

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

اللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَّآلِ مُحَمَّدٍ وَّعَجِّلْ فَرَجَهُمْ

فیزیك (۳)

رشته علوم تجربی

پایه دوازدهم

دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

فیزیک (۳) - پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه - ۱۱۲۲۴۴	نام کتاب:
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی	پدیدآورنده:
دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری	مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:
احمد احمدی، روح‌الله خلیلی بروجنی، محمدرضا خوش بین خوش نظر، محمدرضا شریف‌زاده اکباتانی، سید هدایت سجادی، مجید عتیقی، سیروان مردوخی و علیرضا نیکنام (اعضای شورای برنامه‌ریزی و گروه تألیف) - سعید فرمانی (ویراستار ادبی)	شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:
اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی	مدیریت آماده‌سازی هنری:
احمدرضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) - جواد صفری (مدیر هنری) - محمد مهدی ذبیحی فرد (طراح جلد) - راحله زادفتح‌اله (صفحه‌آرا) - فاطمه رئیسیان فیروزآباد (رسام) - سیده فاطمه طباطبایی، سیف‌الله بیگ محمددلیوند، حسین چراغی، سپیده ملک‌ایزدی، ناهید خیام‌باشی (امور آماده‌سازی)	شناسه افزوده آماده‌سازی:
تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)	نشانی سازمان:
تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹	
وبگاه: www.irtextbook.ir و www.chap.sch.ir	
شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)	ناشر:
تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹	
شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»	چاپخانه:
چاپ پنجم ۱۴۰۱	سال انتشار و نوبت چاپ:

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۰۵-۳۱۳۹-۶

ISBN: 978-964-05-3139-6



جوان‌ها قدر جوانی‌شان
را بدانند و آن را در علم و
تقوا و سازندگی خودشان
صرف کنند که اشخاصی
امین و صالح بشوند.
مملکت ما با اشخاص امین
می‌تواند مستقل باشد.
امام خمینی «قُدَسِ سِرَّة»

فهرست

حرکت بر خط راست

۱

- ۱-۱ شناخت حرکت ۲
- ۲-۱ حرکت با سرعت ثابت ۱۳
- ۳-۱ حرکت با شتاب ثابت ۱۵
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱ ۲۲



دینامیک

۲۷

- ۱-۲ قوانین حرکت نیوتون ۲۸
- ۲-۲ معرفی برخی از نیروهای خاص ۳۳
- ۳-۲ تکانه و قانون دوم نیوتون ۴۴
- ۴-۲ نیروی گرانشی ۴۶
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲ ۵۰



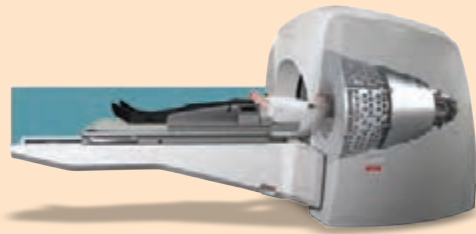
نوسان و امواج

۵۳

- ۱-۳ نوسان دوره‌ای ۵۴
- ۲-۳ حرکت هماهنگ ساده ۵۵
- ۳-۳ انرژی در حرکت هماهنگ ساده ۵۸
- ۴-۳ تشدید ۶۰
- ۵-۳ موج و انواع آن ۶۱
- ۶-۳ مشخصه‌های موج ۶۲
- ۷-۳ بازتاب موج ۷۶
- ۸-۳ شکست موج ۸۱
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳ ۸۹



- ۹۶ ۱-۴ اثر فوتوالکتریک و فوتون
- ۹۹ ۲-۴ طیف خطی
- ۱۰۳ ۳-۴ مدل اتم رادرفورد - بور
- ۱۱۰ ۴-۴ لیزر
- ۱۱۲ ۵-۴ ساختار هسته
- ۱۱۵ ۶-۴ پرتوزایی طبیعی و نیمه‌عمر
- ۱۲۲ پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴



- ۱۲۶ جدول دوره‌ای عناصر
- ۱۲۷ جدول مثلثاتی
- ۱۲۸ واژه‌نامه فارسی - انگلیسی
- ۱۳۲ منابع

سخنی با دانش‌آموزان عزیز و همکاران محترم

کتاب فیزیک ۳ که برای پایه دوازدهم دوره نظری و برای رشته علوم تجربی تألیف شده است، در راستای تغییر برنامه درسی آموزش علوم تجربی در سال‌های پیشین تدوین و ساماندهی شده است. برای برقراری ارتباط مؤثرتر با برنامه درسی این کتاب و تحقق اهداف آن لازم است که با اهداف، شایستگی‌ها، رویکردها، راهبردهای یاددهی - یادگیری، شیوه‌های ارزشیابی و... آشنا شویم که در ادامه به معرفی مختصر آنها پرداخته می‌شود.

۱- شایستگی‌ها و اهداف

اهداف کلی در تدوین این کتاب به گونه‌ای است که دانش‌آموز بتواند:

- (الف) نظام‌مندی طبیعت را براساس درک و تحلیل مفاهیم، الگوها و روابط بین پدیده‌های طبیعی کشف و گزارش کند.
- (ب) با درک ماهیت، روش و فرایند علم تجربی، امکان به‌کارگیری علم و روش علمی را در حل مسائل زندگی (حال و آینده) کسب نماید و در عین حال محدودیت‌های علوم تجربی را در حل این مسائل دریابد.
- (پ) با استفاده از منابع علمی معتبر و بهره‌گیری از علوم تجربی، ایده‌هایی مبتنی بر تجارب شخصی خود، برای مشارکت در فعالیت‌های علمی ارائه دهد و در این فعالیت‌ها با حفظ ارزش‌ها و اخلاق علمی مشارکت نماید.

۲- رویکرد

سعی شده است رویکرد سازماندهی محتوا در این کتاب، ارائه متن به روش فعال و درگیر کردن دانش‌آموز باشد. در این سازماندهی، اصالت با موقعیت‌ها و زمینه‌های کاربردی در زندگی است که می‌توان در آنها موضوع‌های مرتبط با فیزیک را آموزش داد و یادگیری را معنادارتر و جذاب‌تر کرد. به‌همین دلیل از تعداد زیادی پرسش، فعالیت، تمرین، آزمایش و... استفاده شده است. همچنین سعی شده است محتوای کتاب تصویرمحور باشد و بر همین اساس تصویرها، نمودارها و شکل‌های گوناگونی برای تسهیل آموزش انتخاب شده است.

به‌طور کلی این کتاب مبتنی بر این آموزه بنیادین است که فیزیک علمی تجربی است و هیچ نظریه‌ای در آن نمی‌تواند به‌عنوان حقیقت پایانی و غایی مطرح شود. به‌عبارت دیگر، همواره این امکان وجود دارد که مشاهده‌ها و آزمایش‌های جدید ایجاب کنند که یک نظریه فیزیکی بازنگری و حتی رد شود.

۳- مفاهیم اساسی

این کتاب شامل سه بخش اساسی مکانیک، موج و فیزیک جدید است. بخش مکانیک، از مباحث حرکت و دینامیک تشکیل شده است که دانش‌آموزان با مقدمات برخی از این مباحث در علوم نهم و فیزیک ۱ آشنا شده‌اند. ضمناً بخشی از مطالب ریاضی مرتبط در سال‌های قبل آموزش داده شده است و بخشی نیز در سال جاری آموزش داده خواهد شد. در این فصل‌ها از تجزیه نیروها و مشتق استفاده نمی‌شود و نیروها در یک راستا و عمود برهم مورد بررسی قرار می‌گیرند و در فصل حرکت نیز فقط حرکت در مسیر مستقیم بررسی می‌شود.

بخش موج، از مباحث حرکت نوسانی، امواج مکانیکی (شامل امواج فتر، صوتی و...) و امواج الکترومغناطیسی و نیز برهم‌کنش‌های امواج (شامل بازتاب و شکست) تشکیل شده است. بخشی از دانش مورد نیاز اولیه این قسمت در علوم دوره اول متوسطه و بخشی نیز در شیمی سال دهم مطرح شده است.

بخش فیزیک جدید، از مباحث فیزیک اتمی (شامل اثر فوتوالکتریک و فوتون، طیف خطی، مدل‌های اتمی و لیزر) و فیزیک هسته‌ای (شامل ساختار هسته و پرتوزایی طبیعی) تشکیل شده است. بخشی از دانش مورد نیاز اولیه این قسمت در علوم دوره اول متوسطه و بخشی نیز در درس شیمی سال دهم، مطرح شده است.

۴- مهارت‌های اساسی

مهارت اساسی موردنظر در این کتاب، چگونگی به‌کارگیری روش علمی است. روش علمی خود دارای خرده مفاهیم و اجزایی چون مشاهده، اندازه‌گیری، طراحی و انجام آزمایش، مدل‌سازی، کنترل متغیر، محاسبه، مشاهده و مقایسه، تحلیل و نتیجه‌گیری، گزارش، قضاوت و حل مسئله است.

۵- راهبردهای یاددهی - یادگیری

راهبرد اصلی در آموزش محتوای کتاب‌های فیزیک دوره متوسطه راهبرد اکتشافی و تعاملی است. برای این منظور از اجزای گوناگون، مانند «تصاویر و پرسش‌های درگیرکننده در ابتدای هر بخش، فعالیت‌های ذهنی و عملی، پرسش، تمرین، آزمایش، تاریخ علم، خوب است بدانید، تصویرهای آموزشی و...» در طراحی، تدوین و تألیف محتوا استفاده شده است. انتظار می‌رود موضوع‌های درسی در کلاس به گونه‌ای طرح شوند که اکثر دانش‌آموزان در فرایند آموزش و یادگیری درگیر شوند و مهارت‌های علمی و عملی آنها رشد یابد. انتظار می‌رود که دانش‌آموزان مهارت علمی در برخورد با یک پدیده و پی‌موندن مراحل را که به شناسایی آن پدیده می‌انجامد، فراگیرند.

۶- شیوه ارزشیابی

به فرایند جمع‌آوری اطلاعات از آموخته‌های دانش‌آموزان (دانش‌ها، مهارت‌ها، نگرش‌ها و به‌طور کلی شایستگی‌ها) و قضاوت در مورد آنها ارزشیابی می‌گویند. ارزشیابی دو گونه است؛ مستمر و پایانی. از آنجا که آزمون پایانی این کتاب به صورت امتحان نهایی برگزار می‌شود، ضروری است رویکرد جدید کتاب درسی در ارزشیابی‌ها مورد توجه قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود متناسب با نوع ارزشیابی (مستمر و پایانی)، انتظارات عملکردی مورد توجه قرار گیرند. جدول زیر بخشی از این انتظارات را نشان می‌دهد.

ردیف	انتظارات عملکردی
۱	طراحی آزمایش، تحلیل و تفسیر آزمایش
۲	اجرای آزمایش، ثبت داده‌ها، نتیجه‌گیری و ارائه گزارش
۳	تجزیه و تحلیل داده‌ها، رسم نمودار، نتیجه‌گیری از داده‌ها، پیش‌بینی و...
۴	انجام تحقیق و جمع‌آوری اطلاعات (طراحی، اجرا، ثبت داده‌ها، تجزیه و تحلیل، ارائه گزارش)
۵	مشارکت و تعامل در فرایند آموزش (انجام فعالیت‌های عملی و آزمایشگاهی، مشارکت در بحث‌های گروهی، کنجکاوی علمی و طرح پرسش‌های مفهومی)
۶	پاسخ به پرسش‌های مفهومی در حیطه‌های مختلف، دانش، کاربرد، استدلال و قضاوت
۷	توانایی حل مسئله و پرسش‌های محاسباتی
۸	حل مسائل در شرایط جدید (کاربرد و استدلال)

تجربه نشان می‌دهد که درک ایده‌های نهفته در بیشتر مفاهیم فیزیک و کاربرد آنها در زندگی برای اغلب دانش‌آموزان امکان‌پذیر است. آنچه در این راه در میزان موفقیت دانش‌آموزان مؤثر است، شیوه‌های آموزش ما در کلاس درس است. این شیوه‌ها می‌توانند درک و فهم مفاهیم فیزیک را برای همه دانش‌آموزان، بدون توجه به توانایی علمی آنان، باز کند. بنابراین، می‌توان گفت شیوه آموزش کارآمد، کلید موفقیت هر برنامه درسی است. انتظار می‌رود همکاران ارجمند با تکیه بر تجربه خود و به‌کارگیری شیوه‌های آموزشی مؤثر، بستر مناسبی برای یادگیری و مشارکت دانش‌آموزان در فرایند آموزش و همچنین شوق انگیزتر شدن فضای کلاس فراهم کنند.

از همکاران و دبیران گرامی انتظار می‌رود که برنامه و محتوای کتاب درسی را ملاک آموزش و ارزشیابی قرار داده و به موارد زیر پیش از تدریس توجه فرمایند.

- محتوای حذف‌شده نسبت به کتاب‌های قبلی کدام است؟
 - رویکرد جدید کتاب در خصوص سازماندهی محتوا و ترتیب و توالی مطالب چیست؟
 - تا چه میزان می‌توان محتوای کتاب را بسط و گسترش داد؟
 - محتوای اصلی و فرعی در هر فصل کدام موضوع‌ها هستند؟
 - هر فصل را چگونه می‌توان به واحدهای یادگیری معینی تقسیم کرد و مطابق با زمان‌بندی پیش برد؟
- در برنامه جدید آموزش فیزیک به هر مبحث و موضوع تنها یک بار پرداخته شده است و حدّ نهایی آن براساس آنچه در کتاب درسی آمده، تعیین می‌شود. بدیهی است پرداختن به مطالب اضافی و خارج از برنامه درسی فرصت تعمیق مفاهیم اصلی کتاب را از بین می‌برد.

۷- در ابتدای هر فصل، نشانه رمزینہ سریع پاسخ  آمده است که با تلفن همراه یا تبلت می‌توان به محتوای آموزشی آن دسترسی پیدا کرد.

گروه فیزیک لازم می‌داند از دبیرخانه راهبردی فیزیک، اتحادیه انجمن‌های علمی آموزشی معلمان فیزیک ایران و همکارانی که به‌طور مستقل در اعتبارسنجی این کتاب با ما همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی کند. همچنین این گروه از دریافت پیشنهادهای اصلاحی دبیران محترم، صاحب‌نظران و دانش‌آموزان عزیز همچون همیشه استقبال می‌کند.

<http://physics-dept.talif.sch.ir>

گروه فیزیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری



فصل



حرکت بر خط راست



در چه صورت بردار شتاب دو خودرو که بر خط راست و در جهت مخالف یکدیگر حرکت می کنند می تواند یکسان باشد؟

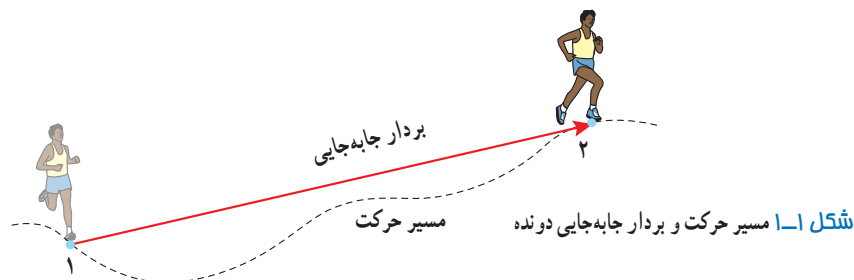
بخش‌ها

- ۱-۱ شناخت حرکت
- ۲-۱ حرکت با سرعت ثابت
- ۳-۱ حرکت با شتاب ثابت

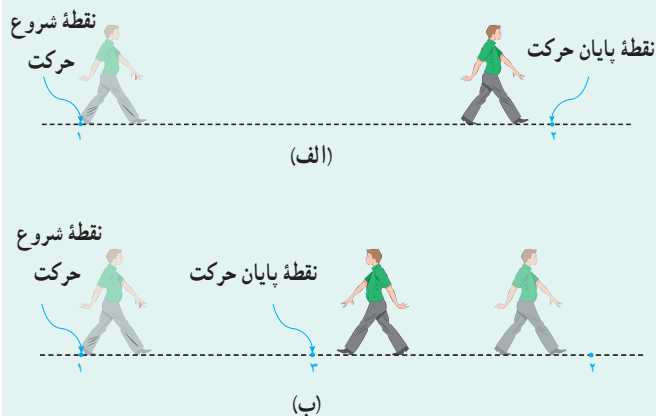
بررسی حرکت اجسام، همواره مورد توجه بشر بوده است. در فیزیک نیز، شناخت و توصیف حرکت اجسام، یکی از مباحث مهمی است که در هر کتاب درسی به آن پرداخته می‌شود و زمینه‌ساز درک بهتر مباحث دیگر فیزیک است. آشنایی با حرکت اجسام، که به آن حرکت‌شناسی یا سینماتیک نیز گفته می‌شود، در بیشتر شاخه‌های مهندسی اهمیت زیادی دارد. برای مثال، مدت زمان رسیدن تندی خودرو از صفر به 100 km/h یکی از معیارهای مقایسه خودروهای امروزی در صنعت خودروسازی است. همچنین مهندسانی که به طراحی و ساخت باند پرواز فرودگاه‌ها می‌پردازند توجه دارند که هواپیماهای مختلف برای آنکه به تندی لازم برای برخاستن برسند، چه مسافتی را باید روی باند پرواز طی کنند. زمین‌شناسان نیز برای تعیین محل‌هایی که امکان وقوع زمین‌لرزه در آنها بیشتر است باید حرکت صفحه‌های زمین را بررسی کنند و از مفاهیم مرتبط با بحث حرکت‌شناسی استفاده کنند. افزون بر اینها پژوهشگران پزشکی برای یافتن رگ مسدود باید به نحوه حرکت خون در رگ‌ها توجه کنند. در این فصل ابتدا نگاهی دقیق‌تر خواهیم انداخت به آنچه در علوم نهم در خصوص حرکت آموختید. پس از آن، به ساده‌ترین نوع حرکت، یعنی حرکت جسم بر خط راست با سرعت ثابت، خواهیم پرداخت. پس از آن حرکت با شتاب ثابت بر خط راست را بررسی می‌کنیم.

۱-۱ شناخت حرکت

در علوم سال نهم با مفاهیم اولیه حرکت آشنا شدید. در این بخش ضمن مرور این مفاهیم و کمیت‌های مرتبط با آنها، زمینه لازم را برای شناخت و توصیف دقیق‌تر حرکت فراهم می‌کنیم. مسافت و جابه‌جایی: شکل ۱-۱ مسیر حرکت دونه‌ای را از مکان ۱ تا مکان ۲ نشان می‌دهد. طول این مسیر، مسافت پیموده شده یا به اختصار **مسافت** نامیده می‌شود. همچنین پاره‌خط جهت‌داری که مکان آغازین حرکت را به مکان پایانی حرکت وصل می‌کند **برداری جابه‌جایی** نامیده می‌شود.



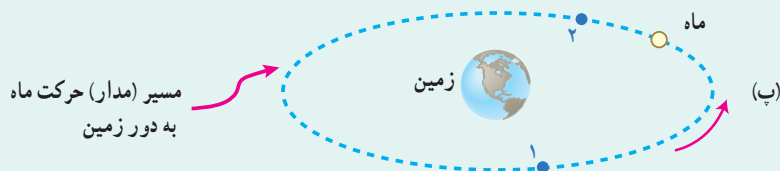
پرسش ۱-۱



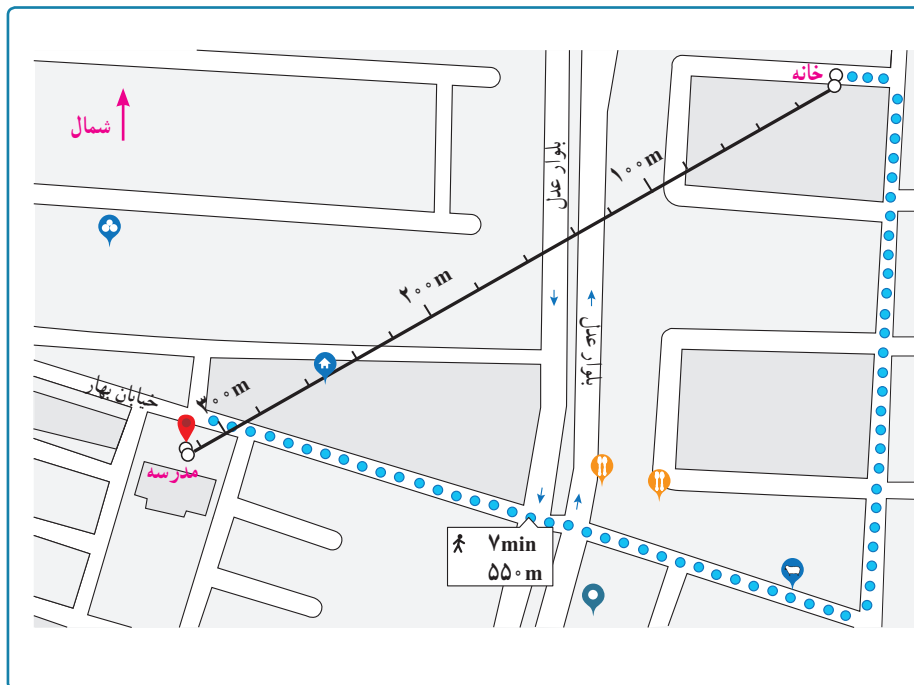
۱- شکل الف شخصی را در حال پیاده‌روی در راستای خط راست و بدون تغییر جهت، از مکان ۱ به مکان ۲ نشان می‌دهد. مسیر حرکت و برداری جابه‌جایی شخص را روی شکل مشخص و اندازه برداری جابه‌جایی را با مسافت مقایسه کنید.

۲- شخص پس از رسیدن به مکان ۲، برمی‌گردد و روی همان مسیر به مکان ۳ می‌رود (شکل ب). مسیر حرکت و برداری جابه‌جایی شخص را روی شکل مشخص و اندازه برداری جابه‌جایی را با مسافت پیموده شده مقایسه کنید.

۳- شکل پ مسیر حرکت ماه به دور زمین را نشان می‌دهد. وقتی ماه در جهت نشان داده شده در شکل، از مکان ۱ به مکان ۲ می‌رود مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی آن را روی شکل مشخص و اندازه بردار جابه‌جایی آن را با مسافت پیموده شده مقایسه کنید.



فعالیت ۱-۱



همانند شکل روبه‌رو و به کمک یک نرم‌افزار نقشه‌یاب، مکان خانه و مدرسه‌تان را مشخص کنید. سپس مسافت و اندازه بردار جابه‌جایی خانه تا مدرسه را تعیین کنید.

تندی متوسط و سرعت متوسط: اگر متحرکی مانند دونه‌ی شکل ۱-۱ در مدت زمان Δt از مکان ۱ به مکان ۲ برود و مسافت و بردار جابه‌جایی بین این دو مکان را به ترتیب با l و \vec{d} نشان دهیم، همان‌طور که در علوم سال نهم دیدید، تندی متوسط و سرعت متوسط دونده به صورت زیر تعریف می‌شوند^۱:

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} \quad \text{(تندی متوسط)} \quad (1-1)$$

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} \quad \text{(سرعت متوسط)} \quad (2-1)$$

همان‌طور که دیده می‌شود تندی متوسط، کمیتی نرده‌ای و سرعت متوسط، کمیتی برداری^۲ است و یکای SI آنها، متر بر ثانیه (m/s) است که می‌توان آنها را برحسب یکاهای دلخواه دیگری مانند کیلومتر بر ساعت (km/h) نیز بیان کرد.

۱- شاخص پایین av در نمادهای تندی متوسط و سرعت متوسط از واژه انگلیسی average به معنای متوسط گرفته شده است.
 ۲- آموزش مسائلی که دانش‌آموزان را در محاسبه \vec{d} و \vec{v}_{av} ، درگیر عملیات برداری دو یا سه بعدی، در صفحه xy یا فضای xyz می‌کند خارج از برنامه درسی این کتاب است و ارزشیابی از آن نباید انجام شود.

مثال ۱-۱

تندی متوسط و سرعت متوسط دانش‌آموز فعالیت ۱-۱ را پیدا کنید.

پاسخ: با توجه به داده‌های روی نقشه، اگر دانش‌آموز در مدت زمان $\Delta t = 7/00 \text{ min} = 420 \text{ s}$ مسافت $l = 550 \text{ m}$ را از خانه تا مدرسه پیموده باشد، با توجه به رابطه ۱-۱ تندی متوسط وی برابر $v_{av} = 550 \text{ m} / 420 \text{ s} = 1/31 \text{ m/s}$ می‌شود و مفهوم فیزیکی آن این است که دانش‌آموز به‌طور متوسط در هر ثانیه $1/31 \text{ m}$ از طول مسیر را پیموده است. همچنین با توجه به نقشه، اندازه بردار جابه‌جایی دانش‌آموز 325 m متر و جهت آن به طرف جنوب غربی است. در نتیجه با توجه به رابطه ۱-۱ اندازه سرعت متوسط وی برابر $v_{av} = 325 \text{ m} / 420 \text{ s} = 0/774 \text{ m/s}$ و جهت آن به طرف جنوب غربی است.

پرسش ۲-۱

در چه صورت اندازه سرعت متوسط یک متحرک با تندی متوسط آن برابر است؟ برای پاسخ خود می‌توانید به شکل‌های پرسش ۱-۱ نیز توجه کنید.

اکنون سرعت متوسط را برای حالتی بررسی می‌کنیم که جسم بر خط راست حرکت می‌کند. به این منظور محوری مانند محور x را انتخاب و فرض می‌کنیم که جسم در راستای آن حرکت می‌کند. توجه کنید که در انتخاب محور (در اینجا محور x) مکان دلخواهی به عنوان مبدأ ($x=0$) روی محور در نظر گرفته می‌شود. برداری که مبدأ محور را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند **برداری مکان** جسم در آن لحظه نامیده می‌شود.

شکل ۲-۱ الف و ب، بردار مکان شخصی را که در جهت محور x می‌دود در دو لحظه متفاوت t_1 و t_2 نشان می‌دهد. بردار مکان دونده را در این دو لحظه، می‌توان به صورت زیر نوشت:

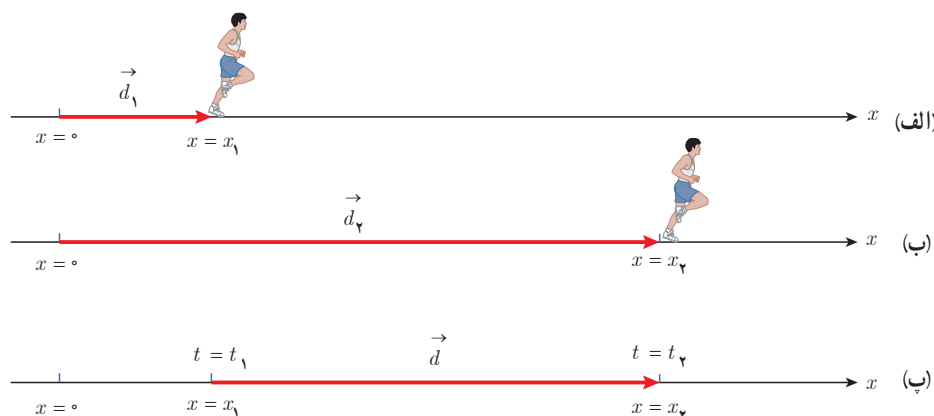
$$\vec{d}_1 = x_1 \vec{i} \quad \text{و} \quad \vec{d}_2 = x_2 \vec{i}$$

در این صورت و با توجه به شکل ۲-۱ ب، بردار جابه‌جایی دونده برابر است با

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

به این ترتیب رابطه ۲-۱ مربوط به سرعت متوسط دونده را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} \quad (\text{سرعت متوسط در راستای محور } x) \quad (3-1)$$

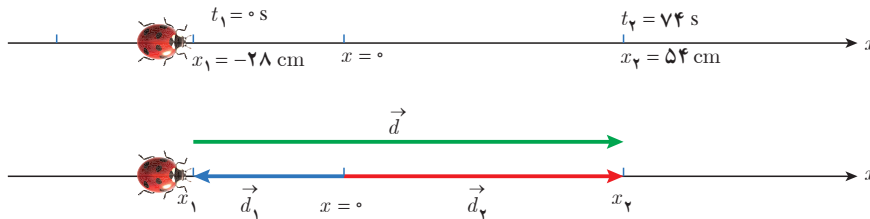


شکل ۲-۱ الف) و ب) بردار مکان دونده در دو لحظه متفاوت و پ) بردار جابه‌جایی آن

مثال ۲-۱

کفش دوزکی که در جهت محور x در حرکت است، در لحظه‌های $t_1=0\text{ s}$ و $t_2=74\text{ s}$ به ترتیب از مکان‌های $x_1=-28\text{ cm}$ و $x_2=54\text{ cm}$ می‌گذرد.

الف) بردارهای مکان در لحظه‌های t_1 و t_2 و بردار جابه‌جایی کفش دوزک در این بازه زمانی را رسم کنید.
ب) سرعت متوسط کفش دوزک را در این بازه زمانی پیدا کنید.



پاسخ: الف)

ب) چون کفش دوزک در راستای خط راست حرکت می‌کند، سرعت متوسط آن برابر است با:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \vec{i} = \frac{54\text{ cm} - (-28\text{ cm})}{74\text{ s} - 0\text{ s}} \vec{i} = (1.1\text{ cm/s}) \vec{i}$$

تمرین ۱-۱

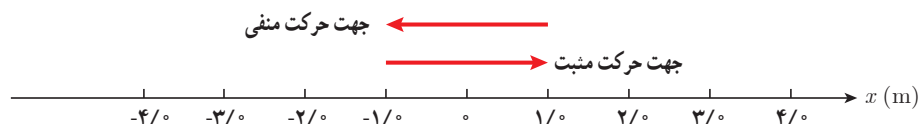
جدول زیر را کامل کنید. فرض کنید هر چهار متحرک در مدت زمان $4/0\text{ s}$ فاصله بین مکان آغازین و مکان پایانی را طی می‌کنند.

مکان آغازین	مکان پایانی	برداری جابه‌جایی	سرعت متوسط	جهت حرکت
$(-2/0\text{ m}) \vec{i}$	$(6/4\text{ m}) \vec{i}$			متحرک A
$(-2/5\text{ m}) \vec{i}$	$(-5/6\text{ m}) \vec{i}$			متحرک B
$(2/0\text{ m}) \vec{i}$	$(8/6\text{ m}) \vec{i}$			متحرک C
$(-1/4\text{ m}) \vec{i}$			$(2/4\text{ m/s}) \vec{i}$	متحرک D

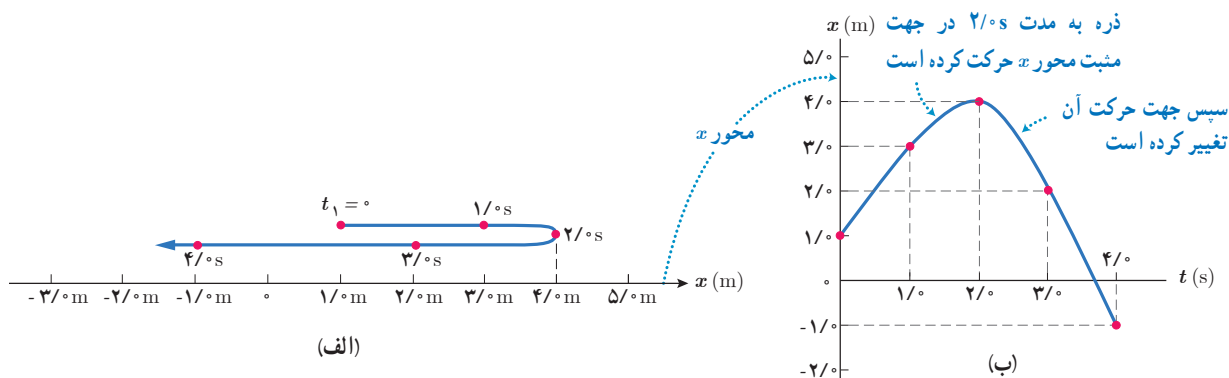
از آنجا که در ادامه این فصل، تنها حرکت اجسام بر خط راست بررسی می‌شود، جابه‌جایی متحرک را به جای بردار \vec{d} به صورت Δx و سرعت متوسط را به جای بردار \vec{v}_{av} به صورت رابطه زیر در حل مسئله‌ها به کار می‌بریم. در این صورت علامت جبری Δx و v_{av} جهت جابه‌جایی را نشان می‌دهند. اگر متحرک در جهت محور x حرکت کند جابه‌جایی و سرعت متوسط آن مثبت و اگر متحرک در خلاف جهت محور x حرکت کند، جابه‌جایی و سرعت متوسط آن منفی خواهد بود (شکل ۱-۳).

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (\text{رابطه سرعت متوسط برای حرکت در راستای محور } x) \quad (1-4)$$

شکل ۱-۳ مکانی که روی یک محور تعیین می‌شود برحسب یکای طول (در اینجا متر) نشانه گذاری می‌شود و در دو جهت تا بی‌نهایت ادامه دارد. نام محور، در اینجا x ، در قسمت مثبت نوشته می‌شود.

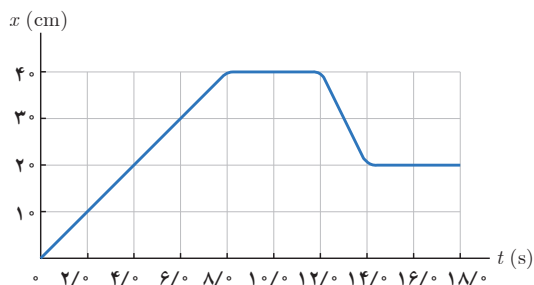


برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نمودار مکان - زمان، که مکان جسم را در هر لحظه نشان می‌دهد، استفاده کرد. برای رسم این نمودار، زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم در نظر می‌گیریم. برای مثال، به حرکت ذره‌ای که در شکل ۱-۴ الف نشان داده شده است، توجه کنید. این ذره در لحظه $t_1 = 0\text{ s}$ در مکان $x_1 = 1\text{ m}$ ، در لحظه $t_2 = 1\text{ s}$ در مکان $x_2 = 3\text{ m}$ قرار دارد و به همین ترتیب در لحظه‌های دیگر در مکان‌های دیگر. اگر بخواهیم نمودار مکان - زمان حرکت این ذره را رسم کنیم، ابتدا به هر یک از محورهای مکان و زمان را با مقیاسی مناسب مدرج می‌کنیم. سپس نقاطی از نمودار را که مربوط به هر یک از زمان‌ها و مکان‌های داده شده است، در صفحه $x-t$ مشخص می‌کنیم و با وصل کردن این نقاط به هم، به وسیله یک منحنی (خم) هموار، نمودار مکان - زمان را همانند شکل ۱-۴ ب رسم می‌کنیم.



شکل ۱-۴ الف) مسیر حرکت ذره در امتداد محور x . ب) نمودار مکان - زمان متحرک

مثال ۱-۳



شکل روبه‌رو نمودار مکان - زمان مورچه‌ای را نشان می‌دهد که در راستای محور x در حرکت است.

الف) در کدام بازه زمانی مورچه در جهت محور x حرکت می‌کند؟

ب) در کدام بازه زمانی مورچه در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟

پ) در کدام بازه‌های زمانی مورچه ایستاده است؟

ت) در کدام لحظه‌هایی فاصله مورچه از مبدأ 3 cm است؟

ث) در کدام بازه زمانی فاصله مورچه از مبدأ محور بیشترین مقدار است؟

ج) جابه‌جایی و سرعت متوسط مورچه را در بازه زمانی 4 s تا 8 s پیدا کنید.

پاسخ: الف) در بازه زمانی $t = 0\text{ s}$ تا $t = 8\text{ s}$ ، زیرا در این بازه، x همواره در حال افزایش است.

ب) در بازه زمانی $t = 12\text{ s}$ تا $t = 14\text{ s}$ ، زیرا در این بازه، x همواره در حال کاهش است.

پ) در بازه‌های زمانی $t = 8\text{ s}$ تا $t = 12\text{ s}$ و $t = 14\text{ s}$ تا $t = 18\text{ s}$

ت) در لحظه‌های $t = 6\text{ s}$ و $t = 13\text{ s}$

ث) در بازه زمانی $t = 8\text{ s}$ تا $t = 12\text{ s}$

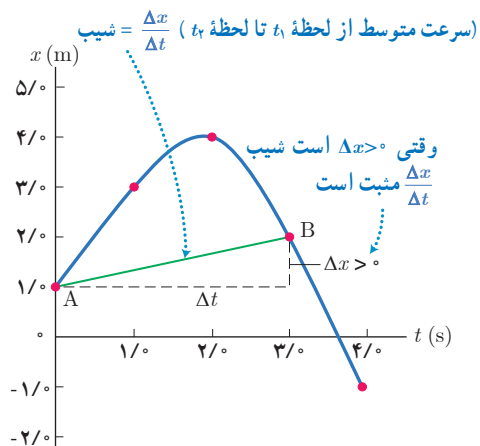
ج)

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 4\text{ cm} - 2\text{ cm} = 2\text{ cm}$$

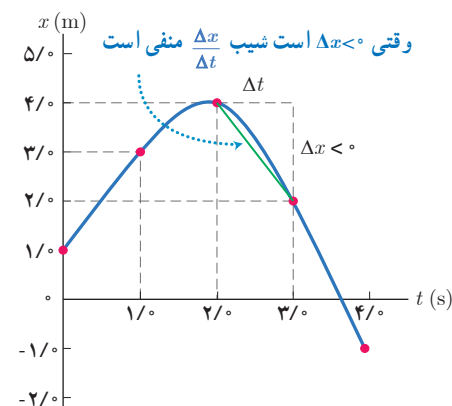
$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2\text{ cm}}{8\text{ s} - 4\text{ s}} = 0.5\text{ cm/s}$$

علامت مثبت نشان می‌دهد که مورچه در جهت مثبت محور x جابه‌جا شده است.

فصل ۱: حرکت بر خط راست



شکل ۱-۵ سرعت متوسط بین دو لحظه $t_1 = 0$ و $t_2 = 3$ s



تعیین سرعت متوسط به کمک نمودار مکان-زمان: دوباره به نمودار شکل ۱-۴ که پاره خط بین دو نقطه دلخواه آن مطابق شکل ۱-۵ رسم شده است توجه کنید. همان طور که از درس ریاضی می دانید نسبت $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ برابر شیب پاره خطی است که دو نقطه A و B را به هم وصل می کند. از سوی دیگر با توجه به رابطه ۱-۴ می دانیم که این نسبت برابر سرعت متوسط متحرک در بازه زمانی t_1 تا t_2 است. به این ترتیب می توان نتیجه گرفت که **سرعت متوسط متحرک بین دو لحظه از زمان برابر شیب پاره خطی است که نقاط نظیر آن دو لحظه در نمودار مکان-زمان را به یکدیگر وصل می کند.**

مثال ۱-۴

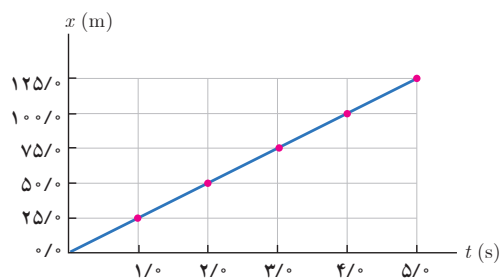
با توجه به نمودار مکان-زمان شکل ۱-۴، سرعت متوسط ذره را در بازه زمانی $t_1 = 2$ s تا $t_2 = 3$ s به دست آورید.

پاسخ: از رابطه ۱-۴ داریم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2/0 \text{ m} - 4/0 \text{ m}}{3/0 \text{ s} - 2/0 \text{ s}} = -2/0 \text{ m/s}$$

علامت منفی v_{av} نشان می دهد که شیب خط واصل بین این دو نقطه از نمودار مکان-زمان، منفی است. توجه کنید که بدون محاسبه v_{av} نیز، با توجه به فهم هندسی ای که از منفی بودن شیب خط واصل دو نقطه نمودار داریم، می توانستیم به منفی بودن v_{av} پی ببریم.

مثال ۱-۵



نمودار مکان-زمان موتورسواری که بر خط راست حرکت می کند مطابق شکل روبه رو است. سرعت متوسط موتورسوار را در هر یک از بازه های زمانی 0/s تا 1/s، 1/s تا 2/s، 2/s تا 3/s، 3/s تا 4/s، 4/s تا 5/s محاسبه کنید. نتایج به دست آمده را با هم مقایسه و تفسیر کنید.

پاسخ: با توجه به داده های روی نمودار و بنا به رابطه ۱-۴، سرعت متوسط موتورسوار، برای هر یک از بازه های زمانی خواسته شده، برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{25/0 \text{ m} - 0/0 \text{ m}}{1/0 \text{ s} - 0/0 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

بازه زمانی 0/s تا 1/s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100/0 \text{ m} - 50/0 \text{ m}}{4/0 \text{ s} - 2/0 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

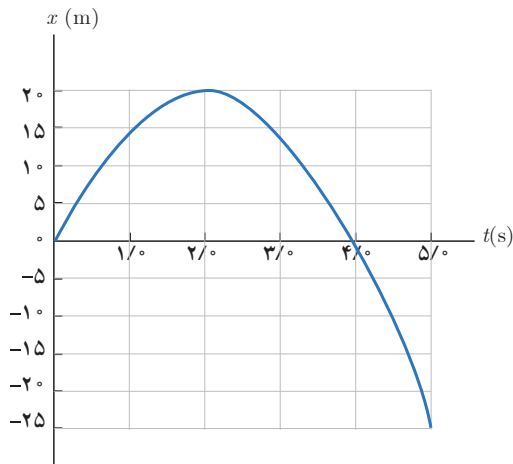
بازه زمانی 2/s تا 4/s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{125/0 \text{ m} - 25/0 \text{ m}}{5/0 \text{ s} - 1/0 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

بازه زمانی 1/s تا 5/s

اگر در هر بازه زمانی دلخواه دیگری نیز سرعت متوسط موتورسوار را حساب کنید، خواهید دید که همین مقدار برای آن به دست می‌آید. از آنجا که شیب نمودار مکان-زمان برای هر بازه زمانی دلخواه برابر سرعت متوسط متحرک است، با توجه به ثابت بودن شیب نمودار مکان-زمان موتورسوار در طول حرکت، چنین انتظاری می‌رفت.

مثال ۱-۶



شکل روبه‌رو، نمودار مکان-زمان خودرویی را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کند.

الف) با استفاده از داده‌های روی شکل، سرعت متوسط خودرو را در هر یک از بازه‌های زمانی $0/s$ تا $2/s$ ، $2/s$ تا $4/s$ ، $4/s$ تا $5/s$ تا $0/s$ حساب کنید.

ب) در کدام یک از این بازه‌های زمانی، سرعت متوسط در جهت محور x و در کدام یک در خلاف جهت محور x است؟

پاسخ: الف) با توجه به داده‌های روی نمودار و بنا به رابطه ۱-۳، سرعت متوسط خودرو برای هر یک از بازه‌های زمانی خواسته شده، برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20\text{ m} - 0\text{ m}}{2/s - 0/s} = 10\text{ m/s}$$

بازه زمانی $0/s$ تا $2/s$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0\text{ m} - 20\text{ m}}{4/s - 2/s} = 0\text{ m/s}$$

بازه زمانی $2/s$ تا $4/s$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0\text{ m} - 20\text{ m}}{4/s - 2/s} = -10\text{ m/s}$$

بازه زمانی $2/s$ تا $4/s$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-25\text{ m} - 20\text{ m}}{5/s - 2/s} = -15\text{ m/s}$$

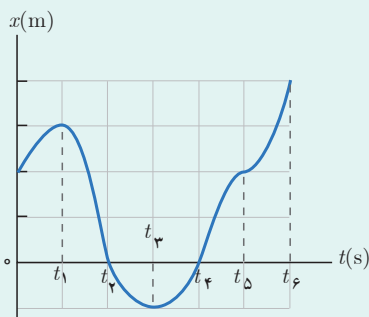
بازه زمانی $2/s$ تا $5/s$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-25\text{ m} - 0\text{ m}}{5/s - 4/s} = -25\text{ m/s}$$

بازه زمانی $4/s$ تا $5/s$

ب) در بازه‌های زمانی ای که سرعت متوسط خودرو مثبت است، سرعت متوسط خودرو در جهت محور x و در بازه‌های زمانی ای که سرعت متوسط منفی است، سرعت متوسط خودرو در خلاف جهت محور x است.

پوشی ۱-۳



با توجه به نمودار مکان-زمان شکل روبه‌رو به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

الف) متحرک چند بار از مبدأ مکان عبور می‌کند؟

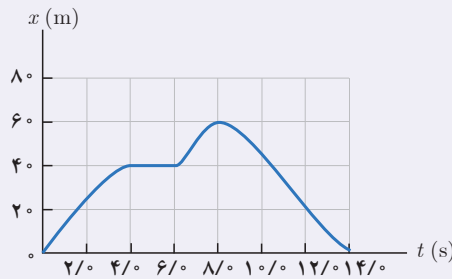
ب) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال دور شدن از مبدأ است؟

پ) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است؟

ت) جهت حرکت چند بار تغییر کرده است؟ در چه لحظه‌هایی؟

ث) جابه‌جایی کل در جهت محور x است یا خلاف آن؟

تمرین ۱-۲



شکل روبه‌رو نمودار مکان- زمان دوچرخه‌سواری را نشان می‌دهد که روی مسیری مستقیم در حال حرکت است.

الف) در کدام لحظه دوچرخه‌سوار بیشترین فاصله از مبدأ را دارد؟

ب) در کدام بازه‌های زمانی دوچرخه‌سوار در جهت محور x حرکت می‌کند؟

پ) در کدام بازه زمانی دوچرخه‌سوار در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟

ت) در کدام بازه زمانی، دوچرخه‌سوار ساکن است؟

ث) تندی متوسط و سرعت متوسط دوچرخه‌سوار را در هر یک از بازه‌های

زمانی $0/s$ تا $2/s$ ، $4/s$ تا $6/s$ ، $2/s$ تا $4/s$ ، $6/s$ تا $8/s$ ، $8/s$ تا $14/s$ ، $0/s$ تا $14/s$ حساب کنید.



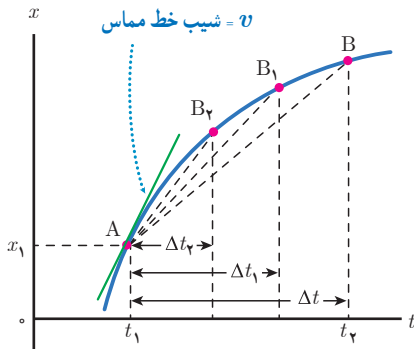
شکل ۱-۶ عقربه تندی سنج، تندی لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهد و هیچ گونه اطلاعی در خصوص جهت حرکت خودرو به ما گزارش نمی‌کند.

تندی لحظه‌ای و سرعت لحظه‌ای: تندی متحرک در هر لحظه از زمان را تندی لحظه‌ای

می‌نامند. اگر هنگام گزارش تندی لحظه‌ای، به جهت حرکت متحرک نیز اشاره شود، در واقع **سرعت لحظه‌ای** (\vec{v}) آن را، که کمیتی برداری است بیان کرده‌ایم. برای مثال وقتی درون خودرویی به طرف شمال در حال حرکت باشید و در نقطه‌ای از مسیر، عقربه تندی سنج خودروی شما روی 100 km/h باشد (شکل ۱-۶)، تندی لحظه‌ای خودرو برابر 100 km/h و سرعت لحظه‌ای آن 100 km/h به طرف شمال است. برای سادگی، بیشتر وقت‌ها سرعت لحظه‌ای و تندی لحظه‌ای را به ترتیب به صورت سرعت و تندی بیان می‌کنند. از آنجا که در ادامه این فصل تنها حرکت اجسام بر خط راست بررسی می‌شود، سرعت لحظه‌ای متحرک را در حل مسئله‌ها به جای بردار \vec{v} به صورت v به کار می‌بریم. هر گاه متحرک در جهت مثبت محور x حرکت کند v مثبت است و هر گاه در جهت منفی محور حرکت کند v منفی است.

پوشش ۱-۴

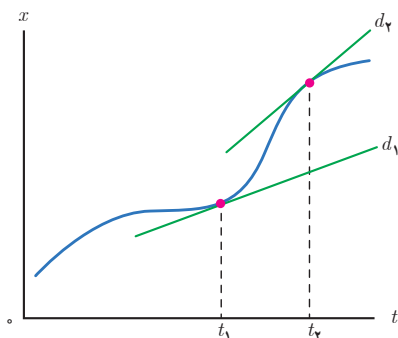
از روی نمودار مکان- زمان توضیح دهید در چه صورت سرعت لحظه‌ای متحرک همواره با سرعت متوسط آن برابر است.



شکل ۱-۷ با کوچک شدن تدریجی Δt ، نقطه B به نقطه A نزدیک می‌شود. در این صورت خط واصل بین این دو نقطه، در حالتی که بازه زمانی Δt خیلی خیلی کوچک شود، به خط مماس بر منحنی در نقطه A میل می‌کند. به این ترتیب شیب این خط، برابر با سرعت متحرک در لحظه t_1 است.

تعیین سرعت لحظه‌ای به کمک نمودار مکان- زمان: پیش از این دیدیم که سرعت متوسط متحرک بین هر دو لحظه دلخواه، برابر شیب خطی است که نمودار مکان- زمان را در آن دو لحظه قطع می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱-۷ دیده می‌شود اگر Δt به تدریج کوچک و کوچک‌تر شود، نقطه B به نقطه A نزدیک و نزدیک‌تر می‌شود؛ به طوری که اگر Δt به سمت صفر میل کند ($\Delta t \rightarrow 0$) نقطه B به نقطه A بسیار نزدیک می‌شود و سرانجام خط واصل بین این دو نقطه به خط مماس بر نمودار در نقطه A میل می‌کند. در این حالت، شیب خط مماس برابر سرعت متحرک در لحظه t_1 است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که: **سرعت در هر لحظه دلخواه t ، برابر شیب خط مماس بر نمودار مکان- زمان در آن لحظه است.**

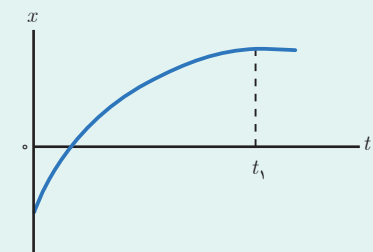
مثال ۱-۲



شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x در حرکت است. d_1 و d_2 خط‌های مماس بر منحنی را در دو لحظه متفاوت نشان می‌دهند. در کدام لحظه سرعت متحرک بیشتر است؟

پاسخ: با توجه به شکل، شیب خط d_2 بیشتر از شیب خط d_1 است. بنابراین سرعت متحرک در لحظه t_2 بیشتر از سرعت آن در لحظه t_1 است ($v_2 > v_1$). توجه کنید که شیب هر دو خط مثبت است و بنابراین سرعت نیز در هر دو لحظه مثبت، یعنی در جهت محور x است.

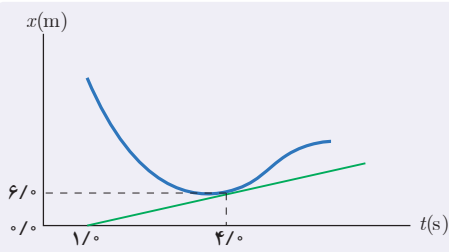
پرسش ۱-۵



شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x حرکت است.

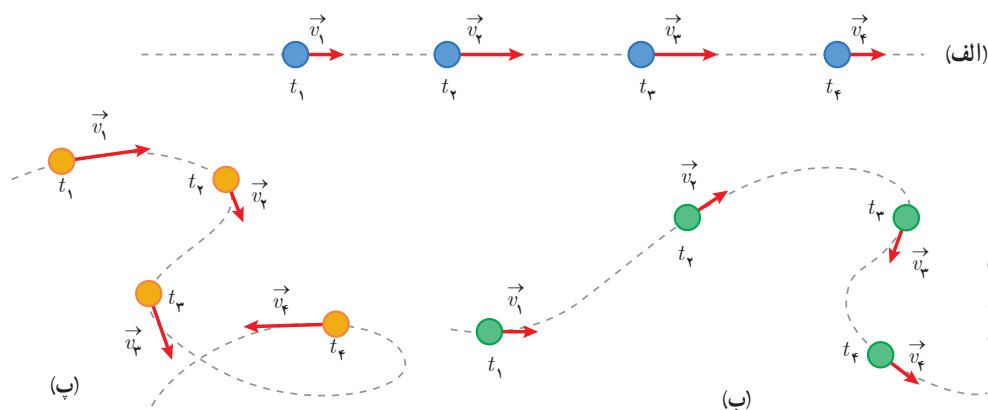
الف) از لحظه صفر تا لحظه t_1 سرعت متحرک رو به افزایش است یا کاهش؟
ب) اگر در لحظه t_1 خط مماس بر منحنی موازی محور زمان باشد، سرعت متحرک در این لحظه چقدر است؟

تمرین ۱-۳



شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد. خط مماس بر منحنی در لحظه $t = 4/10$ s، رسم شده است. سرعت متحرک را در این لحظه پیدا کنید.

شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای: در علوم سال نهم دیدید که هرگاه سرعت جسمی تغییر کند حرکت آن شتاب‌دار است. با توجه به اینکه بردار سرعت در هر نقطه از مسیر، بر مسیر حرکت مماس است^۱ تغییر سرعت جسم در نقاط مختلف مسیر حرکت می‌تواند به دلیل تغییر در اندازه بردار سرعت (تندی) جسم باشد (شکل ۱-۸ الف)، یا می‌تواند به دلیل تغییر در جهت بردار سرعت آن باشد (شکل ۱-۸ ب)، یا همچنین می‌تواند به دلیل تغییر در اندازه و جهت بردار سرعت متحرک باشد (شکل ۱-۸ پ).



شکل ۱-۸ وقتی سرعت جسمی (الف) به دلیل تغییر اندازه آن، (ب) به دلیل تغییر جهت آن و (پ) به دلیل تغییر اندازه و جهت آن تغییر کند، حرکت جسم شتاب‌دار است.

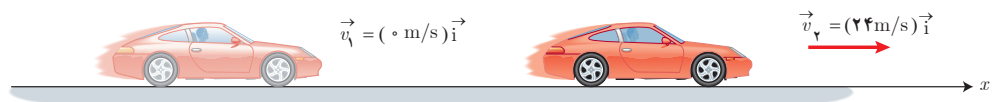
۱- توجه کنید که مماس بودن بردار سرعت بر مسیر حرکت متفاوت با برابری سرعت با شیب خط مماس بر نمودار مکان-زمان است که پیش از این دیدیم.

شتاب متوسط متحرک در هر بازه زمانی دلخواه t_1 تا t_2 به صورت رابطه ۵-۱ تعریف می‌شود که در آن v_1 سرعت متحرک در لحظه t_1 و v_2 سرعت متحرک در لحظه t_2 است. همان‌طور که دیده می‌شود شتاب متوسط (a_{av})، کمیتی برداری و هم‌جهت با بردار تغییر سرعت ($\Delta \vec{v}$) است^۱. یکای SI شتاب متوسط، متر بر مربع ثانیه (m/s^2) است.

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (\text{شتاب متوسط}) \quad (5-1)$$

مثال ۸-۱

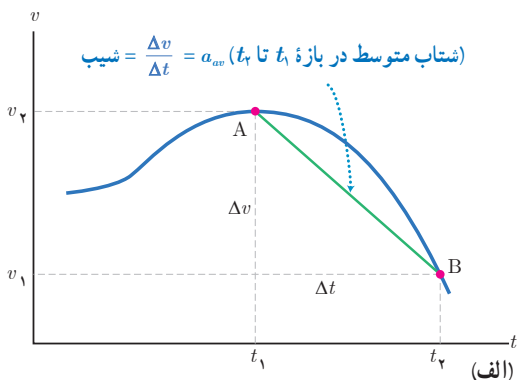
خودرویی از حال سکون در امتداد محور x شروع به حرکت می‌کند. پس از $12s$ ، سرعت خودرو به $24m/s$ در جهت محور x می‌رسد. شتاب متوسط خودرو را در این بازه زمانی به دست آورید.



پاسخ: از رابطه ۵-۱، داریم:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{(24 \text{ m/s}) \vec{i} - (0 \text{ m/s}) \vec{i}}{12 \text{ s} - 0 \text{ s}} = (2 \text{ m/s}^2) \vec{i}$$

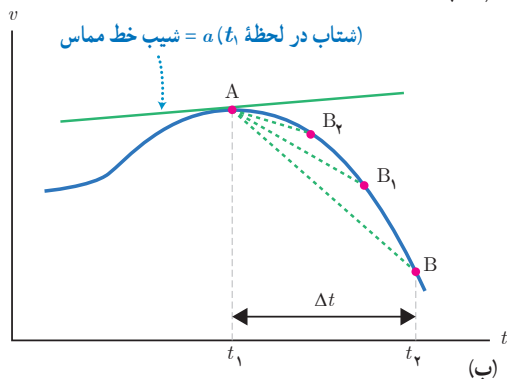
همان‌طور که دیده می‌شود، اندازه شتاب متوسط خودرو 2 m/s^2 و شتاب در جهت محور x است.



اگر متحرک در یک راستا حرکت کند رابطه ۵-۱ را می‌توان به صورت زیر به کار برد ولی با توجه به ماهیت برداری v_1 و v_2 باید به علامت‌های جبری آنها که نشان‌دهنده جهت آنهاست توجه کنیم.

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{شتاب متوسط در حرکت بر خط راست}) \quad (6-1)$$

تعیین شتاب متوسط و لحظه‌ای به کمک نمودار سرعت - زمان: در شکل ۹-۱ الف، نمودار سرعت - زمان متحرکی نشان داده شده است که روی خط راست حرکت می‌کند. با توجه به تعریف شتاب متوسط، معلوم می‌شود، که شتاب متوسط بین دو لحظه برابر شیب خطی است که نمودار سرعت - زمان را در آن دو لحظه قطع می‌کند. همان‌طور که در شکل ۹-۱ ب دیده می‌شود، اگر Δt به سمت صفر میل کند ($\Delta t \rightarrow 0$) خط واصل بین نقطه‌های A و B ، به خط مماس بر نمودار در نقطه A میل می‌کند. در این حالت، شیب خط مماس برابر شتاب متحرک در لحظه t_1 است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که: **شتاب در هر لحظه دلخواه t ، برابر شیب خط مماس بر نمودار سرعت - زمان در آن لحظه است.** در کتاب‌های فیزیک برای سادگی، شتاب لحظه‌ای را شتاب می‌نامند و آن را با نماد a نشان می‌دهند.



شکل ۹-۱ الف) شتاب متوسط بین دو لحظه t_1 و t_2
ب) شتاب متحرک در لحظه t_1

۱- آموزش مسائلی که دانش‌آموزان را در محاسبه $\vec{a}_{av} = \Delta \vec{v} / \Delta t$ ، درگیر عملیات برداری دو یا سه بعدی، در صفحه xy یا فضای xyz می‌کند خارج از برنامه درسی این کتاب است و ارزشیابی از آن نباید انجام شود.