

## الفصل الأول

### مقدمة وتعريفات

١,١ مقدمة

١,٢ مراحل القياس

١,٣ المعايرة

١,٤ تعريف لبعض المصطلحات

١,٥ الأرقام المعنوية

١,٦ رسم المنحنيات وكيفية تحويلها إلى منحنيات خطية



## ١,١ مقدمة

نستخدم القياسات في كثير من حياتنا اليومية، فمثلا يذهب الشخص ليشترى كيلو برتقال، أو يملا خزان وقود السيارة ٣٠ لتراً، أو ليشترى قطعة أرض بأطوال وزوايا ومساحة محددة. كما يقوم الطبيب بقياس درجة حرارة المريض وضغط دمه، وربما وزنه، بالإضافة لقياسات أخرى حتى يتم تشخيص الحالة.

كما نقوم بمراقبة سرعة السيارة من خلال عداد السرعة، وربما أمكن في بعض السيارات التحكم في سرعتها. ونتحكم في درجة حرارة الغرفة عن طريق ثيرموستات لقياس والتحكم في درجة الحرارة.

كما حبانا الله ببعض الحواس (السمع، والبصر، واللمس، والشم، والتذوق) لنستخدمها في حياتنا اليومية، التي تساعدنا على اكتشاف الأشياء من حولنا والحذر من بعضها. فالإنسان يستطيع أن يميز بين الملمس الناعم والخشن، ويميز بين الطعم المر والحلو، والشيء البارد والحار، ويستطيع أن يقرر بناءً على ذلك. كما أن بعض الحيوانات قد تكون لها حواس مشابهة، وقد تكون أكثر قوة أو ضعفاً من التي لدى الإنسان.

ونستخدم القياس في عمليات التحكم والسيطرة. ففي الثلاجة المنزلية وفي كل وحدة تكييف منزلية يوجد ثيرموستات لقياس درجة الحرارة ومقارنتها بنقطة الضبط وعلى ضوءها يتم تشغيل أو إيقاف الوحدة. وتنتشر أجهزة القياس والتحكم في التطبيقات الصناعية والهندسية للتحكم في الضغط، ودرجة الحرارة، ومعدل السريان، وغيرها. كما أن القياس والتحكم له استخداماته العديدة في المجالات الحربية والطيران والفضاء.

إن عمليتي القياس والتحكم لا غنى عنهما في التطبيقات الهندسة والصناعية، ومن ضمن أكثر الأمور قياساً في مجالات الهندسة الميكانيكية هي:

١- درجة الحرارة

٢- الضغط

٣- التدفق (معدل السريان)

- ٤- المسافة
- ٥- الزمن
- ٦- القوة
- ٧- الإجهاد والانفعال
- ٨- القدرة
- ٩- رطوبة الهواء
- ١٠- السرعة الخطية والدورانية

يضاف إلى ذلك، القياسات الخاصة بخواص المواد، مثل: الكثافة، ومعامل التوصيل الحراري، واللزوجة، وغيرهم.

ومن ضمن التطبيقات الهندسية للقياسات والتحكم ما يلي:

- التحكم في درجة الحرارة في تطبيقات تكييف الهواء
- التحكم في السرعة (مثل سرعة المركبة)
- التحكم في ضغط كابينة الطائرة خلال الرحلة
- التحكم في الصواريخ والطائرات غير المأهولة
- التطبيقات الصناعية حيث لا تخلو من عمليات القياس والتحكم

## ١,٢ مراحل منظومة القياس

تمر عملية القياس بمراحل. كل مرحلة لها هدف معين، ويستفاد منها في المرحلة اللاحقة. المرحلة الأولى هي مرحلة الإحساس والاستشعار، يليها مرحلة تهيئة الإشارة، ثم تليها مرحلة الإخراج، وأخيرًا إذا لزم الأمر مرحلة التغذية المرتجعة (feedback) والتحكم (control). وفيما يلي توصيف لكل مرحلة [١-٤]:

### ١- مرحلة الإحساس والاستشعار Sensor & Transducer

هي المرحلة الأساسية لعملية القياس، حيث يتم استخدام مجس أو حاس (sensor) يقوم بقياس تغير صفة للمادة، حيث تتغير هذه الصفة بتغير المتغير الذي يراد قياسه. عنصر المجس يقيس الظاهرة عن طريق تغير أحد خصائص المادة (مثل أن يتم قياس تمدد

القضيب عند تعرضه إلى درجة حرارة أكبر من درجة حرارته السابقة، ليعطي مقداراً لدرجة حرارة القضيب).

وإذا ما تم تحويل هذه الصفة أو الظاهرة إلى إشارة (كهربائية، أو ميكانيكية، أو خلافة) فإنه تمت عملية الاستشعار (transducer).

في كثير من الأحيان يمكن اختصار عمليتي الإحساس والاستشعار بقولنا عملية استشعار.

## ٢ - مرحلة تهيئة الإشارة Signal Conditioning

هنا يتم إصلاح أو معالجة الإشارة الخارجة من جهاز الاستشعار إذا لزم الأمر (تكبير، وتصغير، وفترة (أو ترشيح)، والتخلص من الشوائب التي فيها). وهناك نوعان أساسيان من الشوائب التي قد تكون مع الإشارة، وهما:

### الإزعاج أو التشويش Noise والتداخل Interference

ويعرف التشويش بأنه التغير المتذبذب حول القيمة المتوسطة للمتغير المراد قياسه، ويمكن التخلص من التشويش عن طريق معالجة النتائج المقاسة إحصائياً. أما التداخل فهو سلوك الإشارة مسلك مخالف للقيمة الفعلية، واتخاذ قيم بعيدة للمتغير المراد قياسه عن القيم الفعلية للمتغير، وذلك نتيجة تأثيرات خارجية. فالقيم المقاسة للمتغير تأخذ منحاً مخالفاً للقيم الفعلية للمتغير نتيجة تداخل إشارة أخرى على إشارة المتغير المراد قياسه.

## ٣ - مرحلة الإخراج Output

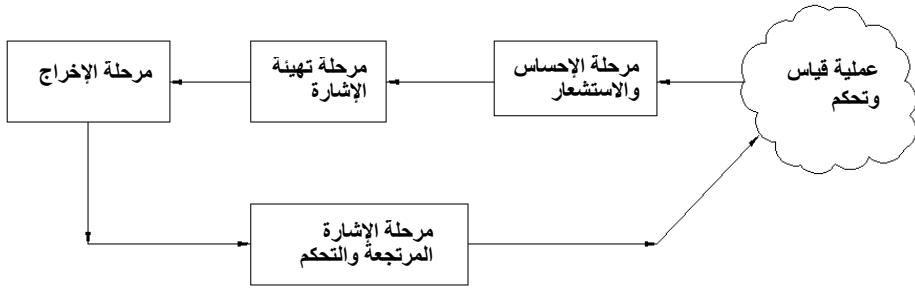
هنا يتم إخراج القيمة المقاسة للاطلاع عليها، مثل شاشة الحاسب الآلي، أو الطابعة، أو تدريج، أو خلاف ذلك. وفي كثير من التطبيقات يمكن تسجيل القيم المقاسة مع الزمن لدراستها وتحليلها لاحقاً.

## ٤ - مرحلة التغذية المرتجعة والتحكم Feedback and Control

في كثير من التطبيقات الهندسية والصناعية يتم قياس المتغير لإجراء عملية تحكم. فلو فرضنا أن المتغير المراد قياسه هو درجة الحرارة، فإن الحاكم (controller) يقوم باستقبال

القيمة المقاسة لدرجة الحرارة، ويقوم أيضًا باستقبال قيمة نقطة الضبط (set point) (درجة الحرارة المراد المحافظة عليها)، وعند وجود اختلاف يقوم الحاكم بإرسال إشارة تصحيح لعنصر التحكم، لعمل اللازم نحو محاولة تقليل الفرق بين القيمة المقاسة ونقطة الضبط.

وتجدر الإشارة إلى ضرورة وجود مرحلتي الإحساس والاستشعار والإخراج في كل عمليات القياس المختلفة، غير أن عمليتي تهيئة الإشارة وعمليات التحكم قد يُحتاج إليهما في بعض أنظمة القياس. يوضح الشكل ١،١ مراحل عملية القياس.



شكل ١،١. مراحل عملية القياس.

سبق وأن أشرنا إلى أن عملية القياس ضرورية في البيع، والشراء، والمعاملات التجارية، والصحة، والعمليات الهندسية والصناعية المختلفة. كذلك ينبغي الإشارة لأهمية إجراء التجارب والقياس في مراكز الأبحاث والدراسات والجامعات والكليات. حيث يقوم المهندسون والعلماء والباحثون بإجراء التجارب والدراسات على نماذج من المواد والأجهزة والمعدات والمنتجات المصنعة.

خذ على سبيل المثال التجارب التي تجرى على نماذج من الطائرات والصواريخ لمعرفة تأثير المتغيرات المختلفة على أداء هذه الأجهزة والمعدات، وكذلك الحال في الدراسات على كثير من النماذج المصنعة، سواء كانت مركبات أو أجهزة أو معدات. إن إجراء التجارب وعمل القياسات على هذه النماذج ضروري جدًا لإعطاء فكرة وتصورًا لأداء هذه المنتجات بحجمها الطبيعي. إن إجراء هذه التجارب والقياسات يوفر كثيرًا من الجهد والمال.

ولذلك جرت العادة في إجراء التجارب على نماذج معملية صغيرة نسبيًا وغير مكلفة (models) من المنتجات، وتعريضها لظروف مختلفة لمعرفة أدائها و من ثم استنتاج أداء الحجم الطبيعي منها، وعمل التعديلات الضرورية.

### تصميم عملية القياسات وإجراء التجارب

عرفنا فيما سبق مراحل عملية القياس بصورة عامة، لكن ماذا عن منهجية تصميم تجربة معملية لقياس متغير ما. لكي يصل مصمم التجربة المعملية لأهدافه، ينبغي عمل خطة مدروسة قبل القيام مباشرة بالتجربة، وإلا ضاع الجهد في إجراء التجربة دون تحقق الأهداف المرسومة. يمكن تلخيص خطوات تصميم تجربة معملية لعملية قياس في الخطوات التصميمية الآتية [١-٢]:

١- خطوة اختيار المتغيرات المراد قياسها

٢- خطوة اختيار الأجهزة المناسبة ذات الدقة والصحة المناسبة للقياس

٣- خطوة استخدام ومعالجة البيانات واستخلاص النتائج

ينبغي لأية عملية قياس أن يتم وضع تصور واضح لخطوات القياس حتى يمكن الوصول لهدف إجراء التجارب وعملية القياس. وهذا يعني أن يقوم المهندس بتصميم خطوات القياس السابقة قبل البدء الفعلي في عملية القياس.

لنأخذ مثالاً بسيطاً لشخص يريد أن يقيس فعالية مبادل حراري بين ماء ساخن وهواء بارد. تعرف فعالية المبادل بأنها: النسبة بين كمية الحرارة المنتقلة فعلياً من سريان إلى آخر، وأكبر كمية حرارة يمكن أن تنتقل بين السريانين. لذا وجب على المصمم أن يقيس المتغيرات التي تؤدي لتحقيق هذا الهدف، ولذلك من الواضح أن يقرر المهندس قياس درجات الحرارة للمائع الساخن والبارد، وأن يقيس كمية التدفق لكليهما، ثم ربما يستخدم الجداول لمعرفة بعض الخصائص، وبعد ذلك يقوم بعملية حسابية. كما يجب أن يقرر (كما في الخطوة الثانية أعلاه) باختبار دقة وصحة الأجهزة التي سيختارها. كما أن المهندس يجب أن يكون لديه تصور عن كيفية تجميع البيانات والمعلومات المقاسة التي سجلها، وكيف يستخلص منها النتائج التي تحقق هدف التجربة بالدقة المطلوبة.

## ١,٣ المعايرة

في تطبيقات المعايرة، تتم معايرة الأجهزة الموجودة لدى مؤسسة أو مصلحة ما باستخدام أجهزة معايرة تشغيلية موجودة لدى المؤسسة، ويتم فقط استخدامها عند الرغبة في معايرة الأجهزة المستخدمة يوميًا. لكن عند الرغبة في معايرة أجهزة المعايرة هذه، وجب معايرتها بأجهزة أكثر دقة وصحة، وتسمى بأجهزة المعايرة المحلية. وعند الرغبة في معايرة الأجهزة المحلية يتم معايرتها بأجهزة معايرة على نطاق الدولة، والموجودة على سبيل المثال في موقع مركزي في الدولة. وإذا ما أريد معايرة هذه الأجهزة الأخيرة الموجودة في الموقع المركزي، فإنه يتم إرسالها للموقع الأساسي الدولي.

فعلى سبيل المثال يمكن لمؤسسة لديها أجهزة قياس درجات الحرارة أن يكون لديها جهاز معايرة تشغيلي ذو دقة على سبيل المثال ٠,١ درجة مئوية، يتم استخدامه لمعايرات الأجهزة الموجودة لدى المؤسسة. وإذا رغبت الشركة أو المؤسسة في معايرة أجهزة المعايرة لديها، تقوم بإرسال جهاز المعايرة التشغيلي إلى مركز محلي، وربما يكون لديهم أجهزة لقياس الحرارة بدقة ٠,٠١ درجة مئوية، والتي بدورها تضمن معايرتها بأجهزة معايرة على نطاق الدولة بدقة أعلى، على سبيل المثال ٠,٠٠٥ درجة مئوية، والتي بدورها يمكن معايرتها لدى الأجهزة العالمية عند المرجعية الأصلية. ولذلك للحصول على دقة وصحة في القياس وجب تتبع التسلسل الهرمي في إسناد معايرة أجهزة القياس.

## ١,٤ تعريف لبعض المصطلحات

فيما يلي توضيح لبعض التعريفات وتعريف لبعض المصطلحات التي سيتم استخدامها في هذا الكتاب [١-٤].

## المتغيرات Variables

يمكن تقسيم المتغيرات بصورة عامة إلى متغيرات حرة (لا تعتمد على غيرها) (independent) ومتغيرات اعتمادية (dependent)، فمثلا في المعادلة الآتية:

$$y = f(x_1, x_2, x_3) \quad (1.1)$$



فإن المتغير  $y$  يعتمد على قيم كل من  $x_1$ ، و  $x_2$  و  $x_3$ . بينما قيم  $x$  تعتبر حرة في أخذ القيم. ولذلك يسمى المتغير  $y$  متغير اعتمادي، حيث إذا تغيرت قيم  $x$  فإن قيم  $y$  تتغير، بينما يسمى المتغير  $x$  متغير حر (independent).

كما يمكن تقسيم المتغيرات إلى متغيرات تأخذ قيمًا متصلة (continuous) مثل قياس درجة الحرارة باستخدام جهاز قياس درجة الحرارة، ومتغيرات تأخذ قيمًا محددة أو منفصلة (discrete) مثل العامل "س" أو العامل "ص" أو الماكينة "ل" أو الماكينة "ع".

يوجد نوع من المتغيرات يسمى extraneous variable أو المتغير المتعدي، وهذه المتغيرات تؤدي إلى تغير في القيمة المقاسة، ولا يمكن التحكم فيها ولا يراد ذلك.

وتنعكس آثار هذه المتغيرات على سلوك الإشارة المقاسة في أحد من الأمرين:

- سلوك الإشارة المقاسة سلوكًا مختلفًا أو سلوكًا خاطئًا (التداخل)

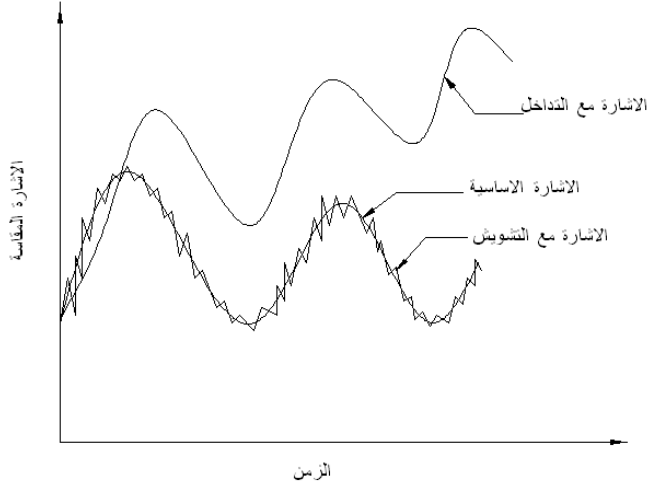
- تغير متذبذب للإشارة المقاسة (تشويش)

يبين الشكل ١،٢ الإشارة المقاسة مرة عندما يتسبب التداخل في سلوك الإشارة مسلكًا بعيدًا عن القيمة الفعلية المقاسة، ومرة عندما يتسبب التشويش في تذبذب الإشارة حول القيم المتوسطة. ويمكن للطرق الإحصائية في معالجة التذبذب (أو التشويش) الذي يصحب الإشارة، ويصعب التخلص من السلوك الخاطئ في الإشارة.

إنه من المهم جدًا التقليل ما أمكن من التأثير السيئ للمتغيرات المتعدية حتى لا تؤدي إلى قياسات خاطئة.

إذا ما تم تثبيت متغير بقيمة معينة، فإن المتغير يسمى متغير متحكم فيه (controlled variable). وعند دمج عدة متغيرات في عنصر واحد يسمى هذا المتغير بارامتر (parameter)، وتتم الدراسة على تغير هذا العنصر أو البارامتر. وكمثال على ذلك يمكن دمج قطر الأنبوب (D) وسرعة المائع (V) وكثافة المائع (ρ) ولزوجة المائع (μ)

في عنصر أو بارامتر هو رقم رينولدز (Reynolds number)  $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$ .



شكل ١,٢. تأثير التداخل والتشويش على الإشارة المقاسة.

### الاختبار المتسلسل Sequential Test

يجرى هذا الاختبار عندما يتم إجراء تجربة لمدخلات تتغير بصورة تدريجية (تسلسلية) من الأصغر إلى الأكبر أو العكس.

### الاختبار العشوائي Random Test

هو الاختبار الذي يتم إجراؤه عندما تتغير المدخلات بصورة عشوائية غير منتظمة.

### التخلف Hysteresis

عندما يتم إجراء الاختبار بصورة تسلسلية تصاعدية ثم تنازلية، فإن أكبر فرق بين القيم المقاسة عند إجراء القياس تصاعدياً و تنازلياً يسمى التخلف، ويمكن كتابته كالاتي:

$$e_h = \frac{(y_{upscale} - y_{downscale})_{\max}}{r_o} * 100 \quad (1.2)$$

حيث  $y_{upscale}$  هي القيمة المقاسة عند إجراء التجربة تصاعدياً، و  $y_{downscale}$  هي القيمة المقاسة عند إجراء التجربة تنازلياً، و  $r_o$  هو مدى القياس للمتغير  $y$ .

## درجة الشك Uncertainty

عند شراء جهاز قياس، يقوم المصنع عادة بإعطاء معلومات كافية عن الجهاز، حتى يستطيع المستخدم معرفة مقدار صحة الجهاز ودرجة الشك في القيم المقاسة. وعادة يتم ذلك بأن يقوم المصنع بتجربة الجهاز وقياس الأداء ومقارنته بجهاز أو مرجع أكثر صحة ودقة. من بعض الخصائص التي يرصدها المصنع ما يلي:

- الخطأ نتيجة العلاقة الخطية (linearity error)
- الخطأ نتيجة معامل الحساسية (sensitivity error)
- الخطأ نتيجة المرجع الصفري (zero shift error)

كما أن هناك أخطاء أخرى قد يرصدها المصنع.

وعلى مستخدم الجهاز القيام بحساب درجة الشك uncertainty باستخدام ما يسمى بجذر مجموع مربعات الأخطاء (RSS = Root of Sum of Squares).

ويمكن كتابة ذلك رياضياً كالآتي [١-٤]:

$$u_i = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_4^2 + \dots} \quad (1.3)$$

حيث  $e_1, e_2, e_3, \dots$  هي قيم الأخطاء الموجودة في الجهاز حسب مواصفات المصنع و  $u_i$  هي درجة الشك في القياس.

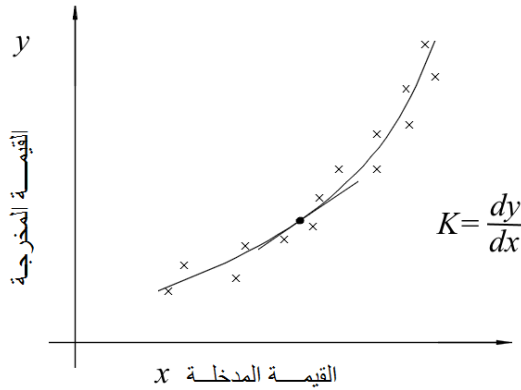
## التكرار و التناسخ

التكرار (Repetition) هي عملية تكرار القياس عند شروط واحدة، ومثال على ذلك قياس درجة الحرارة في حيز (أو غرفة) عند وضع الثرموستات على نقطة ضبط معينة، ومن ثم إيجاد المتوسط وبقية المتغيرات الإحصائية لدرجة الحرارة داخل الغرفة. أما التناسخ (Replication) هي عملية قياس عند ظروف واحدة ثم تغيير هذه الظروف (أو الشروط) إلى شروط أخرى مختلفة ثم إعادة الشروط الأولى مرة أخرى وعمل القياس مرة أخرى لمعرفة مدى قدرة نظام التحكم على الوصول إلى توزيع القيمة المقاسة عند نفس الظروف (أو الشروط). فعلى سبيل المثال يمكن ضبط ثرموستات الغرفة عند درجة حرارة

مثلاً ٢٥°م ثم تغير نقطة الضبط الى قيمة جديدة مثلاً ٢٨°م لفترة معينة ثم إعادة ضبط الترموستات على ٢٥°م ومقارنة نتائج القياس عند ٢٥°م في المرة الأولى والمرة الثانية. لذلك فإن التناسخ سيعطي انطباع عن قدرة جهاز التحكم في الوصول الى توزيع واحد عند نفس الظروف.

### منحنى المعايرة Calibration Curve

عند عمل المعايرة، تتم مقارنة القيمة المقاسة بقيمة قياسية، ويتم إظهار ذلك على ما يسمى بمنحنى المعايرة. ويمكن أيضًا أن تتم مقارنة قراءة الجهاز من مدخلات معروفة (قياسية) مع مخرجات الجهاز. ولنرمز للمدخلات القياسية بالرمز  $x$  والمخرجات بالرمز  $y$ . عند رسم التغير للمدخلات مع المخرجات، فإن المنحنى الناتج يسمى بمنحنى المعايرة، انظر الشكل ١،٣. ويمكن تقسيم المعايرة إلى "معايرة ساكنة" و "معايرة ديناميكية"، و سوف يتم توضيحهما لاحقًا.



شكل ١،٣. منحنى المعايرة.

### الحساسية Sensitivity

هي ميل منحنى المعايرة. ويمكن رياضياً كتابتها كالآتي [١-٢]:

$$K \Big|_{x=x_1} = \frac{dy}{dx} \Big|_{x=x_1} \quad (1.4)$$

وهذا يعني أنه ربما تتغير قيم الحساسية حسب قيم المدخلات. في كثير من تطبيقات أجهزة القياس تكون قيمة  $K$  ثابتة، أي أن العلاقة خطية بين المدخل والمخرج.

### مدى المدخلات

لو كانت المدخلات تأخذ قيم بين  $x_{\min}$  و  $x_{\max}$  فإن مدى المدخلات هو

$$r_i = x_{\max} - x_{\min} \quad (1.5)$$

### مدى المخرجات

أيضاً لو كانت المخرجات تتغير بين  $y_{\min}$  و  $y_{\max}$  فإن مدى المخرجات يكون

$$r_o = y_{\max} - y_{\min} \quad (1.6)$$

وفي بعض الأحيان يسمى هذا المدى بمدى التشغيل الكامل ( Full Scale Operation )  
 $(range = FSO)$ .

### التفصيل Resolution

التفصيل يمثل أصغر تغير في القيمة المقاسة، فعلى سبيل المثال لو أن شخصاً استخدم مترًا (أو مسطرة) فإن أقل قيمة يمكن قراءتها هي ١ مم، ويكون التفصيل لهذا الجهاز هو ١ مم.

### الخطأ والصحة

إذا كانت القيمة الصحيحة للقيمة المقاسة معروفة، فإن الفرق بين القيمة المقاسة والقيمة الصحيحة هو الخطأ، وتعرف نسبة صحة القراءة ( $A = Accuracy$ ) بأنها مقسوم الخطأ إلى القيمة الصحيحة كنسبة في المائة أو

$$A = \frac{|error|}{exact\ value} * 100 \quad (1.7)$$

### صحة الجهاز ودقة الجهاز

يطلق على الجهاز بأن قراءته صحيحة، أو مضبوطة (accurate) إذا كانت القيمة المقاسة قريبة جداً من القيمة الحقيقية. ويطلق على الجهاز بأنه دقيق (precise) إذا

كانت قراءته لأية قيمة مدخلة ثابتة لا تتغير كثيرًا. ويعبر عن صحة الجهاز بالخطأ المنتظم. ويعبر عن مدى دقة الجهاز بالخطأ المبعثر.

### مثال مقارنة قراءة جهازي قياس درجة الحرارة

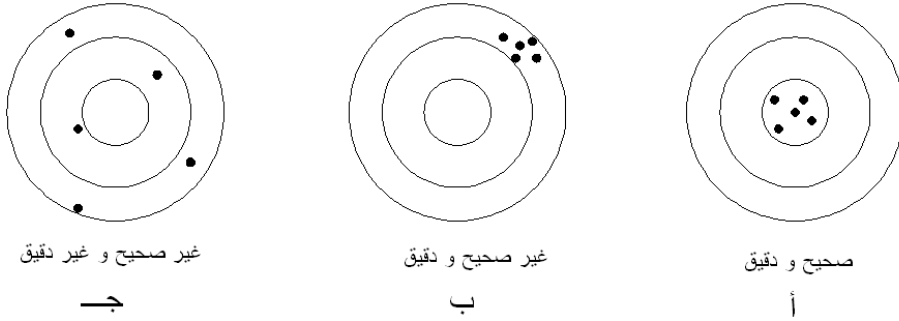
في الجدول ١، ١ تم أخذ ٧ قراءات لجهاز، ومن ثم حساب المتوسط، وكذلك لجهاز آخر أيضًا ٧ قراءات، ولكي نبين الفرق بين الجهازين أيهما صحيح القراءة (accurate) وأيهما غير صحيح القراءة، ولكن دقيق (precise). يتضح من الجدول أن الجهاز الأول أكثر صحة من الثاني، إذ إن القيمة المتوسطة أقرب للقيمة الحقيقية وهي ٢٥ درجة. غير أن الجهاز الثاني أكثر دقة، إذ إن القيم كلها لم تتباعد كثيرًا عن الرقم ٢٧. ولو تم حساب مجموع الفرق بين القيمة المتوسطة وكل قيمة بالنسبة للجهاز الأول، ستكون ١،٤٣٤٣، وبالنسبة للجهاز الثاني ستكون ٠،١٩٤٣، لذلك يقال أن الجهاز الأول صحيح لكن غير دقيق، والجهاز الثاني دقيق ولكن ليس بصحيح.

جدول ١، ١. مقارنة بين قراءة جهازين.

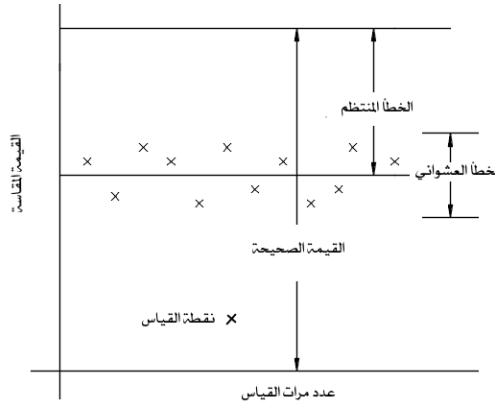
	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	المتوسط
الجهاز ١	٢٥،٢	٢٤،٥	٢٤،٣	٢٥،٣	٢٤،٦	٢٥،٥	٢٤،٤	٢٤،٨٣
الجهاز ٢	٢٧،١	٢٦،٨	٢٧	٢٦،٩	٢٧،٢	٢٧،١	٢٦،٧	٢٦،٩٧
مربع الفرق للجهاز ١	٠،١٣٦٩	٠،١٠٨٩	٠،٢٨٠٩	٠،٢٢٠٩	٠،٠٥٢٩	٠،٤٤٨٩	٠،١٨٤٩	١،٤٣٤٣
مربع الفرق للجهاز ٢	٠،١٦٦٩	٠،٠٢٨٩	٠،٠٠٠٩	٠،٠٠٤٩	٠،٠٥٢٩	٠،٠١٦٩	٠،٠٧٢٩	٠،١٩٤٣

يعرض الشكل ١، ٤ مثالًا لتوضيح الصحة والدقة أكثر، حيث يرمي الرامي الأسهم لكي يصيب الهدف في المنتصف. ففي الشكل ١، ٤ أ يعتبر الرامي صحيحًا ودقته عالية، إذ كانت رمياته قريبة من بعضها البعض وتقريبًا في الهدف (في الدائرة الصغرى)، ولذلك فإن الخطأ المنتظم والخطأ المبعثر صغيران. وفي الشكل ١، ٤ ب يعتبر الرامي دقيقًا (خطأ البعثرة قليل) ولكنه بعيد عن الهدف المنشود، فالخطأ المنتظم أو الانحياز عالٍ. أما في الحالة التي يبينها الشكل ١، ٤ ج، فإن الرامي لم يصب الهدف، كما أن الدقة

معدومة، ولذلك فكلما الخطأين المبعثر والممنتظم عاليين. ولذلك فإن خطأ أي جهاز يمكن أن يكون خطأ مبعثرًا، أو منتظمًا، أو كليهما. الشكل ١,٥ يوضح الفرق بين الخطأ المنتظم والخطأ المبعثر [١-٣].



الشكل ١,٤. الخطأ المنتظم والمبعثر لرامي الهدف.



شكل ١,٥. الخطأ المنتظم والخطأ المبعثر (العشوائي).

يتضح من الشكل ١,٥ أنه لا بد من عمل معايرة للجهاز مع جهاز أدق وأصح من أجل تعديل القياسات وتقادي الخطأ المنتظم. أما الخطأ المبعثر، فيمكن تقليله بقدر الإمكان باستخدام بعض أساليب الإحصاء والاحتمالات، كما سيظهر في الفصل الخاص بذلك.

### الوحدات والأبعاد

يتم قياس المتغيرات بوحدات مختلفة، فعلى سبيل المثال يمكن أن نقيس الكتلة بالجرام أو مضاعفاته، ولكن أيضًا يمكن أن تكون وحدات الكتلة الباوند، وهذا ما يستخدم في

الوحدات الإنجليزية، غير أن بعد الكتلة (dimension) هو M على سبيل المثال، سواء تم قياس الكتلة بالوحدات العالمية أو الوحدات الإنجليزية. ويبين الجدول ١,٢ بعضًا من الأبعاد الأساسية وما يقابلها من وحدات عالمية وإنجليزية.

كما توجد وحدات ثانوية لقياس القوة، والضغط، والطاقة، والقدرة، وغيرها، كما يوضحها الجدول ١,٣.

جدول ١,٢. الوحدات الأساسية.

م	المتغير (Variable)	البعد (Dimension)	وحدات عالمية (International Units)	وحدات إنجليزية (English Units)
١	الكتلة	M	كجم	الباوند
٢	الطول	L	متر	قدم
٣	الزمن	T	ثانية	ثانية
٤	درجة الحرارة	$\theta$	درجة كلفن أو مئوية	درجة فهرنهايت أو رانكن
٥	شدة التيار	I	أمبير	أمبير
٦	المادة	N	مول	مول

جدول ١,٣. بعضًا من الوحدات الثانوية.

م	المتغير	الوحدات العالمية	الوحدات الإنجليزية
١	القوة	نيوتن	باوند قوة
٢	الضغط	باسكال	باوند لكل بوصة مربع
٣	الطاقة	جول	وحدات حرارية إنجليزية
٤	القدرة	وات	وحدات حرارية إنجليزية لكل ساعة، أو حصان

### الأبعاد الأساسية في القياس

عند معايرة جهاز ما، فإنه ينبغي معرفة القيمة الصحيحة حتى تتم المعايرة والمقارنة عليه. من المعروف أن لكل متغير يراد قياسه بعد ووحدة. وقد تم الاتفاق على الوحدات القياسية لبعض الوحدات العلمية، منها على سبيل المثال وحدة الكتلة، ووحدة الزمن، ووحدات درجات الحرارة.



## المرجعية

تطلق كلمة المرجعية أو القياسية (standard) على قيمة أو عملية قياس أو شيء متفق عليه. فمثلاً تقوم الجمعيات المهنية، مثل: الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين (American Society of Mechanical Engineers: ASME)، والجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتكييف (American Society of Heating Refrigeration & Air Conditioning Engineers: ASHRAE) ورابطة مصنعي المبادلات الأنبوبية (Tubular Exchanger Manufacturers Association: TEMA)، والمعهد الأمريكي القومي للمرجعية والاختبار (National Institute of Standard and Testing: NIST) [١٠-٥]، وغيرهم بوضع مرجعية في عملية قياس أو تصنيع أداء آلة أو معدة، مثل: المروحة، أو المضخة، أو المبادل الحراري. وعند ذلك يكتب على تلك الأداة أو المعدة أنه تمت صناعتها أو قياس أدائها تبعاً لمواصفات هذه الهيئة أو تلك. وستجد في الغالب قبولاً في السوق، طالما أنها كانت مطابقة للمواصفات العالمية المشهورة. وفي المملكة العربية تقوم هيئة المواصفات والمقاييس (SASO) بوضع الضوابط والإجراءات والمواصفات المرجعية، كما أن لديها أجهزة قياس ومعايرة.

كما تطلق المرجعية على الوحدات الأساسية وتمثيلها. وقد اتفق عالمياً على استخدام الوحدات العالمية (SI)، وتمثيل الوحدات الأساسية للرجوع لها واعتبارها المرجع الأساسي لكل دول العالم. ومن الوحدات الأساسية التي تم اعتمادها وتعريفها هي وحدة الكتلة، وهي الكيلوجرام، واعتبر كتلة قضيب من مادة البلاتينوم واليريديم (platinum-iridium) موجود في فرنسا في بيئة معينة يمثل واحد كيلوجرام بالتمام (مكتب الأوزان والقياسات العالمية بفرنسا (International Bureau of Weights and Measures) [١١]. وكذلك الحال بالنسبة لوحدة المتر، فقد اتفق في وقت معين على تعريف المتر بأنه طول قضيب من البلاتينوم واليريديم (platinum-iridium) عند شروط معينة أيضاً في مدينة سيرفس بمكتب الأوزان والقياسات العالمي بفرنسا. وحالياً تمت إعادة تعريف وحدة المتر بناءً على سرعة الضوء في الفراغ، فأصبح المتر يمثل الطول الذي يقطعه الضوء (في الفراغ) في زمن مقداره  $335641 \times 10^{-9}$  ثانية.

وفي ١٦ نوفمبر من العام ٢٠١٨م خلال اجتماع الدول الأعضاء في المكتب الدولي للأوزان والمقاييس، تم الاتفاق عالمياً على إعادة تعريف للكيلوجرام، حيث أصبح تعريف الكيلوجرام مبني على ثابت بلانك ( $h = \text{Planck's constant}$ ) ويساوي  $١٠ \times ٦,٦٢٦ \times ١٠^{-٣٤}$  جول.ثانية، واستخدام ميزان كيبل للطاقة ( Kibble Watt ) (balance) [١١،٩] للربط بين الوزن ( أي الكتلة مضروباً في عجلة الجاذبية) والفولت والتيار، وهو ما يعني ربط وحدة الكيلوجرام بثابت يمكن تحديده بدقة.

كما تم في نفس التاريخ إعادة تعريف وحدات الأمبير (Ampere) و الكلفن (Kelvin) و المول (Mole) بناء على ثابت شحنة الكهربائية للإلكترون [١٠×١,٦٠٢١٧٦٦٣٤-<sup>١٩</sup> كولمب] وثابت بولتزمان [١٠×١,٣٨٠٦٤٩-<sup>٢٣</sup> جول/كلفن] وعدد افوجادرو [١٠×٦,٠٢٢١٤٠٧٦-<sup>٢٣</sup>].

أما وحدات الزمن، فتم تعريفها على أساس أنها الوقت الذي يمضي خلال عدد فترات  $٩,١٩٢,٦٣١,٧٧٠$  للإشعاع بين انبعاثين أساسيين من سيزيوم  $١٣٣$  (cesium-133). ويمكن عالمياً إعادة هذه الفترة في أي مكان في العالم، طالما توفرت القدرة البشرية والمادية لذلك. وفي باريس بالمكتب العالمي للوقت، يتم دورياً وعالمياً ضبط الوقت على الوقت في هذا المكتب.

بالنسبة للتردد، فيقاس بالهرتز (Hertz: Hz) وهو عدد اللفات في الثانية. فلو كان لدينا موجة فترتها  $T$  فإن التردد  $f$  يعطى بـ

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.8)$$

كما تعرف السرعة الدورانية  $\omega$  كالآتي

$$\omega = 2\pi f \quad (1.9)$$

وتكون وحداتها بالراديان لكل ثانية (rad/s)

### ١,٥ الأرقام المعنوية Significant Figures

عند عمل قياس لأي متغير، فإن القيمة المعطاة تعطي انطباعاً عن عدد الخانات المستخدمة، فمثلاً لو أحدهم قال أن درجة الحرارة تساوي ٢٥,١، فإن الشخص استخدم ٣

خانات. وشخص آخر قال أن درجة الحرارة تساوي ٢٥,٣٤، فإن هذا الشخص استخدم ٤ خانات، أي أن الدقة إلى ٠,٠١ درجة بينما الأول دقته ٠,١ درجة.

عند قياس طول قطعة خشبية فوجد طولها مثلا ١٢,٥٤ سم وعرضها ٥,٣٦ سم، فإن مساحتها من خلال الآلة الحاسبة ستكون ٦٧,٢١٤٤ سم<sup>٢</sup>، ولكن هذا لا يمكن فالرقم الأول الذي يمثل الطول له ٤ خانات معنوية والعرض له ٣ خانات، لذلك ناتج الضرب يجب أن يكون ٣ خانات، ولذلك فناتج الضرب بدقة ٣ خانات يكون ٦٧,٢ سم<sup>٢</sup>.

في العادة لرقم متكون من أرقام بخلاف الصفر، فإن عدد الخانات المعنوية يساوي عدد الأرقام، مثل الرقم ٣,٢١، فإن عدد الخانات المعنوية هو ٣. لا يضر إذا كان العدد به أصفار داخلية، ولكن الوضع يختلف إذا كانت الأصفار يمين العدد أو يسار العدد. بعض الأحيان الأصفار لا يتم حسابها ضمن الخانات المعنوية. خذ مثلا الرقم ٠,٠٠٢٣ فهذا الرقم له فقط خانتان معنويتان. كما أن العدد الصحيح له ما لا نهاية من الخانات المعنوية، لأنه عندما نقول عدد ٣ مثلا فهو ثلاثة وأصفار إلى ما لا نهاية بعد العلامة العشرية. ولذلك يقترح عند الرغبة في معرفة الخانات المعنوية أن تتم كتابة الرقم على صورة أو هيئة رقم مضروب في ١٠ لأس. أي رقما مكتوبا بصيغة هندسية، ويتم حساب عدد الخانات بعد ذلك. الجدول الآتي يبين بعض الأمثلة للخانات المعنوية.

جدول ١,٤. تحديد عدد الخانات المعنوية.

الرقم	الرقم مكتوب بصيغة هندسية	عدد الخانات المعنوية
١٢٣,١٤	<sup>٢</sup> ١٠ × ١,٢٣١٤	٥
١٠٠,١	<sup>٢</sup> ١٠ × ١,٠٠١	٤
٢٥	<sup>١</sup> ١٠ × ٢,٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠	لا نهاية (رقم صحيح)
٠,٠٠٤٥	<sup>٣-</sup> ١٠ × ٤,٥	٢
٥,٠٠	<sup>١</sup> ١٠ × ٥,٠٠	٣

### ضرب الأرقام وتحديد الخانات المعنوية

عند ضرب عددين في بعضهما البعض لهما أرقام (خانات أو أرقام معنوية) مختلف، فإن ناتج الضرب يجب أن يكتب بأقل عدد من الخانات للعددين. فمثلا حاصل ضرب

فقط.  $0,32 \times 2,3901 = 0,76$  وليس  $0,764832$  لأن العدد الثاني له خانتين معنويتين فقط.

### جمع وطرح الأعداد وتحديد الخانات المعنوية للناتج

عند جمع أو طرح عددين لهما أرقام معنوية مختلفة، يتم وضع العددين فوق بعضهما البعض، على أن تكون العلامة العشرية فوق بعضهما البعض، ثم تتم عملية الطرح أو الجمع، ويحتفظ بالعلامات العشرية في الناتج على قدر عدد العلامات العشرية للعدد الأقل من العلامات العشرية. فعلى سبيل المثال، كما يوضح الجدول ١,٥، فإنه عند طرح العدد ٢,٠ من ٣,٢٣٥٧ يصبح الناتج ١,٢٣٥٧ ولكن لأن العدد ٢,٠ له علامة واحدة عشرية فإن الناتج يكون ١,٢ فقط (أي خانة واحدة عشرية). ولذلك فإن عدد الخانات المعنوية للعدد الناتج في الطرح والجمع قد يكون أكثر أو أقل من الخانات للأعداد التي تمت لهما العملية.

جدول ١,٥. جمع وطرح الأرقام وحساب الخانات المعنوية للناتج.

٣,٢٣٥٧	٧,٢٦	٣,٤٣	٣,٤٤
٢,٠ -	٨,٣٩+	١,٨ +	٨,٤٣+
١,٢	١٥,٦٥	٥,٢	١١,٨٧

إن تحديد الأرقام المعنوية للنتائج مهم جدًا عند إعداد تقرير القياسات والتجارب وتقديمه للقارئ. فالشخص الذي يقدم نتائج لدرجة الحرارة على أساس أنها مثلا تساوي ٢٥,١٣٢٤ درجة مئوية قد افترض هذه الدقة، وهذه الأعداد والخانات في القياسات، وقد يكون ذلك غير صحيح، لأن ذلك ناتج من عمليات حسابية في الآلة الحاسبة. ولذلك يتوخى الدقة في تقديم نتائج القياس عند تقديمها في تقارير. وجرت العادة في الحسابات الهندسية الاحتفاظ في الغالب بثلاث خانات معنوية عند تقديم وإبراز النتائج. ويمكن زيادة ذلك خانة واحدة للعمليات الحسابية البينية، ولكن في الناتج النهائي يجب أن يكون متناسقا مع التعريف السابق للخانات المعنوية، حتى لا يعطي انطباعًا خاطئًا للقارئ.

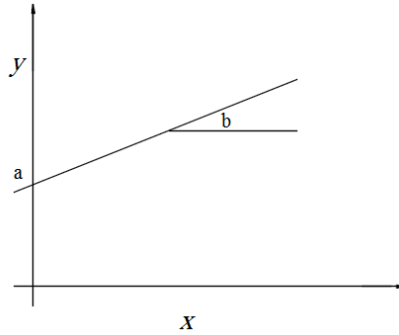
## ١,٦ رسم المنحنيات وكيفية تحويلها إلى منحنيات خطية

عند عمل التجارب وإيجاد النتائج، يتم إبراز النتائج على شكل جداول أو أشكال حتى يتم ذهنيًا وبصريًا معرفة كيفية تغير المتغيرات مع بعضها البعض. وهناك أنواع كثيرة من أشكال المنحنيات التي يمكن رسمها [١-٤]، كما تتوفر برامج عديدة لرسم المنحنيات. سيتم التركيز فيما يلي على ثلاثة أنواع من المنحنيات لتغير  $y$  مع  $x$ ، وهي كثيرة الاستخدام.

من أبسط صور العلاقة بين  $y$  و  $x$  هي العلاقة الخطية بينهما. أي تأخذ المعادلة الآتية:

$$y = a + bx \quad (1.10)$$

حيث  $b$  هو ميل الخط و  $a$  هو المسافة على المحور الصادي لتقاطع المستقيم مع هذا المحور، كما يبين الشكل ١,٦. ولذلك في هذه الحالة يتم استخدام تدرج خطي للمحورين السيني والصادي.



شكل ١,٦. تدرج خطي في  $y$  و  $x$  للعلاقة  $y = a + bx$ .

عندما تكون العلاقة بين  $y$  و  $x$  أسية مثل

$$y = ax^b \quad (1.11)$$

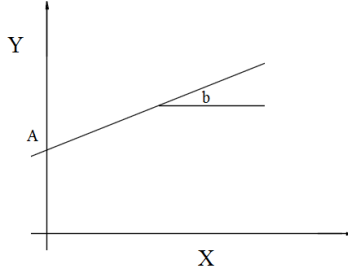
فإنه يمكن تحويل هذه العلاقة إلى علاقة خطية بأخذ اللوغارتم للطرفين، أي

$$\log(y) = \log(a) + b \log(x) \quad (1.12)$$

وبتعريف  $Y = \log(y)$  و  $X = \log(x)$  و  $A = \log(a)$ ، فإنه يمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي

$$Y = A + bX \quad (1.13)$$

حيث أصبحت العلاقة خطية بين  $X$  و  $Y$  ، ولذلك يمكن استخدام تدرج لوغاريتمي للمحورين السيني والصادي، وتصبح العلاقة الناتجة خطية، كما هو واضح في شكل ١,٧.



شكل ١,٧. تدرج لوغاريتمي في  $y$  و  $x$  للعلاقة  $y = ax^b$ .

عندما تكون العلاقة بين  $y$  و  $x$  كما يلي

$$y = a10^{bx} \quad (1.14)$$

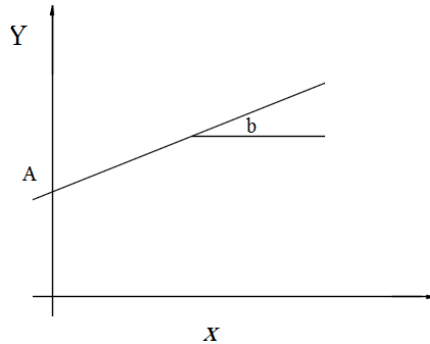
فإنه يمكن أيضًا تحويلها إلى خطية بأخذ اللوغاريتم للطرفين

$$\log(y) = \log(a) + bx \quad (1.15)$$

وبتعريف  $Y = \log(y)$  و  $A = \log(a)$  فإنه يمكن كتابة المعادلة كما يلي:

$$Y = A + bx \quad (1.16)$$

وهي علاقة خطية بين  $Y$  و  $x$  ولذلك فإن رسم هذه العلاقة على تدرج لوغاريتمي في  $y$  وخطي في  $x$  ينتج أيضًا خطأ مستقيمًا كما يظهر في الشكل ١,٨.



شكل ١,٨. تدرج لوغاريتمي في  $y$  وخطي في  $x$  للعلاقة  $y = a10^{bx}$ .

## المراجع

- [١] Figliola, R. and Beasley, D., *Theory and Design for Mechanical Measurements*, 4<sup>th</sup> Edition, John Wiley, 2005.
- [٢] Holman, J. P., *Experimental Methods for Engineers*, 7<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, 2001.
- [٣] Beckwith, T. G. and Marangoni, R. D., *Mechanical Measurements*, 5<sup>th</sup> edition, Addison Wesley Publishing Company, 2009.
- [٤] عالية، محمد، وأبو زلط، محمد، *أجهزة الاستشعار وتطبيقاتها (مجسات ونواقل طاقة وقياسات)*، مكتبة المجتمع العربي، عمان الأردن، الطبعة الأولى ٢٠٠٤ م.
- [٥] الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين American Society of Mechanical Engineers: [www.asme.org](http://www.asme.org) ، ASME,
- [٦] الجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتكييف: American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org),
- [٧] رابطة مصنعي المبادلات الحرارية الأنبوبية: Tubular Exchanger Manufacturers Association [www.tema.org](http://www.tema.org) ،
- [٨] الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس: Saudi Arabian Standards, Metrology and Quality Organization [www.saso.org](http://www.saso.org) ،
- [٩] المعهد القومي للمرجعية والاختبار: National Institute for Standards and Testing, [www.nist.org](http://www.nist.org)
- [١٠] معهد التبريد والتسخين وتكييف الهواء: Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute [www.ahrinet.org](http://www.ahrinet.org) ،
- [١١] *Bureau International des Poids et Mesures* (International Bureau of Weights and Measures) in Sèvres on the outskirts of Paris, <http://www.bipm.org/en/about-us/>.

## مسائل على الفصل الأول

١,١ ما المقصود بالاختبار العشوائي، أعطِ مثالا لذلك؟

١,٢ افرض أن لدينا معادلة تربط بين المتغير  $y$  والمتغير  $x$  كالآتي:

$$y = 0.5 + 0.7x$$

$$y = x^2 - 0.5x - 1.5$$

أوجد الحساسية K عند القيم التالية لكل من المعادلتين الأولى والثانية:  $x = 0, 1, 2, 10$  ؟

١,٣ لدينا جهازان لقياس الضغط. أخذت ٧ قراءات من كل جهاز لضغط تم قياسه

بجهاز معايرة، ووجد أن مقداره ١٢٠ كيلو باسكال، وكانت نتائج قياس الجهازين

كالآتي:

الجهاز الأول	١٢١,٥	١٢٠,١	١١٩,٣	١٢٠,٧	١٢٠,٩	١١٩,١	١١٩,٨
الجهاز الثاني	١٢٩,٢	١٢٨,١	١٣٠,٥	١٢٧,٦	١٢٦,٩	١٢٩,٥	١٢٨,٧

ما هو تقييمك لكل الجهازين من حيث الدقة والصحة (Accuracy and precision)؟

١,٤ في الجدول الآتي وضح عدد الخانات المعنوية لكل رقم واذكر السبب؟

الرقم	الرقم بالصيغة الهندسية	عدد الخانات	السبب
٢,٠٠٤			
٣,٧٦٥,٠٠٠			
٠,٠٠٥٦٧٠			
٥٠			
٥٠,٠			
٢١٥,٠٠٠			
٩,١٣+٠,٠٩٨٧+١٣,٧٦٤٩			
١٠,١*٧٦,٢٣			



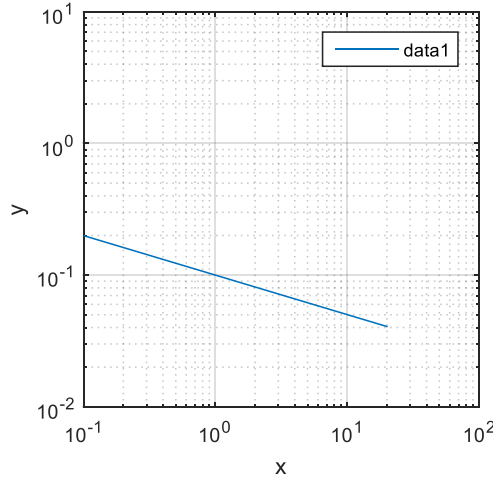
١,٥ وضح بالرسم الفرق بين الخطأ المبعثر والخطأ المنتظم؟

١,٦ ما هو المقصود بالمتغير المتعدي (Extraneous variable)، اذكر مثلاً للقياس وبه متغير متعدي؟

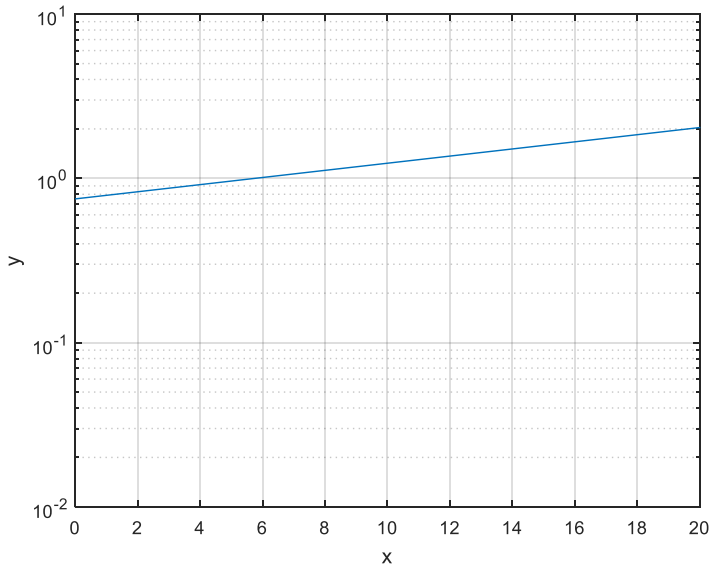
١,٧ ما المقصود بهرم المعايرة (Calibration hierarchy)؟ وضح ذلك عن طريق أجهزة قياس ومعايرة درجة الحرارة على سبيل المثال؟

١,٨ عرف خطأ التخلف وارسم شكلاً بيانياً يبين هذا الخطأ؟

١,٩ في الشكل الآتي تم رسم علاقة بين المتغير  $y$  و  $x$  ونتج عن ذلك خط مستقيم باستخدام محور لوغاريتمي في المحورين  $x$  و  $y$ ، اذكر المعادلة المناسبة بين هذين المتغيرين وقيم الثوابت.



١,١٠ في الشكل الآتي تم رسم علاقة بين المتغير  $y$  و  $x$  ونتج عن ذلك خط مستقيم باستخدام محور لوغاريتمي في المحور  $y$  ومحور عادي في اتجاه المحور  $x$ ، اذكر المعادلة المناسبة بين هذين المتغيرين وقيم الثوابت؟



١,١١ يتم عادة استخدام جذر مجموع مربعات الأخطاء ( RSS = Root of Sum of Squares ) للدلالة على مجمل الأخطاء في جهاز قياس بدلا من جمعها. افرض أن لدينا جهازًا وكانت الأخطاء كنسب مئوية هي:  $e_1 = 5\%$  ،  $e_2 = 7\%$  ، و  $e_3 = 9\%$  أوجد درجة الشك كنسبة مئوية لهذا الجهاز؟