فصل چهارم

حرکت چیست؟

بیش‌تر بدانید

معمای حرکت

حرکت از قدیم مورد توجه بشـر بوده اسـت. شـاید معروف‌ترین معمای حرکت، معمای آشـیل و لاک‌پشت باشد که زنو فیلسوف یونان باستان مطرح کرد.

آشـیل، قهرمان یونانی منظومهٔ ایلیاد اثر هومر بود. یک روز لاک‌پشت او را به مسابقه دعوت کرد و ادعا کرد اگر کمی زودتر از او راه بیفتد، می‌تواند او را ببرد. آشیل خنده‌اش گرفت، چون او خیلی قوی‌تر بود و گام‌هایش تندتر.

او خنده‌کنان از لاک‌پشت پرسید: «می‌خواهی چقدر جلوتر باشی؟» لاک‌پشت جواب داد: «ده متر.»

آشیل بلندتر خندید و گفت: «دوست من، در این صورت حتماً می‌بازی. اما اگر دلت می‌خواهد مسابقه بدهیم».

لاک‌پشت جواب داد: «من می‌برم و می‌توانم ادعایم را با استدلال ساده‌ای، ثابت کنم.»

آشیل گفت: «خب، تعریف کن.» به هر حال او قوی‌تر بود اما می‌دانست که لاک‌پشت هم زرنگ و باهوش است.

لاک‌پشت شروع کرد: «فرض کن من ده متر جلوتر باشم. می‌توانی خیلی زود این ده متر را طی کنی؟»

آشیل گفت: «خیلی زود»

- خُب، در این مدت من چقدر جلو رفته‌ام؟
- شاید یک متر، اما نه بیش‌تر.
- خُب، حالا بین ما یک متر فاصله است، می‌توانی این فاصله را سریع طی کنی؟

آشیل فوراً جواب داد: «البته!»

لاک‌پشـت گفت: «در این مدت من باز هم کمی جلوتر می‌روم و تو باید این فاصله را هم طی کنی تا به من برسـی. متوجه شدی؟ هر بار باید فاصلهٔ بین خودمان را طی کنی و این وضعیت ادامه پیدا می‌کند. پس هیچ‌وقت نمی‌توانی به من برسی!»

آشیل با ناراحتی جواب داد: «بله، باز هم حق با تو است.»

این خلاصهٔ معما بود. اما چطور ممکن است؟ آشیل واقعاً نمی‌تواند از لاک‌پشت ببرد؟

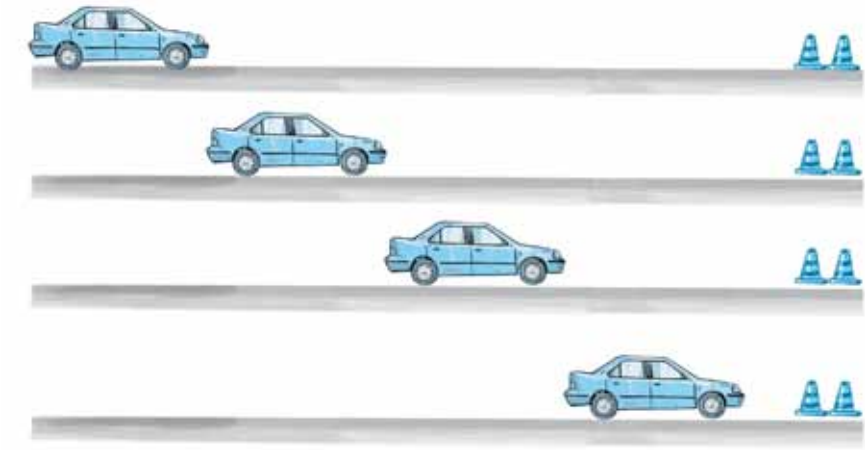
جواب معما را در آخر همین فصل ببینید.

مفاهیم و نمودار حرکت

هنگام توصیف حرکت غالباً با اصطلاحاتی چون **تندی**، **مسافت** و **زمان** مواجه می‌شویم. بهترین راه مطالعهٔ حرکت و آشنایی با این مفاهیم، استفاده از **نمودار حرکت** است.

برای ترسیم نمودار حرکت می‌توانیم از جسم متحرک عکاسی کنیم. دوربین هر ثانیه یک عکس می‌گیرد. می‌گوییم **آهنگ** عکس‌برداری، یک عکس در ثانیه اسـت. هر تصویر جداگانه را یک فریم می‌نامیم. شـکل زیر چند فریم از حرکت اتومبیل را نشان می‌دهد. (شکل ۱)

حالا اگر فریم‌ها را روی هم بگذاریم، یک تصویر به‌دست می‌آوریم (شکل ۲). این تصویر **مکان** اتومبیل را در **بازه‌های زمانی** برابر نشان می‌دهد یعنی هر مکان نسبت به مکان قبل از خود یک ثانیه جلوتر است. این تصویر را **نمودار حرکت** می‌نامیم.



شکل(۱)

نمودار حرکت ابزار قدرتمند تحلیل حرکت است.

شکل (۲)

اسکیت‌سوار در پیاده‌رو:

تصاویری که به یک اندازه از هم فاصله دارند نشان می‌دهد که جسم با **تندی ثابت** حرکت می‌کند.

دونده در آغاز دو ۱۰۰ متر:

افزایش فاصله بین تصاویر، **افزایش تندی** جسم را نشان می‌دهد.

اتومبیل در حال رسیدن به چراغ قرمز:

کاهش فاصله بین تصاویر نشان‌دهندهٔ **کاهش تندی** جسم است.

پرتاب آزاد توپ بسکتبال:

نمودار حرکت پیچیده‌تر، تغییر تندی و تغییر جهت را نشان می‌دهد.

ایستگاه فکر

کدام اتومبیل تندتر حرکت می‌کند، (آ) یا (ب)؟ فرض کنید بازهٔ زمانی بین فریم‌ها در هر دو تصویر یکسان باشد.

پاسخ

اتومبیل (ب) - تصاویر در (ب) از هم دورترند، بنابراین در بازهٔ زمانی برابر، (ب) نسبت به (آ) مسافت بیش‌تری را طی می‌کند.

بازهٔ زمانی با یک **لحظه در زمان** فرق دارد. اگر از شما بپرسند چه لحظه‌ای است؟ کافی است یک‌بار به ساعت‌تان نگاه کنید و جواب بدهید اما اگر از شما بپرسند چقدر طول می‌کشد؟ باید دوبار به ساعت‌تان نگاه کنید (وقتی شروع کردید و وقتی تمام کردید). مثلاً اگر لحظهٔ شروع ساعت ۳ و لحظهٔ پایان ساعت ۵ باشد، بازهٔ زمانی $۵-۳=۲$ است. برای محاسبهٔ بازهٔ زمانی که آن‌را با Δt نشان می‌دهیم، باید لحظهٔ شروع $t_۱$ را از لحظهٔ پایان $t_۲$ کم کنیم:

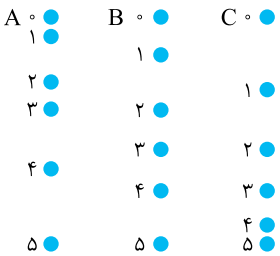
$$\Delta t = t_۲ - t_۱$$

بازهٔ زمانی = اختلاف **بین دو لحظه**

در بسیاری از اجسام، شکل و اندازهٔ جسم بر حرکت آن تأثیر ندارد. پس هنگام توصیف حرکت جسم، می‌توانیم از جزئیات صرف‌نظر کنیم و آن را با یک نقطه نشان بدهیم. جسمی که با یک نقطه نشان داده شده، ذره نامیده می‌شود. با این روش کار، تحلیل حرکت جسم خیلی آسان می‌شود.

ایستگاه فکر

شکل روبه‌رو، نمودار حرکت سه جسم را نشان می‌دهد که در راستای قائم حرکت می‌کنند. کدامشان ذرهٔ غباری است که با تندی ثابت پایین می‌آید؟ کدام توپی است که از سقف ساختمانی پایین انداخته می‌شود و کدام موشکی است که دارد به آرامی بر سطح سیارهٔ مریخ فرود می‌آید؟



پاسخ

A توپ، B ذرهٔ غبار، C موشک

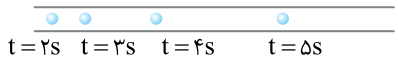
مکان، مسافت و جابه‌جایی

مکان هر نقطه (ذره) با تعیین مختصات آن در دستگاه مختصات توصیف می‌شود. در حرکت بر خط راست، مکان جسم روی محور افقی یا عمودی نشان داده می‌شود. مبدأ مختصات کجاست؟ هرجا دوست دارید! اما بهتر است انتخاب مبدأ با مسأله متناسب باشد.

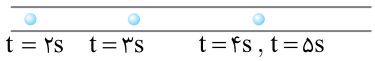
ایستگاه فکر

به شکل‌های زیر دقت کنید. در هر مورد، مکان توپ بین زمان‌های $t=۲s$ و $t=۵s$ نشان داده شده است. دربارهٔ کل مسافت طی شده توسط توپ در این ۳ ثانیه چه می‌توان گفت؟

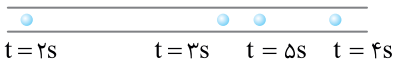
(پ)



(ت)



(ث)



پاسخ

در واقع هر کدام از مسیرها در شکل‌های (الف تا ث) می‌تواند درست باشد. تعداد حالت‌های ممکن بی‌نهایت است. مثلاً در شکل (ث) حرکت همواره در یک جهت نیست و کل مسافت طی شده هم $۱۰m-۴m=۶m$ نیست. در شکل (ب) هم نمی‌توان گفت توپ مسافت ۶ متر را طی کرده است چون مثلاً می‌تواند بین زمان‌های $t=۳s$ و $t=۴s$ حرکت رفت و برگشتی داشته باشد اما می‌دانیم که در تمام موارد **تغییر خالص** یا **برایند** مکان به سمت راست محور، در بازهٔ زمانی ۳ ثانیه، ۶ متر بوده است. این تغییر خالص مکان را، **جابه‌جایی** Δx در یک بُعد می‌نامیم. جابه‌جایی بین دو مکان $x_۱$ و $x_۲$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Delta x = x_۲ - x_۱$$

جابه‌جایی، اختلاف بین دو مکان در فضاست، همان‌طور که بازهٔ زمانی، اختلاف بین دو لحظه در زمان است. پس جابه‌جایی می‌تواند مثبت، منفی و یا صفر باشد.

همان‌طور که در نمودار بالا دیدید، **مسافت** با جابه‌جایی فرق دارد. جابه‌جایی اختلاف مکانی بین دو نقطه است اما مسافت کل مسیری است که جسم بین دو لحظهٔ زمانی طی می‌کند. اگر بر خط راست حرکت کنید (یک بُعد) و جهت حرکت خود را تغییر ندهید، مسافت از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$|\Delta x| = |x_۲ - x_۱|$$

یعنی مسافت در این حالت قدرمطلق جابه‌جایی است، پس همواره مثبت است.

ایستگاه فکر

اشکان نیمه‌وقت در رستوران کار می‌کند و قرار است با دوچرخه سفارش مشتری را تحویل بدهد. رستوران و منزل مشتری در شکل زیر نشان داده شده است. جاهای خالی را با استفاده از کلمات «بیش‌تر - کم‌تر» پر کنید.

۱ **(الف)** اگر مسافت ( ) باشد.
(ب) زمان رکاب زدن ( ) است.

۲ **(پ)** اگر مسافت ( ) باشد.
(ت) زمان رکاب زدن ( ) است.

۱ **(ث)** اگر تندی ( ) باشد.
(ج) زمان رکاب زدن ( ) است.

۲ **(چ)** اگر تندی ( ) باشد.
(ح) زمان رکاب زدن ( ) است.

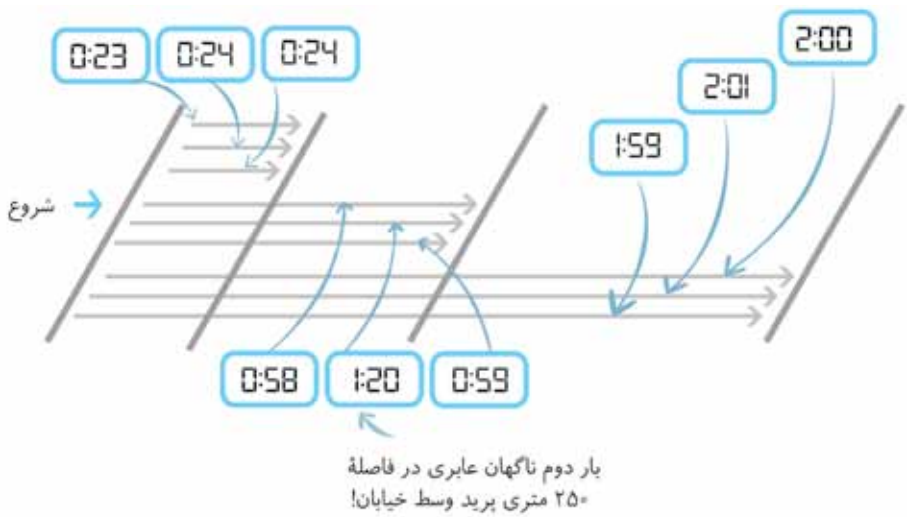
پاسخ

(الف) بیش‌تر / **(ب)** بیش‌تر / **(پ)** کم‌تر / **(ت)** کم‌تر / **(ث)** بیش‌تر / **(ج)** کم‌تر / **(چ)** کم‌تر / **(ح)** بیش‌تر

می‌خواهیم بدانیم **مسافت** از رستوران تا خانه و **تندی** رکاب زدن با دوچرخه چگونه به **زمانی** که طول می‌کشد تا اشکان به مقصد برسد، ربط دارد. ابتدا باید **اندازهٔ** مسافت و تندی را حساب کنیم.

اشکان با **تندی ثابت** رکاب می‌زند، پس باید همواره **مسافت یکسانی** را در **زمان یکسان** طی کند. یعنی اگر ۱km را در زمان مشخص طی کند، برای طی کردن ۲km به زمانی دو برابر زمان قبلی نیاز دارد و برای طی کردن ۳km به سه برابر و برای ۰/۵km به نصف زمان قبل.

برای محاسبهٔ تندی، از اشکان خواستیم سه‌بار این مسیر را برود و زمان را در فاصله‌های متوالی اندازه گرفتیم.



نتایج را در جدول زیر خلاصه می‌کنیم:

مسافت رکاب زدن (m)	زمان ۱ (s)	زمان ۲ (s)	زمان ۳ (s)	زمان متوسط (s) **
۱۰۰	۲۳	۲۴	۲۴	۲۳/۷
۲۵۰	۵۸	*۸۰	۵۹	۵۸/۵
۵۰۰	۱۲۰	۱۲۱	۱۱۹	۱۲۰

* این‌جا چون حرکت متوقف شده است، این عدد را کنار می‌گذاریم.

** حواستان به یکاهای مورد استفاده باشد.

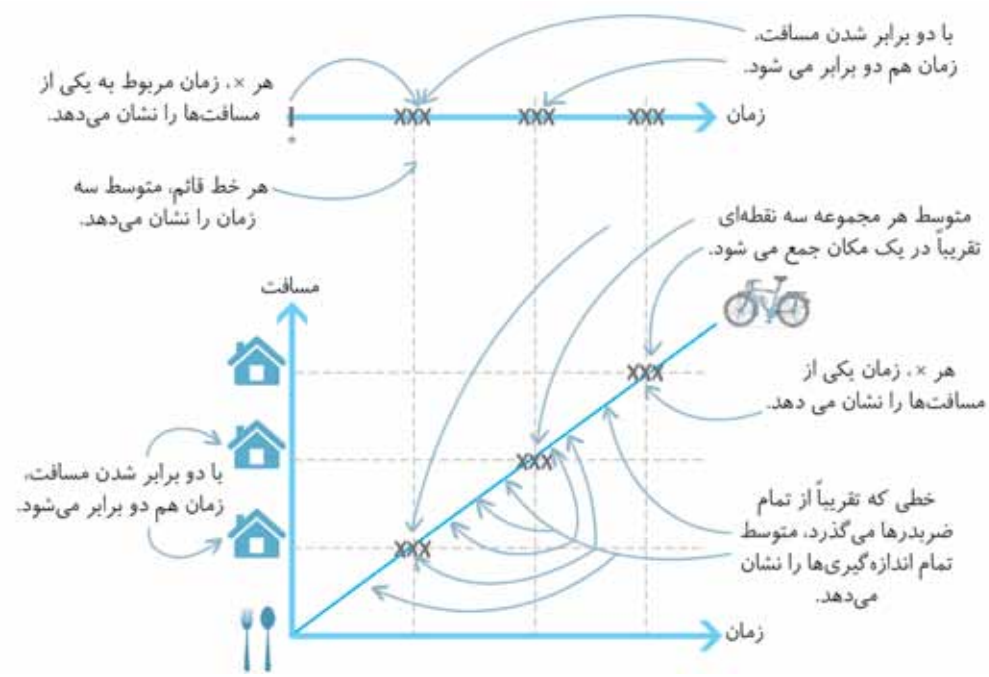
آزمایش را سه‌بار انجام دادیم چون همواره در آزمایش‌ها خطا وجود دارد و ما باید **متوسط** یا **میانگین** نتایج مختلف را حساب کنیم.

با استفاده از داده‌های جدول بالا، **تندی** اشکان را حساب می‌کنیم. تندی را برحسب کیلومتر بر ساعت یا متر بر ثانیه می‌نویسیم. پس یکای تندی همان مسافت تقسیم بر زمان است.

$$\text{تندی} = \frac{\text{مسافت} \rightarrow \text{کیلومتر}}{\text{زمان} \rightarrow \text{ساعت}}$$

مسافت رکاب زدن (m)	زمان متوسط (s)	تندی متوسط (متر بر ثانیه)
۱۰۰	۲۳/۷	۴/۲۲
۲۵۰	۵۸/۵	۴/۲۷
۵۰۰	۱۲۰	۴/۱۷

چرا سه جواب مختلف به‌دست آوردیم؟ چون در آزمایش‌ها **همواره** خطا وجود دارد. بهترین راه محاسبهٔ متوسط نتایج این است که آن‌ها را روی نمودار نشان بدهیم. در نمودار زیر، هر کدام از ضربدرها زمان یکی از مسافت‌ها را نشان می‌دهد. چون سه‌بار آزمایش کردیم، برای طی کردن هر مسافت، یک زمان به‌دست آوردیم.



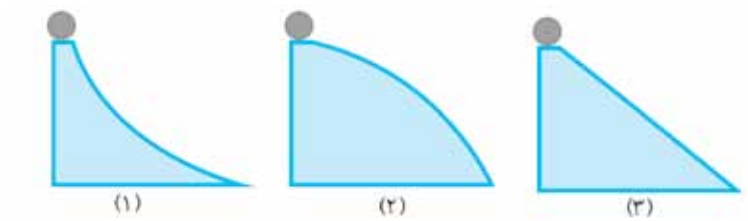
اگر اشکان با تندی ثابت حرکت کند، با استفاده از این نمودار می‌تواند زمان لازم برای طی کردن هر مسافتی را به‌دست آورد.

تکنیک‌های رسم نمودار

- اگر می‌خواهید نشـان بدهید، چگونه چیزی مانند مسـافت، سرعت یا شتاب با زمان تغییر می‌کند، همواره **زمان** را بر **محور افقی** قرار دهید.
- حتماً **یکاها** را کنار محورها بنویسید!
- نقاط را با استفاده از محورهای افقی و عمودی بر صفحهٔ مختصات مشخص کنید. سپس آن‌ها را به هم وصل کنید.
- اگر نمودار شما **خط راست** باشد، در واقع دارید **متوسط** یا **میانگین آن** را حساب می‌کنید.

ایستگاه فکر

در شـکل‌های زیر، اگر ارتفاع‌ها و توپ‌ها یکسـان باشند و توپ‌ها را هم‌زمان رها کنیم، کدام توپ زودتر به انتهای سطح شیب‌دار می‌رسد؟

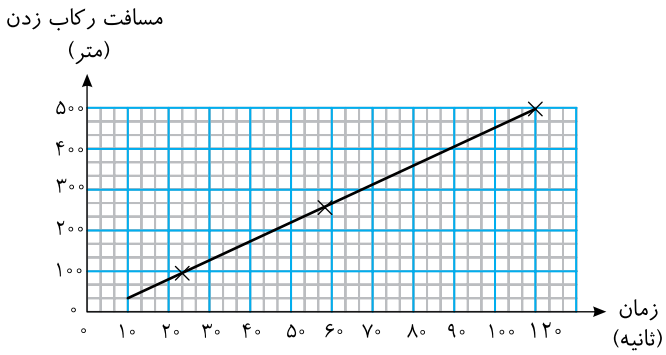


پاسخ

۱- توپی که از سـطحی با بیش‌ترین شـیب پایین بیاید، زودتر می‌رسد. چون اگر توپ در آغاز تندتر حرکت کند، تندی متوسط نسبت به دو سطح شیب‌دار دیگر بیش‌تر می‌شود. اگر شیب سطح بیش‌تر باشد، توپ در زمان کم‌تر، تندی بیش‌تری کسب می‌کند و تندی متوسط بیش‌تر یعنی توپ در زمان کوتاه‌تری به انتهای مسیر می‌رسد.

داده‌های جدول زیر را در نمودار مسافت ـ زمان وارد کنید.

مسافت رکاب زدن (m)	زمان ۱ (s)	زمان ۲ (s)	زمان ۳ (s)
۱۰۰	۲۳	۲۴	۲۴
۲۵۰	۵۸	۸۰	۵۹
۵۰۰	۱۲۰	۱۲۱	۱۱۹



پس از یافتن نقاط، **بهترین خط راستی** را که از این نقاط می‌گذرد، رسم کنید؛ درنتیجه می‌توانید برای هر زمان دلخواه، مسافت مربوط به آن را پیدا کنید.

ایستگاه فکر

به نظر شما چقدر طول می‌کشد تا اشکان ۴۰۰m را طی کند؟

پاسخ

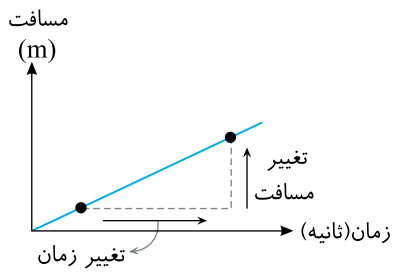
با توجه به نمودار، از نقطهٔ ۴۰۰m روی محور عمودی خطی موازی محور افقی رسم می‌کنیم تا خط راست را قطع کند. جواب تقریباً در $t=۹۰s$ است.

چطور می‌توان تندی اشکان را از نمودار به‌دست آورد؟ تندی اشکان **شیب نمودار مسافت ـ زمان** است. هرچه تندی بیش‌تر باشد، شیب نمودار بیش‌تر است.

روش محاسبهٔ شیب نمودار

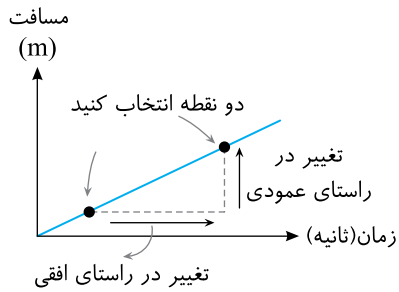
برای محاسبهٔ شیب نمودار خط راست، دو نقطه روی آن انتخاب کنید. سپس **تغییر در راستای عمودی** را بر **تغییر در راستای افقی** تقسیم کنید. در نمودار، محور عمودی مسافت و محور افقی زمان است. پس شیب نمودار نشان‌دهنده **تغییر مسافت** تقسیم بر **تغییر زمان** است که دقیقاً همان معادلهٔ تندی است.

نمودار مسافت - زمان:



$$\text{تندی} = \frac{\text{تغییر مسافت}}{\text{تغییر زمان}}$$

نمودار مسافت - زمان:



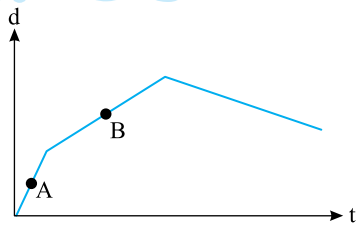
$$\text{شیب} = \frac{\text{تغییر در راستای عمودی}}{\text{تغییر در راستای افقی}}$$

توجه کنید که این‌جا به جای یک لحظهٔ زمان، یک بازهٔ زمانی را در نظر می‌گیریم پس **تندی متوسط** را حساب کرده‌ایم نه **تندی لحظه‌ای** را. چون نمودار ما خط راست است پس تندی ثابت است درنتیجه تندی متوسط و لحظه‌ای با هم برابرند.

حالا با استفاده از نمودار صفحهٔ قبل و محاسبهٔ شیب نمودار، تندی اشکان را حساب کنید.

ایستگاه فکر

اتومبیلی در راســتای خط مســتقیم حرکت می‌کند. نمودار مکان ـ زمان حرکت آن به‌صورت زیر است:



الف) آیا اتومبیل رو به عقب حرکت می‌کند؟

ب) سرعت لحظه‌ای در نقطهٔ A بیش‌تر است یا B؟

پاسخ

الف) اگر به شکل دقت کنید، این نمودار شامل سه خط راست است. در دو خط اول (با شیب مثبت) با افزایش زمان، فاصله از مبدأ در جهت مثبت زیاد می‌شود، یعنی اتومبیل در جهت مثبت از مبدأ دور می‌شود. اما در خط سوم (با شــیب منفی) با افزایش زمان، فاصله از مبدأ کاهش می‌یابد یعنی اتومبیل به مبدأ نزدیک می‌شــود. درنتیجه در این حالت اتومبیل رو به عقب حرکت می‌کند.

ب) سرعت لحظه‌ای، شیب خط مماس بر نمودار مکان ـ زمان در آن لحظه است. اگر نمودار (مانند این مثال) خط راست باشد، خط مماس بر نمودار منطبق می‌شود. در نمودار بالا شیب خط اول (A) از خط دوم (B) بیش‌تر است [از محور t دورتر است] درنتیجه سرعت لحظه‌ای در نقطهٔ A از B بیش‌تر است.

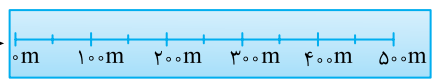
جستجوی گنج

اشکان میان خرت و پرت انبار قدیمی مادربزرگش، نقشهٔ گنجی پیدا کرد. نقشه چهار کلید داشت و به‌صورت زیر بود:

کلید ۱

- ✓ ۶۰ متر به شمال
- ✓ ۱۵۰ متر به جنوب
- ✓ ۱۲۰ متر به شمال
- ✓ ۶۰ متر به جنوب
- ✓ ۲۰ متر به جنوب
- ✓ ۴۰ متر به شمال

مقیاس نقشه →



جابه‌جایی با **مســافت** فرق دارد. **مســافت**، کل مســیر طی شده است. اگر ۷۰m به شمال و ۳۰m به جنوب بروید، مسافت کل شــما ۱۰۰m اســت. این کمیت فقط یک عدد با یکا است. (بدون جهت اســت) اندازه‌ای که جهت ندارد. **جابه‌جایی**، تغییر مکان بین دو نقطه بدون توجه به مســیر بین آن دو نقطه اســت. اگر ۷۰m به شــمال و ۳۰m به جنوب بروید، جابه‌جایی شما ۴۰m **به شمال** خواهد بود. چون اکنون در ۴۰ متری نقطهٔ آغاز حرکتتان به طرف شمال قرار دارید. این کمیت هم اندازه و هم جهت دارد. (دارای اندازه و جهت است)

نکته

مسافت یک **کمیت نرده‌ای** است یعنی فقط اندازه دارد، مثلاً ۱۰m.
جابه‌جایی یک **کمیت برداری** است، یعنی هم اندازه و هم جهت دارد، مثلاً ۱۰m **به جنوب**.
می‌توانیم بردارها را با پیکان نشان بدهیم.

ایستگاه فکر

با توجه به کلید اول، **مسافت** و **جابه‌جایی** اشکان را به‌دست آورید.

پاسخ

برای محاسبهٔ جابه‌جایی در مثال خودمان می‌توانیم مجموع پیکان‌های شمال را از مجموع پیکان‌های جنوب کم کنیم یا بالعکس. به این ترتیب بردارها را با هم جمع می‌کنیم.
بنابراین جابه‌جایی اشکان برابر است با:

جابه‌جایی اشکان $= +۶۰-۱۵۰+۱۲۰-۶۰-۲۰+۴۰=-۱۰m$

(علامت منفی در محاسبه (عمل تفریق) به معنای جهت مخالف است.) (در اینجا جهت مثبت حرکت به سمت شمال می‌باشد)
یعنی اشکان در فاصلهٔ ۱۰ متری از نقطهٔ آغاز خود به سمت جنوب قرار دارد.

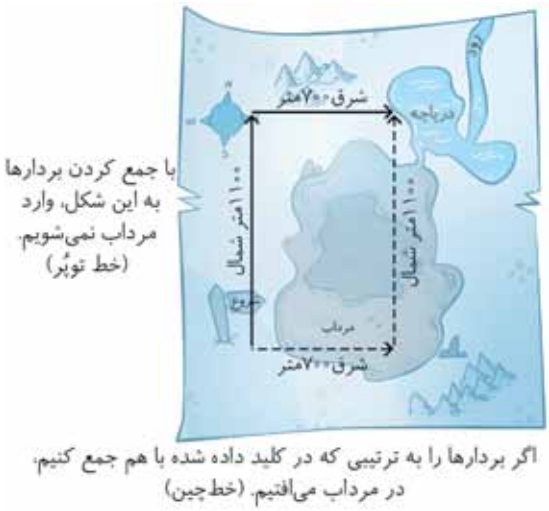
مسافت اشکان $= ۶۰+۱۵۰+۱۲۰+۶۰+۲۰+۴۰=۴۵۰m$

کلید ۲

حالا از جایی که هستی ۷۰۰m به شرق و سپس ۱۱۰۰m به شمال برو.
اشکان: اما در این‌صورت داخل مرداب می‌افتم!

کلید ۳

حالا ۳۳۰ درجه در جهت پادساعتگرد بچرخ و ۴۰۰ متر رو به شرق پیش برو.
کلید ۴ آن‌جاست.

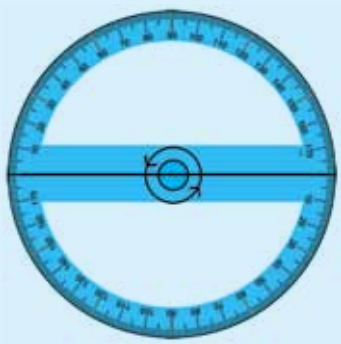


با جمع کردن بردارها به این شکل، وارد مرداب نمی‌شویم. (خط توپُر)

اگر بردارها را به ترتیبی که در کلید داده شده با هم جمع کنیم، در مرداب می‌افتیم. (خط‌چین)

روش اندازه‌گیری زاویه

با استفاده از نقاله می‌توانیم تا ۱۸۰ درجه را اندازه بگیریم. اما ۳۳۰ درجه چطور؟
با استفاده از نقالهٔ دوم می‌توانیم بقیهٔ زاویه یعنی $۳۳۰-۱۸۰=۱۵۰$ را اندازه بگیریم.



برای اندازه‌گیری زاویه‌ای بیش از ۱۸۰° می‌توان از دو نقاله استفاده کرد.

نکته

برای اندازه‌گیری زاویه باید از راستای افقی (محور افقی مثبت) شروع کنیم و در جهت پادساعتگرد (خلاف جهت عقربه‌های ساعت) پیش برویم تا به زاویهٔ دلخواه برسیم.

راه دوم: در این مسأله ۳۳۰ درجه فقط ۳۰ درجه تا ۳۶۰ درجه (یک دور کامل) فاصله دارد. پس ۳۳۰ درجه پادساعتگرد همان ۳۰ درجه ساعتگرد است.

حالا ۴۰۰ متر در راستای جدید پیش می‌رویم. با توجه به مقیاس نقشه این‌جا هر $0/5cm=100m$.

کلید ۴

با استفاده از قایق موتوری در راستای رودخانه به مدت یک دقیقه و با سرعت $1/5\frac{m}{s}$ به سمت شمال پیش برو تا به گنج برسی.

سرعت با تندی چه فرقی دارد؟

سرعت هم اندازه دارد و هم جهت. یکای سرعت $\frac{m}{s}$ (متر بر ثانیه) است اما در برخی مواقع برحسب $\frac{km}{h}$ هم نوشته می‌شود. تندی فقط اندازه دارد.

روش تبدیل $\frac{km}{h}$ و $\frac{m}{s}$ به یکدیگر

$$1\frac{km}{h}\times\frac{1h}{3600s}\times\frac{1000m}{1km}=\frac{1}{3/6}\frac{m}{s}$$

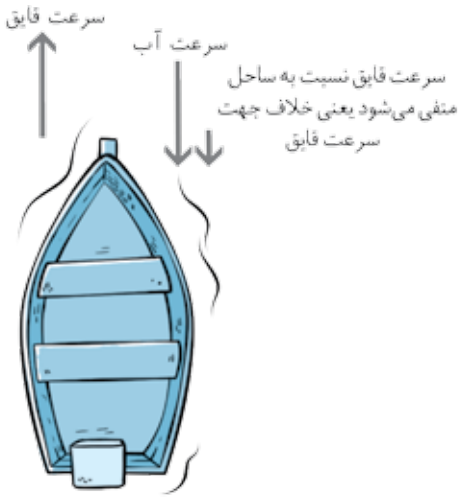
یعنی ضریب تبدیل ۳/۶ است. مثلاً $72\frac{km}{h}$ برحسب $\frac{m}{s}$ می‌شود:

$$\frac{72\frac{km}{h}}{3/6}=20\frac{m}{s}$$

نکته

سرعت **شکل برداری** تندی است. سرعت هم مانند تندی برحسب متر بر ثانیه بیان می‌شود. اما سرعت **جهت هم دارد. تندی یک کمیت نرده‌ای** و سرعت یک کمیت برداری است.

سرعت‌سنج خودرو، تندی لحظه‌ای را اندازه می‌گیرد.



اگر با سرعت $۱/۵\frac{m}{s}$، یک دقیقه با قایق پیش برویم کجا می‌رسیم؟

اما صبر کنید! باید سرعت جریان آب را هم در نظر بگیریم.

- در واقع این‌جا با مفهوم سرعت نسبی مواجه می‌شویم. اگر سرعت جریان آب رودخانه، خلاف جهت حرکت قایق باشد (چون سرعت یک کمیت برداری است و جهت دارد) و سرعت آب خیلی زیاد باشد (بیش‌تر از سرعت قایق) می‌تواند سبب شود که قایق رو به عقب حرکت کند.

اشکان باید قایق را از سرعت صفر به $۱/۵\frac{m}{s}$ برساند یعنی به آن شتاب بدهد. قایق پس از آن با سرعت ثابت $۱/۵\frac{m}{s}$ به حرکت خود ادامه می‌دهد.

ایستگاه فکر

(الف) اگر اشکان یک برگ را در رودخانه بیندازد و برگ در مدت $۲۰s$ به اندازهٔ $۱۰m$ در راستای شمال پیش برود. سرعت جریان آب رودخانه چقدر است؟

(ب) تندی قایق نسبت به رودخانه چقدر باشد تا اشکان به گنج برسد؟

پاسخ

(الف) سرعت جریان به سمت شمال $=\frac{۱۰m}{۲۰s}=\frac{۱}{۲}\frac{m}{s}$

(ب) برای سرعت نسبی داریم:

سرعت قایق نسبت به رودخانه = سرعت جریان + سرعت قایق نسبت به آب ساکن

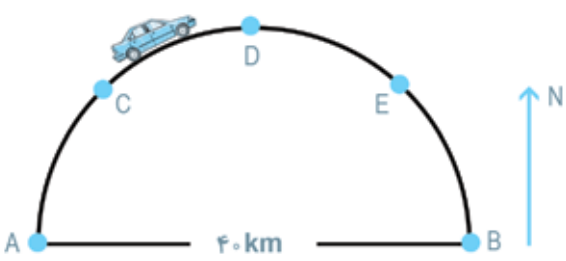
$=۰/۵+۱/۵=۲\frac{m}{s}$

تعریف شتاب

شتاب آهنگ تغییر سرعت است. اگر چیزی شتاب بگیرد، سرعتش تغییر می‌کند. شتاب یک کمیت برداری است که اندازه و جهت دارد.

جهت بردار شتاب همان جهت تغییر سرعت است، نه خود سرعت! یعنی جسم می‌تواند به جلو حرکت کند اما شتابش رو به عقب باشد!

ایستگاه فکر



اتومبیلی با تندی ثابت به مدت یک ساعت روی مسیر نیم‌دایرهٔ زیر از A تا B را طی می‌کند. (فرض کنید $\pi=۳$)

(الف) جابه‌جایی اتومبیل چقدر است؟

(ب) اتومبیل چه مسافتی را طی کرده است؟

(پ) سرعت متوسط اتومبیل چقدر است؟

(ت) تندی متوسط اتومبیل چقدر است؟

(ث) جهت سرعت لحظه‌ای اتومبیل در نقاط A، B، C، D و E را مشخص کنید.

پاسخ

(الف) گفتیم که جابه‌جایی، تغییر خالص مکان است. تغییر خالص مکان اتومبیل از نقطهٔ A تا B خط راستی است که A را به B وصل می‌کند و مطابق شکل مساوی ۴۰km است.

(ب) مسافت کل، مسیری است که اتومبیل از A تا B طی می‌کند که برابر است با محیط نیم‌دایره؛ بنابراین:

$$\frac{۴۰\text{m}\times\pi}{۲}=\frac{۱۲۰\text{m}}{۲}=۶۰\text{m}$$

(پ) گفتیم که سرعت، شکل برداری تندی است، یعنی علاوه بر اندازه، جهت هم دارد. از طرف دیگر سرعت متوسط از رابطهٔ زیر تعریف می‌شود:

$$\text{سرعت متوسط}=\frac{\Delta x\ \text{جابه‌جایی}\rightarrow}{\Delta t\ \text{زمان}\rightarrow}$$

پس داریم:

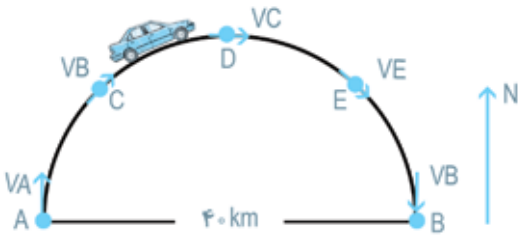
$$\text{سرعت متوسط از A تا B}=\frac{۴۰\text{km}}{۱\text{h}}=۴۰\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

(h: ساعت)

(ت) در تعریف تندی متوسط با مسافت سروکار داریم نه جابه‌جایی. پس:

$$\text{تندی متوسط از A تا B}=\frac{۶۰\text{km}}{۱\text{h}}=۶۰\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

(ث) سرعت لحظه‌ای یک بردار است و در هر لحظه بر مسیر حرکت مماس است.



با توجه به اطلاعات کلید ۴، مسافت اشکان در دریاچه در راستای شمال را به‌دست می‌آوریم:

$$۱/۵\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\times۶۰\text{s}=۹۰\text{m}$$

انواع حرکت‌های شتاب‌دار

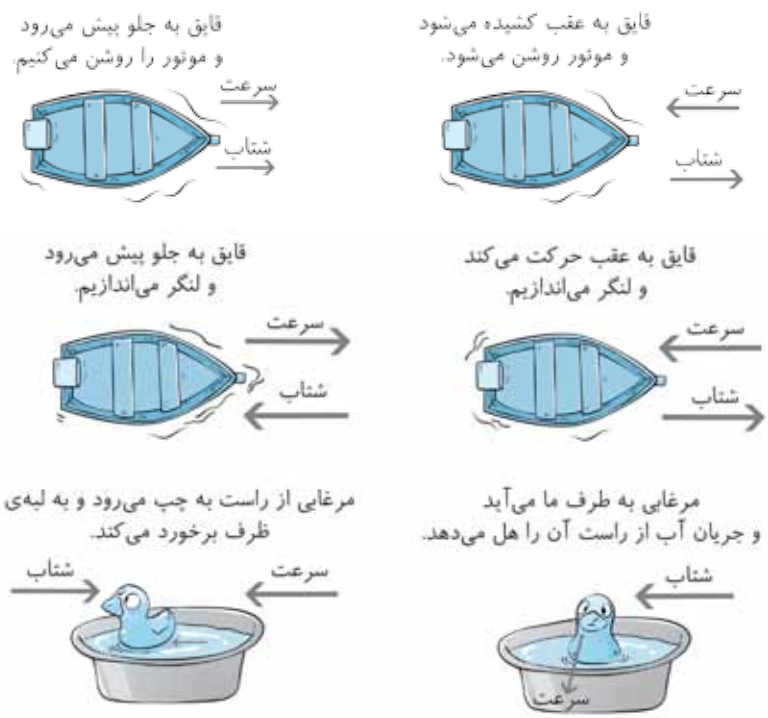
تغییر جهت حرکت

کاهش سرعت یا ترمز کردن

افزایش سرعت

ایستگاه فکر

بردار سرعت و شتاب را در موارد زیر رسم کنید.



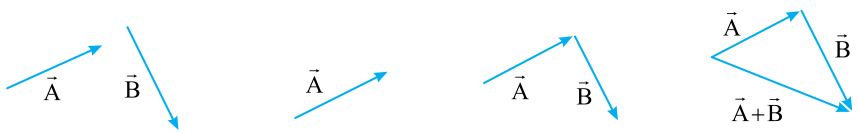
نکته

رابطهٔ سرعت و جابه‌جایی دقیقاً مانند رابطهٔ تندی و مسافت است یعنی:

$$\text{تندی} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}} \quad ، \quad \text{سرعت} = \frac{\text{جابه‌جایی}}{\text{زمان}}$$

نحوهٔ جمع کردن دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$

- ابتدا بردار $\vec{A}$ را رسم کنید.
- ابتدای $\vec{B}$ را با حفظ جهت روی انتهای $\vec{A}$ قرار دهید.
- از ابتدای $\vec{A}$ پیکانی تا انتهای $\vec{B}$ رسم کنید.
- این بردار $\vec{A}+\vec{B}$ یا بردار برآیند دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ است.



تفریق دو بردار

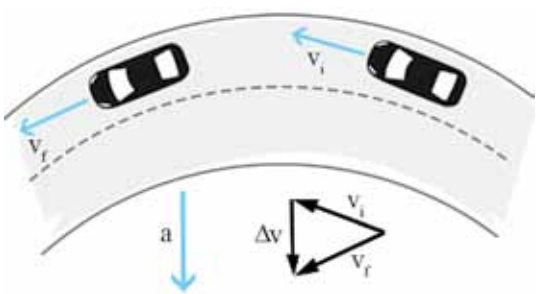
- خودرو در حال تغییر جهت حرکت در سر پیچ را در نظر بگیرید.

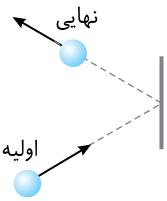
v_i سرعت اولیه و v_f سرعت نهایی است.

بردار تغییر سرعت Δv، جهت شتاب را نشان می‌دهد.

$$\Delta v = v_f - v_i$$

با توجه به شکل می‌توانید بردار تفریق دو بردار را پیدا کنید.





➢ وقتی توپ به دیوار برخورد کند و برگردد، جهت سرعت‌اش تغییر می‌کند. درنتیجه حرکت توپ شتاب‌دار است.

یک روز در بیابان

روباه مکار می‌خواهد با حساب و کتاب شترمرغ فرز و چابک را که هر روز سر موقع سر پیچ جاده پیدا می‌شود، شکار کند.

شترمرغ با تندی ثابت $۵۴\ \frac{km}{h}$ می‌دود و فاصلهٔ سر پیچ جاده تا نقطهٔ زیر بالابری که روباه بالای آن است، ۳۰ متر است.

روباه به یک قفس هم نیاز دارد و شرکت سازندهٔ قفس ادعا می‌کند اگر قفس با تندی بیش‌تر از $۲۵\ \frac{m}{s}$ به زمین برخورد کند، خُرد و خاکشیر می‌شود!

ارتفاع بالابر چقدر باشد تا وقتی روباه آن را رها می‌کند، درست روی شترمرغ بیفتد و آیا قفس می‌شکند یا نه؟

نکته

زمانی که طول می‌کشد تا شترمرغ به نقطهٔ هدف برسد با زمانی که طول می‌کشد تا قفس از بالا به نقطهٔ هدف برسد، با هم برابرند.

ابتدا زمانی را که طول می‌کشد تا شترمرغ به نقطهٔ هدف برسد، حساب می‌کنیم:

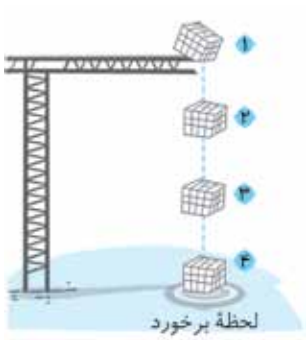
$$\frac{۵۴\ \frac{km}{h}}{۳/۶}=۱۵\ \frac{m}{s}$$

تندی دویدن شترمرغ برحسب متر بر ثانیه:

$$\text{تندی}=\frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}}\Rightarrow \text{زمان}=\frac{\text{مسافت}}{\text{تندی}}\Rightarrow \text{زمان}=\frac{۳۰m}{۱۵\ \frac{m}{s}}=۲s$$

پس نتیجه می‌گیریم ۲ ثانیه طول می‌کشد تا قفس از نقطهٔ رها شدن به زمین برسد.

برای قفس هنگام سقوط چه اتفاقی می‌افتد؟ به شکل روبه‌رو توجه کنید.



نقطهٔ ۱) ناگهان از حال سکون، رو به پایین، شروع می‌کنیم به حرکت.

نقطهٔ ۲) با تندی بیش‌تر از نقطهٔ ۱ پایین می‌رویم.

نقطهٔ ۳) با تندی بیش‌تر از نقطهٔ ۲ پایین می‌رویم.

نقطهٔ ۴) این‌جا بیش‌ترین تندی پیش از برخورد به زمین را داریم.

(اگر ارتفاع بالابر مناسب باشد، درست بعد از ۲S به این‌جا می‌رسیم.)

چرا تندی قفس هنگام سقوط افزایش می‌یابد؟

چون نیروی گرانشی زمین سبب **شتاب گرفتن** قفس می‌شود. شتاب **آهنگ تغییر سرعت** است. قفس شتاب می‌گیرد چون سرعتش دائماً تغییر می‌کند. قفس با تندی صفر شروع به حرکت می‌کند و تندی‌اش با نزدیک شدن به زمین بیش‌تر و بیش‌تر می‌شود.