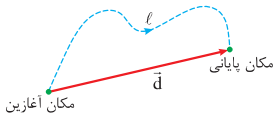
فصل یک: حرکت بر خط راست

شناخت حرکت

– مسافت و جابه‌جایی –

مسافت (ℓ)	جابه‌جایی ($\vec{d}$)
طول مسیر طی‌شده	پاره‌خط جهت‌داری که مکان آغازین را به مکان پایانی وصل می‌کند.
از جنس طول، یکا در SI: متر (m)	از جنس طول، یکا در SI: متر (m)
به مسیر حرکت بستگی دارد.	به مسیر حرکت بستگی ندارد.
نرده‌ای، جهت ندارد.	برداری، جهت دارد.
همواره $\ell \geq d$	

شرط برابری مسافت با اندازهٔ جابه‌جایی:

اولاً: حرکت روی خط راست باشد. ثانیاً: جهت حرکت عوض نشود.

–تندی متوسط و سرعت متوسط –

تندی متوسط	سرعت متوسط
مسافت طی‌شده در واحد زمان	جابه‌جایی در واحد زمان
$s_{av} = \frac{\ell}{\Delta t}$	$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$
یکا در SI: متر بر ثانیه (m / s)	یکا در SI: متر بر ثانیه (m / s)
نرده‌ای، جهت ندارد.	برداری، جهت دارد.
به مسیر حرکت بستگی دارد.	به مسیر حرکت بستگی ندارد.

نکته

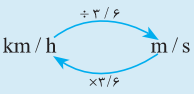
چند نکته:

۱ همواره: $s_{av} \geq |\vec{v}_{av}|$

۲ شرط برابری تندی متوسط با اندازهٔ سرعت متوسط (همان شرط‌های برابری مسافت و اندازهٔ جابه‌جایی):

اولاً: حرکت روی خط راست باشد. ثانیاً: جهت حرکت تغییر نکند.

۳ کیلومتر بر ساعت (km / h)، یکای متداول دیگر سرعت است.

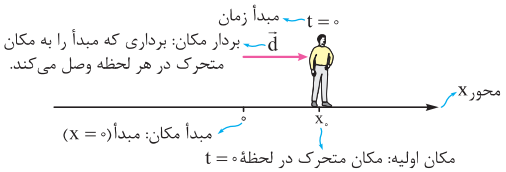


$72\ km/h = 20\ m/s$ و $54\ km/h = 15\ m/s$ و $36\ (km/h) = 10\ m/s$ و $18\ (km/h) = 5\ m/s$

– حرکت روی محور x –

معادلهٔ مکان ـ زمان:

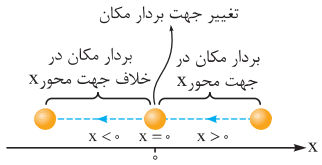
تابعی که ورودی آن زمان (t) و خروجی آن مکان (x) است: $x = f(t)$

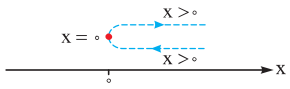


جهت بردار مکان	علامت x	موقعیت متحرک
به سمت راست در جهت محور x (در جهت مثبت محور x)	$x > 0$	جسم در xهای مثبت قرار دارد.
به سمت چپ در خلاف جهت محور x (در جهت منفی محور x)	$x < 0$	جسم در xهای منفی قرار دارد.

@DaneshSad

تغییر جهت بردار مکان ↔ عبور متحرک از مبدأ ↔ x برابر صفر شده و علامت آن عوض شود.



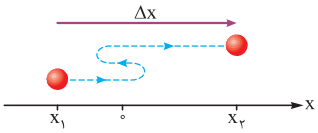


تذکر اگر x برابر صفر شده ولی علامت آن عوض نشود، جسم به مبدأ می‌رسد، اما از آن عبور نمی‌کند (برمی‌گردد).

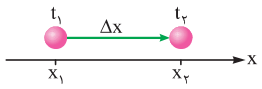
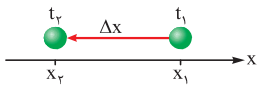
چند اصطلاح زمانی مهم

اصطلاح	معنی (تمام مقادیر برحسب ثانیه هستند.)	مثال
$t = k$	یعنی لحظه‌ای که زمان‌سنج مقدار k را نشان می‌دهد.	لحظهٔ $t = ۲s$ یعنی لحظه‌ای که زمان‌سنج ۲s را نشان می‌دهد.
ثانیهٔ nام	یعنی بازهٔ زمانی $t_۱ = n-۱$ تا $t_۲ = n$	ثانیهٔ چهارم یعنی بازهٔ زمانی $t_۱ = ۳s$ تا $t_۲ = ۴s$
m ثانیهٔ اول	یعنی بازهٔ زمانی $t_۱ = ۰$ تا $t_۲ = m$	۸ ثانیهٔ اول یعنی بازهٔ زمانی $t_۱ = ۰$ تا $t_۲ = ۸s$
m ثانیهٔ nام	یعنی بازهٔ زمانی $t_۱ = m(n-۱)$ تا $t_۲ = mn$	۳ ثانیهٔ چهارم یعنی بازهٔ زمانی $t_۱ = ۹s$ تا $t_۲ = ۱۲s$
شروع ثانیهٔ nام	یعنی لحظهٔ $t = n-۱$	شروع ثانیهٔ ششم یعنی لحظهٔ $t = ۵s$
پایان ثانیهٔ nام	یعنی لحظهٔ $t = n$	پایان ثانیهٔ ششم یعنی لحظهٔ $t = ۶s$

جابه‌جایی در حرکت روی محور x



$$\Delta x = x_۲ - x_۱$$

جهت بردار جابه‌جایی	علامت Δx	شکل	نکته
به سمت راست در جهت محور x در جهت مثبت محور x	$\Delta x > ۰$	جسم به سمت راست جابه‌جا شده.  	مسیر حرکت هر چیزی می‌تواند باشد.
به سمت چپ در خلاف جهت محور x در جهت منفی محور x	$\Delta x < ۰$	جسم به سمت چپ جابه‌جا شده.  	

سرعت متوسط در حرکت روی محور x

$$v_{av} = \frac{\Delta x \to \text{جابه‌جایی: متر } (m)}{\Delta t \to \text{زمان: ثانیه } (s)} \leftarrow \text{سرعت متوسط: متر بر ثانیه } (m/s)$$

نکته

علامت (جهت) سرعت متوسط و جابه‌جایی همیشه یکسان است.

سرعت لحظه‌ای، تندی لحظه‌ای

تندی لحظه‌ای (s) یا تندی	سرعت لحظه‌ای ($\vec{v}$) یا سرعت
نرده‌ای، جهت ندارد.	برداری، جهت دارد. جهت: مماس بر مسیر حرکت
همواره: تندی لحظه‌ای = اندازهٔ سرعت لحظه‌ای، $s = \lvert \vec{v} \rvert$	

@DaneshSad

معادلهٔ سرعت ـ زمان: تابعی که ورودی آن زمان (t)، خروجی آن سرعت (v) است: $v = f(t)$

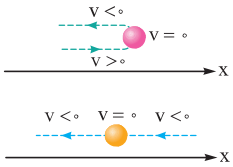
در حرکت روی محور x:

علامت سرعت	جهت حرکت	شکل
مثبت	در جهت محور x به سمت راست	$v > 0$
منفی	در خلاف جهت محور x به سمت چپ	$v < 0$

شرط تغییر جهت حرکت

سرعت برابر صفر شده و علامت آن عوض شود.

تذکر اگر سرعت صفر شده، ولی علامت آن عوض نشود، یعنی متحرک متوقف شده، اما جهت حرکتش عوض نشده (یعنی در همان جهت ادامه داده است).



شتاب ($\vec{a}$)

شتاب یعنی آهنگ تغییر سرعت

- سرعت ثابت ⟵ $a = 0$
- سرعت متغیر (می‌تواند اندازهٔ سرعت یا جهت سرعت یا هر دو متغیر باشد.) ⟵ $a \neq 0$

تذکر هر حرکتی که روی مسیر مستقیم نباشد، حتماً شتاب‌دار است (چون جهت حرکت آن پیوسته عوض می‌شود).

شتاب متوسط ($\vec{a}_{av}$)

سرعت در لحظهٔ t_1 — سرعت در لحظهٔ t_2

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \xrightarrow{\text{در حرکت روی محور x}} a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

تذکر به علامت v_1 و v_2 دقت کن!

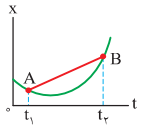
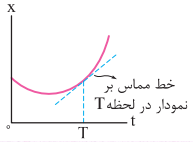
نکته

علامت (جهت) شتاب متوسط و تغییر سرعت همیشه یکسان است.

حرکت تندشونده و کندشونده

نوع حرکت	مفهوم	علامت سرعت و شتاب
تندشونده	تندی (اندازهٔ سرعت): در حال افزایش	هم‌علامت (هم‌جهت)
کندشونده	تندی (اندازهٔ سرعت): در حال کاهش	با علامت مختلف (در جهت مخالف هم)

نمودار مکان ـ زمان

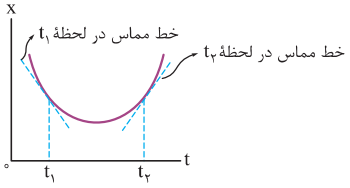
سرعت متوسط	سرعت لحظه‌ای
شیب خط واصل دو نقطه	شیب خط مماس در یک نقطه
	
شیب خط AB سرعت متوسط در بازهٔ t_1 تا t_2 = $V_{av(t_1,t_2)}$	شیب خط‌چین مماس سرعت در لحظهٔ $V_T = T$

نکته

اگر نمودار مکان ـ زمان خطی باشد ⟵ شیب: ثابت ⟵ سرعت: ثابت ⟵ سرعت متوسط در هر بازه با سرعت لحظه‌ای در هر لحظه برابر است.

محاسبهٔ شتاب متوسط در نمودار مکان ـ زمان

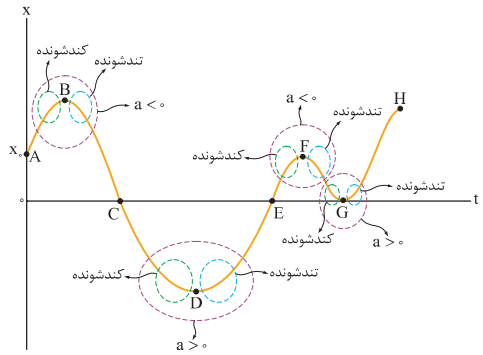
ابتدا به کمک شیب خط مماس، سرعت لحظه‌ای در لحظه‌های t_1 و t_2 را به دست می‌آوریم و بعد به سراغ رابطهٔ زیر می‌رویم:



شیب خط مماس در لحظهٔ t_2 — شیب خط مماس در لحظهٔ t_1

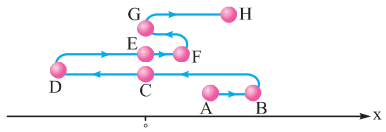
$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

@DaneshSad

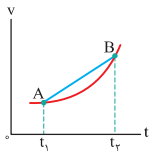


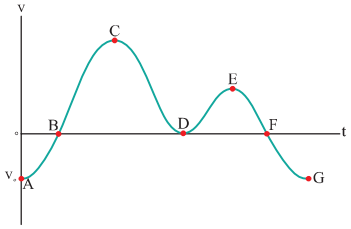
سوژه	نشانه در نمودار مکان ـ زمان	نمونه در نمودار بالا
$x > 0$ ، بردار مکان در جهت محور x	بالای محور t	A تا C، E تا G، G تا H
$x < 0$ ، بردار مکان در خلاف جهت محور x	پایین محور t	C تا E
$x = 0$ ، متحرک روی مبدأ است.	منطبق بر محور t	C ،E ،G
عبور از مبدأ	x برابر صفر شده و علامت آن تغییر کند.	C و E (در نقطهٔ G به مبدأ رسیده، ولی از آن عبور نکرده.)
حرکت در جهت محور x $(v > 0)$	شیب نمودار مثبت باشد. نمودار صعودی باشد.	A تا B، D تا F، G تا H
حرکت در خلاف جهت محور x $(v < 0)$	شیب نمودار منفی باشد. نمودار نزولی باشد.	B تا D، F تا G
تغییر جهت حرکت	قله‌ها و دره‌ها، نقاط اکسترمم	B ،D ،F ،G
شتاب در جهت محور x $(a > 0)$	تقعر نمودار رو به بالا، این‌جوری: ∪ و ∪ و ...	روی نمودار مشخص شده!
شتاب در خلاف جهت محور x $(a < 0)$	تقعر نمودار رو به پایین، این‌جوری: ∩ و ∩ و ...	روی نمودار مشخص شده!
حرکت تندشونده	بلافاصله بعد از قله و دره	روی نمودار مشخص شده!
حرکت کندشونده	بلافاصله قبل از قله و دره	روی نمودار مشخص شده!

مسیر حرکت متحرک:



نمودار سرعت ـ زمان

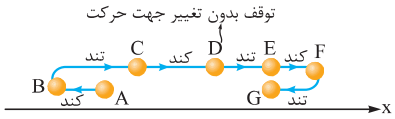
شتاب متوسط	شتاب لحظه‌ای
شیب خط واصل دو نقطه	شیب خط مماس بر یک نقطه
	
شیب خط AB = شتاب متوسط در بازهٔ t_1 تا t_2 = $a_{av(t_1,t_2)}$	شیب خط‌چین مماس = شتاب در لحظهٔ T = a_T



@DaneshSad

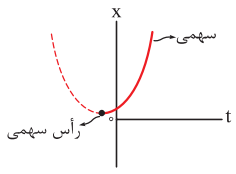
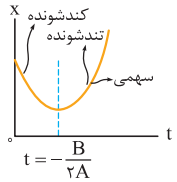
سوژه	نشانه در نمودار سرعت ـ زمان	نمونه در نمودار صفحهٔ قبل
حرکت در جهت محور x	بالای محور t	B تا D، D تا F
حرکت در خلاف جهت محور x ($v<0$)	پایین محور t	A تا B، F تا G
سکون! ($v=0$)	منطبق بر محور x	F, D, B
تغییر جهت حرکت	قطع محور t	B و F (در نقطهٔ D متحرک متوقف شده، اما جهت حرکت آن عوض نشده!)
شتاب در جهت محور x ($a>0$)	شیب نمودار مثبت باشد. نمودار صعودی باشد.	A تا C، D تا E
شتاب در خلاف جهت محور x ($a<0$)	شیب نمودار منفی باشد. نمودار نزولی باشد.	C تا D، E تا G
تغییر جهت شتاب متحرک	قله‌ها و دره‌ها، نقاط اکسترمم	E, D, C
حرکت تندشونده	دورشدن از محور t	B تا C، D تا E، F تا G
حرکت کندشونده	نزدیک‌شدن به محور t	A تا B، C تا D، E تا F

مسیر حرکت متحرک:



نمودار $v-t$ (به تنهایی) مکان متحرک را مشخص نمی‌کند!

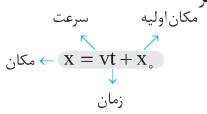
معادلهٔ مکان ـ زمان درجه‌دو ($x=At^2+Bt+C$)

حالت اول	حالت دوم
A و B هم‌علامت	A و B با علامت متفاوت
جهت حرکت عوض نمی‌شود.	جهت حرکت در لحظهٔ $t=\frac{-B}{2A}$ عوض می‌شود.
حرکت پیوسته تندشونده	حرکت قبل از لحظهٔ $t=\frac{-B}{2A}$ کندشونده و پس از آن تندشونده
نمونه‌ای از نمودار مکان ـ زمان 	نمونه‌ای از نمودار مکان ـ زمان 

بخش ۲: حرکت با سرعت ثابت

ویژگی‌ها: ۱ تندی: ثابت ۲ جهت حرکت: هرگز تغییر نمی‌کند ← اندازهٔ جابه‌جایی = مسافت ← اندازهٔ سرعت متوسط = تندی متوسط ۳ سرعت متوسط در هر بازه با سرعت لحظه‌ای در هر لحظه برابر است ← $v_{av}:v$ ۴ اندازهٔ جابه‌جایی (و مسافت) با زمان متناسب است. ۵ شتاب = صفر

معادلهٔ مکان ـ زمان:

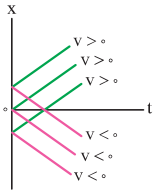


جابه‌جایی با سرعت ثابت:

$$\Delta x = v\Delta t$$

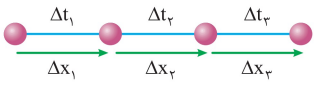
نمودار مکان ـ زمان

خطی به شیب v و عرض از مبدأ x_0



@DaneshSad

حرکت چندمرحله‌ای با سرعت ثابت



$$v_{av}=\frac{\Delta x_{کل}}{\Delta t_{کل}}=\frac{\Delta x_۱+\Delta x_۲+\Delta x_۳}{\Delta t_۱+\Delta t_۲+\Delta t_۳}$$

($\Delta x_{کل}=v_۱\Delta t_۱$، $\Delta t_{کل}=\frac{\Delta x_۱}{v_۱}$)

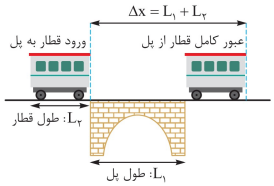
تذکر اگر در مرحله‌ای جهت حرکت تغییر کرده باشد Δx را برای آن مرحله، منفی در نظر می‌گیریم.

نکته

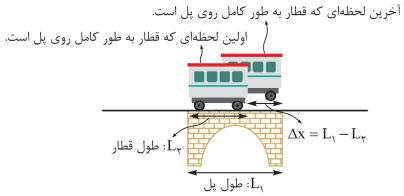
برای محاسبهٔ تندی متوسط باید مسافت کل را حساب کرد و بعد به سراغ $s_{av}=\frac{\ell_{کل}}{\Delta t_{کل}}$ رفت.

عبور قطار از پل (یا تونل)

الف) عبور کامل قطار از پل:



ب) قرارگرفتن کامل قطار روی پل:



حرکت با شتاب ثابت

سرعت متحرک، $a$ta ـ $a$ta تغییر می‌کند (در هر ثانیه $a$ta).

$$\text{شتاب ثابت} = \text{شتاب لحظه‌ای در هر لحظه} = \text{شتاب متوسط در هر بازهٔ زمانی} \Rightarrow a_{av}=a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

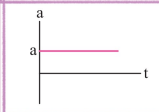
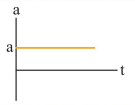
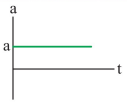
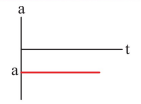
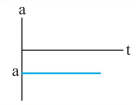
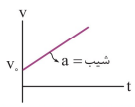
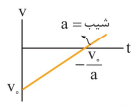
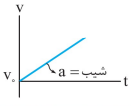
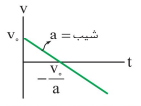
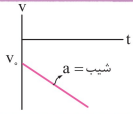
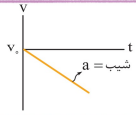
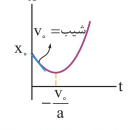
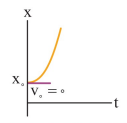
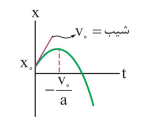
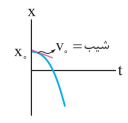
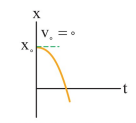
$$\text{معادلهٔ سرعت ـ زمان} \Rightarrow v=at+v_{\circ}$$ (شتاب، سرعت اولیه)

$$\text{معادلهٔ مکان ـ زمان} \Rightarrow x=\frac{۱}{۲}at^{۲}+v_{\circ}t+x_{\circ}$$ (مکان اولیه)

روابط حرکت با شتاب ثابت

نام فرمول / کمیت‌ها	$v_{\circ}$	Δx	v	t	a	فرمول
مستقل از جابه‌جایی	✓	×	✓	✓	✓	$v=at+v_{\circ}$
مستقل از سرعت نهایی	✓	✓	×	✓	✓	$\Delta x=\frac{۱}{۲}at^{۲}+v_{\circ}t$
مستقل از زمان	✓	✓	✓	×	✓	$v^{۲}-v_{\circ}^{۲}=۲a\Delta x$
مستقل از شتاب	✓	✓	✓	✓	×	$\Delta x=\frac{v+v_{\circ}}{۲}t$
جابه‌جایی در ثانیهٔ nام	✓	✓	×	به جای t، ثانیهٔ nام داریم.	✓	$\Delta x_{nام}=(n-۰/۵)a+v_{\circ}$

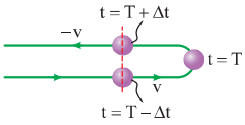
نمودارهای حرکت با شتاب ثابت

ویژگی / معادله	$a>۰$ $v_{\circ}>۰$	$a>۰$ $v_{\circ}<۰$	$a>۰$ $v_{\circ}=۰$	$a<۰$ $v_{\circ}>۰$	$a<۰$ $v_{\circ}<۰$	$a<۰$ $v_{\circ}=۰$
$a=$ مقدار ثابت						
$v=at+v_{\circ}$						
$x=\frac{۱}{۲}at^{۲}+v_{\circ}t+x_{\circ}$						
نوع حرکت	همواره تندشونده	ابتدا کندشونده و سپس تندشونده	همواره تندشونده	ابتدا کندشونده و سپس تندشونده	همواره تندشونده	همواره تندشونده
جهت حرکت	عوض نمی‌شود.	یک مرتبه عوض می‌شود.	عوض نمی‌شود.	یک مرتبه عوض می‌شود.	عوض نمی‌شود.	عوض نمی‌شود.

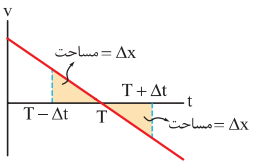
@DaneshSad

– تقارن در حرکت با شتاب ثابت –

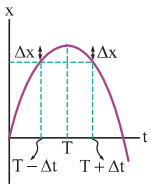
در حرکت با شتاب ثابت، حرکت متحرک، حول لحظه‌ای که جهت حرکت آن تغییر می‌کند، متقارن است:



مسیر حرکت

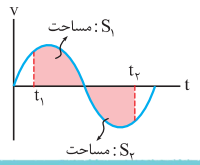


نمودار v ـ t



نمودار x ـ t

جابه‌جایی و مسافت در نمودار v – t

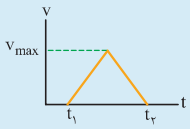


جابه‌جایی $= \Delta x = S_1 + (-S_2) \Rightarrow$ بالای محور t : $+$ و پایین محور t : $-$

مسافت $= \ell = S_1 + S_2 \Rightarrow$ بالا و پایین محور t : $+$

نکته

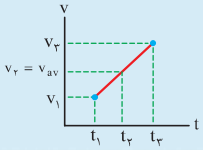
اگر در بازه‌ای نمودار v ـ t به شکل مثلث باشد، سرعت متوسط متحرک در این بازه برابر با نصف ارتفاع مثلث است:



$$v_{av(t_2 \text{ تا } t_1)} = \frac{1}{2} v_{max}$$

نکته

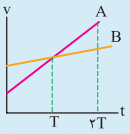
در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط در یک بازهٔ زمانی معین برابر با میانگین سرعت در ابتدا و انتهای آن بازه و هم‌چنین برابر با سرعت در لحظهٔ وسط بازه است.



$$t_2 = \frac{t_1 + t_3}{2} \Rightarrow v_{av} = \frac{v_1 + v_3}{2} = v_2$$

نکته

وقتی دو متحرک با شتاب ثابت حرکت می‌کنند و در مبدأ زمان در یک مکان قرار دارند، اگر در لحظهٔ T سرعتشان برابر شود، در لحظهٔ $2T$ به هم می‌رسند.



@DaneshSad