

نام و نام خانوادگی : نوید نادری علی زاده - شماره ی دانشجویی : ۸۶۱۰۸۷۴۴ - رشته : مهندسی برق -  
گروه : ۱ - زیر گروه : ۲ - تاریخ انجام آزمایش : ۸۷/۱/۱۷ - ساعت : ۱۰:۳۰ -  
دستیار آموزشی : خانم فضل علی

#### آزمایش شماره ی ۴

عنوان آزمایش: سرعت، شتاب خطی و قانون دوم نیوتن

هدف: اندازه گیری سرعت و شتاب در حرکت بر روی خط مستقیم و مطالعه ی رابطه ی بین نیرو، شتاب و جرم (قانون دوم نیوتن)

وسایل مورد نیاز: ریل هوا با پایه - شیر اتصال به پمپ هوا - آغاز گر حرکت - زمان سنج الکترونیکی - سنسور نوری - خرطومی اتصال به پمپ هوا - سره - خط کش با دقت نیم میلیمتر - تیغه ی پایه دار ۲ ، ۵ ، ۷ و ۱۰ سانتی متری ( این اندازه ها تقریبی هستند و با کولیس آنها را دقیقا اندازه خواهیم گرفت ) - تعدادی وزنه ی سوراخ دار ( ۵۰ گرمی ) - قرقره ی پایه دار - نگهدارنده ی وزنه - وزنه - نخ

نظریه:

برای جسمی که نسبت به یک دستگاه مختصات در حال حرکت است ، کمیت های سرعت متوسط ، سرعت لحظه ای ، شتاب متوسط و شتاب لحظه ای به این صورت تعریف می شوند :

$$\begin{aligned}
 \text{Average velocity} &: \quad \vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{t - t_0} \\
 \text{Instantaneous velocity} &: \quad \vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \lim_{t \rightarrow t_0} \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{t - t_0} \\
 \text{Average acceleration} &: \quad \vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{\vec{V} - \vec{V}_0}{t - t_0} \\
 \text{Instantaneous acceleration} &: \quad \vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \lim_{t \rightarrow t_0} \frac{\vec{V} - \vec{V}_0}{t - t_0}
 \end{aligned}$$

همچنین در حرکت با سرعت ثابت ، معادله ی مکان-زمان جسم ، از درجه ی ۱ است :

$$x(t) = Vt + x_0$$

و در حرکت با شتاب ثابت ، معادله ی سرعت-زمان از درجه ی ۱ و معادله ی مکان-زمان جسم از درجه ی ۲ است :

$$V(t) = at + V_0 \quad x(t) = \frac{1}{2} at^2 + V_0 t + x_0$$

طبق قانون اول نیوتن ، اگر برآیند نیروهای وارد بر جسم برابر صفر باشد ، جسم وضعیت خود را حفظ می کند ؛ یعنی ، اگر ساکن بوده باشد ، ساکن می ماند و اگر در حال حرکت بوده باشد ، با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می دهد.

و طبق قانون دوم نیوتن ، اگر برآیند نیروهای وارد بر جسم مخالف صفر باشد ، جسم شتابی خواهد گرفت که ( اندازه ی آن ) با ( اندازه ی ) برآیند نیروها نسبت مستقیم و با جرم جسم ، نسبت عکس دارد :

$$|\vec{a}| \propto |\sum \vec{F}| \quad , \quad |\vec{a}| \propto \frac{1}{m} \quad \rightarrow \quad \vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

## روش انجام آزمایش :

قبل از شروع آزمایش ها ، سطح ریل را تراز می کنیم به این صورت که اگر سره را بدون سرعت اولیه روی ریل قرار دهیم ، ثابت باقی بماند و به دو طرف حرکت نکند ؛ در واقع ، شیب سطح ریل را صفر می کنیم و همچنین با کولیس ، طول ۴ تیغه را اندازه می گیریم . همچنین میزان هوای خروجی از ریل را نیز در تمام آزمایش ها ، ثابت نگه می داریم و آن را تغییر نمی دهیم .

### ۱- حرکت با سرعت ثابت

ابتدا زمان سنج را در حالت ۳ قرار می دهیم ؛ تیغه ی اول را روی سره می گذاریم ؛ سپس تفنگ فنی را تا بیشترین حد ممکن می کشیم و سره را روی ریل هوا و در تماس با نوک تفنگ فنی کشیده شده قرار می دهیم . ( در تمام آزمایش ها ، تفنگ را تا انتها می کشیم تا میزان ضربه ی وارده و در نتیجه میزان سرعت اولیه در تمام آزمایش ها یکسان باشد . ) و زمانی را که طول می کشد تا کل طول تیغه از زیر سنسور عبور کند را از روی زمان سنج می خوانیم . این آزمایش را برای ۳ تیغه ی دیگر نیز تکرار می کنیم.

در مرحله ی بعد ، زمان سنج را در حالت ۲ قرار می دهیم تا از هر دو سنسور که در فاصله های معینی از هم قرار دارند ، استفاده کنیم ؛ در این مرحله زمانی را که برای پیمودن فاصله ی میان دو سنسور طی می شود ، اندازه می گیریم . بنابراین ، نتیجه ی آزمایش هیچ ربطی به طول تیغه ندارد و از هر تیغه ی دلخواهی که استفاده شود ، نتایج ، یکسان است . این آزمایش برای فواصل ۲۰ ، ۴۰ ، ۶۰ ، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی متری دو سنسور ، تکرار می شود .

### ۲- حرکت با شتاب ثابت

در این بخش ، به سره ، یک وزنه ی ۵۰ گرمی آویزان می کنیم تا به آن شتابی بدهد. تیغه ها را بر روی سره قرار می دهیم و وزنه ای ۵۰ گرمی را با نخ به سره وصل و آویزان می کنیم . انتهای سره را در نزدیکترین مکان ممکن نسبت به سنسور قرار می دهیم تا سرعت اولیه ی ما تقریباً برابر صفر باشد . بنابراین از تفنگ فنی استفاده نمی کنیم و سره را رها می کنیم . در این حالت ، به علت شتابی که وزنه ی آویخته شده به سره و تیغه می دهد ، تیغه ، شتاب و سرعت پیدا می کند و سرعت آن هم دائماً افزایش می یابد. زمان سنج را در حالت ۳ قرار می دهیم و زمانی را که تیغه ، کل طول خود را می پیماید ، می سنجیم و آزمایش را برای تمام تیغه ها تکرار می کنیم.

در بخش بعد ، دقیقاً همان آزمایش تکرار می شود ، با این تفاوت که به دو طرف سره ، دو وزنه ی ۵۰ گرمی وصل می کنیم. در بخش بعد ، ۴ وزنه ی ۵۰ گرمی به دو طرف سره وصل می کنیم و بالاخره در آزمایش پایانی ، همانند آزمایش قبل ، ۴ وزنه ی ۵۰ گرمی به دو طرف سره وصل می کنیم ؛ اما این بار ، زمان سنج را در حالت ۲ قرار می دهیم و زمانی را که تیغه در آن زمان ، فاصله ی معین بین دو سنسور را طی می کند ، اندازه می گیریم .

## جداول :

جدول ١

$\Delta x(mm)$	٢٨	٢٨	٢٨	٥١	٥١	٥١	٦٩	٦٩	٦٩	١٠٢	١٠٢	١٠٢
$\Delta t(ms)$	٣١	٣٢	٣٣	٦١	٦٠	٦٠	٨٤	٨٢	٨١	١٢٦	١٢٨	١٢٣
$\Delta \bar{t}(ms)$	٣٢			$\approx ٦٠$			$\approx ٨٢$			$\approx ١٢٦$		
$\bar{v}(\frac{m}{s})$	٠.٨٧٥			٠.٨٥			$\approx ٠.٨٤١$			$\approx ٠.٨١٠$		

جدول ٢

$\Delta x(cm)$	٢٠	٢٠	٢٠	٤٠	٤٠	٤٠	٦٠	٦٠	٦٠	٨٠	٨٠	٨٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠
$\Delta t(ms)$	٢٨٣	٢٦٦	٢٧٨	٥٠٣	٥١٦	٤٩٨	٧٨٧	٧٥٤	٧٦٦	١٠٤١	١٠٢٣	١٠٥٢	١٢٦٦	١٣٠٧	١٣١٦
$\Delta \bar{t}(ms)$	$\approx ٢٧٦$			$\approx ٥٠٦$			٧٦٩			$\approx ١٠٣٩$			$\approx ١٢٩٦$		
$\bar{v}(\frac{m}{s})$	$\approx ٠.٧٢٥$			$\approx ٠.٧٩١$			$\approx ٠.٧٨٠$			$\approx ٠.٧٧٠$			$\approx ٠.٧٧٢$		

جدول ٣

$\Delta x(mm)$	٢٨	٢٨	٢٨	٥١	٥١	٥١	٦٩	٦٩	٦٩	١٠٢	١٠٢	١٠٢
$\Delta t(ms)$	٨٨	٩٣	٩٩	١٧١	١٥١	١٧٤	١٨٥	١٩٤	١٨٤	٢٧٨	٢٧٦	٢٧٥
$\Delta \bar{t}(ms)$	$\approx ٩٣$			$\approx ١٦٥$			$\approx ١٨٨$			$\approx ٢٧٦$		

$$M \cdot = ١٨٧.٧ gr$$

$$m = ٥ \cdot gr$$

جدول ٤

$\Delta x(mm)$	٢٨	٢٨	٢٨	٥١	٥١	٥١	٦٩	٦٩	٦٩	١٠٢	١٠٢	١٠٢
$\Delta t(ms)$	١١٨	١٢٢	١٢٠	١٩٣	٢١٢	١٩٨	٢٢٣	٢٤٧	٢٤٢	٣٠٦	٣٠٣	٢٩٤
$\Delta \bar{t}(ms)$	١٢٠			٢٠١			$\approx ٢٣٧$			٣٠١		

$$M + M \cdot = ٢٨٧.٧ gr$$

$$m = ٥ \cdot gr$$

جدول ٥

$\Delta x(mm)$	٢٨	٢٨	٢٨	٥١	٥١	٥١	٦٩	٦٩	٦٩	١٠٢	١٠٢	١٠٢
$\Delta t(ms)$	١٢٦	١٢٥	١٢٩	٢٠٧	٢١٢	٢٠٢	٢٤٣	٢٥٩	٢٤٢	٣٥٦	٣٦٩	٣٧٠
$\Delta \bar{t}(ms)$	$\approx ١٢٧$			٢٠٧			$\approx ٢٤١$			٣٦٥		

$$M + M \cdot = ٢٨٧.٧ gr$$

$$m = ٥ \cdot gr$$

جدول ٦

$\Delta x(cm)$	٢٠	٢٠	٢٠	٤٠	٤٠	٤٠	٦٠	٦٠	٦٠	٨٠	٨٠	٨٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠
$\Delta t(ms)$	٦٩٩	٦٨٤	٧١٨	١٠٠٢	١٠٠٤	٩٨٠	١٠٥١	١٠٤٦	١٠٦١	١١٠٩	١١٣٤	١١١٥	١٣٥٠	١٣٨٣	١٣٤٩
$\Delta \bar{t}(ms)$	$\approx ٧٠٠$			$\approx ٩٩٥$			$\approx ١٠٥٣$			$\approx ١١١٩$			$\approx ١٣٦١$		

$$M + M \cdot = ٢٨٧.٧ gr$$

## خواسته ها :

### خواسته ی ۱ :

اعداد موجود در جداول ۱ و ۲ ، مربوط به حرکت یکنواخت ( با سرعت ثابت ) هستند . در این نوع حرکت ، سرعت در تمام بازه های زمانی ثابت است ؛ یعنی سرعت متوسط در هر بازه ی زمانی با سرعت لحظه ای در هر لحظه برابر است . البته تمامی این نکات در بحث تئوری می گنجد و در عمل ، به علت وجود خطاهای محیطی مانند وجود اصطکاک ( هر چند که سره روی تخت هواست ، ولی غیر ممکن است که اصطکاک به صفر برسد ) ، خطای سنسورها و زمان سنج ، خطای سنجش طول تیغه ها ، خطای فاصله ی بین سنسورها و ... ، سرعت های متوسط با سرعت های لحظه ای متفاوت است. همچنین به خاطر اینکه ضربه ی وارده بر سره در تمام آزمایش ها یکسان باشد ، تفنگ را تا انتها می کشیم تا طبق رابطه ی ضربه (  $J = m \times v$  ) سرعت اولیه ی سره همواره یکسان باشد ؛ ولی باز هم دیده می شود که سرعت های بدست آمده در بخش های مختلف جدول ۱ و جدول ۲ با هم تفاوت دارد که باز هم نشان دهنده ی خطاست ؛ لازم به ذکر است که در تمام این آزمایش ها ، ما سرعت متوسط ، یعنی سرعت در یک بازه ی زمانی ( نه در یک لحظه ) ، را اندازه می گیریم .

در جدول های ۳ تا ۶ هم که مربوط به حرکت با شتاب ثابت هستند ، فقط می توانیم سرعت های متوسط را بدست بیاوریم و با توجه به اینکه این حرکت با شتاب ثابت است ، سرعتهای لحظه ای در هر لحظه ، با سرعتهای متوسط در بازه های مختلف ، متفاوت است. در اینجا چکیده از نتایج مربوط به سرعت های متوسط در جداول ۳ تا ۶ را می آوریم :

سرعت های جدول ۳

$\Delta x(mm)$	۲۸	۵۱	۶۹	۱۰۲
$\Delta \bar{t}(ms)$	$\approx 93$	$\approx 165$	$\approx 188$	$\approx 276$
$\bar{v}(m/s)$	$\approx 0.301$	$\approx 0.309$	$\approx 0.367$	$\approx 0.369$

سرعت های جدول ۴

$\Delta x(mm)$	۲۸	۵۱	۶۹	۱۰۲
$\Delta \bar{t}(ms)$	۱۲۰	۲۰۱	$\approx 237$	۳۰۱
$\bar{v}(m/s)$	$\approx 0.233$	$\approx 0.254$	$\approx 0.291$	$\approx 0.339$

سرعت های جدول ۵

$\Delta x(mm)$	۲۸	۵۱	۶۹	۱۰۲
$\Delta \bar{t}(ms)$	$\approx 127$	۲۰۷	$\approx 261$	۳۶۵
$\bar{v}(m/s)$	$\approx 0.220$	$\approx 0.246$	$\approx 0.264$	$\approx 0.279$

سرعت های جدول ۶

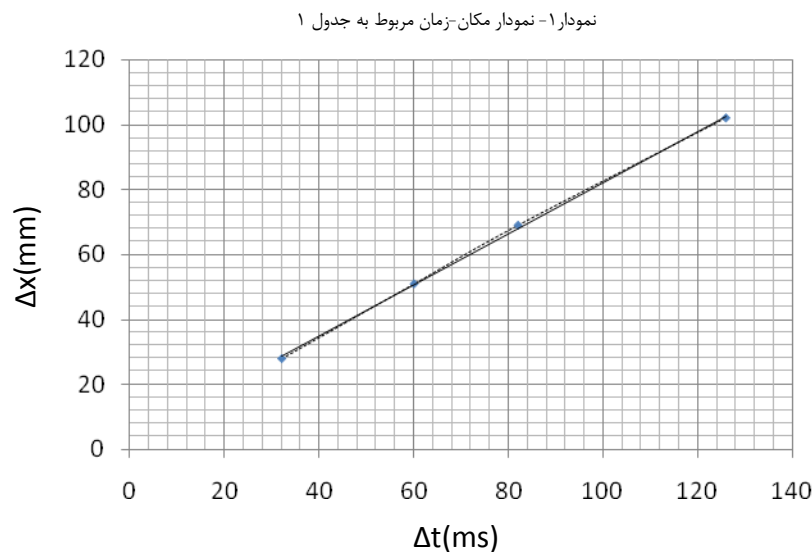
$\Delta x(cm)$	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰
$\Delta \bar{t}(ms)$	$\approx 700$	$\approx 995$	$\approx 1053$	$\approx 1119$	$\approx 1361$
$\bar{v}(m/s)$	$\approx 0.286$	$\approx 0.402$	$\approx 0.570$	$\approx 0.715$	$\approx 0.735$

همانطور که مشاهده می شود ، در جدول ۳ ( و همین طور جدول ۴ تا ۶ ) با افزایش طول  $\Delta x$  و در نتیجه افزایش  $\Delta t$  ، سرعت متوسط افزایش می یابد ؛ چون سرعت اولیه ، صفر است ( سره را از نزدیکی سنسور رها کردیم ) ، طبق رابطه ی زیر ، با افزایش زمان طی شده ، سرعت متوسط از ابتدای مسیر تا انتهای زمان مورد نظر زیاد می شود :

$$\bar{v} = \frac{V(t) + V.}{2} = \frac{at}{2}$$

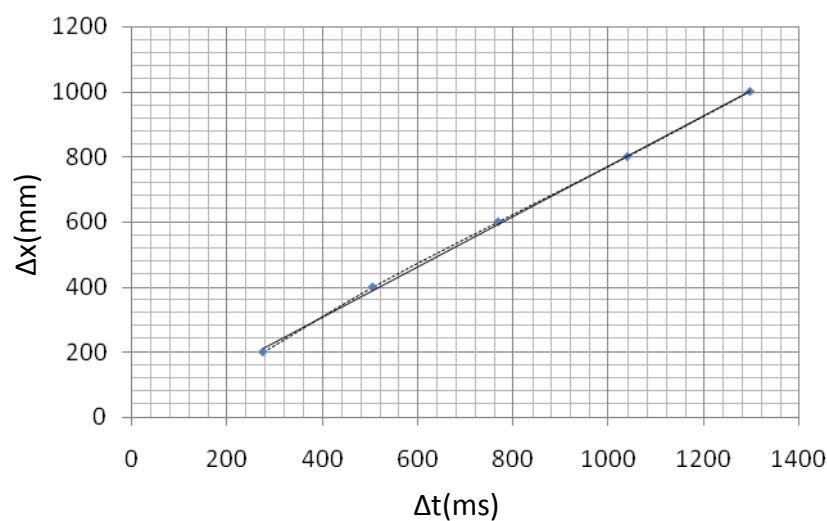
همچنین طبق این رابطه ، هر چه شتاب حرکت دستگاه بیشتر باشد ، سرعت متوسط کمتر است و چون جرم وزنه های روی سره در جداول ۳ تا ۵ افزایش می یابد ، شتابها و در نتیجه سرعت های متوسط متناظر ، کاهش می یابند که در جداول به وضوح قابل مشاهده است.

## خواسته ی ۲ :



نمودار فوق مربوط به جدول ۱ است که خط توپر ، بهترین خط راستی است که از نقاط می گذرد و خط چین ، مجموعه ای از پاره خط های گذرنده از خطوط است که دو خط مذکور ، بسیار به هم نزدیکند ، بطوریکه تشخیص آنها از هم ، دشوار است . شیب نمودار که بیانگر سرعت متحرک است ، برابر  $0.787$  متر بر ثانیه و خطای آن برابر  $0.014$  متر بر ثانیه است که خطای کمی است . این خطای کم ، نشانگر این موضوع است که دقت آزمایش های جدول ۱ تا حد زیادی بالا بوده و سرعت های بدست آمده برای ۴ تیغه ، تقریباً برابرند.

نمودار ۲- نمودار مکان-زمان مربوط به جدول ۲

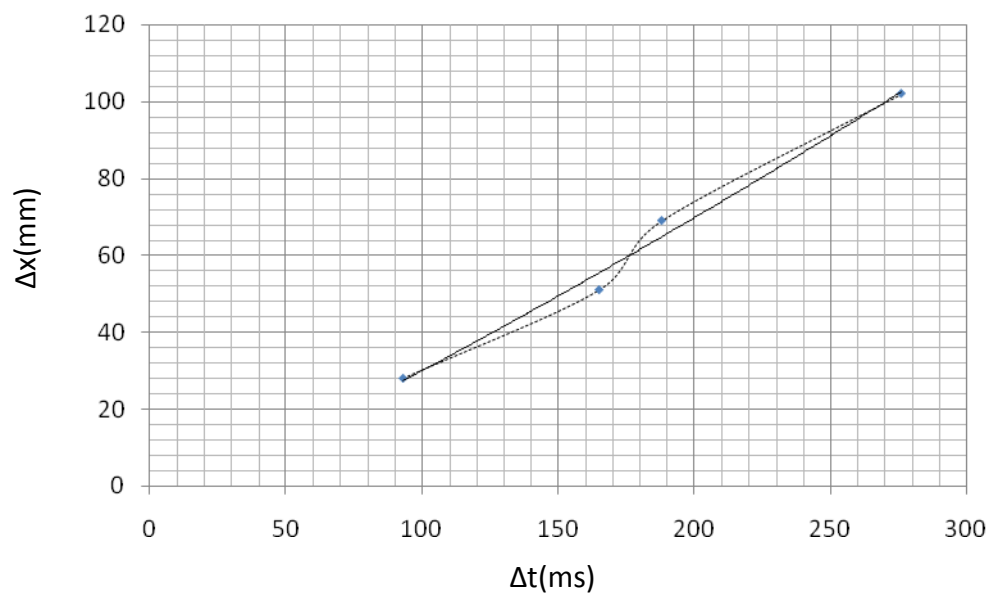


توضیحات این نمودار هم مانند قبلی است ؛ شیب نمودار برابر ۰.۷۷۷ متر بر ثانیه و خطای آن برابر ۰.۰۱۲ متر بر ثانیه است که حتی از خطای نمودار قبلی هم کوچکتر است ؛ می توان نتیجه گرفت که هر چه بازه ی زمانی و یا مسافت پیموده شده توسط تیغه بیشتر باشد ، دقت اندازه گیری ها بالاتر خواهد بود .

### خواسته ی ۳ :

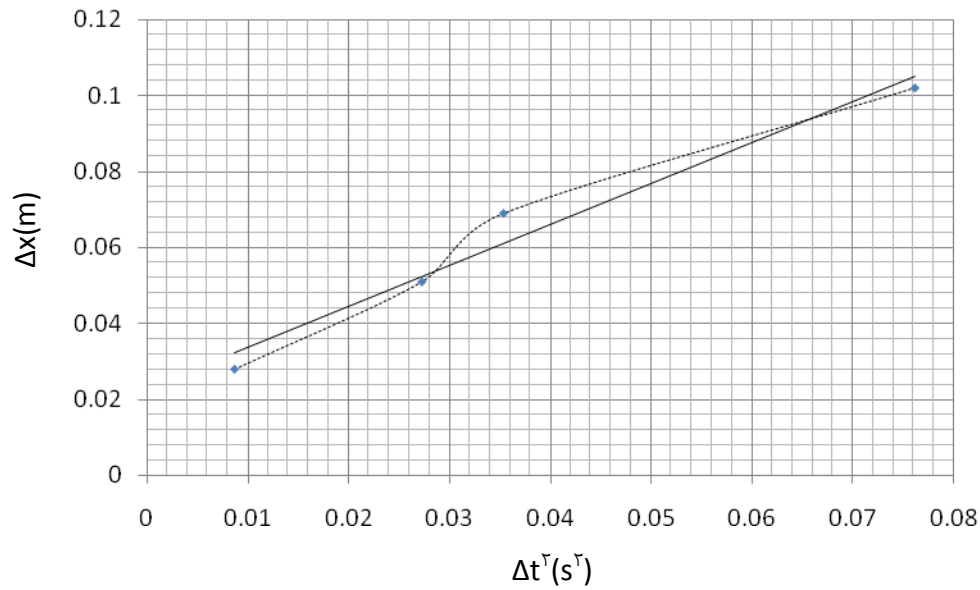
نمودارهای مربوط به جدول ۳:

نمودار ۳- نمودار مکان-زمان مربوط به جدول ۳



نمودار توپر ، بهترین تابع درجه ی دومی است که رفتار ۴ نقطه را توصیف می کند ؛ اما شیب بهترین خط راستی که رفتار نقاط را توصیف می کند ، برابر ۰.۴۱۱ متر بر ثانیه و خطای آن برابر ۰.۰۳۴ متر بر ثانیه است . به طور کلی ، شیب خطی که دو نقطه از نمودار مکان-زمان را به هم وصل می کند ، برابر سرعت متوسط است .

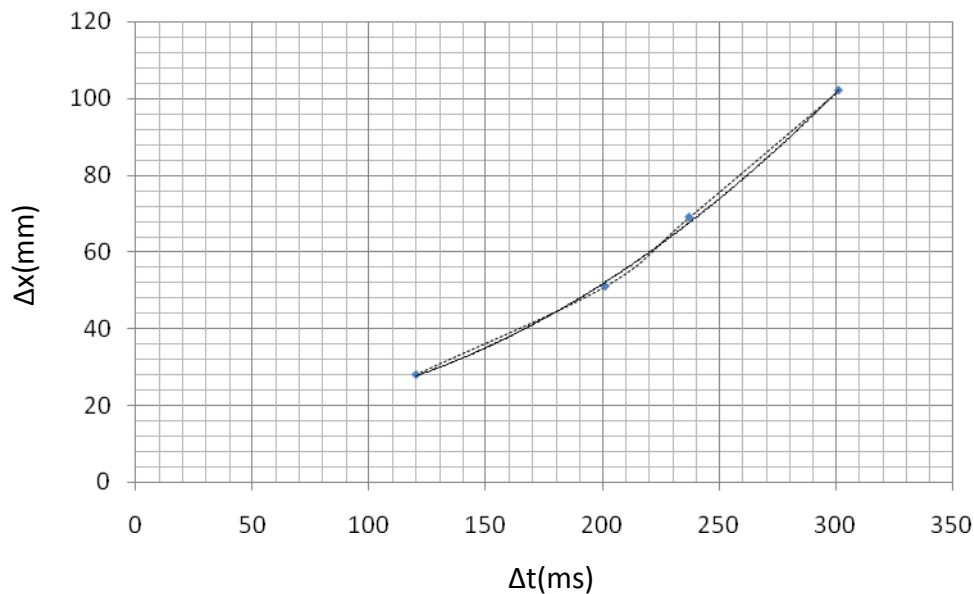
نمودار ۴- نمودار مکان-مجدور زمان مربوط به جدول ۳



شیب این نمودار برابر ۱.۰۷۸ متر بر مجذور ثانیه و خطای آن ۰.۱۳۸ متر بر مجذور ثانیه است . با توجه به صفر بودن تقریبی سرعت اولیه و در نتیجه ، صادق بودن رابطه ی  $\Delta x = \frac{1}{2} a t^2$  ، شیب نمودار برابر نصف شتاب است . پس شتاب تقریباً برابر ۲.۱۵۶ متر بر مجذور ثانیه است.

نمودارهای مربوط به جدول ۴:

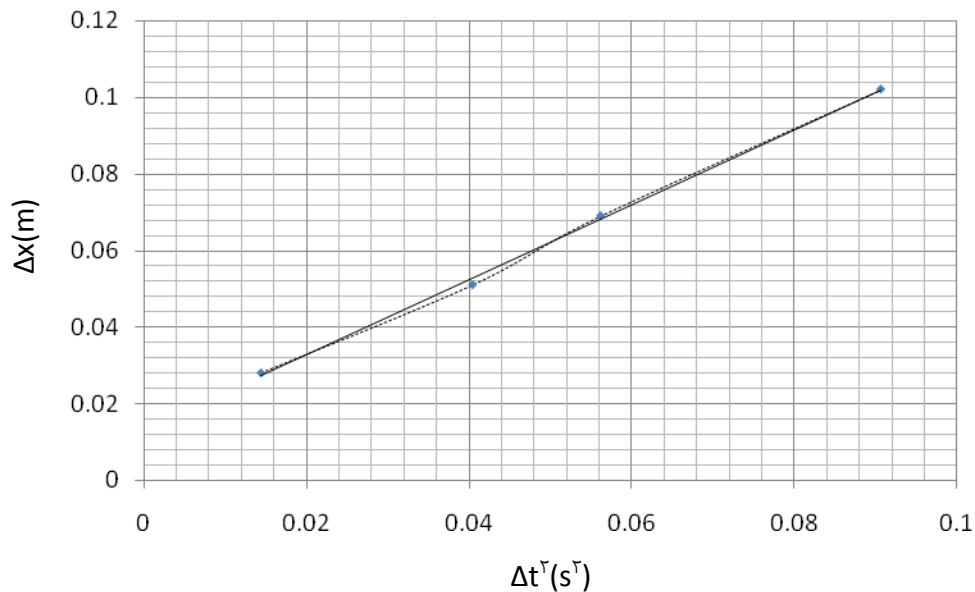
نمودار ۵- نمودار مکان- زمان مربوط به جدول ۴



شیب این نمودار برابر ۰.۴۰۸ متر بر ثانیه و خطای این شیب ، برابر ۰.۰۴۸ متر بر ثانیه است. به طور کلی ، شیب خط مماس بر نمودار مکان-زمان در هر لحظه ، برابر سرعت لحظه ای در آن لحظه است .



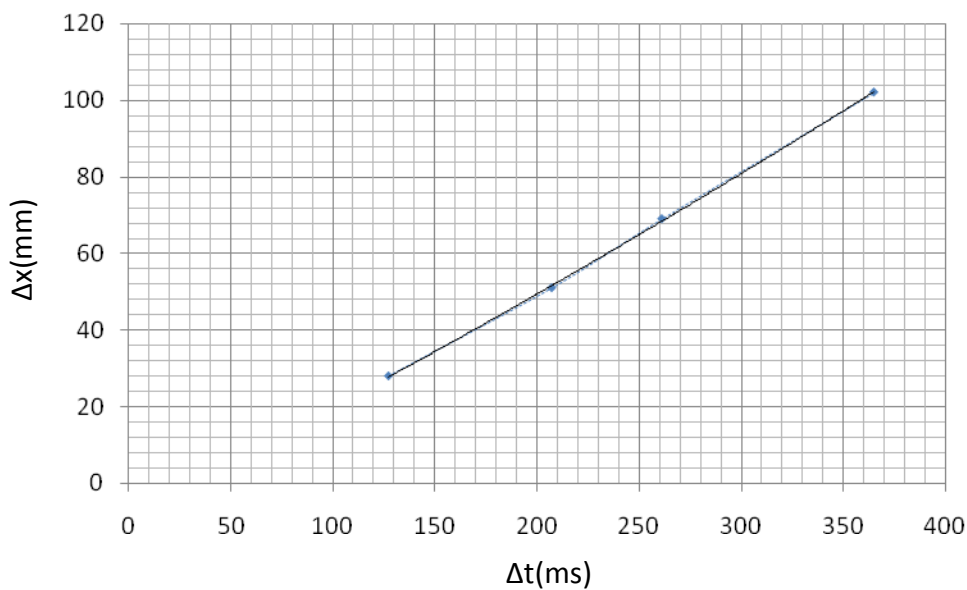
نمودار ۶- نمودار مکان-مجدور زمان مربوط به جدول ۴



شیب این نمودار برابر ۰.۹۷۹ متر بر مجذور ثانیه و خطای آن ۰.۰۲۶ متر بر مجذور ثانیه است . با توجه به صفر بودن تقریبی سرعت اولیه و در نتیجه ، صادق بودن رابطه ی  $\Delta x = \frac{1}{2} at^2$  ، شیب نمودار برابر نصف شتاب است . پس شتاب تقریباً برابر ۱.۹۵۸ متر بر مجذور ثانیه است.

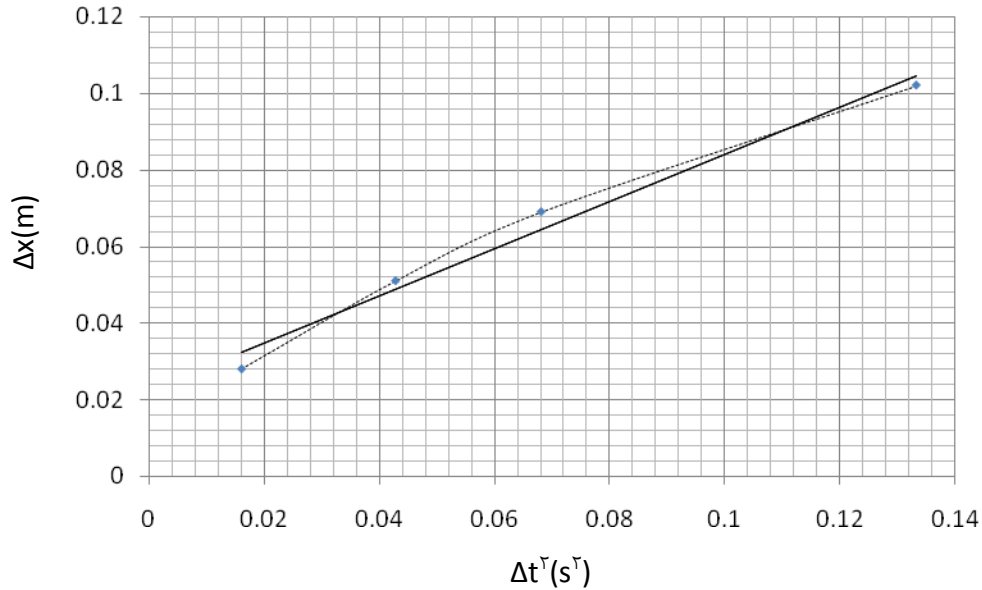
نمودارهای مربوط به جدول ۵:

نمودار ۷- نمودار مکان- زمان مربوط به جدول ۵



شیب این نمودار برابر ۰.۳۱۳ متر بر ثانیه و خطای این شیب ، برابر ۰.۰۰۶ متر بر ثانیه است

نمودار ۸- نمودار مکان-مجدور زمان مربوط به جدول ۵



شیب این نمودار برابر ۰.۶۱۷ متر بر مجذور ثانیه و خطای آن ۰.۰۵۸ متر بر مجذور ثانیه است . با توجه به صفر بودن تقریبی سرعت اولیه و در نتیجه ، صادق بودن رابطه ی  $\Delta x = 1/2 at^2$  ، شیب نمودار برابر نصف شتاب است . پس شتاب تقریباً برابر ۱.۲۳۴ متر بر مجذور ثانیه است.

به طور کلی ، خطاهای موجود در شیب نمودارها ، بدلیل وجود اصطکاک هر چند بسیار کم ولی ناصفر ریل هوا ، اصطکاک قرقره ، جرم نخ ، صفر نبودن دقیق سرعت اولیه ، نیروی مقاومت هوا در برابر وزنه ی آویخته شده ، خطای ذاتی وسایل اندازه گیری و ... بوجود می آیند.

#### خواسته ی ۴:

جدول ۳:

$$a = \frac{mg}{M_1 + M + m} = \frac{50 \times 9.8}{187.7 + 50} \cong 2.061 \frac{m}{s^2} \rightarrow \text{خطای نسبی} \cong \frac{2.158 - 2.061}{2.061} \cong 0.046 = 4.6\%$$

جدول ۴:

$$a = \frac{mg}{M_1 + M + m} = \frac{50 \times 9.8}{187.7 + 50} \cong 1.451 \frac{m}{s^2} \rightarrow \text{خطای نسبی} \cong \frac{1.958 - 1.451}{1.451} \cong 0.349 = 34.9\%$$

برای جدول ۵:

$$a = \frac{mg}{M_1 + M + m} = \frac{50 \times 9.8}{187.7 + 50} \cong 1.119 \frac{m}{s^2} \rightarrow \text{خطای نسبی} \cong \frac{1.234 - 1.119}{1.119} \cong 0.103 = 10.3\%$$

و همانطور که پیش تر گفته شد ، دلایل ایجاد خطا ، اصطکاک ریل هوا ، قرقره و خود هوا ( در برابر سقوط وزنه ) ، جرم نخ ، صفر نبودن سرعت اولیه ی سره ، خطای سنسورها ، کولیس ( برای اندازه گیری طول تیغه ها ) ، زمان سنج و احتمالاً تراز نبودن ریل هوا می باشند .