت سرعت پدید می‌آید.

۳۲- منظور از شتاب لحظه‌ای چیست؟ چگونه می‌توان آن را از روی نمودار سرعت ـ زمان، تعیین کرد؟

۳۳- چرا در حرکت با سرعت ثابت بر خط راست، سرعت متوسط در هر بازهٔ زمانی دلخواه، با سرعت لحظه‌ای برابر است؟

۳۴- در حرکت با شتاب ثابت، نمودار سرعت ـ زمان، به چه شکلی است؟ چهار حالتی را رسم کنید که در آن‌ها، سرعت اولیه صفر نباشد.

۳۵- برای حرکت با شتاب ثابت، دو نمودار سرعت ـ زمان رسم کنید که هر دو، بیانگر حرکتی کندشونده باشند.

۳۶- نمودار مکان ـ زمان متحرکی را رسم کنید که از حال سکون، با شتابی ثابت و مثبت و مکان اولیه‌ای منفی به حرکت درمی‌آید.

۳۷- منظور از حرکت سقوط آزاد چیست؟

۳۸- به جز جسمی که از ارتفاعی رها می‌شود، چه حالت‌های دیگری را می‌توان سقوط آزاد نامید؟

پرسش‌های دوگزینه‌ای

یک نوع رایج دیگر از سؤال‌های امتحانی، پرسش‌های دوگزینه‌ای است. در چنین پرسش‌هایی، دو عبارت، داخل یک پرانتز نوشته می‌شود و شما باید عبارت درست را انتخاب کرده و در برگهٔ خود بنویسید.

۳۹- شتاب (متوسط ـ لحظه‌ای)، شیب خطی است که دو نقطه را در نمودار سرعت ـ زمان به هم وصل می‌کند. (تجربی خرداد ۹۲)

۴۰- شیب خط مماس بر نمودار سرعت ـ زمان، نشان دهندهٔ شتاب (لحظه‌ای ـ متوسط) است. (ریاضی دی ۹۳)

۴۱- سطح محصور بین نمودار سرعت ـ زمان و محور زمان، برابر تغییر (مکان ـ سرعت) است. (تجربی دی ۹۴)

۴۲- مکان متحرک در لحظهٔ صفر، (مبدأ مکان ـ مکان اولیه) نام دارد.

۴۳- (تندی ـ سرعت)، کمیتی برداری است.

۴۴- برداری که مبدأ مکان را به جسم وصل می‌کند، بردار (جابه‌جایی ـ مکان) نام دارد.

۴۵- در حرکت با شتاب ثابت، (شتاب متوسط ـ سرعت متوسط) در هر بازهٔ زمانی، مقدار یکسانی است.

۴۶- در حرکت با (سرعت ثابت ـ شتاب ثابت) بر خط راست، جابه‌جایی در دو بازهٔ زمانی مساوی، یکسان است.

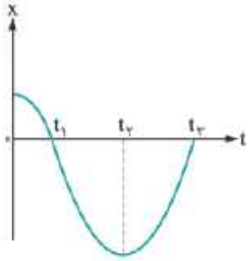
۴۷- در حرکت با شتاب ثابت بر خط راست، نمودار مکان ـ زمان یک (خط راست ـ سهمی) است.

۴۸- حرکت سقوط آزاد، نوعی حرکت (شتاب‌دار با شتاب ثابت ـ با سرعت ثابت) است. (تجربی دی ۹۶)

پرسش‌ها و مسئله‌ها

در این قسمت، با نمونه‌های دیگری از سؤال‌های امتحانی آشنا می‌شوید. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره کردیم، هر یک از تست‌های بخش‌های قبل، اگر چهارگزینه‌اش حذف شود، می‌تواند به یک نمونه سؤال امتحانی تبدیل گردد! به همین دلیل از شما خواستم که پیش از امتحان، حتماً نگاهی به تست‌ها نیز بیندازید.

۴۹- نمودار مکان ـ زمان حرکت متحرکی بر روی خط راست مطابق شکل است. (تجربی خرداد ۹۷)



پاسخ کوتاه دهید:

الف) در کدام لحظه جسم تغییر جهت می‌دهد؟

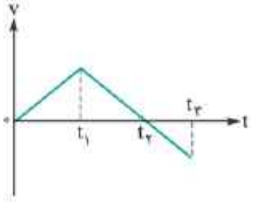
ب) یک لحظه را مشخص کنید که جسم از مبدأ مکان می‌گذرد.

پ) یک بازهٔ زمانی را معین کنید که جسم در جهت محور xها حرکت می‌کند.

ت) در کدام بازهٔ زمانی شتاب منفی است؟

ث) در کدام بازهٔ زمانی حرکت کندشونده است؟

۵۰- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که روی محور x در حال حرکت است، مطابق شکل است. به پرسش‌های زیر پاسخ دهید: (ریاضی خرداد ۹۷)

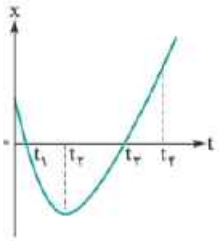


الف) در کدام بازهٔ زمانی حرکت کندشونده است؟

ب) در کدام بازهٔ زمانی، علامت شتاب مثبت است؟

پ) در چه بازهٔ زمانی حرکت تندشونده و در خلاف جهت محور x است؟

۵۱- نمودار مکان ـ زمان جسمی که روی خط راست حرکت می‌کند به شکل سهمی روبه‌رو است. با توجه به نمودار، به سؤالات زیر پاسخ دهید. (ریاضی خرداد ۹۶)



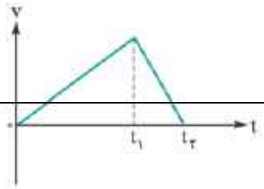
الف) در چه لحظه‌ای جهت حرکت جسم تغییر کرده است؟

ب) در کدام لحظه‌ها جسم از مبدأ مکان می‌گذرد؟

پ) شتاب حرکت جسم، مثبت است یا منفی؟

ت) در بازهٔ زمانی صفر تا t_1 حرکت جسم، تندشونده است یا کندشونده؟

۵۲- با توجه به نمودار سرعت ـ زمان داده‌شده برای جسمی که روی خط راست از مبدأ مکان شروع به حرکت کرده است، به سؤالات زیر پاسخ دهید: (ریاضی شهریور ۹۶)

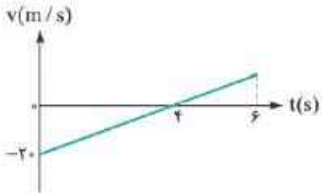


الف) شتاب حرکت جسم در بازهٔ زمانی صفر تا t_2، ثابت است یا متغیر؟ چرا؟

ب) نوع حرکت جسم در بازهٔ زمانی t_1 تا t_2، تندشونده است یا کندشونده؟

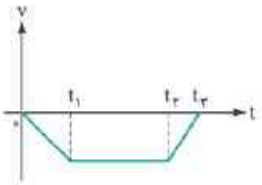
پ) در بازهٔ زمانی صفر تا t_1، متحرک در جهت محور x حرکت می‌کند یا در خلاف جهت آن؟ چرا؟

۵۳- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی مانند شکل است: (تجربی خرداد ۹۶)



متحرک پس از ۶ ثانیه چه‌قدر جابه‌جا شده است؟

۵۴- نمودار سرعت ـ زمان حرکت متحرکی مطابق شکل روبه‌رو است. (تجربی دی ۹۶)

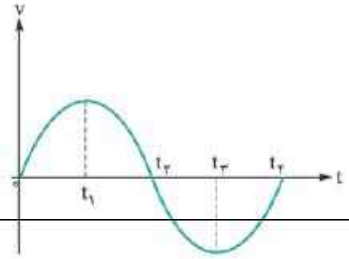


الف) نمودار شتاب ـ زمان آن را به طور کیفی رسم کنید.

ب) در کدام بازهٔ زمانی حرکت تندشونده است؟

پ) اگر جسم در لحظهٔ صفر، در مبدأ مکان باشد، نمودار مکان ـ زمان آن را به طور کیفی رسم کنید.

۵۵- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند مطابق شکل روبه‌رو است. با توجه به نمودار، درستی یا نادرستی جمله‌های زیر را مشخص کرده و به پاسخ‌برگ انتقال دهید: (ریاضی شهریور ۹۵)



الف) در بازهٔ زمانی صفر تا t_1، شتاب متحرک در جهت مثبت است.

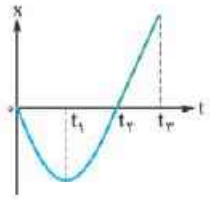
ب) در بازهٔ زمانی t_1 تا t_2، علامت سرعت متوسط متحرک، منفی است.

پ) نوع حرکت جسم در بازهٔ زمانی t_2 تا t_3، کندشونده است.

ت) شتاب حرکت جسم در لحظهٔ t_2، صفر است.

ت) اندازهٔ جابه‌جایی جسم در بازهٔ زمانی t_2 تا t_4، صفر است.

۵۶- نمودار مکان ـ زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند مطابق شکل روبه‌رو است. با توجه به نمودار (که در بازهٔ زمانی صفر تا t_2 سهمی و در بازهٔ زمانی t_2 تا t_3 خط راست است)، در هر یک از عبارت‌های زیر، گزینهٔ درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید و در پاسخ‌برگ بنویسید. (ریاضی دی ۹۵)



الف) در بازهٔ زمانی صفر تا t_1، نوع حرکت جسم (تندشونده ـ کندشونده) است.

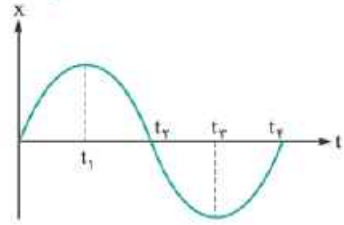
ب) در لحظهٔ (t_1 ـ t_2)، جهت حرکت جسم، تغییر کرده است.

پ) در لحظهٔ (t_1 ـ t_2)، جسم از مبدأ مکان عبور کرده است.

ت) در بازهٔ زمانی t_2 تا t_3، جسم در (جهت ـ خلاف جهت) محور x حرکت کرده است.

ث) در بازهٔ زمانی t_1 تا t_3، علامت شتاب جسم (مثبت ـ منفی) است.

۵۷- با توجه به نمودار روبه‌رو، درستی یا نادرستی جمله‌های زیر را تشخیص داده و به پاسخ‌برگ منتقل کنید. (تجربی دی ۹۵)



الف) در بازهٔ زمانی t_3 تا t_4 حرکت، شتاب‌دار کندشونده است.

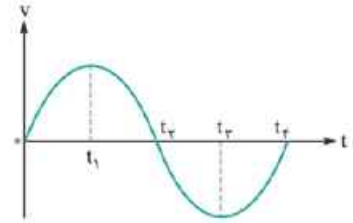
ب) متحرک در لحظهٔ t_1 تغییر جهت می‌دهد.

پ) در لحظهٔ t_2 شتاب حرکت صفر است.

ت) در بازهٔ زمانی صفر تا t_2 متحرک همواره در جهت مثبت محور x حرکت می‌کند.

ث) علامت سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی t_1 تا t_4 منفی است.

۵۸- نمودار سرعت ـ زمان حرکت یک جسم به شکل روبه‌رو است: (ریاضی شهریور ۹۴)



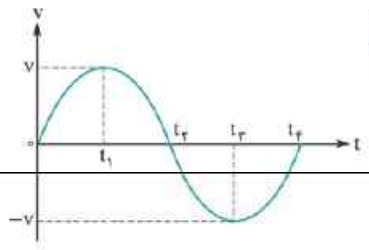
الف) در کدام لحظه جسم تغییر جهت می‌دهد؟

ب) در کدام بازهٔ زمانی، شتاب جسم منفی است؟

پ) در کل زمان حرکت، شتاب جسم چند بار تغییر جهت می‌دهد؟

ت) در کدام بازهٔ زمانی، جابه‌جایی جسم صفر است؟

۵۹- با توجه به نمودار سرعت ـ زمان حرکت یک جسم در شکل روبه‌رو، از داخل پرانتز گزینهٔ مناسب را انتخاب کرده و به پاسخ‌برگ انتقال دهید: (ریاضی دی ۹۴)



الف) در بازهٔ زمانی t_2 تا t_3 حرکت جسم در (جهت محور x ـ خلاف جهت محور x) است.

ب) در لحظهٔ (t_2 ـ t_2) شتاب حرکت جسم، صفر است.

پ) در لحظهٔ (t_1 ـ t_2) جهت حرکت جسم تغییر کرده است.

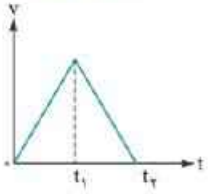
ت) در بازهٔ زمانی t_3 تا t_4 نوع حرکت جسم (تندشونده ـ کندشونده) است.

ت) علامت سرعت متوسط جسم در بازهٔ زمانی صفر تا t_2، (مثبت ـ منفی) است.

۶۰- نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که در مسیر مستقیم از مبدأ مکان شروع به حرکت می‌کند، مطابق شکل است. (تجربی خرداد ۹۴)

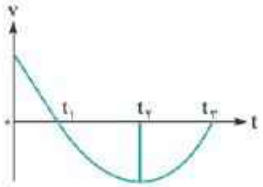
الف) نوع حرکت در هر بازهٔ زمانی را تعیین کنید.

ب) نمودار مکان ـ زمان آن را به طور کیفی رسم کنید.



۶۱- نمودار سرعت ـ زمان جسمی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل زیر است.

با توجه به نمودار جدول زیر را کامل کنید: (ریاضی خرداد ۹۲)



بازهٔ زمانی	t_1 تا t_2	t_2 تا t_3
نوع حرکت		
علامت شتاب		

۶۲- معادلهٔ حرکت جسمی در SI، به صورت $x = 2t^2 + 1$ است. (تجربی شهریور ۹۱)

معادلهٔ سرعت آن را به دست آورید.

نمودار سرعت ـ زمان را برای آن رسم نمایید.

۶۳- نشان دهید معادلهٔ کلی حرکت با سرعت ثابت بر محور x، به صورت روبه‌رو است:

$$x = vt + x_0$$

۶۴- نشان دهید در حرکت با شتاب ثابت بر خط راست، معادلهٔ سرعت ـ زمان را می‌توان به صورت کلی روبه‌رو نوشت:

$$v = at + v_0$$

۶۵- نشان دهید در حرکت با شتاب ثابت بر محور x، جابه‌جایی از لحظهٔ صفر تا لحظهٔ دلخواه t را می‌توان از رابطهٔ زیر به دست آورد:

$$\Delta x = (\frac{v + v_0}{2})t$$

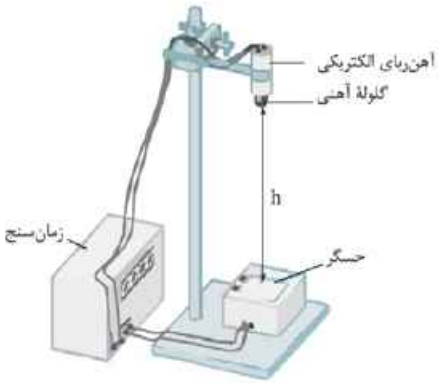
۶۶- نشان دهید در حرکت با شتاب ثابت بر محور x، معادلهٔ مکان ـ زمان، به صورت کلی مقابل است:

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

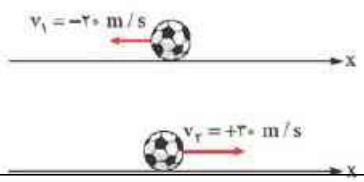
۶۷- سرعت متحرکی که با شتاب a بر محور x حرکت می‌کند، در مکان x_0، برابر v_0 و در مکان x، برابر v است. نشان دهید، برای این متحرک، می‌توان نوشت:

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

۶۸- شکل روبه‌رو، اسباب انجام آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد. در مورد این آزمایش، توضیح دهید. با استفاده از این آزمایش، چه کمیتی اندازه گیری می‌شود؟



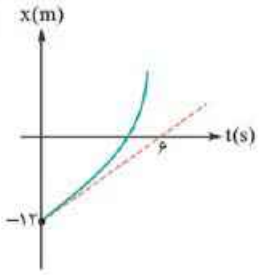
۶۱- پیش از استفاده از رابطهٔ شتاب متوسط، باید علامت سرعت‌های آغازین و پایانی را در نظر داشته باشید. در شکل روبه‌رو، می‌بینید که چگونه برای v_1، علامت منفی و برای v_2، علامت مثبت گذاشته‌ایم؛ برای این منظور، کافی است جهت هر بردار را با جهت مثبت محور x مقایسه کنیم. حالا آماده‌ایم، شتاب متوسط را محاسبه کنیم:



$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{+۳۰-(-۲۰)}{۰/۱} = +۵۰۰\ m/s^2$$

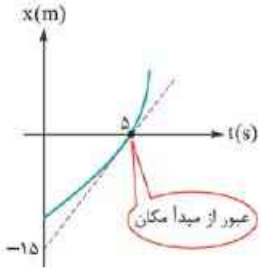
علامت مثبت، نشان می‌دهد جهت شتاب متوسط، هم‌جهت با محور x است.

۶۲- گزینهٔ ۳ شیب مماسی که در شکل روبه‌رو می‌بینید، برابر سرعت متحرک در مبدأ زمان (یعنی سرعت اولیه) است.



$$\text{شیب مماس} = +\frac{۱۲}{۶} = +۲\ m/s = v_۰$$

شیب مماسی که در شکل پایینی می‌بینید، سرعت متحرک در لحظهٔ عبور از مبدأ مکان است:

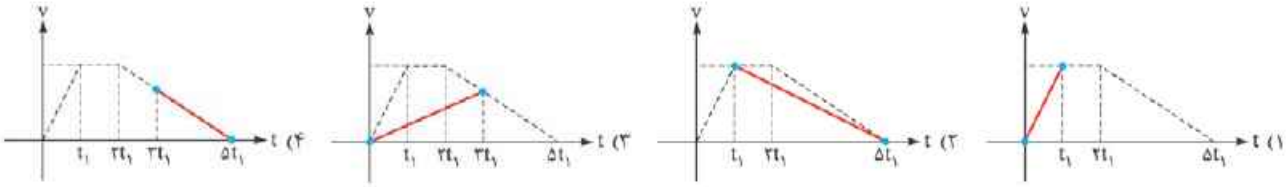


$$\text{شیب مماس} = +\frac{۱۵}{۵} = +۳\ m/s = v$$

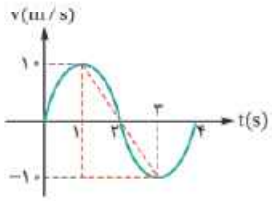
با توجه به این‌که لحظهٔ عبور از مبدأ مکان، لحظهٔ ۵ s است، باید شتاب متوسط از لحظهٔ صفر تا لحظهٔ ۵ s را به دست آوریم:

$$a_{av} = \frac{v - v_۰}{t - t_۰} = \frac{۳ - ۲}{۵ - ۰} = +۰/۲\ m/s^۲$$

۶۳- گزینهٔ ۱ در شکل‌های زیر، من برای هر گزینه، خط واصل دو نقطه‌ای را که در آن گزینه مطرح شده است، با رنگ قرمز، رسم کرده‌ام. بدون آن‌که نیازی به محاسبهٔ شیب این چهار خط باشد، آشکار است که خط قرمز در گزینهٔ (۱)، شیبی بیشتر از سایر گزینه‌ها دارد.

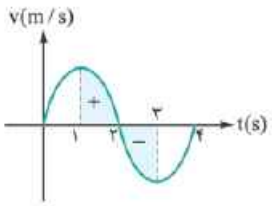


۶۴- گزینهٔ ۲ شتاب متوسط را می‌توان هم به کمک فرمول و هم با محاسبهٔ شیب خط واصل دو نقطه در شکل روبه‌رو، به دست آورد:



$$a_{av} = \frac{-۱۰ - ۱۰}{۳ - ۱} = -۱۰\ m/s^۲$$

برای محاسبهٔ سرعت متوسط، ابتدا به جابه‌جایی متحرک نیاز داریم. چنان‌که در شکل روبه‌رو می‌بینید، سطح زیر نمودار در بازهٔ زمانی ۱ s تا ۳ s، برابر صفر است؛ از این رو، جابه‌جایی متحرک هم صفر بوده و سرعت متوسطش نیز صفر خواهد بود.



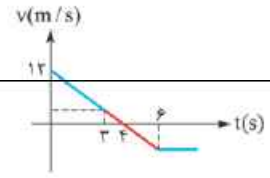
ببخشید! از این‌که در صورت سؤال، گفته که نمودار به شکل سینوسی است، چه استفاده‌ای می‌شه؟

سؤال خوبی است! حتماً در درس‌های ریاضی خود، با نمودار سینوسی آشنا شده‌اید. ما هم در فصل ۳، زیاد با چنین نمودارهایی سروکار خواهیم داشت! در این تست، فقط می‌توان از عبارت سینوسی، این استفاده را کرد که قسمت‌های مثبت و منفی نمودار، از نظر ظاهر، کاملاً شبیه یکدیگرند. توجه کنید که اگر چنین نبود، نمی‌توانستیم ادعا کنیم که سطح زیر نمودار از لحظهٔ ۲ s تا ۳ s، درست قرینهٔ سطح زیر نمودار در بازهٔ ۱ s تا ۲ s است و دیگر با قاطعیت، نمی‌شد گفت که سطح کل زیر نمودار در بازهٔ ۱ s تا ۳ s، برابر صفر است.

۶۵- گزینهٔ ۲ گفته بودم که نباید از ظاهر متفاوت یک تست، بترسید! این تست، ساده‌ترین تست این بخش است! کافی است از روی نموداری که داده شده است، سرعت در دو لحظهٔ صفر و ۴۰ s را بخوانید و در رابطهٔ شتاب متوسط قرار دهید:

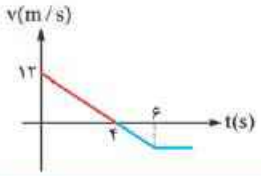
$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۵۰ - ۰}{۴۰ - ۰} = ۱/۲۵\ m/s^۲$$

۶۶- گزینهٔ ۲ باید شیب خطی را که با رنگ قرمز در شکل روبه‌رو مشخص شده است، محاسبه کنیم؛ اما صبر کنید! نیازی نیست به دنبال محاسبه سرعت در دو لحظهٔ ۳ s و ۶ s باشیم! با توجه به ثابت‌بودن شیب یک خط راست، می‌توانیم شیب خط قرمزرنگ در شکل پایینی را به دست آوریم:

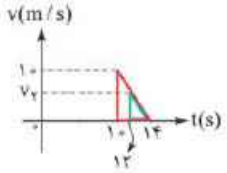


$$\text{شیب} = -\frac{۱۲}{۴} = -۳\ m/s^۲$$

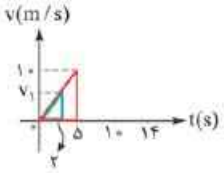
البته، چون بزرگی (اندازهٔ) شتاب متوسط را خواسته است، باید قدرمطلق مقدار به دست آمده را در نظر بگیریم.



۶۷- گزینهٔ ۱ پیش از محاسبهٔ شتاب متوسط، به سرعت متحرک در دو لحظهٔ ۲ s و ۱۲ s نیاز داریم. برای به دست آوردن این دو سرعت، از ثابت‌بودن شیب در قسمت‌های ابتدایی و انتهایی نمودار، همانند شکل‌های زیر، استفاده می‌کنیم:



$$\frac{\text{طول ضلع قائم}}{\text{طول ضلع افقی}} = \frac{۱۰}{۱۴-۱۰} = \frac{v_۲}{۱۴-۱۲} \Rightarrow v_۲ = ۵\ m/s$$

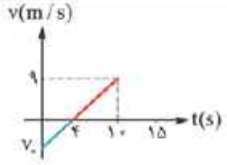


$$\frac{\text{طول ضلع قائم}}{\text{طول ضلع افقی}} = \frac{۱۰}{۵} = \frac{v_۱}{۲} \Rightarrow v_۱ = ۴\ m/s$$

حالا می‌توان شتاب متوسط در بازه زمانی خواسته‌شده را به راحتی محاسبه کرد:

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۵-۴}{۱۲-۲} = \frac{۱}{۱۰}\ m/s^۲$$

۶۸- گزینهٔ ۱ با برابر قراردادن شیب قسمت‌های سبز و قرمز در شکل روبه‌رو، می‌توان سرعت اولیه را به دست آورد:



$$\frac{۹}{۱۰-۴} = \frac{|v_۰|}{۴} \Rightarrow |v_۰| = ۶\ m/s$$

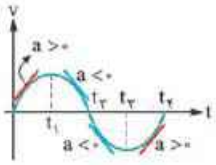
البته واضح است که علامت سرعت اولیه، منفی است و برای محاسبهٔ شتاب متوسط، باید همیشه علامت سرعت‌ها را نیز در رابطه قرار داد:

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۰-(-۶)}{۱۵-۰} = ۰/۴\ m/s^۲$$

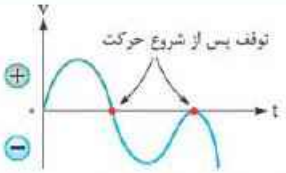
۶۹- گزینهٔ ۴ چون متحرک، هم‌جهت با محور x حرکت می‌کند، سرعتش مثبت است و چون حرکتش کندشونده است، باید علامت شتاب و سرعت آن، مخالف یکدیگر باشند؛ یعنی شتابش منفی است. توجه دارید که با اطلاعات داده‌شده، چیزی در مورد مکان متحرک (یعنی x) نمی‌توان گفت.

۷۰- گزینهٔ ۲ چون سه نمودار، موازی‌اند، شیب یکسانی دارند؛ در نتیجه شتاب سه متحرک، مساوی است. برای قضاوت در مورد سرعت متوسط، باید به سراغ سطح زیر سه نمودار (یعنی جابه‌جایی) برویم. آشکار است که سطح زیر سه نمودار، یکسان نیست؛ بنابراین، سرعت متوسط سه متحرک، نمی‌تواند برابر باشد.

۷۱- گزینهٔ ۱ کافی است در چند لحظه، همانند شکل روبه‌رو، مماس‌هایی بر نمودار رسم کنیم. شیب مماس‌های قرمز، مثبت است؛ یعنی شتاب متحرک در بازهٔ زمانی بین صفر و $t_۱$ و هم‌چنین در بازهٔ زمانی بین $t_۳$ و $t_۴$، مثبت است. مثبت‌بودن شتاب، به معنی هم‌جهت‌بودن آن با محور x است.



۷۲- گزینهٔ ۲ برای هر گزینه، توضیح مختصری می‌دهیم:



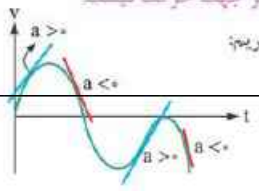
گزینهٔ (۱): در شکل روبه‌رو، نقطه‌های قرمز، لحظه‌هایی هستند که سرعت متحرک صفر شده است. (البته در لحظهٔ صفر هم سرعت متحرک، صفر است؛ اما چون گفته شده پس از شروع حرکت، به آن توجهی نکردیم.) به این ترتیب، متحرک پس از شروع حرکت، دو بار متوقف شده و این گزینه، عبارتی درست است.

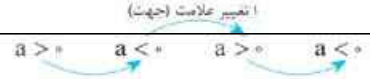
گزینهٔ (۲): سرعت متحرک در قسمت سبزرنگ نمودار، مثبت و در قسمت آبی‌رنگ، منفی است؛ به این ترتیب، سرعت متحرک، یک بار تغییر علامت داده است و چون علامت سرعت، جهت حرکت را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که جهت حرکت نیز، یک بار تغییر کرده است. آشکار است که گزینهٔ (۲)، یک عبارت نادرست است.

خوب شد این تستو دیدیم! ما فکر می‌کردیم تعداد تغییر جهت‌ها، با تعداد توقف‌ها مساویه!

متأسفانه، خیلی از بچه‌ها، این‌طور فکر می‌کنند! مواظب باشید که هر توقفی، به معنی تغییر جهت حرکت نیست! ممکن است متحرک، پس از یک لحظه توقف، دوباره در همان جهت قبلی به حرکت ادامه دهد؛ بنابراین، تعداد توقف‌ها، لزوماً بیانگر تعداد دفعات تغییر جهت حرکت نیست.

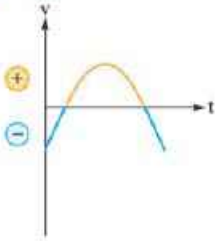
گزینهٔ (۳): در شکل روبه‌رو، چند مماس بر نمودار رسم کرده‌ایم تا از روی علامت شیب آن‌ها، به علامت شتاب پی ببریم:





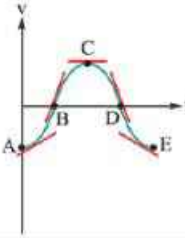
گزینهٔ (۴): این گزینه، با توجه به توضیحات بالا، نیاز به هیچ توضیحی ندارد!

۷۳- گزینهٔ ۴ ابتدا به جهت (علامت) سرعت ذره در شکل‌های داده‌شده، توجه کنید. می‌بینید که سرعت ذره، ابتدا منفی، سپس، مثبت و سرانجام، دوباره منفی است. در گزینهٔ (۳) (شکل روبه‌رو)، این ویژگی وجود دارد. البته گزینهٔ (۲) هم این ویژگی را دارد و دلیل نادرستی آن را با توجه به شتاب ذره، توضیح می‌دهیم.

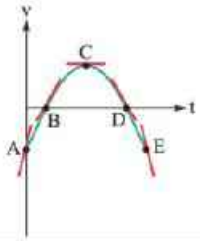


کافی است در نقطه‌های A، B، C، D و E، مماس‌هایی بر نمودار رسم کنیم و شیب آن‌ها را مورد توجه قرار دهیم. چون اندازهٔ شتاب ذره در نقطهٔ B، کم‌تر از نقطهٔ A است، تردیدی در درستی گزینهٔ (۳) باقی نمی‌ماند.

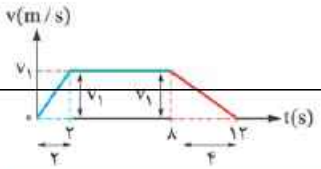
گزینهٔ (۲)



گزینهٔ (۳)

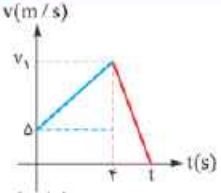


۷۴- گزینهٔ ۱ در شکل زیر، قسمت تندشونده را با رنگ آبی و قسمت کندشونده را با رنگ قرمز، نشان داده‌ایم. چون در مورد بزرگی (اندازهٔ) شتاب سؤال شده است، قدرمطلق شیب هر قسمت را محاسبه می‌کنیم. بیشینهٔ سرعت متحرک را v_1 نامیده‌ایم:



$$\left.\begin{array}{l} |a_{\text{تندشونده}}| = \frac{v_1}{2} \\ |a_{\text{کندشونده}}| = \frac{v_1}{4} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{|a_{\text{تندشونده}}|}{|a_{\text{کندشونده}}|} = \frac{\frac{v_1}{2}}{\frac{v_1}{4}} = 2$$

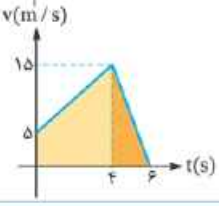
۷۵- گزینهٔ ۲ با استفاده از شیب قسمت اول و دوم نمودار، می‌توان v_1 و t را به دست آورد:



$$\text{شیب قسمت آبی} = \frac{v_1 - 5}{4} = 2/5 \Rightarrow v_1 = 15\ \text{m/s}$$

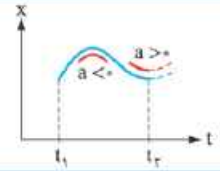
$$|\text{شیب قسمت قرمز}| = \frac{15}{t-4} = 7/5 \Rightarrow t = 6\ \text{s}$$

برای محاسبهٔ جابه‌جایی از لحظهٔ صفر تا ۶ s، باید مساحت یک ذوزنقه و یک مثلث را با هم جمع کنیم:



$$\text{جابه‌جایی} = \underbrace{\frac{(15+5)\times 4}{2}}_{\text{مساحت ذوزنقه}} + \underbrace{\frac{15\times 2}{2}}_{\text{مساحت مثلث}} = 55\ \text{m}$$

۷۶- گزینهٔ ۴ گفته بودیم که سوی تقعر نمودار مکان ـ زمان، علامت شتاب را نشان می‌دهد. چنان‌که در شکل روبه‌رو می‌بینید، ابتدا شتاب این متحرک، منفی و سپس، مثبت است؛ بنابراین، جهت (علامت) شتاب، یک‌مرتبه تغییر کرده است.



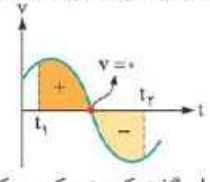
۷۷- گزینهٔ ۴ این تست، یکی از مهم‌ترین و مفهومی‌ترین تست‌های این فصل است و از توضیحات هیجان‌انگیزی که برای آن خواهم داد، بسیاری از مفهوم‌های خوانده‌شده را عمیق‌تر فرامی‌گیرید! *فقط باید قول بدید توضیحاتم رو با چون و دل، کلمه به کلمه و تا آخر، می‌خونید!* هر گزینه را جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهیم:

گزینهٔ (۱): دیده بودیم که جهت شتاب، لزوماً هم‌جهت با حرکت متحرک نیست؛ اما در این گزینه، یک عبارت مهم وجود دارد: از حال سکون

توجه کنید که وقتی یک جسم از حال سکون به حرکت درمی‌آید، حتماً تندی‌اش در آغاز حرکت افزایش یافته و به این ترتیب، حرکتش در آغاز، تندشونده بوده است و باید جهت شتاب، هم‌جهت با سرعت (حرکت) باشد. این موضوع را خوب به خاطر بسپارید: **اگر حرکتی از حال سکون آغاز شود، حتماً در شروع حرکت، جهت شتاب، هم‌جهت با حرکت است.**

با این توضیحات، حتماً پذیرفته‌اید که گزینهٔ (۱)، امکان‌پذیر نیست! وقتی آسانسور، از حال سکون شروع به بالارفتن می‌کند، شتاب حرکتش هم در آغاز، باید رو به بالا باشد.

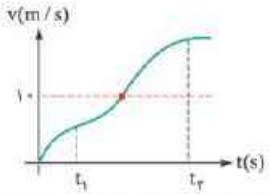
گزینهٔ (۲): بیایید به کمک یک نمودار سرعت ـ زمان، به بررسی این گزینه بپردازیم! چون سرعت متوسط در یک بازهٔ زمانی صفر شده است، لابد جابه‌جایی (سطح زیر نمودار)، در آن بازهٔ زمانی صفر بوده است. همان‌گونه که در شکل روبه‌رو می‌بینید، برای این‌که سطح زیر نمودار در یک بازهٔ زمانی صفر باشد، باید قسمتی از نمودار، بالای محور افقی و قسمتی، زیر این محور باشد؛ به این ترتیب، نمودار سرعت ـ زمان، باید دست کم در یک نقطه، محور افقی را قطع کند. (نقطهٔ قرمز در شکل)



این موضوع را می‌توان به شکل دیگری هم توصیف کرد! در حرکت بر خط راست، وقتی جابه‌جایی در یک بازهٔ زمانی صفر باشد، می‌توان گفت که متحرک، حرکتی رفت و بازگشتی داشته است و حالا، با توضیحات بالا، فهمیدیم که این متحرک، حداقل یک لحظه، متوقف شده است. نتیجهٔ جالب این‌که:

در حرکت بر خط راست، اگر متحرک بخواهد جهت حرکت خود را تغییر دهد، باید یک لحظه توقف کند.

با این توضیحات، حتماً قانع شده‌اید که گزینهٔ ۲ نیز امکان‌پذیر نیست.

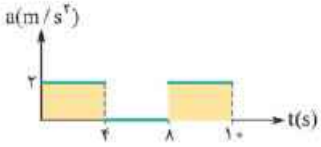


گزینهٔ (۳): وقتی سرعت متوسط در یک بازهٔ زمانی، $10\ m/s$ است، قطعاً سرعت لحظه‌ای، نمی‌تواند همواره بیشتر از $10\ m/s$ و یا همواره کم‌تر از $10\ m/s$ باشد؛ بنابراین، باید همان‌گونه که در نمودار روبه‌رو می‌بینید، سرعت لحظه‌ای، گاهی کم‌تر و گاهی بیشتر از $10\ m/s$ باشد. (شکل نمودار را به دلخواه کشیده‌ایم!) آشکار است که وقتی سرعت از مقدارهای کم‌تر از $10\ m/s$ به مقدارهای بیشتر از $10\ m/s$ می‌رسد، حداقل باید در یک لحظه، برابر $10\ m/s$ باشد. (نقطهٔ قرمز در شکل) به این ترتیب، گزینهٔ (۳) هم امکان‌پذیر نیست

گزینهٔ (۴): این هم تنها گزینهٔ باقی‌مانده! این گزینه را از دو دیدگاه، بررسی می‌کنیم. دیدگاه نخست، استفاده از یک مثال عددی است: فرض کنید خودرویی به طور تندشونده، با شتاب ثابت $3\ m/s^2$ در حرکت است. می‌توان گفت که اندازهٔ سرعت این خودرو، در هر یک ثانیه، $3\ m/s$ افزایش می‌یابد. اگر رانندهٔ خودرو، پدال گاز را کم‌تر فشار دهد و اندازهٔ شتاب خودرو را به $2\ m/s^2$ برساند، می‌توان گفت که از آن پس، در هر یک ثانیه، اندازهٔ سرعت خودرو، $2\ m/s$ افزایش خواهد یافت. می‌بینید که هم‌چنان، اندازهٔ سرعت در حال افزایش است؛ اما میزان افزایش آن در هر ثانیه، کم‌تر از گذشته است.

دیدگاه دوم برای نگاه به گزینهٔ (۴)، استفاده از یک نمودار سرعت ـ زمان، برای نمایش امکان‌پذیر بودن آن است. نمودار روبه‌رو، نمونهٔ خوبی است! می‌بینید که از لحظهٔ صفر به بعد، اندازهٔ سرعت، پیوسته در حال افزایش است (منحنی سبزرنگ)؛ اما شیب مماس بر نمودار که شتاب حرکت را نشان می‌دهد، پیوسته کاهش می‌یابد.

۷۸- گزینهٔ (۳) تا این‌جا، در تست‌های قبلی این بخش، فقط با نمودار مکان ـ زمان و سرعت ـ زمان برخورد کردیم. از این پس، نمودار شتاب ـ زمان نیز به آن‌ها اضافه می‌شود! گفتیم که سطح زیر نمودار شتاب ـ زمان، تغییر سرعت را به ما می‌دهد:

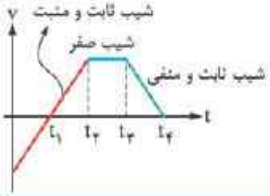


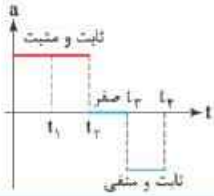
$$\Delta v = 2\times 4 + 2\times(10-8) = 12\ m/s$$

شتاب متوسط:

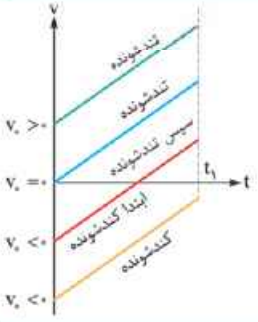
$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12}{10} = 1/2\ m/s^2$$

۷۹- گزینهٔ (۱) کافی است به شیب هر قسمت از نمودار سرعت ـ زمان داده‌شده، توجه کنید. در شکل روبه‌رو، نمودار سرعت ـ زمان را براساس ثابت‌بودن شتاب، به سه بخش با سه رنگ، تقسیم کرده‌ایم و بر اساس آن، نمودار شتاب ـ زمان را با همان رنگ‌ها رسم کرده‌ایم. لطفاً شکل‌ها را به دقت نگاه کنید!



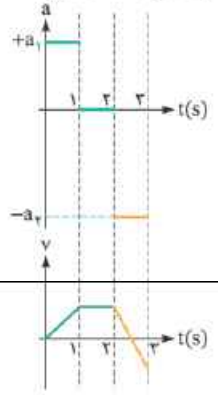


۸۰- گزینهٔ (۴) برای درک بهتر این تست، بیایید نمودار سرعت ـ زمان متحرک را رسم کنیم. چون شتاب حرکت، ثابت و مثبت است، شکی نیست که نمودار سرعت ـ زمان آن، یک خط راست با شیب مثبت است؛ اما موضوع مهم، این است که سرعت اولیهٔ متحرک را نمی‌دانیم! سرعت اولیه، نقطهٔ برخورد نمودار با محور قائم (عرض از مبدأ نمودار) را نشان می‌دهد. اگر سرعت اولیه، صفر یا مثبت باشد (شکل‌های آبی یا سبز)، حرکت، پیوسته تندشونده است. اگر سرعت اولیه منفی باشد (شکل قرمز)، حرکت، ابتدا کندشونده و سپس، تندشونده است. این امکان وجود دارد که سرعت اولیه، آن‌قدر منفی باشد که تا لحظهٔ t_1، سرعت به ناحیهٔ مثبتِ بالای محور افقی نرسد که در این صورت (شکل زرد)، حرکت، پیوسته کندشونده است.

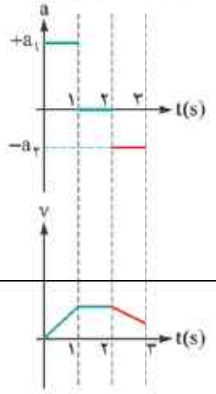


۸۱- گزینهٔ (۴) یادتان باشد که در این کتاب، همهٔ تست‌های قدیمی را نیاورده‌ایم؛ اما، آن‌چه از کنکورهای قدیمی آورده‌ایم، یک گلچین بی‌نظیر است! به عنوان نمونه، همین تست، یک نمونهٔ جالب برای افزایش دقت نظر داوطلب به جزئیات شکل‌های داده‌شده در تست‌ها است. امیدوارم که متوجه شده باشید که اندازهٔ شتاب در یک ثانیهٔ سوم، کوچک‌تر از یک ثانیهٔ اول است! به این ترتیب، شیب قسمت آخر نمودار از نظر قدرمطلق، باید کم‌تر از شیب قسمت اول آن باشد. بد نیست به عنوان یک کار اضافه، برای شتاب ثابت در یک ثانیهٔ آخر، سه حالت در نظر بگیریم و نمودار سرعت ـ زمان در این سه حالت را بررسی کنیم. من این کار را در شکل‌های زیر، انجام داده‌ام. شکل وسطی، حالت مطرح‌شده در این تست است.

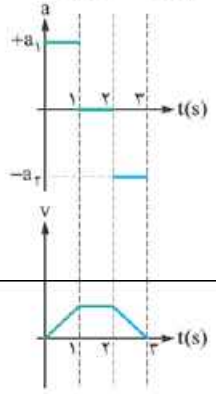
اندازهٔ شتاب در یک ثانیهٔ آخر بیشتر از یک ثانیهٔ اول است.



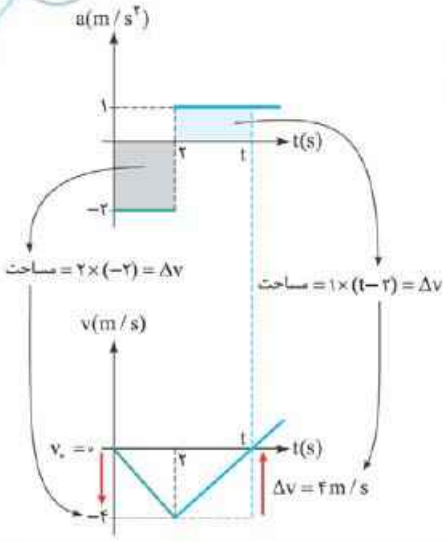
اندازهٔ شتاب در یک ثانیهٔ آخر کم‌تر از یک ثانیهٔ اول است.



اندازهٔ شتاب در یک ثانیهٔ آخر برابر یک ثانیهٔ اول است.



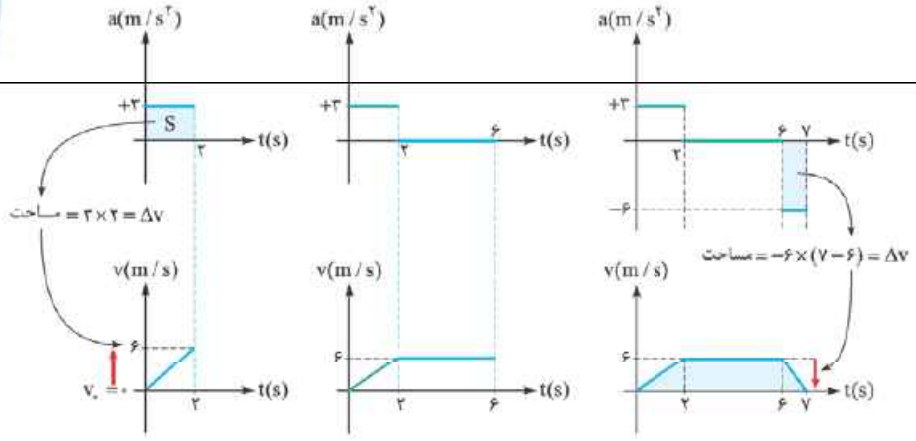
۸۲- گفته بودم که می‌خواهم شما را به یک **نمودارکشِ حرفه‌ای** تبدیل کنم! باید بتوانید به راحتی از روی نمودار شتاب ـ زمان، نمودار سرعت ـ زمان را رسم کنید. در شکل روبه‌رو، این کار را برای نمودار داده‌شده، می‌بینید. نمودار زیری را از چپ به راست، با دقت نگاه کنید. چون گفته شده که متحرک از حال سکون، به حرکت درآمده، نمودار سرعت ـ زمان را از صفر شروع کرده‌ایم و به دلیل این‌که ابتدا، شتاب حرکت منفی بوده است، نمودار سرعت ـ زمان را به صورت خطی با شیب منفی کشیده‌ایم. برای تشخیص سرعت در انتهای هر بازه، سطح زیر نمودار شتاب ـ زمان را به کار گرفته‌ایم. پس از لحظهٔ ۲ s که شتاب حرکت، مثبت شده است، نمودار سرعت ـ زمان، خطی با شیب مثبت خواهد بود. نقطهٔ برخورد این خط با محور زمان را t نامیده‌ایم. این لحظه، در حقیقت همان لحظهٔ تغییر علامت سرعت است. برای محاسبهٔ آن، کافی است سطح زیر نمودار شتاب ـ زمان در بازهٔ ۲ s تا t را با تغییر سرعت در این بازه (قسمت قرمزرنگ در شکل)، برابر قرار دهیم:



$$۱\times(t-۲)=\Delta v=۴ \Rightarrow t=۶\ s$$

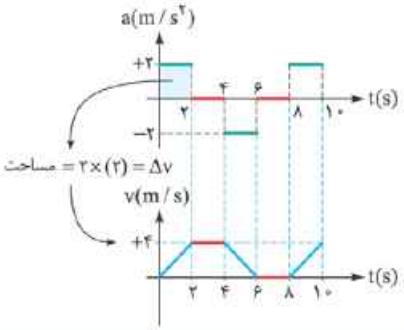
۸۳- بیایید یک بار دیگر، رسم نمودار را جزءبه‌جزء، دنبال کنیم! برای این منظور، شکل‌های روبه‌رو را به دقت نگاه کنید و ببینید چگونه، در هر قسمت، نمودار سرعت ـ زمان را کشیده‌ایم.

در نهایت، باید سطح زیر نمودار سرعت ـ زمان را حساب کنیم که بیانگر جابه‌جایی آسانسور است و نشان می‌دهد آسانسور پس از ۷ s، در چه ارتفاعی از مکان اولیه‌اش قرار دارد:

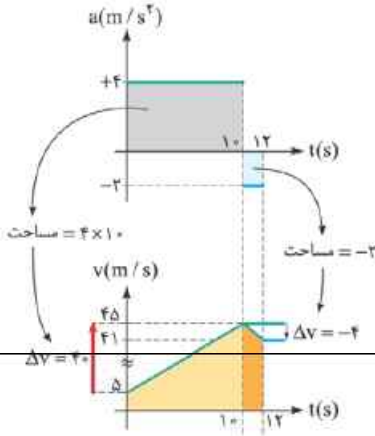


$$\text{مساحت ذوزنقه}=\frac{\overbrace{[۷+(۶-۲)]}^{\text{مجموع دو قاعده}}\times\overbrace{۶}^{\text{ارتفاع}}}{۲}=۳۳\ m$$

۸۴- باز هم بهتر است، نمودار سرعت ـ زمان بکشید! توجه کنید که در شکل روبه‌رو، در هر دو قسمت قرمزرنگ، شتاب حرکت صفر است؛ اما این موضوع، لزوماً به معنی ساکن‌بودنِ متحرک نیست! وقتی شتاب صفر است، متحرک ممکن است ساکن باشد و یا با سرعت ثابت حرکت کند. همان‌گونه که نمودار سرعت ـ زمان در شکل پایینی نشان می‌دهد، سرعت متحرک در لحظهٔ ۲ s، به ۴ m/s رسیده است و پس از آن، وقتی شتاب صفر می‌شود، سرعت همین‌قدر باقی می‌ماند. این را مقایسه کنید با بازهٔ زمانی بین ۶ s تا ۸ s که در ابتدای آن، (یعنی لحظهٔ ۶ s)، سرعت متحرک به صفر رسیده است و به همین دلیل، صفر باقی می‌ماند. با این توضیحات، متحرک به مدت ۲ s = ۶ − ۸ ساکن بوده است.



۸۵- *فکر نمی‌کنم احتیاجی به توضیح در مورد رسم نمودار سرعت ـ زمان باشه! اگه اشکالی توو رسمش داشتید، کافیه شکل مقابل رو به دقت نگاه کنید!* با محاسبهٔ سطح زیر نمودار سرعت ـ زمان (یعنی دو ذوزنقه)، جابه‌جایی متحرک در مدت ۱۲ s، به دست می‌آید:



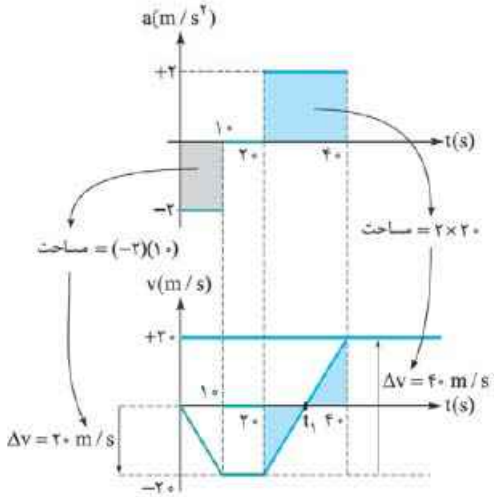
$$\text{سطح زیر نمودار}=\frac{(۴۵+۵)\times۱۰}{۲}+\frac{(۴۵+۴۱)\times۲}{۲}=۲۵۰+۸۶=۳۳۶\ m$$

با داشتن جابه‌جایی، محاسبهٔ سرعت متوسط، ساده است:

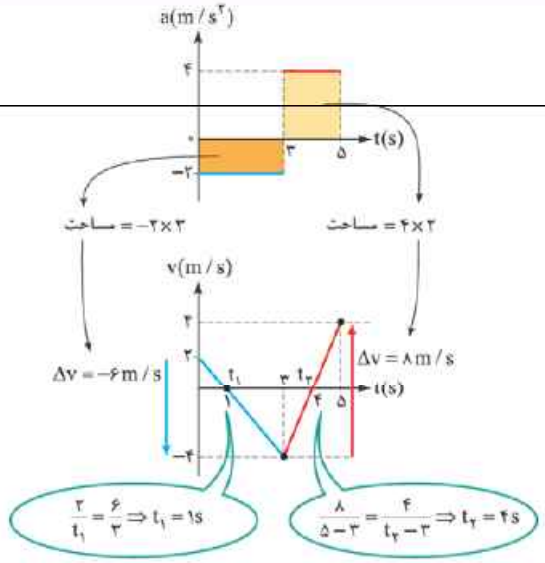
$$v_{av}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{۳۳۶}{۱۲}=۲۸\ m/s$$

۸۶- گزینهٔ ۳ در شکل روبه‌رو، از روی نمودار شتاب ـ زمان، نمودار سرعت ـ زمان را رسم کرده‌ایم. (مطمئنم شما هم همین کار را کرده‌اید!) دو مثلثی که در شکل پایینی مشخص شده‌اند، با هم مساوی‌اند و از این‌رو، لحظهٔ t_1، باید درست در وسط دو لحظهٔ ۲۰ s و ۴۰ s باشد: $t_1 = 30\,s$

با داشتن نمودار سرعت ـ زمان، بررسی چهار گزینهٔ تست، بسیار ساده است. می‌بینید که از لحظهٔ ۲۰ s تا ۳۵ s، حرکت متحرک، ابتدا کندشونده و سپس، تندشونده است. (نمودار سرعت ـ زمان، ابتدا به محور افقی، نزدیک و سپس، از آن دور شده است.) به این ترتیب، گزینه‌های ۱ و ۲، درست نیستند. از طرفی، در همین بازهٔ زمانی، سرعت متحرک، ابتدا منفی و سپس، مثبت است؛ یعنی علامت سرعت (جهت حرکت)، یک‌مرتبه تغییر کرده است.

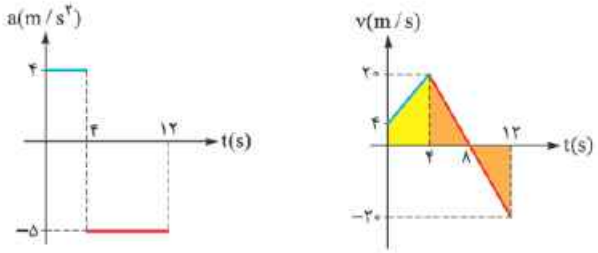


۸۷- گزینهٔ ۲ باز هم رسم نمودار سرعت ـ زمان! *ولا مطمئنم فیلی مرفه‌ای شدید و توو یه چشم به هم زدن، نمودار سرعت ـ زمان رو می‌کشید!* برای این‌که در یک بازهٔ زمانی، بزرگی (اندازهٔ) جابه‌جایی، با مسافت پیموده‌شده برابر شود، باید علامت سرعت در آن بازهٔ زمانی، تغییر نکند. با نگاهی به نمودار سرعت ـ زمان، می‌بینید که در هر یک از بازه‌های زمانی صفر تا ۱ s، یا ۱ s تا ۴ s و یا ۴ s تا ۵ s، علامت سرعت، تغییر نمی‌کند. از بازه‌های گفته‌شده، فقط بازهٔ ۱ s تا ۴ s در گزینه‌ها دیده می‌شود.



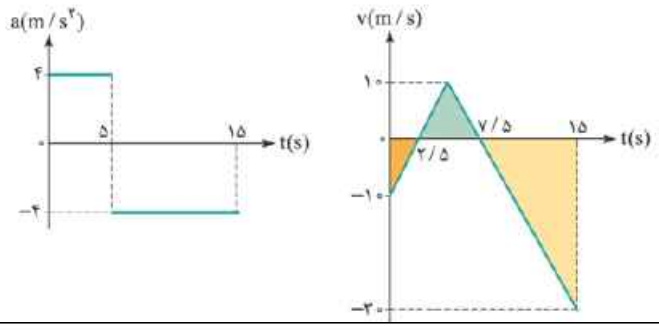
۸۸- گزینهٔ ۳ در شکل روبه‌رو، نمودار سرعت ـ زمان را از روی نمودار شتاب ـ زمان رسم کرده‌ایم. چون مسافت پیموده‌شده را خواسته است، باید قدرمطلق سطوح زیر نمودار سرعت ـ زمان (یعنی یک دوزنقه و دو مثلث) را محاسبه کنیم:

$$\text{مجموع قدرمطلق سطوح} = \underbrace{\frac{(۲۰+۴)\times ۴}{۲}}_{\text{دوزنقه}} + ۲\times \underbrace{\frac{۴\times ۲۰}{۲}}_{\text{مثلث}} = ۱۲۸\ \text{m}$$



۸۹- گزینهٔ ۲ امیدوارم توانسته باشید نمودار سرعت ـ زمان را همانند شکل روبه‌رو، رسم کنید! (چون هیچ نکتهٔ جدیدی در رسم این نمودار وجود ندارد، توضیحی در موردش نمی‌دهم!) برای تعیین تندی متوسط، به مسافت پیموده‌شده نیاز داریم و برای محاسبهٔ مسافت، کافی است قدرمطلق سطح زیر سه مثلثی را که روی نمودار سرعت ـ زمان مشخص کرده‌ام، با هم جمع کنید:

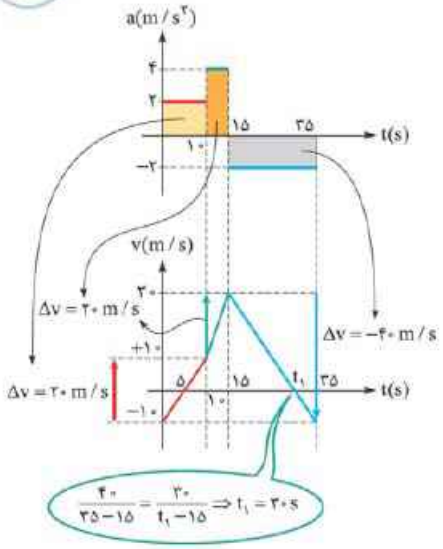
$$\text{مجموع قدرمطلق سطوح} = \underbrace{\frac{۱۰\times ۲/۵}{۲}}_{۱۲/۵} + \underbrace{\frac{۱۰\times ۵}{۲}}_{۲۵} + \underbrace{\frac{۳۰\times ۷/۵}{۲}}_{۱۱۲/۵} = ۱۵۰\ \text{m}$$



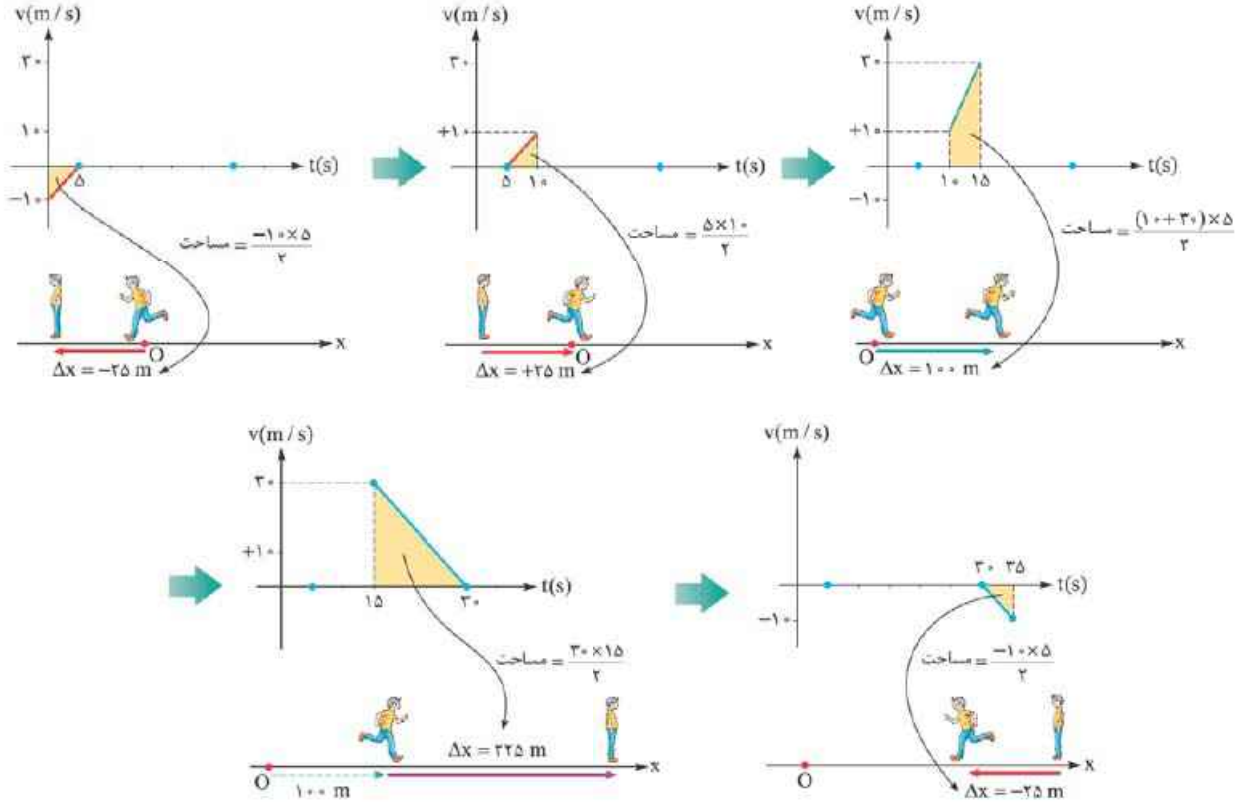
تندی متوسط در مدت ۱۵ s، با تقسیم‌کردن مسافت پیموده‌شده بر مدت‌زمان، به دست می‌آید:

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{۱۵۰}{۱۵} = ۱۰\ \text{m/s}$$

۹۰- گزینهٔ ۳ این بار، رسم نمودار سرعت ـ زمان، کمی سخت‌تر از تست‌های قبلی است! لطفاً سه قسمتی را که با سه رنگ، در شکل‌های روبه‌رو مشخص شده‌اند، به دقت بررسی کنید.



حالا به کمک نمودار سرعت ـ زمان، نحوهٔ حرکت متحرک را به صورت تصویری، قسمت به قسمت بررسی می‌کنیم. شما هم می‌توانید با رسم شکل‌هایی ساده در چکنویس خود، این‌گونه بررسی‌ها را انجام دهید؛ اما هدف نهایی ما برای کنکور، این است که با تصویرسازی ذهنی، چنین کارهایی را انجام دهید. لطفاً به شکل‌های زیر از سمت چپ و با توجه به جهت‌های گذاشته‌شده، توجه کنید!



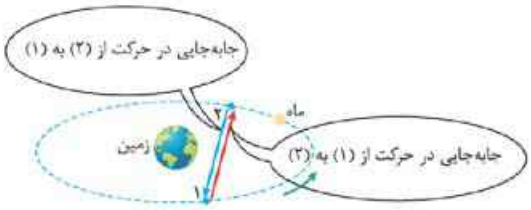
اگر شکل‌ها را به دقت دنبال کرده باشید، حتماً متوجه شده‌اید که فاصلهٔ متحرک از مبدأ، در لحظهٔ ۳۰ s، به بیشترین مقدار ممکن رسیده است و برابر ۱۰۰ + ۲۲۵ = ۳۲۵ m است.

۲۳۸- گزینهٔ ۳ به طول مسیر حرکت، مسافت پیموده‌شده گفته می‌شود.

۲۳۹- گزینهٔ ۲ در شکل روبه‌رو، در حرکت شخص از نقطهٔ (۱) به (۲) و سپس، به نقطهٔ (۳)، مسیر حرکت را با رنگ سبز و بردار جابه‌جایی را با رنگ قرمز نشان داده‌ایم. طول مسیر حرکت، مسافت پیموده‌شده را نشان می‌دهد و آشکار است که ۳ برابر اندازهٔ جابه‌جایی است.

۲۴۰- گزینهٔ ۴ بد نیست نگاهی به هر یک از گزینه‌ها داشته باشیم:

گزینهٔ (۱): در شکل روبه‌رو، بردار جابه‌جایی در حرکت از نقطهٔ (۱) به (۲) با رنگ قرمز و بردار جابه‌جایی در حرکت از نقطهٔ (۲) به نقطهٔ (۱)، با رنگ آبی، نشان داده شده است. می‌بینید که از نظر **اندازه**، این دو بردار، مساوی‌اند.



گزینهٔ (۲): دو برداری که در شکل رسم کرده‌ایم، برابر نیستند! یادتان باشد که دو بردار را زمانی برابر می‌دانیم که اندازه و جهت یکسانی داشته باشند؛ در حالی که جهت دو بردار قرمز و آبی، برخلاف یکدیگر است.

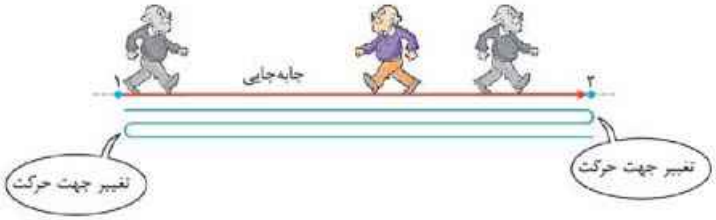
گزینهٔ (۳): در شکل مقابل، مسافت پیموده‌شده در حرکت از نقطهٔ (۱) به نقطهٔ (۲)، برابر طول منحنی سبز رنگ است و آشکار است که این طول، بزرگ‌تر از اندازهٔ بردار آبی است.

گزینهٔ (۴): چنان‌که در شکل روبه‌رو می‌بینید، مسافت پیموده‌شده در حرکت از نقطهٔ (۱) به نقطهٔ (۲)، (طول منحنی آبی رنگ) کوچک‌تر از مسافت پیموده‌شده در حرکت از نقطهٔ (۲) به نقطهٔ (۱)، (طول منحنی صورتی رنگ) است.

۲۴۱- گزینهٔ ۴ مسافت پیموده‌شده، همیشه بیشتر از اندازهٔ جابه‌جایی و یا برابر با آن است؛ به همین دلیل، تندی متوسط هم، همواره بیشتر از اندازهٔ سرعت متوسط و یا برابر با آن می‌باشد.

۲۴۲- گزینهٔ ۲ برای برابری اندازهٔ سرعت متوسط با تندی متوسط، باید اندازهٔ جابه‌جایی با مسافت پیموده‌شده، برابر باشد و این، در صورتی ممکن است که جهت حرکت، تغییر نکند. (به واژهٔ **الزاماً** در صورت تست، توجه کنید! در گزینه‌های (۱) و (۳)، ممکن است اندازهٔ سرعت متوسط با تندی متوسط، برابر باشد.)

۲۴۳- گزینهٔ ۳ هر بار که شخص به یکی از دو نقطهٔ (۱) یا (۲) می‌رسد، جهت حرکتش، تغییر می‌کند؛ به این ترتیب، برای آن‌که ۲ بار تغییر جهت بدهد، باید مسیری را که با رنگ سبز در شکل زیر نشان داده شده است، بپیماید. بردار جابه‌جایی، بدون توجه به شکل مسیر، نقطهٔ (۱) را به نقطهٔ (۲) وصل می‌کند و در همین شکل، با رنگ قرمز نشان داده شده است. می‌بینید که مسافت پیموده‌شده (یعنی طول قسمت آبی رنگ)، ۳ برابر اندازهٔ جابه‌جایی است؛ بنابراین، تندی متوسط نیز، ۳ برابر اندازهٔ سرعت متوسط خواهد بود.



۲۴۴- گزینهٔ ۱ به کمک مسافت و مدت‌زمان، می‌توان تندی متوسط در هر مسیر را محاسبه کرد:

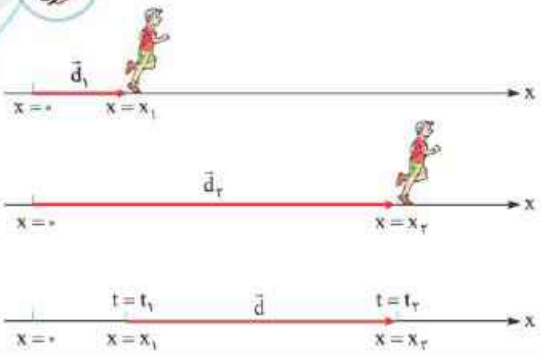
$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} \Rightarrow \begin{cases} s_{av\,الف} = \frac{۲۲/۵}{۴۵} = ۰/۵\ km/min \\ s_{av\,ب} = \frac{۱۴}{۵۰} = ۰/۲۸\ km/min \\ s_{av\,پ} = \frac{۱۸}{۶۰} = ۰/۳\ km/min \end{cases}$$

می‌بینید که در مسیر (الف)، بیشترین تندی متوسط را داریم. البته، می‌شد بدون محاسبه نیز به همین نتیجه رسید! کافی است توجه می‌کردید که در مسیر (الف)، بیشترین مسافت پیموده‌شده و کم‌ترین مدت‌زمان را داریم؛ بنابراین، باید تندی متوسط در این مسیر، بیشتر از دو مسیر دیگر باشد.

۲۴۵- گزینهٔ ۳ بردارهایی که با رنگ قرمز در دو شکل نخست می‌بینید، بردارهای مکان و بردار قرمز در شکل سوم، بردار جابه‌جایی است که آن را می‌توان به صورت روبه‌رو نوشت:

$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = x_2\vec{i} - x_1\vec{i} = (x_2 - x_1)\vec{i}$$

چون گفته شده که دونده، بدون تغییر جهت حرکت می‌دود، مسافت پیموده‌شده، باید با اندازهٔ (قدرمطلق) جابه‌جایی برابر باشد.



۲۴۶- گزینهٔ ۲ ابتدا سرعت متوسط را به دست می‌آوریم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{+۰/۵۴ - (-۰/۲۸)}{۸۲ - ۰} = +۰/۰۱\ m/s$$

برای تشخیص شکل درست، کافی است به دو نکته توجه کنید:

الف) بردارهای مکان، باید هر دو از مبدأ مکان ($x = ۰$) آغاز شوند.

ب) بردار جابه‌جایی، باید از مکان آغازین (یعنی $x_1 = -۰/۲۸\ m$) به مکان پایانی (یعنی $x_2 = ۰/۵۴\ m$) رسم شود.

۲۴۷- گزینهٔ ۳ بیایید نگاهی به هر متحرک، بیندازیم:

متحرک A: با داشتن جابه‌جایی و مکان پایانی، می‌توان مکان آغازین را به دست آورد:

$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 \Rightarrow -۵/۶\vec{i} = -۲/۵\vec{i} - \vec{d}_1 \Rightarrow \vec{d}_1 = -۲/۵\vec{i} + ۵/۶\vec{i} = ۳/۱\vec{i}$$

سرعت متوسط هم به راحتی، قابل محاسبه است:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = -\frac{۵/۶\vec{i}}{۴} = -۱/۴\vec{i}$$

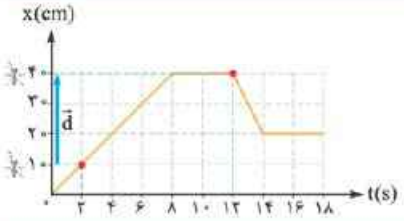
متحرک B: با داشتن سرعت متوسط، می‌توان جابه‌جایی را به دست آورد:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} \Rightarrow ۲/۴\vec{i} = \frac{\vec{d}}{۴} \Rightarrow \vec{d} = ۹/۶\vec{i}$$

اکنون، از روی جابه‌جایی، مکان پایانی را به دست می‌آوریم:

$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 \Rightarrow ۹/۶\vec{i} = \vec{d}_2 - (-۱/۴\vec{i}) \Rightarrow \vec{d}_2 = ۸/۲\vec{i}$$

۲۴۸- گزینهٔ ۲ یادتان هست که در نمودار مکان ـ زمان، حرکت واقعی جسم، روی محور قائم صورت می‌گیرد. به شکل روبه‌رو دقت کنید!



۲۴۹- گزینهٔ ۴ در قسمت قرمزرنگ شکل روبه‌رو، حرکت مورچه در خلاف جهت محور x بوده است. مدت‌زمان این قسمت، $۱۴ - ۱۲ = ۲\ s$ است که اگر آن را به کل مدت‌زمان ۱۶ ثانیه‌ای تقسیم و سپس در عدد ۱۰۰ ضرب کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{۲}{۱۶} \times ۱۰۰ = ٪۱۲/۵$$

قسمت‌های آبی‌رنگ نمودار، زمان‌های سکون مورچه است که کلاً برابر ۶ ثانیه است. این مدت‌زمان را هم بر کل مدت‌زمان تقسیم کرده و در عدد ۱۰۰، ضرب می‌کنیم:

$$\frac{۶}{۱۶} \times ۱۰۰ = ٪۳۷/۵$$