حرکت چیست

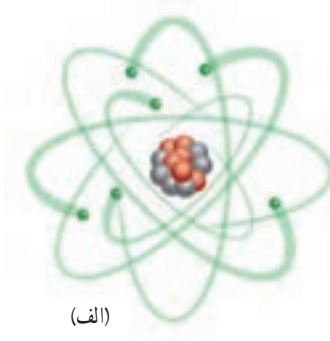
فصل ۴

آیا می‌دانید بیشترین مسافت ثبت‌شده که تا کنون یک اسب توانسته است در یک ثانیه طی کند حدود ۲۴ متر بوده است؟ بررسی و شناخت حرکت اجسام از هزاران سال پیش مورد توجه بشر بوده است؛ به‌طوری که تند و کند بودن حرکت یک جسم برای هر کس واژه‌ای آشناست.

در این فصل خواهیم دید که با تعریف کمیت‌های فیزیکی مانند : مسافت، جابه‌جایی، تندی و سرعت و شتاب می‌توانیم به بررسی حرکت اجسام بپردازیم. با پیدا کردن هریک از این کمیت‌های فیزیکی برای یک جسم درحال حرکت، می‌توان شناخت بهتری از حرکت آن جسم به‌دست آورد.

حرکت در همه‌جا و همه‌چیز

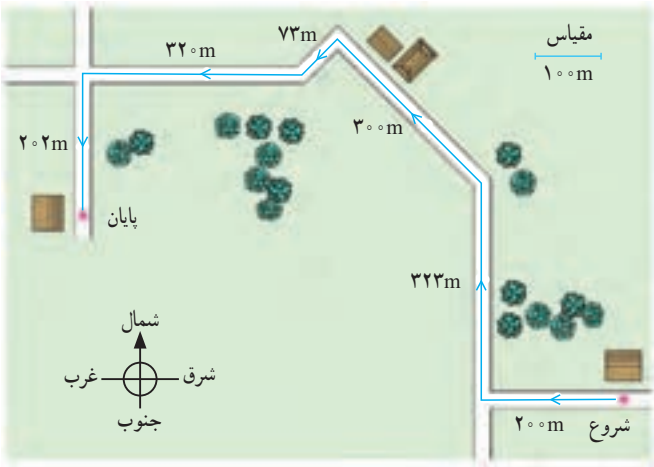
همه چیز در جهان پیرامون ما در حرکت است. حتی زمین که ساکن به نظر می‌رسد، نیز در حرکت است(شکل۱). شناخت حرکت، یکی از راه‌های شناخت جهان فیزیکی پیرامون است. به همین دلیل دانشمندان راه‌های ساده‌ای را برای بررسی و شناخت حرکت ارائه داده‌اند.



شکل ۱ــ
الف) الکترون‌های هر اتم، همواره به دور هسته می‌چرخند.
ب) اتم‌های موجود در نوک مدادی که روی میز شماست، همواره در محل خود نوسان می‌کنند.
پ) زمین علاوه بر آنکه در هر شبانه‌روز یک بار به دور خود می‌چرخد، در هر ثانیه مسافتی برابر ۳۰ کیلومتر را دور خورشید می‌پیماید.

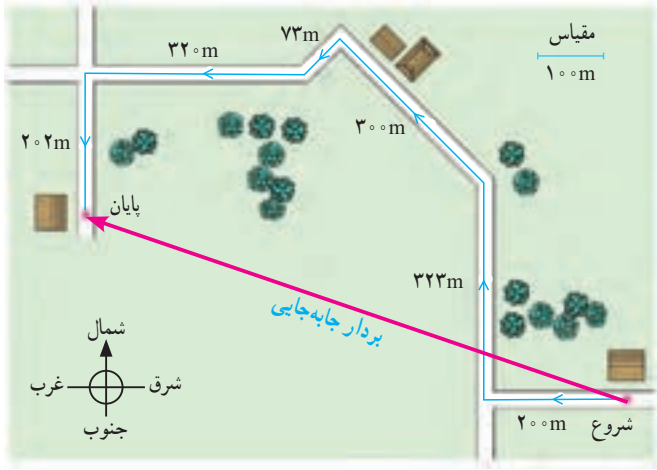
مسافت و جابه‌جایی

برای رفتن از یک محل به محل دیگر، معمولاً از کوچه‌ها و خیابان‌های زیادی عبور می‌کنیم. شکل ۲ مسیر حرکت دانش‌آموزی را نشان می‌دهد که برای رفتن از خانه تا مدرسه می‌پیماید. به مجموع طول‌هایی که این دانش‌آموز برای رفتن از خانه (مبدأ) تا مدرسه (مقصد) می‌پیماید، **مسافت پیموده شده** می‌گوییم.



شکل ۲ ــ کل مسیر طی‌شده بین شروع تا پایان حرکت را مسافت پیموده شده می‌نامند.

همان‌طور که می‌دانیم کوتاه‌ترین فاصله یا مسیر بین دو نقطه، پاره‌خط راستی است که آن دو نقطه را به یکدیگر وصل می‌کند. در ریاضی سال هشتم دیدید که اگر پاره‌خطی دارای جهت باشد به آن **بردار** گفته می‌شود. به برداری که نقطهٔ شروع حرکت را به نقطهٔ پایان حرکت وصل می‌کند، **بردار جابه‌جایی** گفته می‌شود (شکل۳). اندازهٔ بردار جابه‌جایی را به اختصار جابه‌جایی می‌نامیم.



شکل ۳ــ پاره‌خط جهت‌داری که مبدأ حرکت را به مقصد وصل می‌کند بردار جابه‌جایی نامیده می‌شود.

فعالیت

مسافت و جابه‌جایی هر دو از جنس طول‌اند و برحسب متر (m) اندازه گیری می‌شوند، ولی می‌توانیم آنها را برحسب واحدهای بزرگ‌تر یا کوچک‌تر طول نیز بیان کنیم. الف) مسافت طی‌شده در شکل ۳ چقدر است؟ مقدار به‌دست آمده را برحسب متر و کیلومتر (km) بیان کنید. ب) با توجه به مقیاس داده شده روی شکل، اندازهٔ بردارجابه‌جایی دانش‌آموز را به کمک خط‌کش به دست آورید.

فکر کنید

یک جسم باید چگونه حرکت کند تا مسافت طی شده توسط آن با اندازهٔ بردارجابه‌جایی‌اش یکسان باشد؟

خود را بیازمایید

شکل روبه‌رو مسیر پیموده شده توسط یک دونده را نشان می‌دهد. مسافت و بردار جابه‌جایی دونده را روی شکل مشخص کنید.

تندی متوسط

گالیله دانشمند سرشناس ایتالیایی نزدیک به ۵۰۰ سال پیش به کمک آزمایش به بررسی و مطالعهٔ چگونگی حرکت اجسام پرداخت. مردم تا پیش از گالیله، حرکت اجسام را به صورت «کند» و «تند» توصیف می‌کردند. یکی از کارهای گالیله، معرفی تندی متوسط[1] یک متحرک بود که به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{تندی متوسط} = \frac{\text{مسافت پیموده شده}}{\text{مدت زمان صرف شده}} \quad (۱)$$

اگر مسافت برحسب متر (m) و زمان برحسب ثانیه (s) اندازه‌گیری شوند، در این صورت یکای تندی متوسط متر بر ثانیه (m/s) خواهد شد.

مثال ۱

دوچرخه سواری مسافت ۸۴۰ متر را در مدت زمان ۶۰ ثانیه می‌پیماید. تندی متوسط دوچرخه‌سوار چند متر بر ثانیه است؟

حل : با توجه به رابطهٔ (۱) داریم :

$$\text{تندی متوسط} = \frac{۸۴۰\,\text{m}}{۶۰\,\text{s}} = ۱۴\ \text{m/s}$$

این دوچرخه سوار در هر ثانیه به‌طور متوسط ۱۴ متر از مسیر را پیموده است.

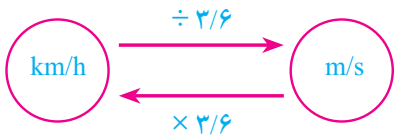
فعالیت

تندی متوسط خودتان را هنگام رفتن از خانه به مدرسه حساب کنید. اگر با پای پیاده این فاصله را طی می‌کنید تعداد قدم‌های خود را از خانه تا مدرسه بشمارید. طول هر قدم را حدود ۰/۴ متر بگیرید. اگر با خودرو این فاصله را می‌پیمایید مسافت طی شده را از روی کیلومتر شمار خودرو بخوانید. در هر دو حالت زمان طی مسافت را به کمک ساعت یا زمان‌سنج اندازه بگیرید.

خود را بیازمایید

۱ــ رکورد جهانی دوی ۱۰۰ متر مردان، ۹/۵۸ ثانیه و در اختیار اوسین بولت دوندهٔ جامائیکایی است که در سال ۲۰۰۹ به نام خود ثبت کرده است. تندی متوسط این قهرمان جهانی را حساب کنید. مفهوم فیزیکی عدد به‌دست آمده را توضیح دهید.

۱ــ Average speed



۲ ــ کیلومتر بر ساعت (km/h) یکی دیگر از یکاهای تندی است که معمولاً برای وسایل نقلیه موتوری به کار می‌رود. با توجه به اینکه هر کیلومتر برابر ۱۰۰۰ m و هر ساعت برابر ۳۶۰۰ s است، نشان دهید یکاهای km/h و m/s به صورت روبه رو به یکدیگر تبدیل می‌شوند.

۳ــ شکل روبه‌رو نقشهٔ جزیره ابوموسی را واقع در خلیج فارس نشان می‌دهد. فاصلهٔ بین مسجد جامع و مسجد خلیج فارس در این جزیره حدود ۳/۴ کیلومتر است.
اگر ۶ دقیقه طول بکشد تا شخصی با خودرو از مسجد جامع به مسجد خلیج فارس برود، تندی متوسط خودروی وی را برحسب متر بر ثانیه به‌دست آورید.

۴ــ تندی متوسط هر یک از متحرک‌ها را با توجه به داده‌های جدول زیر حساب کنید.

متحرک	مسافت طی‌شده	زمان صرف‌شده	تندی متوسط
دونده	۱۰۰۰ m	۱۵۰ s	.....
خودروی مسابقه	۱۰۰۰ m	۱۰ s	.....
هواپیمای مسافربری	۱۰۰۰ m	۴ s	.....
صوت	۱۰۰۰ m	۳ s	.....
شاتل فضایی	۱۰۰۰ m	۰/۱ s	.....

سرعت متوسط

آزمایش کنید

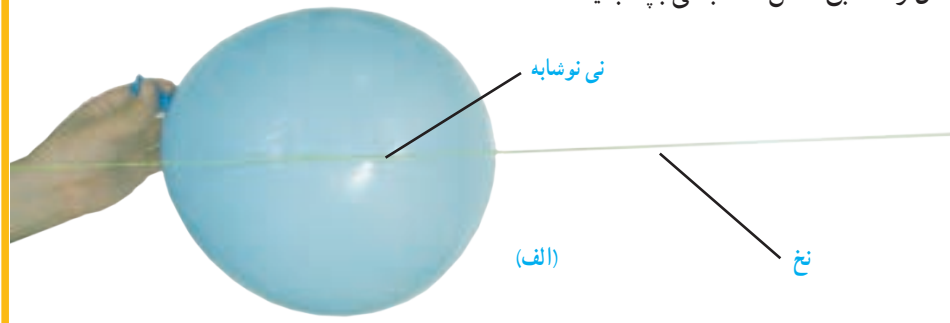
هدف : پیدا کردن سرعت متوسط

وسایل و مواد لازم : یک تکه نخ بلند(۴متر یا بیشتر)، نی نوشابه، بادکنک، چسب نواری، زمان‌سنج، متر

۱ــ تکه‌ای از نی نوشابه به طول تقریبی ۱۰ سانتیمتر را ببرید و نخ را از آن عبور دهید.

۲ــ دو سر نخ را به دو طرف کلاس که فاصله بیشتری از هم دارند ببندید و طول آن را به کمک متر یا خط‌کش اندازه بگیرید.

۳ــ بادکنک را باد کنید و درب آن را محکم با دست خود بگیرید تا هوای درون آن خارج نشود و آن را مطابق شکل الف به نی بچسبانید.



۴ــ بادکنک را رها کنید تا به کمک نی متصل به آن، از یک طرف به طرف دیگر تکه نخ حرکت کند(شکل ب).

۵ــ به کمک زمان سنج، مدت زمانی را که بادکنک در حرکت است، اندازه بگیرید.

۶ــ نسبت جابه‌جایی بادکنک را به مدت زمان صرف شده حساب کنید.

۷ــ اندازه‌گیری و محاسبه‌ها را چند بار تکرار کنید تا دقت آنها بیشتر شود.

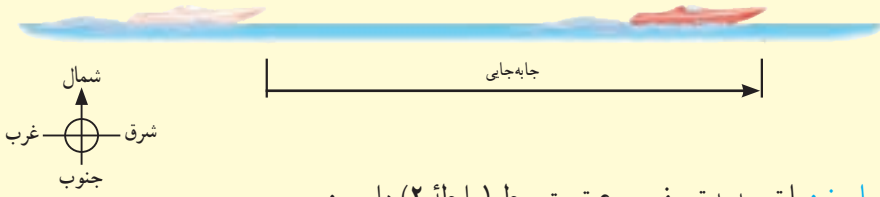
سرعت متوسط[1] به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\text{سرعت متوسط} = \frac{\text{جابه‌جایی}}{\text{مدت زمان صرف شده}} \qquad (۲)$$

اگر جابه‌جایی برحسب متر و زمان برحسب ثانیه باشد، سرعت متوسط برحسب متر بر ثانیه بیان می‌شود.

مثال ۲

شکل زیر قایق تندرویی را نشان می‌دهد که در امتداد مسیری مستقیم از غرب به شرق در حرکت است و پس از ۸ ثانیه حدود ۱۱۳ متر جابه‌جا می‌شود. سرعت متوسط قایق برحسب متر بر ثانیه و همچنین کیلومتر بر ساعت چقدر است؟



پاسخ : با توجه به تعریف سرعت متوسط (رابطهٔ ۲) داریم :

$$\text{سرعت متوسط} = \frac{\text{جابه‌جایی}}{\text{مدت زمان صرف شده}} = \frac{۱۱۳\text{m}}{۸\text{s}} \approx ۱۴\ \text{m/s}\ (\text{به‌طرف شرق})$$

همان‌طور که پیش از این دیدیم، برای تبدیل یکای متر بر ثانیه به یکای کیلومتر بر ساعت، کافی است مقدار مورد نظر را در عدد ۳/۶ ضرب کنیم. به این ترتیب داریم :

$$\text{سرعت متوسط} = (۱۴ \times ۳/۶)\ \text{km/h} = ۵۰/۴\ \text{km/h}\ (\text{به‌طرف شرق})$$

توجه کنید که در این مثال، چون قایق در امتداد خط راست حرکت می‌کند و جهت حرکت خود را نیز تغییری نداده است، مسافت طی‌شده و جابه‌جایی آن با هم برابرند.

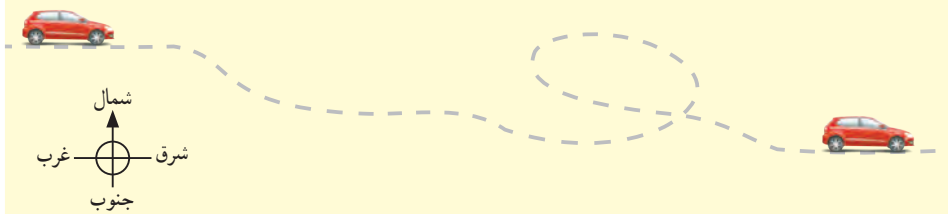
فکر کنید

تندی متوسط قایق در مثال بالا چقدر است؟ توضیح دهید چرا مقدار آن با مقدار به دست آمده برای سرعت متوسط یکسان است.

۱ـ Average velocity

مثال ۳

خودرویی مسیری مطابق شکل زیر را در مدت ۳۰ دقیقه طی می‌کند. اگر طول مسیر (مسافت) برابر ۴۶ کیلومتر و بردار جابه‌جایی آن برابر ۲۴ کیلومتر به طرف جنوب شرقی باشد، (الف) تندی متوسط و (ب) سرعت متوسط خودرو را در این مدت به‌دست آورید و مفهوم فیزیکی هرکدام از مقادیر فیزیکی به‌دست‌آمده را توضیح دهید.



حل : الف) مدت زمان حرکت ۳۰ دقیقه یا $\frac{۱}{۲}$ ساعت است. بنابراین با توجه به تعریف تندی متوسط (رابطهٔ ۱) داریم

$$\text{تندی متوسط} = \frac{۴۶\text{km}}{\frac{۱}{۲}\text{h}} = ۹۲\,\text{km/h}$$

مفهوم این مقدار فیزیکی (تندی متوسط) آن است که خودرو در هر ساعت ۹۲ کیلومتر از مسیر را طی کرده است.

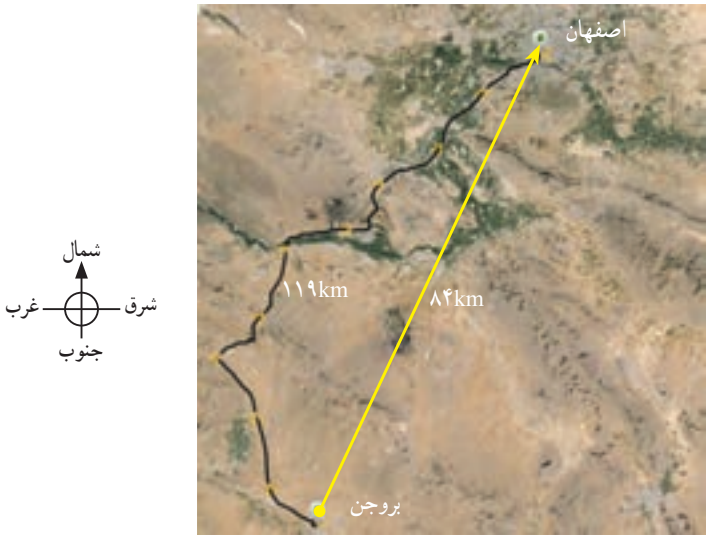
ب) با توجه به تعریف سرعت متوسط (رابطهٔ ۲) داریم :

$$\text{سرعت متوسط} = \frac{۲۴\text{km}}{\frac{۱}{۲}\text{h}} = ۴۸\,\text{km/h} \quad \text{(به طرف جنوب شرقی)}$$

مفهوم این مقدار فیزیکی (سرعت متوسط) آن است که خودرو در هر ساعت ۴۸ کیلومتر به مقصد خود نزدیک‌تر شده است.

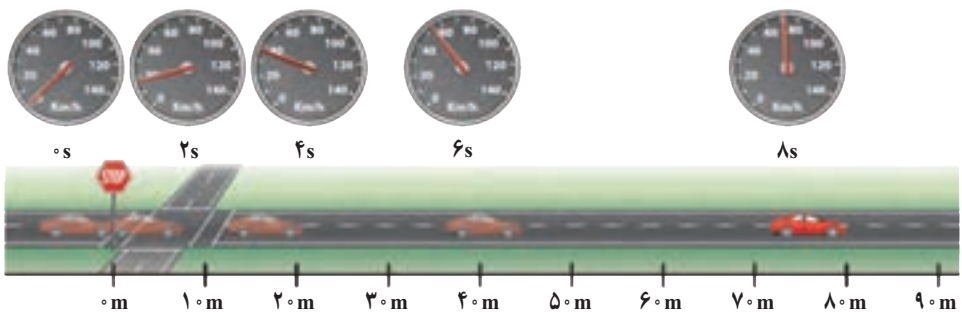
خود را بیازمایید

طول جادهٔ شهر کوهستانی بروجن از شهر تاریخی اصفهان حدود ۱۱۹ کیلومتر و فاصلهٔ مستقیم آنها ۸۴ کیلومتر است (شکل صفحهٔ بعد). اگر خودرویی فاصلهٔ بین دو شهر را در مدت ۷۰ دقیقه طی کند، تندی متوسط و سرعت متوسط اتومبیل برحسب متر بر ثانیه و همچنین کیلومتر بر ساعت چقدر است؟ (لازم است توجه شود که به دلایل مختلفی از قبیل موانع طبیعی و هزینه احداث جاده، معمولاً جاده بین دو شهر به‌صورت مسیر مستقیم نیست).



تندی لحظه‌ای

وقتی به اجسام متحرک اطراف خود نگاه می‌کنیم، برخی تندتر و برخی کندتر حرکت می‌کنند. خیلی وقت‌ها هم دیده‌ایم که متحرک تندی حرکت خود را کمتر یا زیادتر می‌کند؛ مثلاً وقتی خودرویی پشت چراغ قرمز یک چهارراه توقف کرده است، تندی آن صفر است. با سبز شدن چراغ، به تدریج تندی خودرو افزایش می‌یابد تا از صفر به مقدار دلخواه برسد (شکل ۴). به تندی خودرو یا هر متحرک در هر لحظه، تندی لحظه‌ای[۱] گفته می‌شود. معمولاً برای سادگی در گفتار و نوشتار، «تندی لحظه‌ای» را به‌صورت «تندی» بیان می‌کنیم یا می‌نویسیم.



شکل ۴ــ وقتی به تندی‌سنج یک خودرو در حال حرکت نگاه می‌کنیم، می‌توان گفت که تندی خودرو در آن لحظه چقدر است.

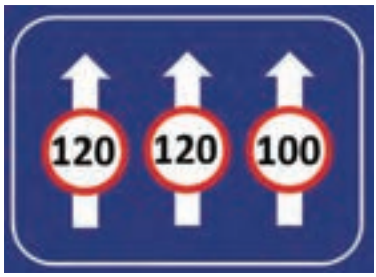
شکل ۵ خودرویی را نشان می‌دهد که در امتداد مسیری مستقیم از نقطهٔ A به نقطهٔ B رفته است. اگر در طول مسیر A تا B تندی خودرو تغییری نکرده باشد، تندی متوسط و تندی لحظه‌ای خودرو باهم برابرند. در این صورت می‌گوییم خودرو به طور یکنواخت روی مسیر مستقیم حرکت کرده است. این نوع حرکت را، حرکت یکنواخت روی خط راست می‌نامند. لازم است توجه کنید که اگر متحرکی

۱ــ Instantaneous speed

روی مسیری غیرمستقیم با تندی ثابت حرکت کند، حرکت آن یکنواخت است.

شکل ۵

خود را بیازمایید

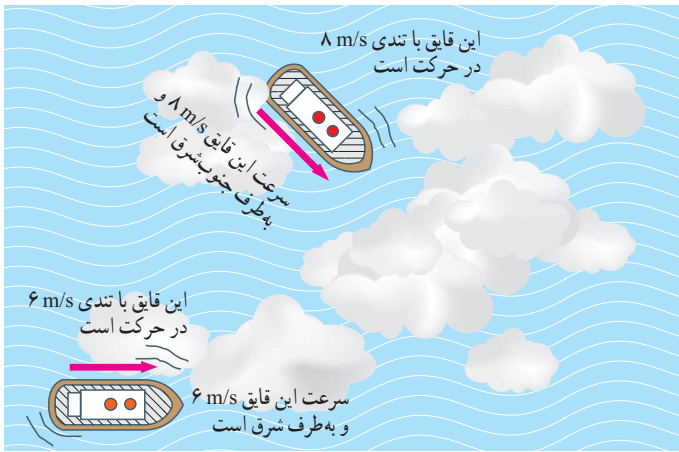


الف) بیشترین تندی مجاز رانندگی برای خودروهای سواری در بزرگراه‌های ایران و هنگام روز برابر ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت است (شکل روبه رو). این تندی مجاز را برحسب متر بر ثانیه بنویسید.

ب) اگر خودرویی با تندی متوسط ۱۱۲km/h مسافت ۴۶۰ کیلومتری تهران به اصفهان را از مسیر بزرگراه طی کند، مدت زمان حرکت آن را به دست آورید.

سرعت لحظه‌ای

در زندگی روزمره، معمولاً از واژه‌های تندی لحظه‌ای و سرعت لحظه‌ای به جای یکدیگر و با یک معنا استفاده می‌کنیم. در علوم این دو واژه با یکدیگر تفاوت دارند. اگر هم تندی و هم جهت حرکت جسمی‌را بدانیم، در واقع سرعت آن را می‌دانیم؛ مثلاً وقتی می‌گوییم خودرویی با تندی ۴۰ km/h در حرکت است، تندی آن را می‌دانیم[1]. اما اگر بگوییم خودرویی با تندی ۴۰ km/h به طرف شمال در حرکت است، سرعت آن را مشخص کرده‌ایم. همان‌طور که دیده می‌شود سرعت، دو نوع اطلاع به ما می‌دهد.



شکل ۶

شکل ۶ اهمیت تفاوت بین تندی و سرعت را نشان می‌دهد. این دو قایق به علت مه‌گرفتگی هوا، قادر به دیدن یکدیگر نیستند؛ اما می‌توانند از طریق موج‌های رادیویی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند.

قایقران‌ها برای آنکه به یکدیگر برخورد نکنند، افزون بر دانستن تندی‌های یکدیگر باید جهت‌های حرکت یکدیگر را نیز بدانند. به عبارت دیگر، آنها باید سرعت یکدیگر را بدانند.

۱- برای اختصار، تندی لحظه‌ای و سرعت لحظه‌ای به ترتیب به‌صورت تندی و سرعت بیان شده‌اند.

شتاب متوسط

وقتی پیاده یا با دوچرخه و یا هر وسیلهٔ نقلیهٔ دیگر، از خانه به مدرسه می‌رویم، در طول مسیر بارها و بارها سرعت خود را تغییر می‌دهیم. گاهی تند، گاهی کند و گاهی آرام حرکت می‌کنیم. در برخی مواقع نیز ممکن است برای چند لحظه بدون هیچ حرکتی بایستیم. هنگامی که سرعت یک متحرک در حال تغییر باشد، می‌گوییم حرکتش دارای شتاب است. شتاب نیز مانند تندی و سرعت، یکی دیگر از ویژگی‌های حرکت است. شتاب متوسط[1] متحرک به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{مدت زمان تغییر سرعت}} \qquad (۳)$$

یکای شتاب از تقسیم یکای سرعت (m/s) بر یکای زمان (s) به دست می‌آید که متر بر مربع ثانیه (m/s^2) است.

مثال ۴

راننده‌ای در یک مسیر مستقیم، سرعت خودرویی را در مدت ۵ ثانیه از ۱۸ km/h به ۷۲ km/h رسانده است (شکل زیر). شتاب متوسط خودرو را برحسب متر بر مربع ثانیه (m/s^2) حساب کنید.

پاسخ : ابتدا تغییر سرعت خودرو را به دست می‌آوریم.

$$\text{تغییر سرعت} = ۷۲\ km/h - ۱۸\ km/h = ۵۴\ km/h \quad \text{(به‌طرف شرق)}$$

همان‌طور که پیش از این دیدیم، برای تبدیل یکای km/h به یکای m/s کافی است عدد مورد نظر را بر ۳/۶ تقسیم کنیم. به این ترتیب داریم :

$$\text{تغییر سرعت} = \frac{۵۴}{۳/۶}\ m/s = ۱۵\ m/s \quad \text{(به‌طرف شرق)}$$

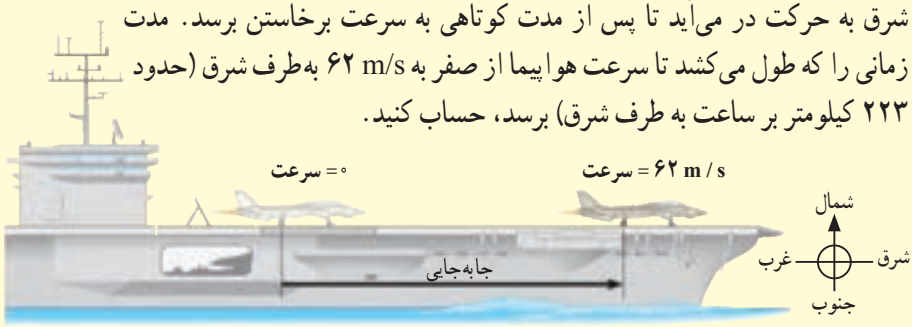
با توجه به تعریف شتاب متوسط داریم :

$$\text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{مدت زمان تغییر سرعت}} = \frac{۱۵\ m/s}{۵\ s} = ۳\ m/s^2 \quad \text{(به‌طرف شرق)}$$

۱ــ Average accelcration

مثال ۵

شکل زیر هواپیمایی را روی عرشهٔ یک ناو هواپیمابر نشان می‌دهد که با شتاب $۳۱\ m/s^۲$ در جهت شرق به حرکت در می‌آید تا پس از مدت کوتاهی به سرعت برخاستن برسد. مدت زمانی را که طول می‌کشد تا سرعت هواپیما از صفر به $۶۲\ m/s$ به‌طرف شرق (حدود ۲۲۳ کیلومتر بر ساعت به طرف شرق) برسد، حساب کنید.



پاسخ : تغییر سرعت هواپیما روی عرشهٔ ناو برابر است با :

$$\text{تغییر سرعت} = ۶۲\ m/s - ۰ = ۶۲\ m/s \quad \text{(به‌طرف شرق)}$$

با توجه به تعریف شتاب داریم :

$$\text{شتاب} = ۳۱\ m/s^۲ = \frac{۶۲\ m/s}{\text{مدت زمان صرف شده}}$$

در نتیجه زمان لازم برای آنکه هواپیما به سرعت برخاستن برسد، برابر ۲s خواهد شد.

خود را بیازمایید

۱ــ موتورسواری در مسیر مستقیم از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از ۶ ثانیه سرعت آن به ۵۴ کیلومتر بر ساعت به طرف شمال شرق می‌رسد.
شتاب متوسط موتور سوار را پیدا کنید.

۲ــ شکل زیر، دونده‌ای را نشان می‌دهد که سرعت آن در شروع حرکت و ۲۰ دقیقه پس از آن داده شده است. شتاب متوسط دونده را حساب کنید.