

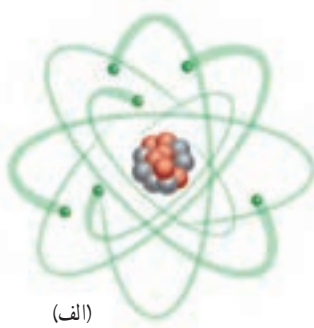
حرکت چیسست

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؛ به طوری 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 هر یک از این کمیت‌های فیزیکی برای یک جسم در حال حرکت، می‌توان شناخت بهتری از حرکت آن جسم به دست آورد.

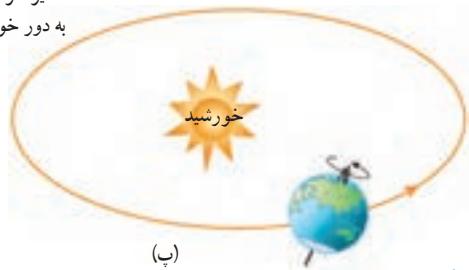


(الف)

حرکت در همه جا و همه چیز

همه چیز در جهان پیرامون ما در حرکت است. حتی زمین که ساکن به نظر می‌رسد، نیز در حرکت است (شکل ۱). شناخت حرکت، یکی از راه‌های شناخت جهان فیزیکی پیرامون است. به همین دلیل دانشمندان راه‌های ساده‌ای را برای بررسی و شناخت حرکت ارائه داده‌اند.

مسیر حرکت زمین
به دور خورشید



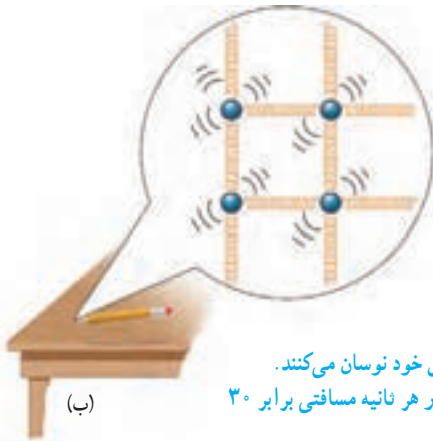
(ب)

شکل ۱-

(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.

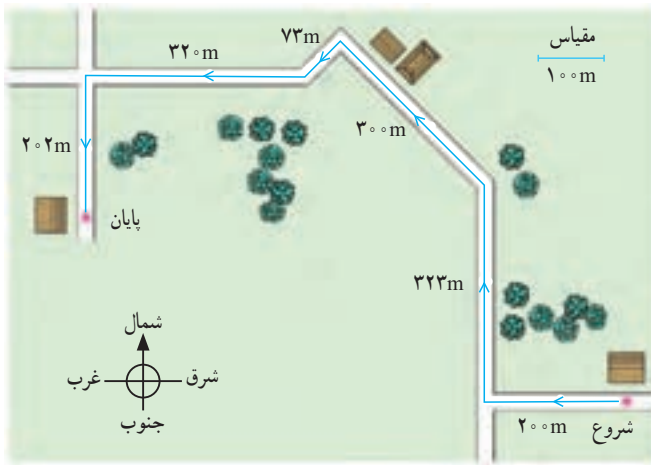
(پ) زمین علاوه بر آنکه در هر شبانه‌روز یک بار به دور خود می‌چرخد، در هر ثانیه مسافتی برابر ۳۰ کیلومتر را دور خورشید می‌پیماید.



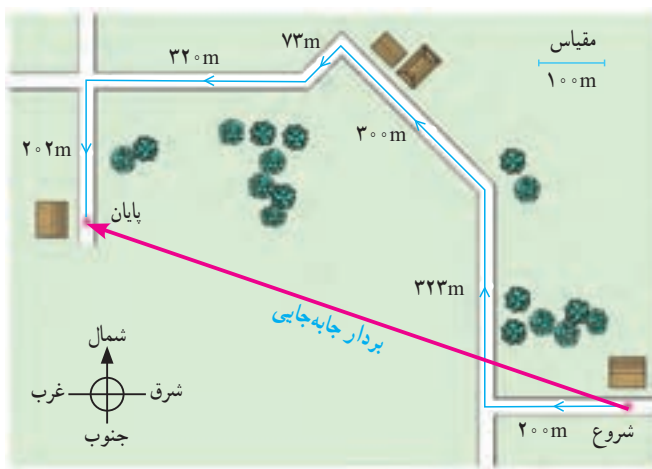
(ب)

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- کل مسیر طی‌شده بین شروع تا پایان حرکت را مسافت پیموده شده می‌نامند.



شکل ۳- پاره خط جهتی که مبدأ حرکت را به مقصد وصل می‌کند بردار جابه‌جایی نامیده می‌شود.

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 **برداری** گفته می‌شود. به برداری که نقطه شروع حرکت را به نقطه پایان حرکت وصل می‌کند، **برداری جابه‌جایی** گفته می‌شود (شکل ۳). اندازه بردار جابه‌جایی را به اختصار جابه‌جایی می‌نامیم.

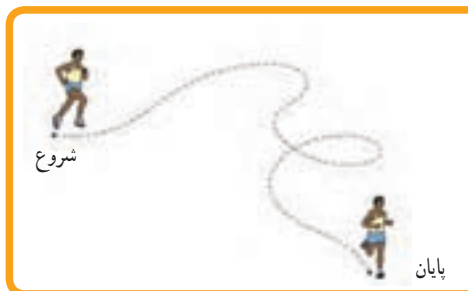
فعالیت

مسافت و جابه‌جایی هر دو از جنس طول‌اند و برحسب متر (m) اندازه‌گیری 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، اندازه بردار جابه‌جایی دانش‌آموز را به کمک خط‌کش به دست آورید.

فکر کنید

یک جسم باید چگونه حرکت کند تا مسافت طی‌شده توسط آن با اندازه بردار جابه‌جایی‌اش یکسان باشد؟

خود را بیازمایید



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

تندی متوسط

گالیه دانشمند سرشناس ایتالیایی نزدیک به ۵۰۰ سال پیش به کمک آزمایش به بررسی و مطالعه چگونگی حرکت اجسام پرداخت. مردم تا پیش از گالیه، حرکت اجسام را به صورت «کند» و «تند» توصیف می‌کردند. یکی از کارهای گالیه، معرفی **تندی متوسط**^۱ یک متحرک بود که به صورت زیر تعریف می‌شود.

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

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 رابطه (۱) داریم:

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

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



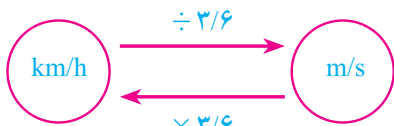
فعالیت

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



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



۲ - 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 1000 m و هر ساعت برابر 3600 s است، نشان دهید یکاهای km/h و m/s به صورت روبه‌رو به یکدیگر تبدیل می‌شوند.



۳ - شکل روبه‌رو نقشه جزیره ابوموسی را واقع در خلیج فارس نشان می‌دهد. فاصله بین مسجد جامع و مسجد خلیج فارس در این جزیره حدود $3/4$ کیلومتر است.

اگر 6 دقیقه طول بکشد تا شخصی با خودرو از مسجد جامع به مسجد خلیج فارس برود، تندی متوسط خودروی وی را بر حسب متر بر ثانیه به دست آورید.

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

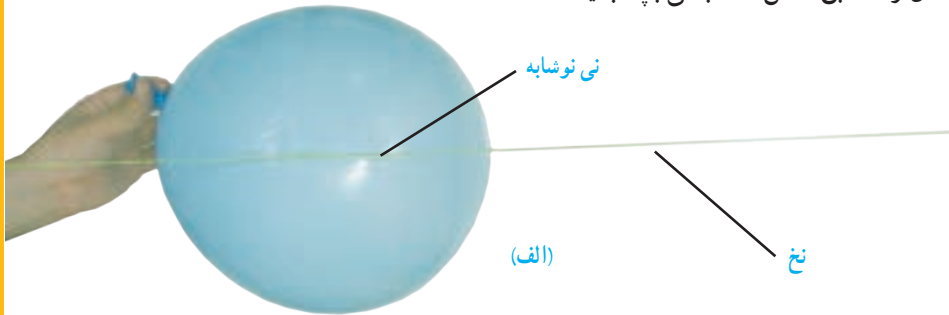
متحرک	مسافت طی شده	زمان صرف شده	تندی متوسط
دونده	1000 m	150 s
خودروی مسابقه	1000 m	10 s
هوایمای مسافری	1000 m	4 s
صوت	1000 m	3 s
شاتل فضایی	1000 m	$0/1\text{ s}$

آزمایش کنید

هدف: پیدا کردن سرعت متوسط

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

- ۱- تکه‌ای از نی نوشابه به طول تقریبی 10° سانتیمتر را ببرید و نخ را از آن عبور دهید.
- ۲- 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.
- ۳- 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.



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



- ۵- به کمک زمان‌سنج، مدت زمانی را که بادکنک در حرکت است، اندازه بگیرید.
- ۶- نسبت جابه‌جایی بادکنک را به مدت زمان صرف شده حساب کنید.
- ۷- اندازه‌گیری و محاسبه‌ها را چند بار تکرار کنید تا دقت آنها بیشتر شود.

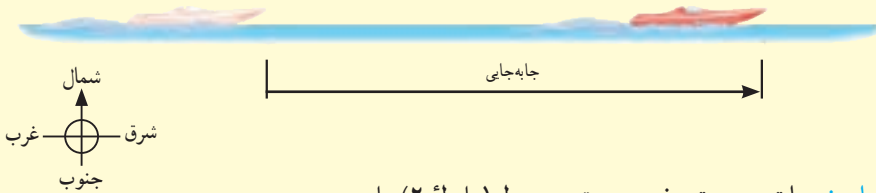
سرعت متوسط^۱ به صورت زیر تعریف می‌شود :

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

اگر جابه‌جایی بر حسب متر و زمان بر حسب ثانیه باشد، سرعت متوسط بر حسب 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 بر حسب متر بر ثانیه و همچنین کیلومتر بر ساعت چقدر است؟



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

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

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 :

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

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

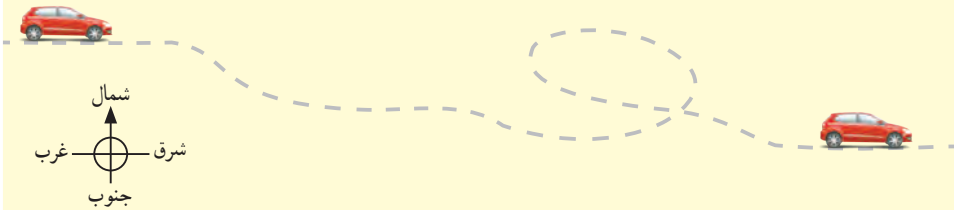
فکر کنید

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

^۱ Average velocity

مثال ۳

خودرویی مسیری مطابق شکل زیر را در مدت 3° دقیقه طی می‌کند. اگر طول مسیر (مسافت) برابر 46 کیلومتر و بردار جابه‌جایی آن برابر 24 کیلومتر به طرف جنوب شرقی باشد، (الف) تندی متوسط و (ب) سرعت متوسط خودرو را در این مدت به دست آورید و مفهوم فیزیکی هر کدام از مقادیر فیزیکی به دست آمده را توضیح دهید.



حل: الف) مدت زمان حرکت 3° دقیقه یا $\frac{1}{4}$ ساعت است. بنابراین با توجه به تعریف تندی متوسط (رابطه ۱) داریم

$$\text{تندی متوسط} = \frac{46 \text{ km}}{\frac{1}{4} \text{ h}} = 184 \text{ km/h}$$

مفهوم این مقدار فیزیکی (تندی متوسط) آن است که خودرو در هر ساعت 184 کیلومتر از مسیر را طی کرده است.

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

$$\text{سرعت متوسط} = \frac{24 \text{ km}}{\frac{1}{4} \text{ h}} = 96 \text{ km/h} \quad (\text{به طرف جنوب شرقی})$$

مفهوم این مقدار فیزیکی (سرعت متوسط) آن است که خودرو در هر ساعت 96 کیلومتر به مقصد خود نزدیک‌تر شده است.

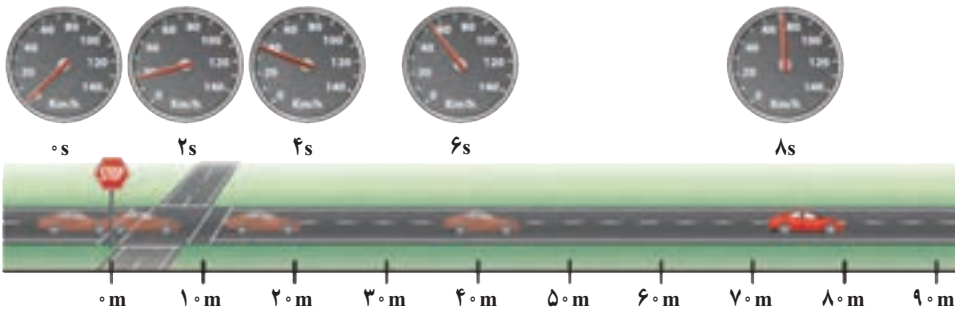
خود را بیازمایید

طول جاده شهر کوهستانی بروجن از شهر تاریخی اصفهان حدود 119 کیلومتر و فاصله مستقیم آنها 84 کیلومتر است (شکل صفحه بعد). اگر خودرویی فاصله بین دو شهر را در مدت 7° دقیقه طی کند، تندی متوسط و سرعت متوسط اتومبیل بر حسب 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 به صورت 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 زیاده‌تر 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 به صورت «تندی» بیان می‌کنیم یا می‌نویسیم.



شکل ۴- وقتی به تندی سنج 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 نقطه A به نقطه 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

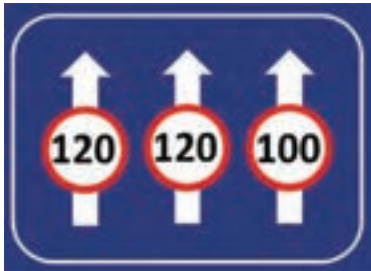
۱- Instantaneous speed

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



شکل ۵

خود را بیازمایید

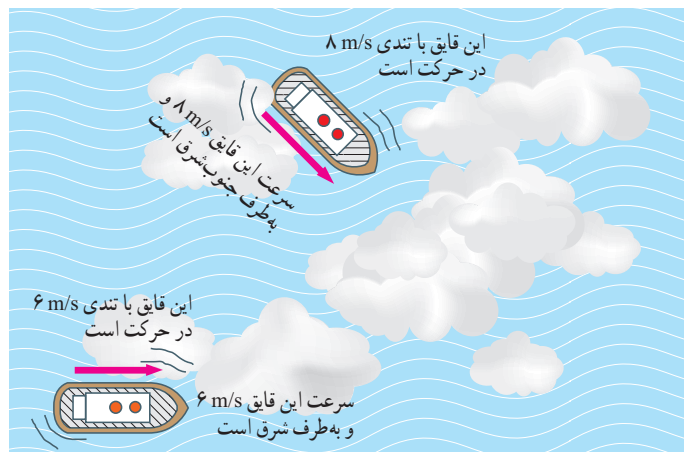


الف) بیشترین تندی مجاز رانندگی برای خودروهای سواری در بزرگراه‌های ایران و هنگام روز برابر 120° کیلومتر بر ساعت است (شکل روبه رو). این تندی مجاز را برحسب متر بر ثانیه بنویسید.
 ب) اگر خودرویی با تندی متوسط 112 km/h مسافت 460 کیلومتری تهران به اصفهان را از مسیر بزرگراه طی کند، مدت زمان حرکت آن را به دست 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 جسمی را بدانیم، در واقع سرعت آن را می‌دانیم؛ مثلاً وقتی می‌گوییم خودرویی با تندی 40 km/h در حرکت است، تندی آن را می‌دانیم^۱. اما اگر بگوییم خودرویی با تندی 40 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 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.



شکل ۶

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

شتاب متوسط

وقتی پیاده یا با دوچرخه و یا هر وسیله نقلیه دیگری، 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 دارای شتاب است. شتاب نیز مانند تندی و سرعت، یکی دیگر از ویژگی‌های حرکت است. شتاب متوسط^۱ متحرک به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$(۲) \quad \text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{مدت زمان تغییر سرعت}}$$

یکای شتاب از تقسیم یکای سرعت (m/s) بر یکای زمان (s) به دست می‌آید که متر بر مربع ثانیه (m/s^۲) 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^۲) حساب کنید.



پاسخ: ابتدا تغییر سرعت خودرو را به دست می‌آوریم.

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

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:

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

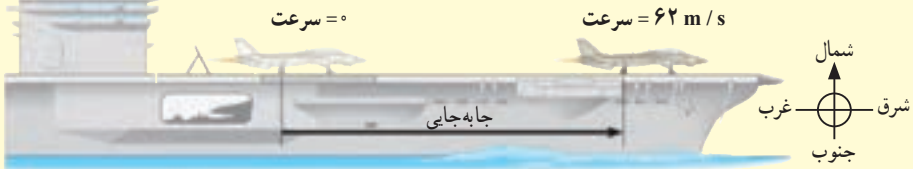
با توجه به تعریف شتاب متوسط داریم:

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

۱- Average acceleration

مثال ۵

شکل زیر هواپیمایی را روی عرشهٔ یک ناو هواپیمابر نشان می‌دهد که با شتاب 31 m/s^2 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 62 m/s به طرف شرق (حدود 223 کیلومتر بر ساعت به طرف شرق) برسد، حساب کنید.



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

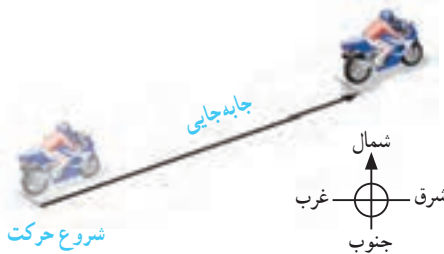
$$\text{تغییر سرعت (به طرف شرق)} = 62 \text{ m/s} - 0 = 62 \text{ m/s}$$

با توجه به تعریف شتاب داریم:

$$31 \text{ m/s}^2 = \frac{62 \text{ m/s}}{\text{مدت زمان صرف شده}}$$

در نتیجه زمان لازم برای آنکه هواپیما به سرعت برخاستن برسد، برابر 2 s خواهد شد.

خود را بیازمایید



۱- موتورسواری در مسیر مستقیم از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از 6 ثانیه سرعت آن به 54 کیلومتر بر ساعت به طرف شمال شرق می‌رسد. شتاب متوسط موتورسوار را پیدا کنید.

۲- شکل زیر، دوندۀ ای را نشان می‌دهد که سرعت آن در شروع حرکت و 20 دقیقه پس از آن داده شده است. شتاب متوسط دوندۀ را حساب کنید.

