

مقدمة نظرية للمختبر

1. أهداف العمل في المختبر:

كما نعلم أهداف المؤسسات التعليمية العلمية هي ليس فقط إكساب الطالب المادة النظرية، إنما أيضا إكسابه مهارات عملية، وذلك من خلال إجراء التجارب في المختبر. إجراء التجارب في المختبر يوضح المادة النظرية من جهة، ويكسب الطالب مهارات تنفيذ التجارب والقياس والرصد وتحليل القياسات من جهة أخرى، وهي أمور محورية وهامة في المواضيع العلمية، لأن المواضيع العلمية تعتمد بشكل أساسي على استكشاف الأمور من خلال التجربة. لهذا السبب نجد أن للمختبر ولتجارب المختبر يوجد دور هام جدا في العملية التعليمية، حيث أنه لدرس المختبر توجد الأهداف التالية:

1. تعميق فهم المادة النظرية وذلك من خلال إجراء تجارب متعلقة بهذه المادة.
2. تطوير مهارات في العمل الذاتي، والمقدرة على تحضير تجارب وتنفيذها وتحليل نتائجها بشكل حسابي وبشكل محوسب، مع رسم الرسوم البيانية الملائمة.
3. تطوير مهارات البحث والمقدرة على الاستكشاف.
4. تطوير مهارات كتابة التقرير العلمي.

2. متطلبات العمل في المختبر:

من أجل أن يكون بالإمكان إجراء التجارب بشكل لائق ومن أجل أن يكون بالإمكان الاستفادة من العمل في المختبر على كل طالب أن يتحضر بالشكل التالي:

1. قراءة الشرح الموجود في هذا المرشد والمتعلق بالتجربة.
2. تحضير "تقرير تحضيرى"، وهو تقرير يتم تحضيره في البيت قبل إجراء التجربة، ويتم إحضاره إلى المختبر في يوم إجراء التجربة ويتم تسليمه إلى المعلم قبل الشروع في تنفيذ التجربة. على كل طالب أن يحضر تقرير تحضيرى بشكل فردي، وليس بأزواج. هذا التقرير التحضيري يتضمن النقاط التالية:

- أ. اسم التجربة.
 - ب. أهداف التجربة.
 - ج. شرح المادة النظرية المتعلقة بالتجربة مع المعادلات والقوانين المتعلقة بالتجربة نفسها.
 - د. الإجابات عن الأسئلة التحضيرية الموجودة في نهاية المرشد لكل تجربة.
3. إحضار كافة المتطلبات للعمل في المختبر من أقلام ومسطرة وأوراق وآلة حاسبة.

3. التقرير الملخص.

التقرير الملخص، هو عبارة عن تقرير يتم كتابته في البيت بعد إجراء التجربة، وهو يتضمن النقاط التالية:

1. وصف للأجهزة والأدوات التي تم استخدامها بالتجربة.
2. مبنى التجربة ومراحل القياسات (سير التجربة).
3. عرض نتائج القياسات على شكل جداول ورسوم بيانية.
4. تحليل النتائج، وذلك من خلال حساب المقادير الفيزيائية المطلوبة وذلك بحسب نتائج التجربة والمتمثلة بالجداول والرسوم البيانية.
5. عرض النتائج ومقارنة القيم التي نحصل عليها مع القيم النظرية.
6. استنتاجات.
7. تحليل الأخطاء.

4. مبنى درس المختبر:

1. قبل حصّة المختبر تكون الأجهزة والأدوات جاهزة على الطاولات.
2. يبدأ الطلاب بالعمل بأزواج فقط، في إجراء التجارب، وذلك بحسب المرشد المتعلق بالتجربة.
3. أثناء عمل الطلاب، يقوم المعلم بإجراء امتحان شفهي قصير لكل زوج من الطلاب متعلق بموضوع التجربة وبالتقرير التحضيري، ويأخذ من كل زوج التقرير التحضيري.
4. يتابع الطلاب إجراء القياسات حتى انتهاء التجربة، وإذا كان هنالك متسع من الوقت يبدؤون بتحليل النتائج.
5. يتم متابعة تحليل النتائج في البيت.

5. تقييم العمل بالمختبر:

تقييم العمل في المختبر يتم بحسب النقاط التالية:

1. علامة على التقرير التحضيري.
2. الامتحان الشفهي الذي يتم إجراؤه قبل تنفيذ التجربة.
3. علامة على التقرير الملخص.
4. امتحان يتم القيام به في نهاية الفصل، في هذا الامتحان يتم إجراء قرعة لكل طالب حول كافة التجارب التي تم إجراؤها خلال الفصل، وعلى الطالب إجراء التجربة التي تخرج بالقرعة، وتحليل النتائج، وعليه الإجابة على الأسئلة التي يطرحها الممتحن حول التجربة التي قام بها.

6. القياس والخطأ بالقياس

6.1 عملية القياس

عملية قياس مقدار فيزيائي معين هي عبارة عن عملية المقارنة بين هذا المقدار الفيزيائي المجهول وبين وحدة القياس حيث نجد عدد المرات التي تتكرر فيها وحدة القياس في المقدار الفيزيائي المجهول. عملية القياس تتطلب استخدام جهاز قياس، وهو عبارة عن جهاز تتم بواسطته عملية المقارنة بين المقدار الفيزيائي وبين وحدة القياس.

مثلا، إذا أردنا قياس طول هذا الكتاب بوحدات السنتيمتر (cm)، فإننا نقارن بين طول الكتاب وبين وحدة السنتيمتر، أي نجد عدد المرات التي يتكرر بها السنتيمتر على طول الكتاب، وهذا الأمر يتم باستخدام المسطر (أو جهاز المتر).
أو إذا أردنا قياس مدة زمنية معينة بوحدات الثانية (sec)، فإننا نقارن بين هذه المدة الزمنية وبين الثانية، أي نجد عدد المرات التي تتكرر فيها الثانية على طول المدة الزمنية هذه، وهذا الأمر يتم باستخدام ساعة الإيقاف.

6.2 الخطأ المطلق في عملية القياس.

عندما نُجري عملية قياس لمقدار فيزيائي معين، يوجد احتمال لتوجد أخطاء تؤدي إلى وجود خطأ معين في قيم المقادير الفيزيائية التي نقيسها. هذه الأخطاء ناتجة عن أجهزة القياس من جهة، وعن أخطاء بشرية من جهة أخرى. لأجل فحص مدى دقة التجربة التي نجريها علينا أخذ هذه الأخطاء بعين الاعتبار في عملية تحليل نتائج التجربة.
من أجل أخذ الأخطاء بعين الاعتبار في عملية تحليل النتائج يتحتم علينا أن نتعرف على كيفية تقدير الخطأ بعملية القياس نفسها نستطيع أخذ هذا الخطأ بالحسبان في عملية تحليل النتائج، وكذلك من أجل أن يكون بالإمكان تقليل الأخطاء أيضا. نرمز لمقدار الخطأ بمقدار فيزيائي معين x بـ Δx . فيما يلي سنوضح كيفية تحديد مقدار الخطأ الناتج عن أجهزة القياس.

نوضح هذا الأمر من خلال المثال التالي:

إذا أردنا قياس طول هذا الكتاب فإننا نستخدم المسطرة، ولكي نقوم بهذا الأمر نضع نقطة الصفر للمسطرة على الطرف الأول للكتاب، وبالجهد الثانية نحدد موقع النقطة على المسطرة التي ينتهي فيها الطرف الثاني للكتاب، وبهذه العملية نجد طول الكتاب. لكن هذه العملية مقرونة بأخطاء ناتجة عن الأسباب التالية:

1. المسطرة مقسمة بخطوط بحيث أن البعد بين كل خطين متجاورين هو $0.1\text{cm} = 1\text{mm}$. أكبر دقة للقياس بالمسطرة في هذا الطرف يمكن تحديده بالاعتماد على النظر هو 0.5mm ، ولهذا سوف يكون هنالك خطأ ناتج عن عدم دقة جهاز القياس (المسطرة)، فمثلا إذا كان طول الكتاب 21.55cm بالضبط، فإنه بمساعدة المسطرة لا نستطيع أن نتعرف على هذه القيمة الحقيقية حيث نسجل أن طول الكتاب هو 21.6cm ، وهنالك البعض قد يقرب النتيجة إلى 21.5cm .
2. أيضا في عملية القياس أعلاه يوجد خطأ ناتج من عدم قدرتنا على وضع الطرف الأول للكتاب بشكل دقيق على نقطة الصفر، حيث أنه يوجد في هذا الطرف خطأ يصل إلى 0.5mm . معنى هذا أن الخطأ المحصل بالقياس الناتج عن الأخطاء من الطرفين هو عبارة عن 1mm ، لهذا من المتبع أن نسجل أن طول الكتاب هو $(21.5 \pm 0.1)\text{cm}$.

هذا الأمر يتم تعميمه إلى القاعدة التالية:

مقدار الخطأ في عملية قياس هو عبارة عن أصغر قيمة بمقدور جهاز القياس قياسها. بالنسبة لوضعية القياس بالمسطرة فإن أقل دقة هي 0.1cm لهذا فإن مقدار الخطأ بالمسطرة هو 0.1cm .

من الواضح أن مقدار الخطأ هذا هو مقدار ثابت لا يتعلق بطول الجسم الذي نريد قياسه ولا يتعلق بعدد المرات التي نعيد بها عملية القياس، فإذا قسنا طول الكتاب أو طول الطاولة أو غيرها فإن مقدار هذا الخطأ يبقى 0.1cm ، ولهذا فإن هذا الخطأ يُسمى **الخطأ المطلق**.

لهذا يمكن أن نسجّل أن:

الخطأ المطلق في عملية قياس: هو عبارة عن أصغر قيمة بمقدور جهاز القياس قياسها، بكلمات أخرى أكبر دقة بمقدور جهاز القياس الوصول إليها.

6.3 الخطأ النسبي (نسبة الخطأ).

نسبة الخطأ هي عبارة عن النسبة المئوية بين مقدار الخطأ في عملية القياس (Δx) وبين قيمة المقدار الفيزيائي (x)، أي أن نسبة الخطأ هي عبارة عن:

$$(1) \quad \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

من الواضح أنه كلما كانت قيمة المقدار الذي نقيسه أكبر فإن نسبة الخطأ تقل. مثال: إذا أردنا قياس زمن معين بواسطة ساعة إيقاف معينة بحيث أن الخطأ المطلق هو ثانية، وكان هذا الزمن هو أربعة ثوان، فإن نسبة الخطأ تكون:

$$\frac{1\text{sec}}{4\text{sec}} \times 100\% = 25\%$$

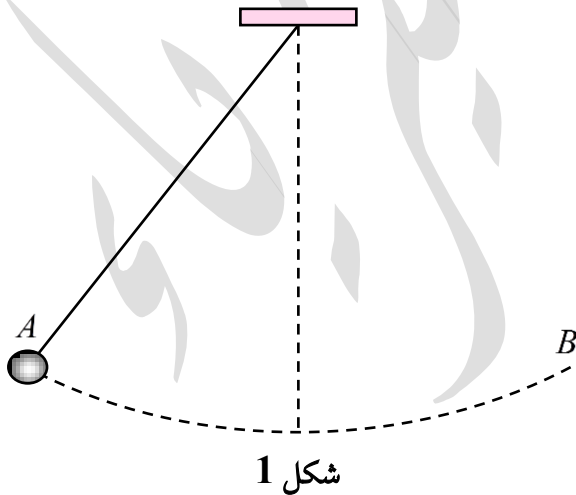
وهذا يعتبر خطأ كبيرا جدا، بينما إذا كانت المدة الزمنية هي عبارة عن 20sec فإن نسبة الخطأ تكون:

$$\frac{1\text{sec}}{20\text{sec}} \times 100\% = 5\%$$

ومن الواضح أن دقة القياس الآن أكبر.

نتيجة: من أجل تقليل نسبة الخطأ علينا أن نسعى لقياس قيم أكبر من المقدار الفيزيائي الذي نتعامل معه.

مثال:



في الشكل التالي (شكل 1) مبيّن جسم معلق بخيط ويتردد ذهابا وإيابا بحركة دورية بين النقاط A و B. الزمن من A إلى B وعودة إلى A يُسمّى زمن دورة. المطلوب قياس زمن دورة واحدة مع أقل نسبة خطأ.

1. قس زمن دورة واحدة.
2. أعد عملية القياس بالقسم السابق وقارن النتائج.
3. اقترح طريقتين من أجل تقليل نسبة الخطأ.
4. نفذ الطريقتين وقارن بين النتائج.

6.4 الخطأ العشوائي.

المقصود بالأخطاء العشوائية، هي الأخطاء التي تنتج عن عوامل بشرية أثناء عملية القياس والتي لا يوجد لها قاعدة محددة لقياسها. فمثلا إذا أخذنا المثال السابق وأردنا أن نقيس الزمن اللازم للجسم للقيام بدورة واحدة، فنجد أنه في كل مرة نريد قياس الزمن ينتج خطأ نابع من عملية تشغيل وتوقيف ساعة الإيقاف. هذا الخطأ عشوائي، إذ أنه أحيانا قد تتأخر بتشغيل

ساعة الإيقاف أو نتقدم بتشغيلها، مما يؤدي إلى أخطاء عشوائية بالقياس. من أجل تقليل هذه الأخطاء العشوائية وجعلها مهمة يمكن أن نقوم بعملية القياس نفسها عدداً كبيراً من المرات ثم نجد معدل القياسات. في هذه الحالة تتلاشى الأخطاء العشوائية لأنه في بعض القياسات تكون القيمة أكبر مما يجب وبالأخرى أقل مما يجب وبالمعدل تقترب النتيجة من النتيجة الحقيقية.

مثال: إذا كان زمن الدورة للجسم في المثال أعلاه هو 2sec **تماماً** وقمنا بعملية القياس مرة واحدة فإننا قد نحصل على قيمة مقدارها 1.7sec. هنا توجد نسبة خطأ عالية مقدارها:

$$\frac{2-1.7}{2} \times 100\% = 15\%$$

بينما إذا قمنا بعملية القياس عدد من المرات (8 مرات مثلاً)، فإنه بسبب الأخطاء العشوائية قد نحصل على الجدول التالي:

رقم القياس	القيمة (t - sec)
1	2.1
2	1.8
3	2.3
4	1.9
5	2.2
6	1.7
7	2.1
8	1.8

وفي حال قمنا بحساب المعدل سوف نحصل على أن: $\bar{t} = 1.9875 \text{sec}$ وهو قريب جداً من القيمة الحقيقية، حيث أن نسبة الخطأ الآن هي:

$$\frac{2-1.9875}{2} \times 100\% = 0.625\%$$

وهو خطأ صغير جداً.

نتيجة: من أجل تقليل قيمة الخطأ العشوائي يتوجب علينا القيام بأكثر عدد ممكن من القياسات.

6.5 الخطأ الحسابي

المقصود بالخطأ الحسابي، بالخطأ في المقادير الفيزيائية التي نتوصل إليها من خلال حسابات فيزيائية تعتمد على مقادير قمنا بقياسها بالمختبر.

لكي نوضح هذا الأمر، نفرض أننا نريد أن نعرف سرعة عربة تتحرك على خط مستقيم بسرعة ثابتة (v). لكي نقوم بهذا الأمر، يمكن أن نقيس الزمن (t) اللازم للعربة لقطع إزاحة x معينة. مثلاً نفرض أن: $x = (120.0 \pm 0.1) \text{cm}$ ، وأن الزمن اللازم لقطع هذه الإزاحة هو: $t = (6.0 \pm 0.1) \text{sec}$. من خلال القياسات هذه نحصل على أن سرعة الجسم هي:

$$v = \frac{120 \text{cm}}{6 \text{sec}} = 20 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

لكن، نتيجة الخطأ بقياس الإزاحة ($\Delta x = 0.1 \text{cm}$) والخطأ بقياس الزمن ($\Delta t = 0.1 \text{sec}$)، يوجد هنالك خطأ (Δv)

بمقدار السرعة التي نحصل عليها. السؤال هو كيف نحسب مقدار الخطأ بالسرعة (Δv) بالاعتماد على Δx و Δt ؟
 مثال آخر: إذا أردنا معرفة مساحة مستطيل معين (S) ، فعلينا قياس عرضه (a) وطوله (b). مساحة المستطيل معطاة بالعلاقة: $S = ab$.

في الواقع هنالك معادلات تمكننا من حساب مقدار الخطأ في المقادير الفيزيائية التي نحسبها بالاعتماد على مقادير قمنا بقياسها في المختبر.

فإذا كان المقدار الأول: B والثاني C ، ونريد حساب المقدار A . فإن مقدار الخطأ بالمقدار A الناتج عن العملية الحسابية يتعلق بالعملية الحسابية نفسها. الجدول التالي يصف كيفية حساب الخطأ الحسابي في حالات مختلفة:

العلاقة بين A و B و C	كيفية حساب الخطأ في المقدار A
$A = B + C$	(2) $\Delta A = \sqrt{(\Delta B)^2 + (\Delta C)^2}$
$A = B - C$	(3) $\Delta A = \sqrt{(\Delta B)^2 + (\Delta C)^2}$
$A = BC$	(4) $\Delta A = \sqrt{(C\Delta B)^2 + (B\Delta C)^2}$
$A = \frac{B}{C}$	(5) $\Delta A = \frac{B}{C} \sqrt{\left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2}$
وبشكل عام إذا: $A = F(B, C, D \dots)$	(6) $\Delta A = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial B} \Delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial C} \Delta C\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial D} \Delta D\right)^2 + \dots}$

المعادلات أعلاه يمكن تعميمها لأكثر من متغيرين أيضا.

6.6 تسجيل القياس مع مقدار الخطأ.

إذا قمنا بقياس طول هذا الكتاب بمسطرة دقتها 1mm ، ووجدنا أن طول الكتاب هو 21cm ، فإننا نُسجّل أن طول الكتاب (l) هو: $l = (21.0 \pm 0.1) \text{ cm}$ ، ولا نُسجّل $l = (21 \pm 0.1) \text{ cm}$ ، وذلك من أجل أن نبيّن أن الخطأ هو بالمنزلة الأولى بعد الفاصلة العشرية.

مثال آخر: إذا قسنا كتلة بجهاز قياس الكتلة ووجدنا أن الكتلة هي: 0.65kg ، وكانت دقة الجهاز هي 0.001kg ، فإننا نُسجّل: $m = (0.650 \pm 0.001) \text{ kg}$ ، ولا نُسجّل: $m = (0.65 \pm 0.001) \text{ kg}$ ، وذلك من أجل أن نبيّن أن الخطأ هو بالمنزلة الثالثة بعد الفاصلة العشرية.

إذا قسنا في تجربة معينة كتلة جسم معين (الإلكترون مثلا) ، ووجدنا أن هذه الكتلة هي: $m = 8.9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ، ووجدنا أن مقدار الخطأ بالقياس هو: $\Delta m = 2 \times 10^{-32}$ ، فإننا نُسجّل الخطأ بنفس القوة للمقدار الذي قسناه، أي نُسجّل: $\Delta m = 0.2 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ، وبالتالي نحصل على أن:

$$m = (0.89 \pm 0.2) \times 10^{-31} \text{ kg}$$

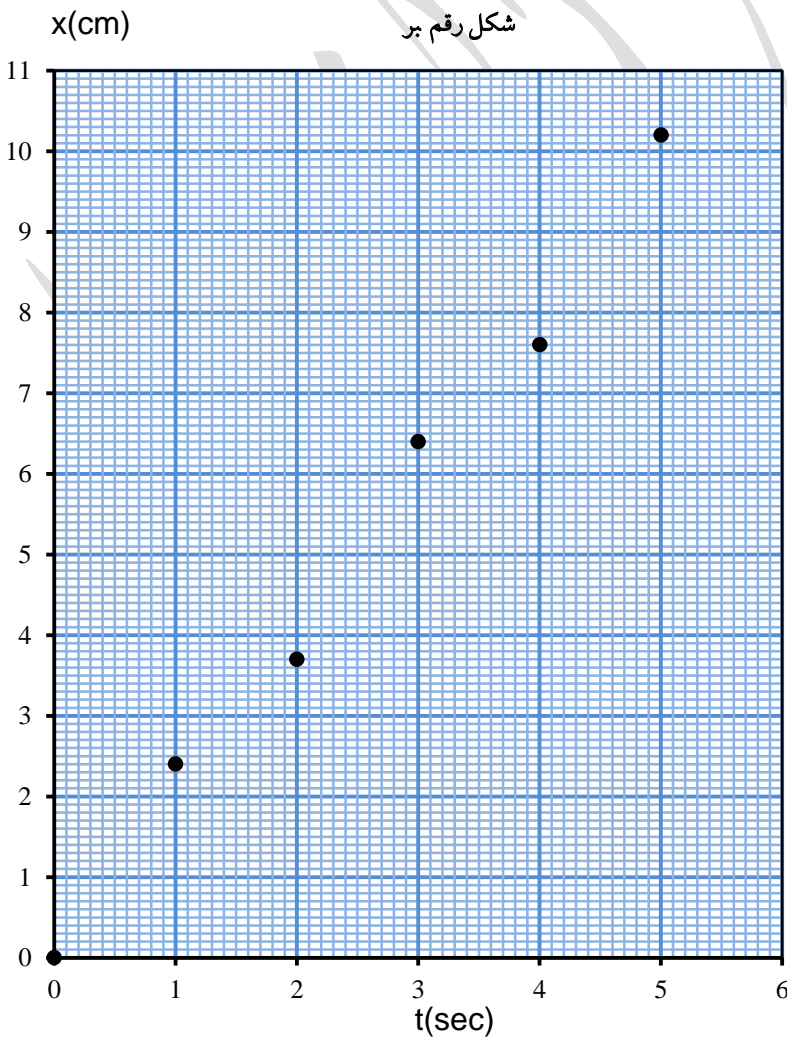
7. الرسوم البيانية؛

واحدة من الطرق المستخدمة من اجل تحليل نتائج القياسات في المختبر هي الرسوم البيانية. الرسوم البيانية هي تمثيل شكلي لنتائج القياس التي تصف العلاقة بين متغيرين. إذ أنه في التجارب يكون الهدف عادة أن نحصص علاقة مقدار فيزيائي معين (نرمز له y مثلاً) مع مقدار فيزيائي آخر (نرمز له x مثلاً). أثناء عملية القياس نقوم بتغيير أحد المتغيرين (x مثلاً) عدداً من المرات، ونقيس قيمة y الناتجة عن التغيير في كل مرة ونقوم بتحضير جدول لنتائج القياس. في هذه الحالة فإن المتغير x والذي نقوم بتغيير قيمته يُسمى **المتغير الحر**، والمتغير y يُسمى **المتغير المتعلق** لأن قيمته تتعلق بقيمة المتغير x . في عملية الرسم البياني نقوم بالمراحل التالية:

1. نرسم محورين متعامدين الأول أفقي والثاني عمودي، المحور الأفقي يستخدم لتمثيل قيم المتغير الحر (x) والعمودي يستخدم لتمثيل قيم المتغير المتعلق (y).
2. على كل محور نسجل اسم المحور ووحدات القياس.
3. نقوم بتقسيم كل محور تقسيماً مناسباً بحسب المجال والمدى.
4. نقوم بتعيين إحداثيات النقاط التي حصلنا عليها من الجدول وبتمرير خط من بين النقاط.

8. الرسم البياني الخطي؛

في معظم الحالات في التجارب نسعى لأن نرسم رسوماً بيانية بين متغيرات أو قوى لمتغيرات بحيث يكون الرسم البياني الناتج هو رسم بياني خطي، وذلك لأنّ عملية تحليل الرسم البياني الخطي هي عملية سهلة، إذ يمكن إيجاد ميل الرسم البياني والتقاطع مع المحاور بسهولة الأمر الذي يسهل تحليل النتائج. عندما نرسم رسماً بيانياً خطياً بالاعتماد على نتائج القياس نجد أنّ النقاط لا تقع تماماً على نفس الخط المستقيم وهذا ناتج عن أخطاء بالقياس. مثلاً إذا قمنا بقياس الموقع كدالة للزمن لجسم يتحرك على خط مستقيم سرعته 2 cm/sec فمن المفروض أن نحصل على الجدول التالي:



t (sec)	0	1	2	3	4	5
x (cm)	0	2	4	6	8	10

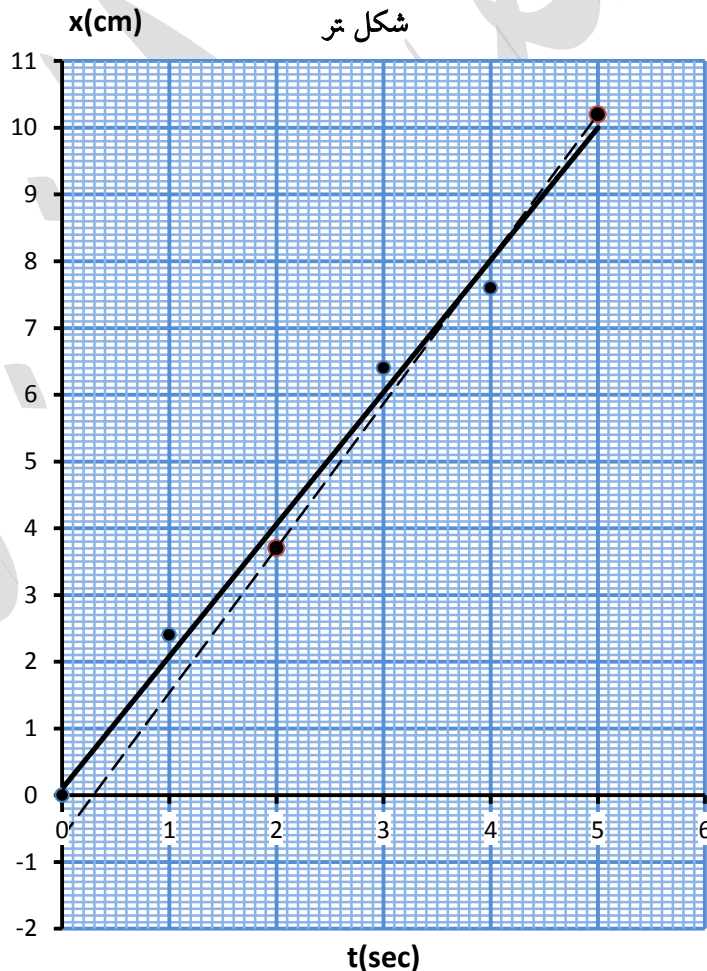
لكن إذا قمنا بعملية القياس بشكل فعلي بالمختبر فإنه قد نحصل على الجدول التالي:

t (sec)	0	1	2	3	4	5
x (cm)	0	2.4	3.7	6.4	7.6	10.2

من أجل حساب سرعة الجسم من الجدول الذي حصلنا عليه نرسم الموقع كدالة للزمن على ورق مليمترى، وذلك بحسب نتائج القياس (لاحظ أن السرعة من المفروض أنها مجهولة). في هذه الحالة نحصل على رسم بياني كما هو مبين في الشكل (2).

لاحظ أن النقاط لا تقع على خط مستقيم واحد. في هذه الحالة علينا أن نمرر خطاً متوسطاً هذا الخط بتوسط النقاط التي حصلنا عليها في التجربة كما هو مبين في الشكل (3)

ميل هذا الخط يمثل معدل القياسات، وهو الخط المتوسط الذي يقلل من الأخطاء العشوائية.



من أجل حساب ميل الرسم نختار نقطتين على الخط نفسه مثلاً $(2\text{ sec}, 4\text{ cm})$ و $(4\text{ sec}, 8\text{ cm})$ ونحصل على أن ميل الرسم المتوسط هو:

$$\frac{8\text{ cm} - 4\text{ cm}}{4\text{ sec} - 2\text{ sec}} = 2 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

بالمقابل لو اخترنا نقطتين من الجدول لحساب السرعة مثلا الثانية والخامسة فإننا نحصل على أن:

$$\frac{10.2 \text{ cm} - 3.7 \text{ cm}}{5 \text{ sec} - 2 \text{ sec}} = 2.16 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

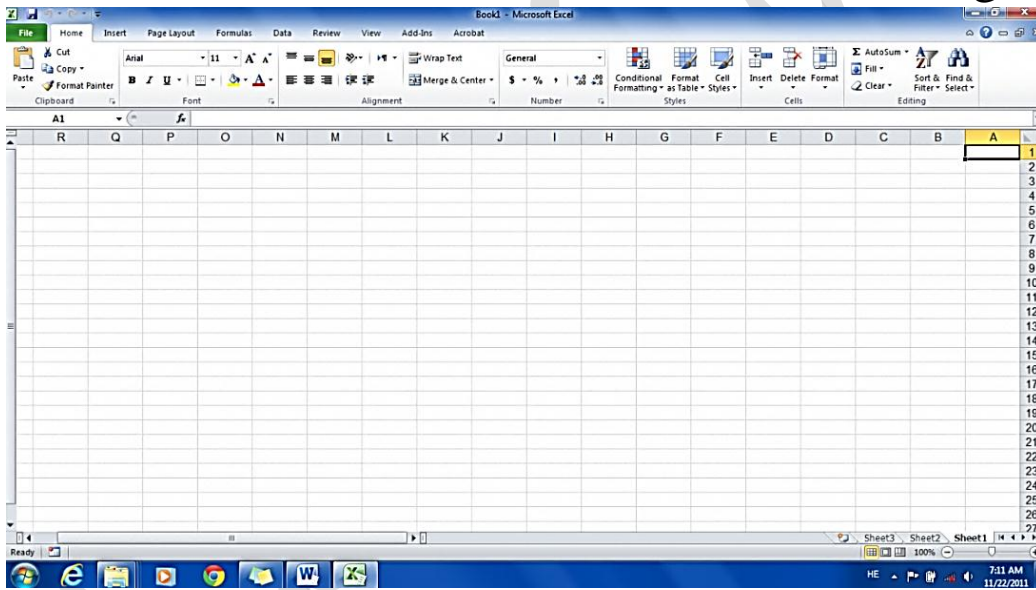
هذا هو عبارة عن ميل الخط المتقطع بالشكل أعلاه.

وكما نلاحظ يوجد هنا خطأ. لهذا نستنتج أنه من أجل حساب الميل المتوسط والذي هو الأدق علينا:

1. أن نرسم خطا متوسطا يتوسط النقاط التي حصلنا عليها في الرسم البياني.
2. أن نختار نقطتين على الخط المتوسط نفسه، نقوم بواسطتهما بحساب ميل الرسم.

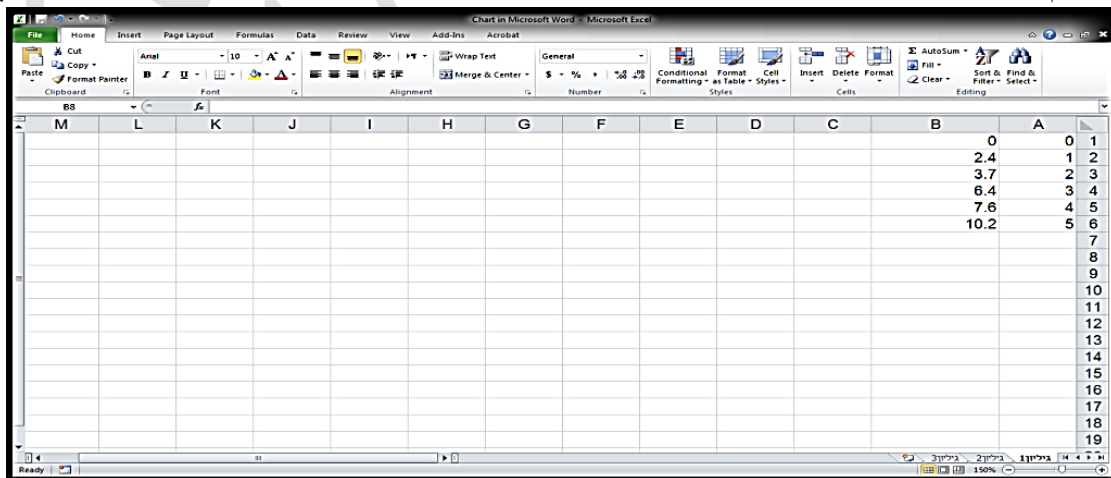
9. خطوات أولى لرسم رسوما بيانية بمساعدة برنامج الـ Excel 2010

عندما نفتح برنامج الإكسل نشاهد الصفحة التالية:

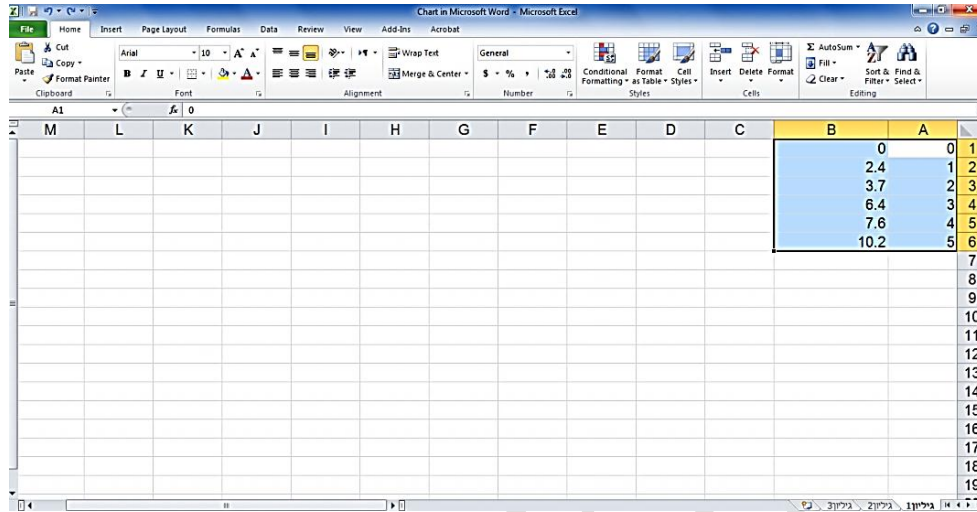


لكي نقوم بعملية الرسم البياني (مثلا رسم الرسم البياني أعلاه)، نتقدم بالخطوات التالية:

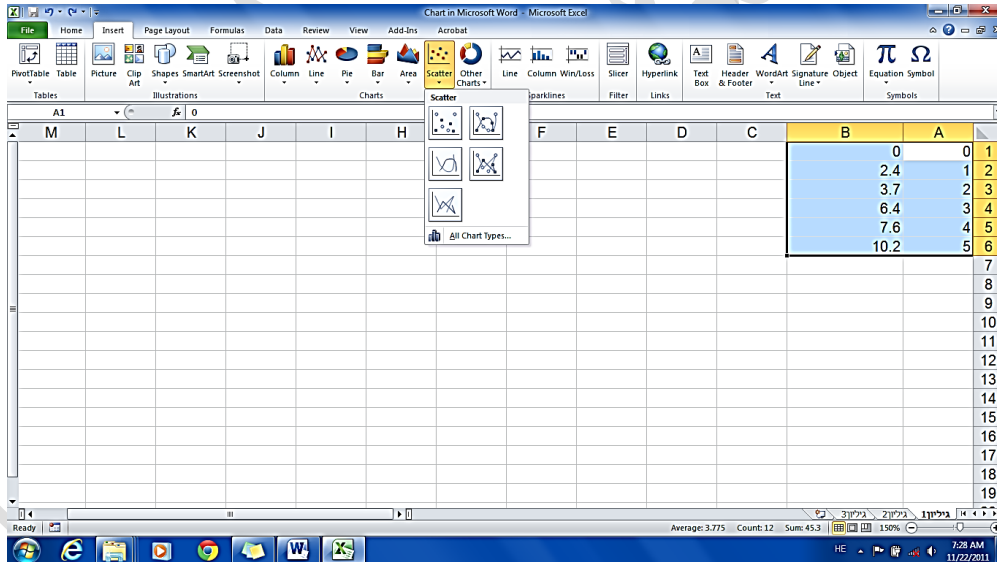
1. نسجل قيم t و x في العمودين A و B ، بحيث أن المتغير الحر أولا (من اليمين) كما هو مبين في الشكل التالي:



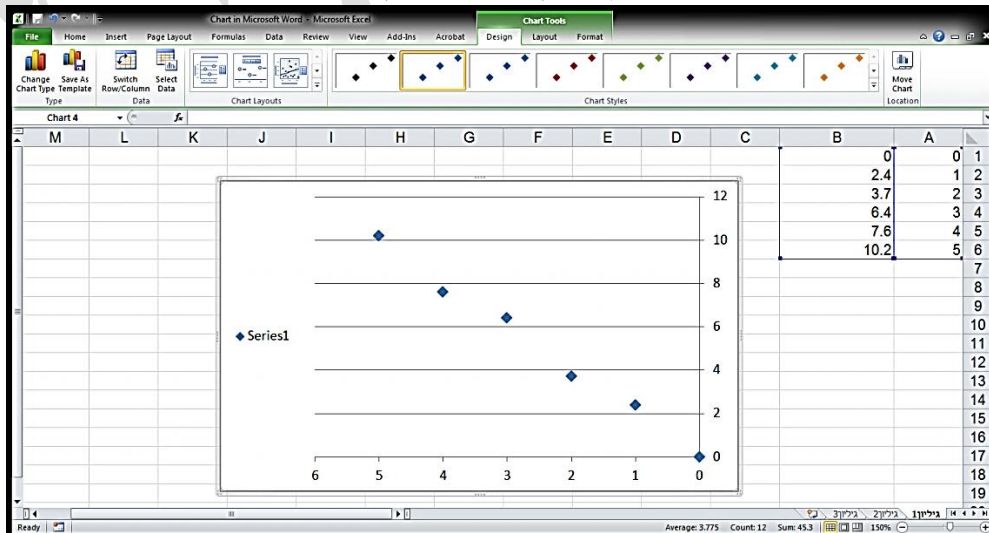
2. بواسطة سهم الفأر نعلم المعطيات كما هو مبين في الشكل التالي:



3. نفتح الخانة (Insert)، وهناك نضغط على (scatter)، ونختار طريقة عرض الرسم البياني الذي نريده. نختار عادةً نقاط متفرقة (الشكل الأول من بين الأشكال المعروضة في الشكل التالي).

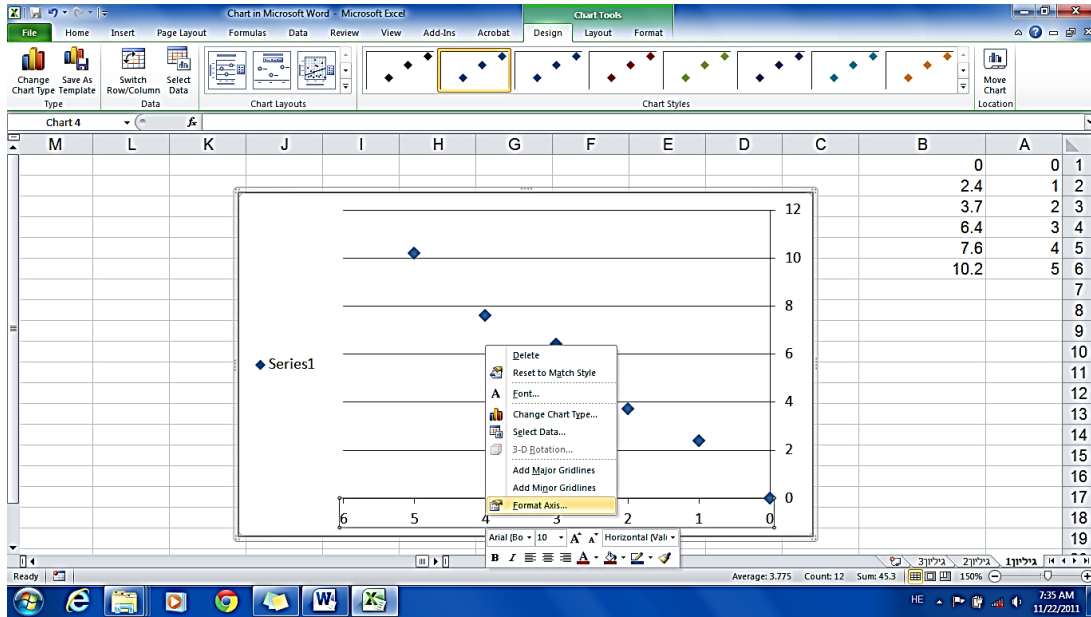


4. عندما نقوم بالخطوة الأخيرة نحصل على الرسم البياني بالشكل التالي:

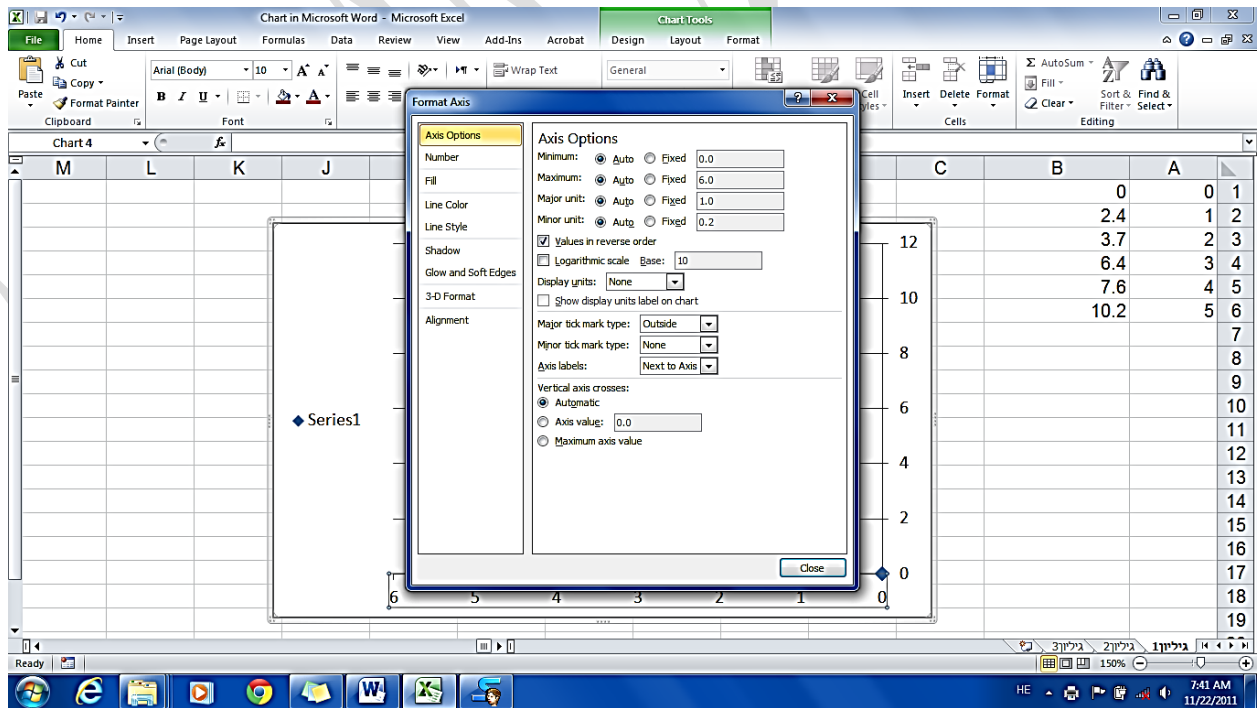


الآن نبدأ بتحسين الرسم البياني وذلك باتباع الخطوات التالية :

1. نضع سهم الفأر على أحد الأرقام على المحور الأفقي ونضغط على الكبسة اليسرى بالفأر ونختار (Format axis)

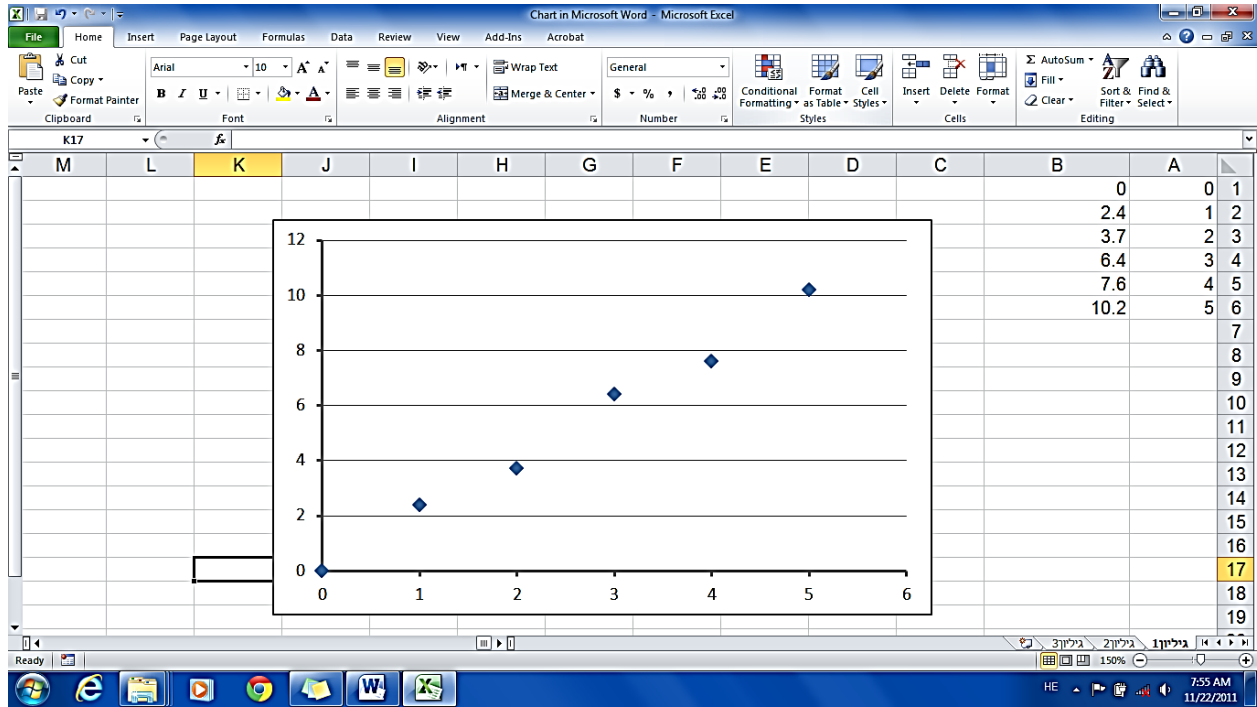


2. تفتح نافذة جديدة تحتوي على المعلومات التالية :



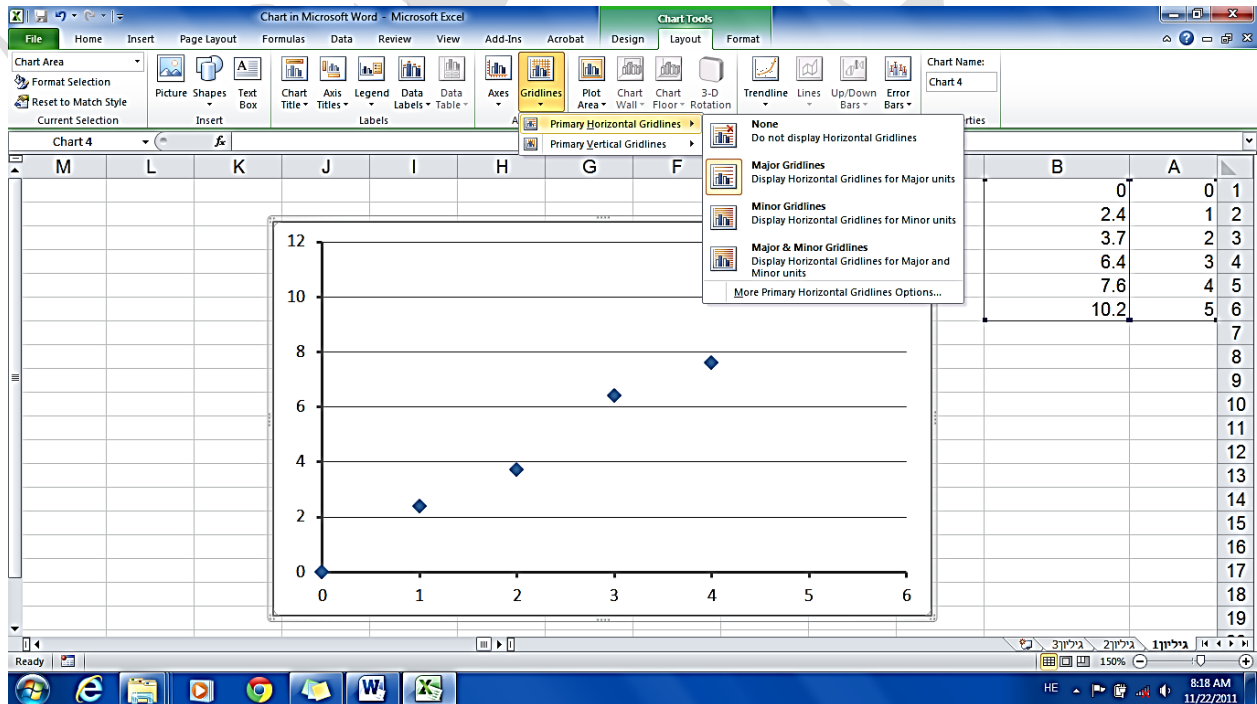
3. هنا نقوم بعملية قلب المحور (values in reverse order) ، كذلك نقوم باختيار المجال وكذلك اختيار كيفية تقسيم المحور. بما أن القيم على المحور معطاة بدقة أعشار، نختار القيم الصغرى لتقسيم المحور بأعشار. هنا أيضا من التحكم بسُمك المحور ولونه.

4. نقوم بنفس العملية أعلاه بالنسبة للمحور العمودي. في نهاية هذه العملية نحصل على الرسم البياني التالي :

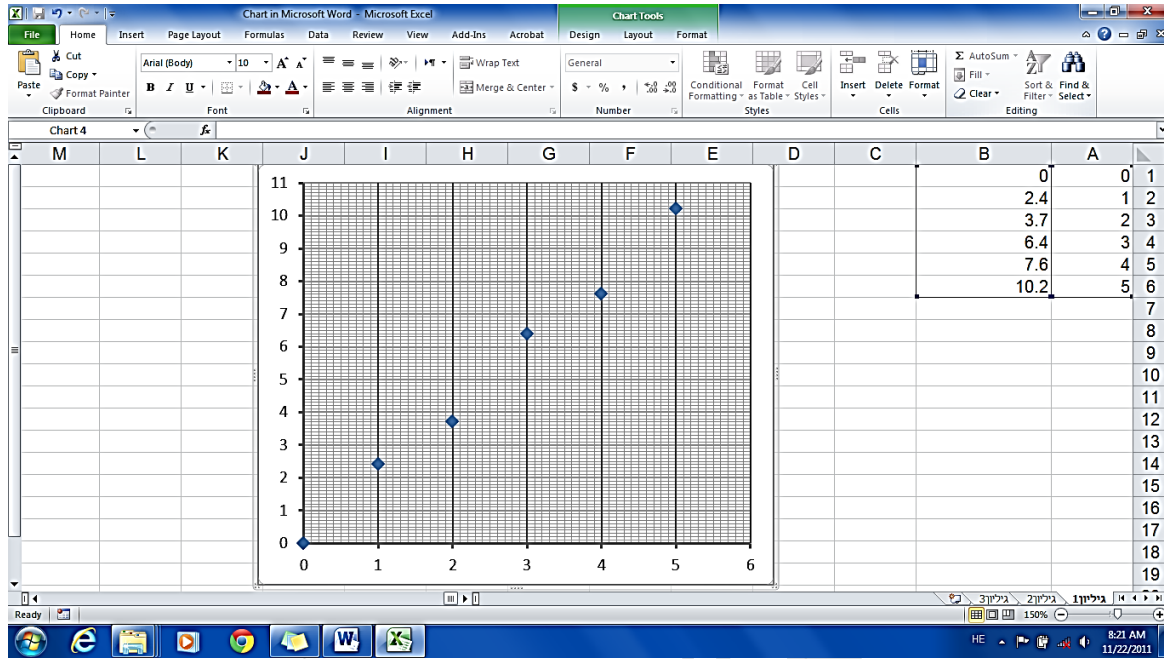


5. لكي يظهر بالرسم البياني الأجزاء الصغيرة لكل محور، تُضيف الآن شبكة، وهذا يتم باختيار الخانة (Layout)، وهناك نختار (Gridlines)، ونختار إضافة خطوط شبكة أفقية وعمودية (يمكن اختيار خطوط شبكة رئيسية (Major) أو ثانوية (Minor) أو الاثنين معا).

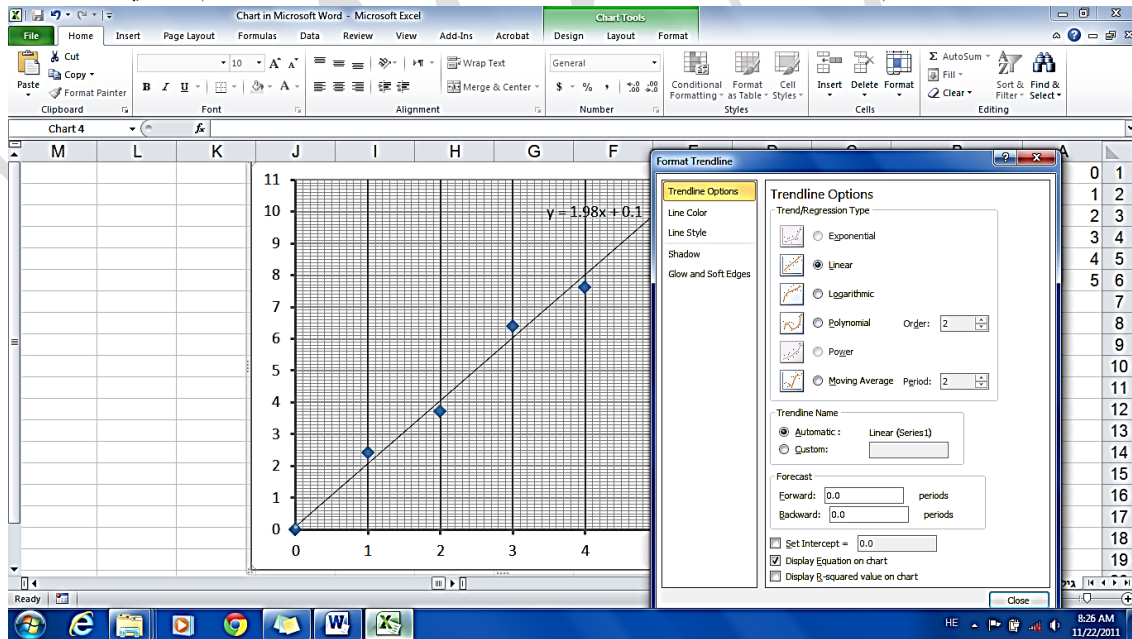
6.



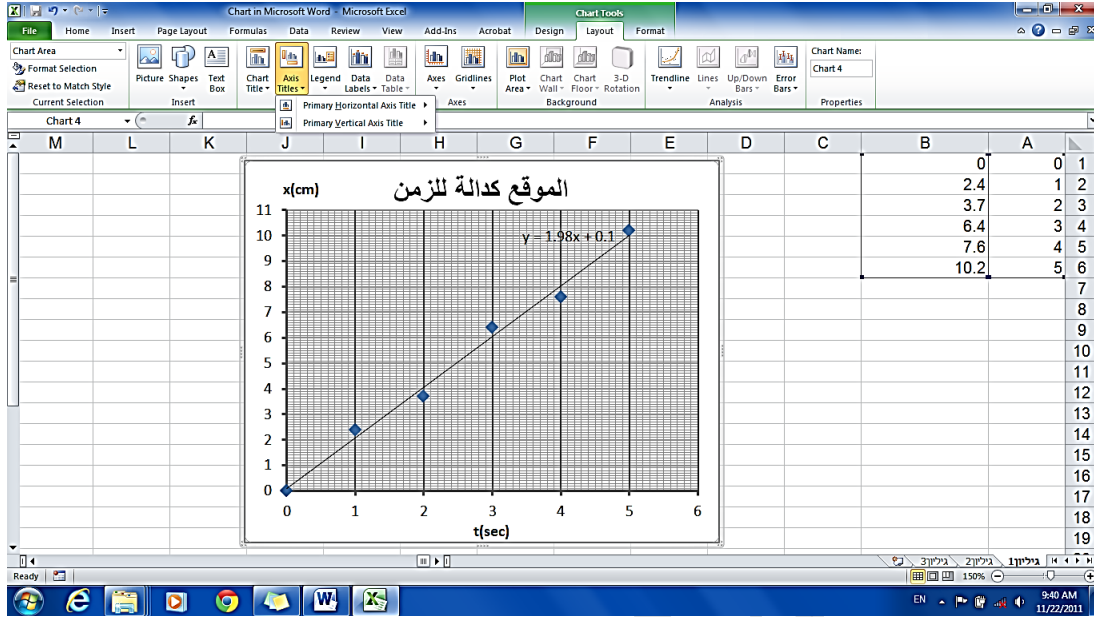
7. عند إضافة الشبكة نحصل على الشكل التالي:



في الشكل الأخير تم تنسيق خطوط الشبكة من حيث سمك الخطوط ولونها (هذه مهارة تتعلمها تدريجياً مع الخبرة).
8. الآن نُضيف خط متوسط، وذلك بأن نضع سهم الفأر على إحدى النقاط، ونضغط على الكبسة اليمينية، فتظهر نافذة، نختار في هذه النافذة (Add trendline)، فنفتح نافذة أخرى نحدد بها نوع الخط، إذا كان مستقيماً أو بربولا أو غيره. نختار الخط المستقيم، وكذلك في أسفل هذه النافذة يمكن اختيار إضافة معادلة للرسم البياني:

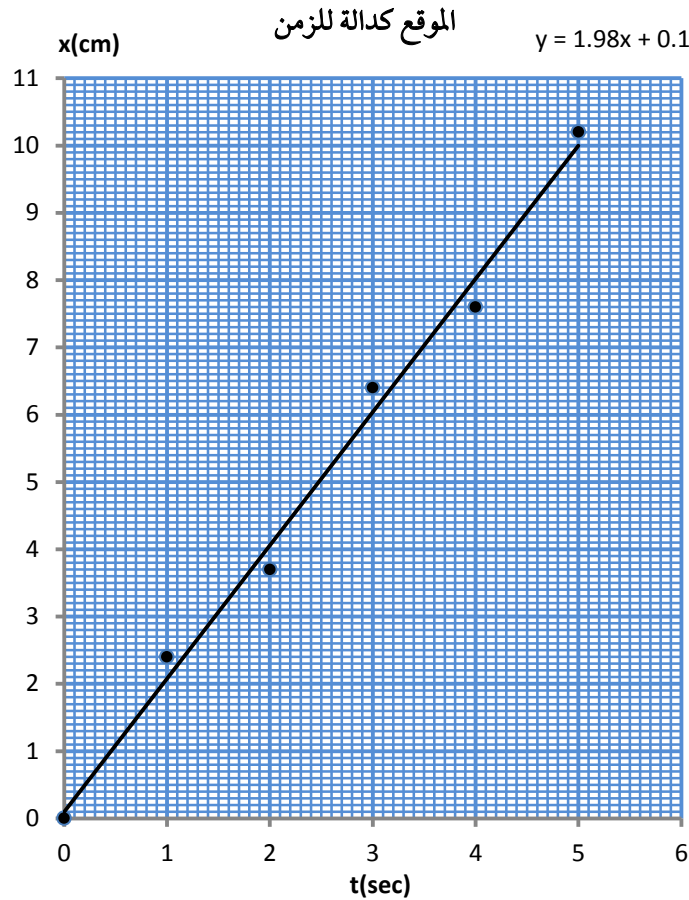


9. الآن نُضيف اسم الرسم البياني وكذلك أسماء المحاور والوحدات. هذا الأمر يتم من خلال الضغط على خانة (Layout) ونختار هنالك (Chart Title) ونسجل اسم عنوان الرسم. بعد هذا نضغط على خانة (Axis Title)، ونختار عنوان للمحور الأفقي (horizontal axis)، وعنوان للمحور العمودي (Vertical axis)، ونحصل على الرسم البياني التالي:



10. يمكن تنسيق كافة أجزاء الرسم من حيث الكبر ونوع الخطوط وسُمكها وألوانها ونوع علامات النقاط وكبرها وإلى ما ذلك، وهذا تتعلمه تدريجياً مع الخبرة.

11. نقل الرسم البياني إلى ملف إل Word (העלתק הדבוק)، ونحصل على الشكل التالي:



الرسم البياني الأخير تمّ تنسيقه من حيث لون الخطوط وسُمكها ونوع الخطوط وغيره، وهذه مهارات تتعلمها كما ذكرنا مع الخبرة.