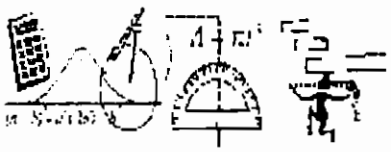
الفصل السادس

تحليل نظام القياس

Measurement System Analysis "MSA"

6.1. مقدمة Introduction



يعد موضوع تحليل نظام القياس MSA من أهم الموضوعات التي تسبق مرحلة القياس وتجميع البيانات "Measure" وهى إحدى مراحل منهجية التحسين، وذلك لأننا بعد قياس و تجميع هذه البيانات، سنقوم بتحليلها ودراستها للوصول إلى حلول ومقترحات للمشكلة قيد البحث، فلو كانت هذه البيانات غير دقيقة، أو غير صحيحة، - وهذا ما يحدث في بعض الأحيان- فإن الحلول والمقترحات التي سيتم التوصل إليها ستكون غير مجدية وغير نافعة، وسيكون التعامل معها مضيعة للوقت وإهدارا للجهد والموارد، بل أكثر من ذلك، أنه من الممكن أن تكون العملية تحت الدراسة سليمة ولا تحتاج إلى أى تدخل، وحينئذ فإن هذا التدخل يؤدى إلى إلحاق الضرر بها بدلا من إصلاحها وتحسينها، أضف إلى ذلك إن شئت، أن ذلك سيكون دعوة صريحة لفقد الثقة في فريق التحسين وفى منهجية التحسين Six Sigma بالكامل.

وعلى ضوء ذلك تبرز أهمية التأكد من سلامة نظام القياس و تحرى دقته وخلوه من آثار التباين ، وعندما نذكرنظام القياس ، فإننا نقصد كل ما يمكن استخدامه في عملية قياس وتسجيل وتجميع البيانات مثل:

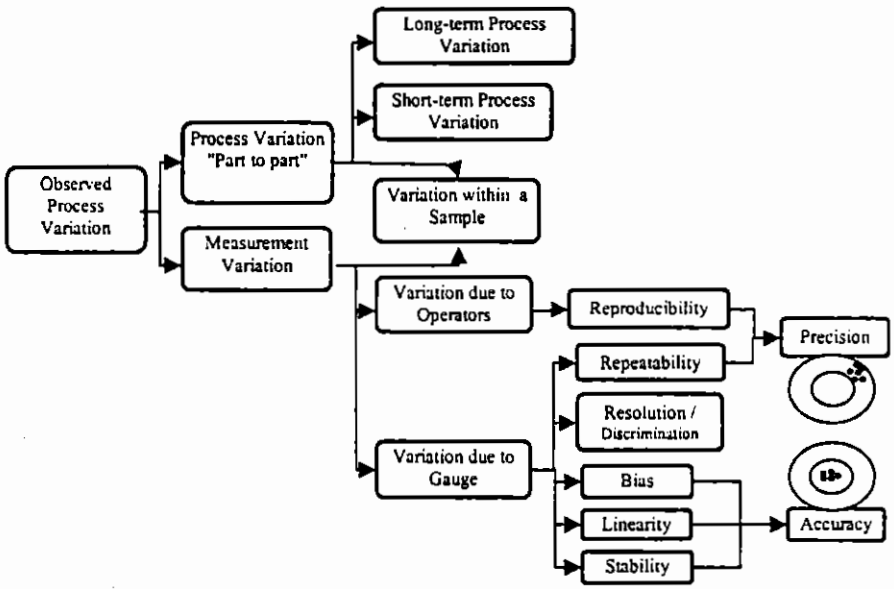
1- الشخص Appraiser الذي يقيس ويجمع البيانات.

2- الأدوات و المعدات و الأجهزة Tools, Gages, and Devices التي تستخدم في القياس.

3- الإجراءات Procedures والاحتياطيات المتبعة فى القياس و عند التسجيل.

4- البيئة Environment التي يتم فيها القياس ممثلة في الضغط ودرجة الحرارة والرطوبة ونقاء الوسط والإضاءة والضوضاء و....

والشكل 6-1 يوضح مصادر التباين المحتملة فى أى عملية، والناتجة عن كل من: التباين الطبيعي الموجود في العملية، والتباين الناتج عن نظام القياس.



شكل رقم 6-1 مصادر التباين المحتملة فى أى عملية (للمؤلف)

وفى الحقيقة توجد عدة أسباب محتملة لإحداث هذه العيوب والأخطاء والاضطرابات والتغيرات ومنها:

- أن يكون الشخص الذي يقوم بعملية القياس غير مؤهل وغير مدرب.
- أن أداة القياس تحتاج إلى معايرة، ويتم التغلب على ذلك بتقليل الفترات البينية للمعايرة.
- عدم كفاية الصيانة (أتربة، غبار، صدأ، نظافة)، ويتم التغلب على ذلك بزيادة الاهتمام بالصيانة.
- حدوث تآكل لبعض أجزاء أداة القياس ويتم التغلب على ذلك بالاستبدال.
- اختلاف طرق القياس وإجراءاتها، ويتم التغلب على ذلك بتوحيد هذه الطرق وتثبيت تلك الإجراءات.
- تدنى إمكانيات وخصائص ونوعية الجهاز، ويتم التغلب على ذلك باستبدال الجهاز بنوعيات أفضل.
- تباين الظروف والبيئة المحيطة بالجهاز، ويتم التغلب على ذلك بتوحيد هذه الظروف مثل: درجة الحرارة والرطوبة والاهتزازات والضغط، والمجالات المغناطيسية، والمجالات الكهربية، والارتفاع عن سطح البحر، و تأثير البعد عن خط الاستواء، والتشويش.....

ويتم التأكد من سلامة نظام القياس، بإجراء الدراسة على عدة محاور رئيسية منها ما يلي:

شكل رقم 6 -2 مصادر التباين فى العمليات

1. **المحور الأول** :تحديد مصادر التباين والإضطراب، فنجد أن لهذا الإضطراب مصدرين كما هو موضح في الشكل 6-2، الأول وهو الأخطاء والاضطرابات الطبيعية الموجودة في أية عملية، نتيجة الاختلاف الحتمي في خواص المخرجات (و قد تم شرح تحديد أسبابه وكيفية التغلب عليها في موضوع ظاهرة التباين الطبيعي في الفصل الرابع من هذا الكتاب)، والثاني وهو الاضطراب الناتج من عدم دقة نظام القياس، أو ما يسمى اصطلاحاً "خطأ الشخص والأداة" Gauge Repeatability and Reproducibility "Gauge R & R"، وهو هدفنا في هذا الجزء، ويتم تحديده وحساب قيمته بإحدى طريقتين:

- إما باستخدام تقنية تحليل التباين "Analysis of Variances "ANOVA (يرجى مراجعة الفصل السادس عشر فى هذا الكتاب).
- أو من خلال رسم خريطتين Control Charts، هما خريطتى المتوسط والمدى $\bar{X}$ and R Charts، فمن خلال خريطة المدى R Chart نحدد كلا من الخطأ الناتج من أداة القياس أى خطأ الأداة Repeatability ، والخطأ الناتج من الشخص القائم بالقياس أى خطأ الشخص Reproducibility ، ويلاحظ أنه عند رسم خريطة المدى نرسم الفرق بين أكبر وأقل قيمة لكل جزء تم قياسه، وبالتالي إذا كان هذا الفرق صفراً، فإن هذا يعنى أن التباين فى قياسات الشخص وقياسات الأداة منعدم، أى أنه كلما اقتربنا من خط المركز Center Line لهذه الخريطة، كان نظام القياس جيدا نظرا لقلة التباين، أما بالنسبة لخريطة المتوسطات $\bar{X}$ Chart والتى تحدد الخطأ الناتج من الأجزاء المقاسة Part to Part، فإنه كلما زاد الإضطراب و التباين فيها وزاد عدد النقاط خارج حدود التحكم ، دل ذلك على دقة و جودة نظام القياس وقدرته على إظهار الإختلافات الموجود فى الأجزاء المقاسة (أى أن حساسية ودقة نظام القياس تفوق الاختلافات الموجودة فى الأجزاء وقادرة على اكتشافها بصورة كبيرة) .

ولكي يكون نظام القياس مقبولاً، فيجب أن يكون مجموع نسبة الخطأ الناتج من كل من الأداة والشخص في حدود من 10% إلى 20% من إجمالى الخطأ أو التباين، وبالقطع فإن قيمة هذه النسبة تعتمد بصورة كبيرة على درجة الدقة المطلوبة فى

موضوع الدراسة وعلى التطبيق ذاته، أما باقي نسبة الخطأ وهى من 80% إلى 90% فيجب أن تكون من خطأ الأجزاء المقاسة Part to Part.

2. **المحور الثانى:** تحديد مكونات التباين والإضطراب الناشئ من نظام القياس والذي نطلق عليه دقة النظام Precision ثم حساب قيمة هذا التباين من العلاقة:

$$\text{Precision } \sigma^2_{MS} = \text{Reproducab ility } \sigma^2_{rpd} + \text{Repeatabil ity } \sigma^2_{rpt}$$

حيث σ^2_{MS} Precision هى تباين للدقة ، وحيث σ^2_{rpt} Re peatability هى تباين خطأ الأداة، وحيث σ^2_{rpd} Re producebility هى الخطأ الشخصى.

3. **المحور الثالث:** محاولة تقليل تأثير هذا التباين والإضطراب والتحكم فيه، إما عن طريق تدريب الشخص الذي يقوم بالقياس، أو عن طريق المعايرة والصيانة لأداة القياس ذاتها، أوبتوحيد طرق القياس، أو بذلك كله.

6.2. تحليل دقة القياس Gage Resolution / Discrimination analysis

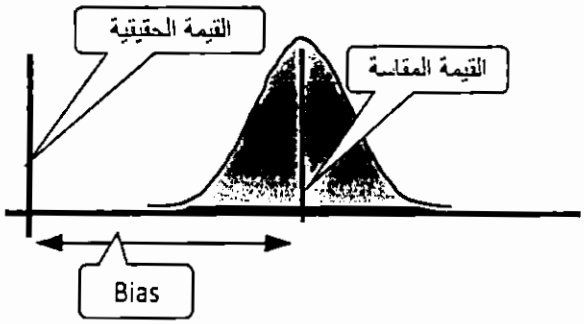
وهى قدرة الأداة على القياس بدرجة دقة محددة، ولكي تكون الأداة جيدة يجب أن تتعدى درجة دقتها على الأقل جزء من عشرة من القيم المراد قياسها، أى نستطيع قراءة القيمة المقاسة بالإضافة إلى رقم عشري، فمثلا إذا كانت القيم المقاسة قيما صحيحة ، فيجب أن تكون دقة أداة القياس جزء من عشرة أجزاء مثل 350.6 ، وكذلك إذا كانت القيم المقاسة أجزاء من المائة فيجب أن تكون دقة أداة القياس جزء من الألف مثل 0.038.

هذا ويمكن حساب الحد الأدنى لعدد خانات العدد العشري الذي يمكن قبوله من العلاقة التالية:

$$\#Class = \sqrt{\left(\frac{(\text{Part Variation})^2}{R\&R}\right)} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{(\text{Total Variation})^2 - (RR)^2}}{R\&R}\right)} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{(6\sigma_{\text{Process}})^2 - (RR)^2}}{R\&R}\right)}$$

6.3. تحليل التحيز (عدم الدقة) Gage Bias (Inaccuracy) Analysis

ويقصد بالتحيز (عدم الدقة) Bias وجود فرق بين القيمة المقاسة والقيمة الحقيقية كما فى شكل 6-3، وكلما كان هذا الفرق أو الانحراف صغيرا كلما كان أفضل، ويوجد الفرق بصورتين:



شكل رقم 6 -3 التحيز (عدم الدقة)

- إما أن يكون ثابتاً أى قيمة ثابتة في مدى القياس، ويتم التغلب على هذا العيب بطرح أو جمع قيمة الخطأ الثابتة إلى القيمة المقاسة.
- وإما أن يكون قيمة متغيرة في مدى القياس ويتم التغلب على هذا العيب بطرح أو إضافة القيمة المتغيرة المناظرة للقيمة المقاسة، وفى هذه الحالة يجب توافر منحنى يوضح هذه العلاقة.

ويتم حساب التحيز (عدم الدقة) Bias ونسبته المئوية من العلاقة التالية:

$$\Delta \text{Bias} = \text{Averageof measurement value} - \text{referencevalue(true value)}$$

$$\%\text{Bias for Process variation} = \frac{|Bias|}{\text{Process variation}} * 100 = \frac{|Bias|}{6 * \sigma} * 100$$

$$\%\text{Biasfor Process tolerane} = \frac{|Bias|}{\text{Process tolerane}} * 100 = \frac{|Bias|}{USL - LSL} * 100$$

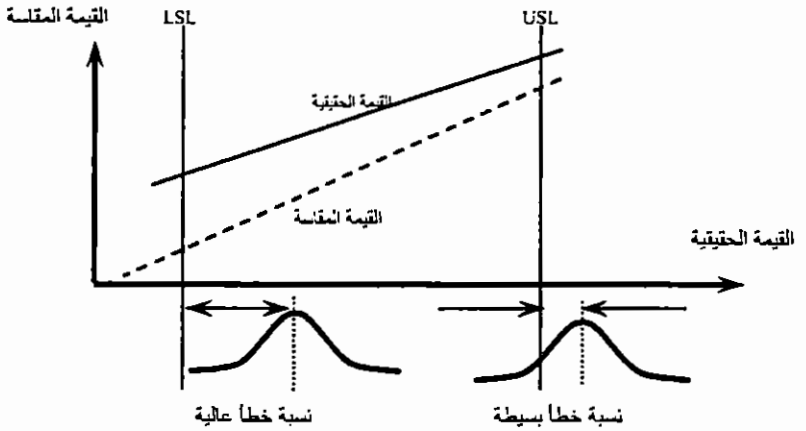
حيث يتم حساب σ من خرائط التحكم التى تناولناها فى الفصل الرابع من هذا الكتاب.

وإذا قلنا إن إجراءات القياس ما هي إلا عملية ، وأن مخرجات هذه العملية هي القياسات التي نقوم بتسجيلها، وإذا سلمنا بأنه مهما بلغت دقة أداة القياس، فلابد من حدوث خطأ ولو طفيف في عملية القياس، وهو في هذه الحالة يكون سبباً عاماً ، فإنه يجب الحذر كل الحذر، من التمادي في استعمال تعويض قيمة Bias إلا إذا تأكدت الحاجة لذلك بوجود الأسباب الخاصة لعملية الخطأ، وإلا أدى ذلك إلى زيادة خطأ القياس، وهذا ما أشرنا إليه فى الفصل الرابع تحت عنوان "تحليل مصادر التباين" ، وما تدعو إليه نظرية ديمينج Deming والتي تنص على أن " تدخل المسئولين المباشرين عن العملية لإصلاح الأخطاء والتباين الناتج عن الأسباب العامة Common Causes (التى تقع مسئولية إصلاحها على عاتق الإدارة)،

يؤدى إلى زيادة هذا التباين وتضخم تلك الأخطاء، وهو ما نطلق عليه العبث Tempering في العملية.

6.4. تحليل خطية جهاز القياس Gauge Linearity Analysis

وفيها يتم دراسة دقة أجهزة وأدوات القياس باختلاف المدى الذي نقيس فيه، بمعنى أنه لو كان لدينا جهازاً يقيس وزن المنتجات من مائة جرام حتى ألف جرام، فيجب التأكد من أن نسبة خطأ قياس الوزن في بداية مدى القياس (أى في المدى من مائة جرام إلى ثلاثمائة جرام مثلا) هي نفس نسبة خطأ قياس الوزن في نهاية مدى القياس (أى في المدى من ثمانمائة جرام إلى ألف جرام)، وبعبارة أخرى، يجب أن يكون التحيز Bias في بداية مدى القياس مساويا للتحيز Bias في منتصف ونهاية مدى القياس، وهذا ما يعكسه الشكل 6-4.



شكل رقم6-4 اختلاف الخطأ مع اختلاف مدى القياس

وجدير بالذكر أن طريقة رسم وتحديد التحيز Bias، والخطية Linearity لأى أداة قياس تتم كما يلي:

- باستخدام مقياس عياري ذى دقة عالية نقيس عشرة عينات عيارية، و نسجل هذه القياسات العشرة.
- يقيس أحد جامعي البيانات Appraiser كل عينة عيارية عدة مرات - وليكن خمس مرات لكل عينة- ونسجل هذه القياسات الخمسين، ونحسب متوسط كل خمس قراءات.
- نحسب فرق القياسات أو Bias لكل قيمة من القياسات العشرة وهى تساوى القيمة العيارية مطروحا منها القيمة المتوسطة لقياسات جامع البيانات.
- نرسم القيم القياسية العشرة على المحور السيني، وBias على المحور الصادي باستخدام مخطط الانتشار Scatter diagram .
- نحسب الخطية Linearity من العلاقة :

(الخطية = القيمة المطلقة للميل* ستة أضعاف الانحراف المعياري σ)

ويتم حساب الانحراف المعياري σ فى هذه الحالة من خرائط التحكم Control Charts، وقد تم التعرض لهذا الموضوع بالتفصيل في الفصل الخامس من هذا الكتاب. والمثال التالي يوضح ذلك:

مثال رقم 6 -1

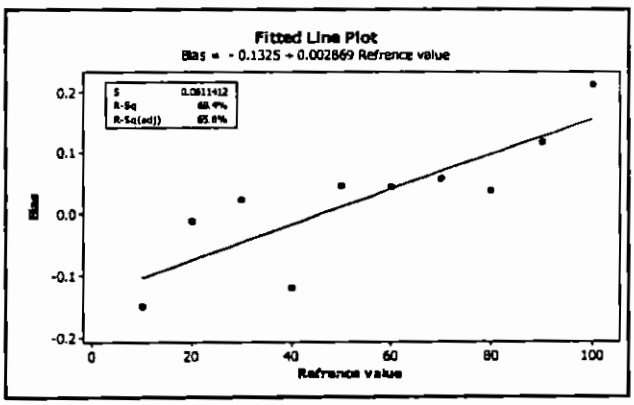
مستخدما البيانات فى الجدول 6-1 أوجد معادلة التحيز والخطية مع التعليق على النتائج

جدول رقم 6- 1بيانات المثال 6-1

القيمة العيارية	المحاولة الأولى	المحاولة الثانية	المحاولة الثالثة	المحاولة الرابعة	المحاولة الخامسة	متوسط المحاولات	Bias
10	9.789	9.93	9.838	9.872	9.825	9.851	0.149
20	19.875	20.012	20.133	19.924	20.003	19.989	0.011
30	29.916	30.064	30.102	30.021	30.015	30.024	-0.024
40	39.971	39.918	39.986	39.779	39.748	39.88	0.12
50	50.02	50.068	50.098	49.927	50.107	50.044	-0.044
60	59.947	60.115	60.095	60.147	59.912	60.043	-0.043
70	69.929	69.974	70.293	70.186	69.898	70.056	-0.056
80	80.031	80.158	79.949	79 985	80.058	80.036	-0 036
90	90.172	90.192	90.009	90.065	90.149	90.117	-0.117
100	100.175	100.239	100 311	100.122	100.213	100.212	-0.212

الحل :باستخدام مينيتاب Minitab، نختار القوائم التالية:

Basic Statistics > Scatter diagram



شكل رقم 6-5 مخطط الانتشار للمثال 6-1

فيظهر الشكل 6-5 ، ومن نافذة النتائج Session Window نحصل على :

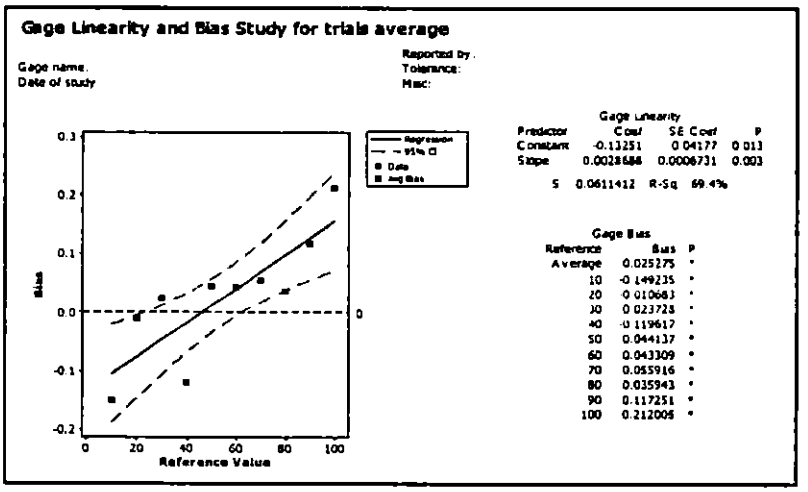
Bias = -0.133 + 0.00287 Reference value

R-Sq = 69.4% R-Sq(adj) = 65.6% S=0.0611412

Linearity = ABS (slop)* 6 * Process Variation

ثم يتم التعويض عن قيمة التباين من خرائط التحكم ، وهى نفس النتائج التي سنحصل عليها إذا استخدمنا مينيتاب Minitab كما فى شكل 6-6، وكما يلي:

Stat > Quality Tools > gauge study >gauge linearity and bias study



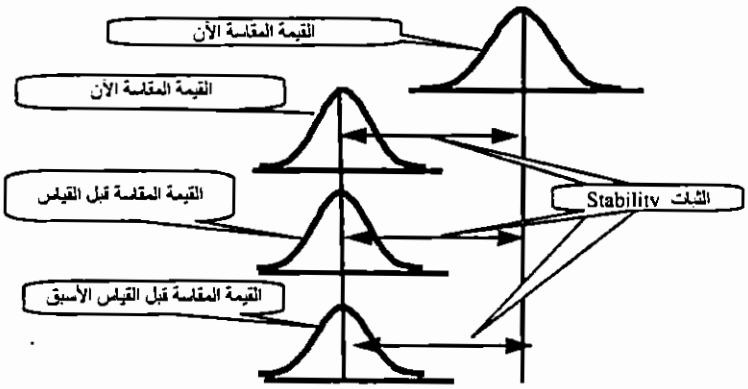
شكل رقم 6-6 مخطط التحيز والخطية للمثال 6-1

ولكي يكون نظام القياس في حالة جيدة - فيما يخص التحيز Bias - فيجب أن تكون قيمة النسبة المئوية للخطأ P الناتج عن وجود التحيز Bias في السطر الذي يبدأ بحرف S ، قيمة صغيرة، كذلك لابد أن ينطبق الخط الممثل لقيم التحيز Bias أو يقترب من خط الصفر الافقى، وفى الشكل 6-6 نجد أن جهاز القياس يقيس قيما أقل من القيم الحقيقية في المدى من صفر حتى أربعين، و يقيس قيما أكبر من القيم الحقيقية في المدى من ستين حتى مائة، وعلى هذا فيمكن الاستعانة بهذا الجهاز للقياس فقط في المدى من أربعين إلى ستين – حيث نسبة الخطأ بسيطة - مع التحفظ على نتائج القياس في هذه الحالة.

كذلك لكي يكون نظام القياس معبراً عن علاقة خطية Linearity، فيجب أن تكون قيمة النسبة المئوية للخطأ الناتج عن عدم الخطية صغيرة أيضا، وكذلك يجب أن تكون قيمة معامل الارتباط المعدل R(adj) أكبر من 85% (يرجى مراجعة الفصل الخامس عشر تحت عنوان الارتباط والانحدار الخطى البسيط) ، حيث تعكس هذه القيم، إلى أى مدى تمثل تلك القراءات علاقة خطية Linearity، وحيث إن هذه القيمة فى مثالنا تساوى 69.4%، فإن هذا يعنى أن الجهاز غير خطى أى أن الخطأ المصاحب لاستخدام هذا الجهاز لن يكون متساويا على مدى القياس.

6.5. تحليل اتزان جهاز القياس Gauge Stability Analysis

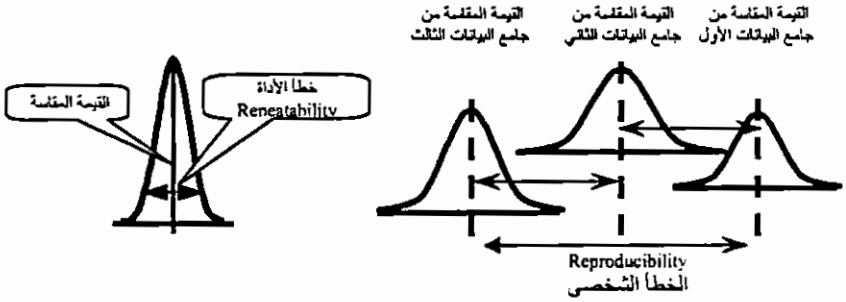
وفيها يتم دراسة استقرار أداة القياس بمرور الوقت، أى أننا نقوم بحساب التحيز Bias كل فترة ، ونتأكد من أن قيمته لا تتغير بمرور الوقت، ويفيد ذلك في تحديد متى يجب إعادة معايرة أداة القياس، والشكل 6-7 يبين ذلك.



شكل رقم 6-7 اتزان الأداة وثبات القراءة بمرور الوقت

6.6. تحليل خطأ الشخص و خطأ الأداة Reproducibility and Repeatability Analysis

وفى كثير من الأحوال نطلق عليها تحليل خطأ الشخص والأداة R & R analysis وهى دراسة تختص بتحديد مصدر خطأ القياس Source of Measurement Error، هل مصدر الخطأ هو الشخص الذي يقوم بعملية القياس؟ ونطلق على هذا الجزء من الخطأ Reproducibility، أم أن مصدر الخطأ هو الآلة أو الأداة Gauge or Tool التي نقيس بها؟ ونطلق على هذا الجزء من الخطأ Repeatability، أم أن مصدر الخطأ نتيجة الاثنين معا ؟ وما هي قيمة ونسبة كل منهما؟ والشكل 6-8 يبين كلا من هذين النوعين.



شكل رقم 6-8 خطأ هو الشخص وخطأ الأداة

ويطلق على قيمة الخطأ الناتج عن تكرار عملية القياس بأكثر من عامل بنفس الطريقة تحت نفس الظروف، وبأدوات قياس واحدة، لنفس الشيء المراد قياسه خلال فترات زمنية مختلفة

مصطلح Reproducibility ، وبالتالي فإننا نحاول تحليل الخطأ الناتج من الشخص الذي يقوم بعملية القياس، ولتوضيح ذلك: نقول لو طلبنا من عدد من الأفراد قياس قطع قياسية من الحديد عشرين مرة، بجهاز الأدمة (جهاز لقياس الأبعاد الدقيقة)، فمن المتوقع ألا تكون جميع القياسات متطابقة، ويعبر عن هذا التباين بخطأ الشخص Reproducibility لأن القطع المقاسة واحدة، وكلما كانت قيمة هذا التباين صغيرة دل ذلك على مهارة عامل القياس و تمكنه من أداء وظيفته، ومثال ذلك أن نقوم بتحليل عينة من دم مريض السكر في أكثر من معمل تحليل فإذا كانت النتائج متقاربة دل ذلك على دقة أخصائيى التحليل بهذه المعامل.

أما قيمة الخطأ الناتج عن تكرار عملية القياس بنفس الشخص بنفس الطريقة تحت نفس الظروف لنفس الجزء المقاس خلال فترة زمنية قصيرة فنطلق عليه مصطلح خطأ الأداة Repeatability ، وفيها نحاول تحليل الخطأ الناتج من أداة القياس فقط، ولتوضيح ذلك نقول لو طلبنا من أحد الأفراد أن يقوم بقياس قطعة من الحديد عشرين مرة، بجهاز الأدمة (جهاز لقياس الأبعاد الدقيقة)، فمن المتوقع ألا تكون جميع القياسات متطابقة، برغم أنه نفس الشخص بنفس الآلة لنفس قطعة الحديد، ويعبر عن هذا الاختلاف Repeatability، ومثال ذلك أن نقوم بتحليل عينة من دم مريض السكر في نفس معمل التحليل عدة مرات فإذا كانت النتائج متقاربة دل ذلك على دقة أجهزة التحليل بالمعمل.

ولدراسة وتحليل خطأ الشخص والأداة R&R Gauge ، فإنه طبقا وتعليمات Automotive Industrial Action Group AIAG (إحدى المؤسسات العالمية المرجعية فى عالم القياسات) فإنه توجد طريقتان:

1. الطريقة السريعة/ القصيرة short term أو طريقة 2-2-5: وفيها نكلف اثنين من عمال القياس أن يقيسوا عدداً من القطع القياسية – يراعى أن تغطى مقاسات القطع القياسية المدى الذي من المحتمل أن يتم قياسه للعملية قيد الدراسة - وليكن خمس قطع، على أن يتم قياس كل قطعة مرتين، ومن المفضل ألا يعرف عامل القياس مقاس القطعة التي سيقوم بقياسها قبل البدء حتى لا تؤثر على دقة قياسه، وبالتالي يكون لدينا عشرين قراءة كما بالجدول 6-2:

جدول رقم 6- 2 نموذج ملء بيانات لتقييم نظام قياس

رقم القطعة القياسية	المحاولة	عامل القياس				
		Ahmed	Soha	Enjy	Aly	Asem
1	1					
	2					
2	1					
	2					
3	1					
	2					
4	1					
	2					
5	1					
	2					
المتوسط						

2. الطريقة الدقيقة/ الطويلة Long Term، أو طريقة 3-3-10: وفيها نكلف ثلاثة من عمال القياس أن يقيسوا عدداً من القطع القياسية – يراعى أن تغطى مقاسات القطع القياسية المدى الذي من المحتمل أن يتم قياسه للعملية قيد الدراسة - وليكن عشرة قطع، على أن يتم قياس كل قطعة ثلاث مرات، ومن المفضل أيضا ألا يعرف عامل القياس مقاس القطعة التي سيقوم بقياسها قبل البدء حتى لا تؤثر على دقة قياسه، وبالتالي يكون لدينا تسعين قراءة، ويمكن ببساطة إعداد جدول مشابه للجدول 6-3.

وفى كلتا الحالتين وبمساعدة برنامج Minitab نقوم برسم خريطتين:

- الخريطة الأولى وهى خريطة المدى R Chart ويجب أن تكون في حالة تحكم إحصائى Statistical Control، أى أن كل النقاط تقع داخل المنطقة المحصورة بين الحدود الدنيا والقصوى للتحكم Upper Control Limit وUnder Control Limit، وبالتالى فلا يوجد أثر للأسباب والمؤثرات الخاصة Special Causes، وكلما اقتربت النقاط من خط المتوسط دل ذلك على جودة نظام القياس.

- الخريطة الثانية وهى خريطة المتوسط $\bar{X}$ Chart ، وهى تعرض العلاقة بين متوسط الإضطراب الطبيعي الحادث في القياسات و متوسط الإضطراب الناشئ عن نظام القياس، ويجب أن تكون خارج نطاق التحكم Out of Control، وفيها نجد أن الحدود الدنيا والقصوى للتحكم Upper Control Limit وUnder Control Limit منطبقة على الخط الممثل للمتوسط، وهذا يعنى أن قيم التفاوت بين القياسات أكبر بكثير من قيم الخطأ الناشئ عن نظام القياس، أى أن دقة نظام القياس في هذه الحالة كافية ومقبولة.

وخلال هذه المعالجة سيقوم برنامج Minitab بإجراء التحليلات التالية وعرضها بيانيا:

1. الاختلاف بين القيم المقاسة وبعضها البعض Part to Part Variation .
2. عدم دقة القياس بسبب خطأ الأداة Repeatability .

3. عدم دقة القياس بسبب عامل القياس Reproducibility .
4. التفاعل بين الشخص والجزء المقاس Operator to Part interaction، مثل ارتفاع الشئ المراد قياسه، ودرجة الإضاءة وسهولة الوصول إليه و وضوح تدريج القياس...

والجدول 6-3 يوضح ويلخص ما تم شرحه فى الصفحات القليلة السابقة:

جدول رقم 6- 3 ملخص للأخطاء المصاحبة لنظم القياس

How كيفية إجراء الإختبار	Test Name إسم الإختبار	Test for العامل الذى يتم إختباره	
وجود انحراف بين القيمة المقاسة والقيمة الحقيقية	Gage linearity & Bias study	الدقة أو الإنحراف	Inaccuracy / Bias
التأكد من ثبوت قيمة Bias بطول مدى القياس		الخطية	Linearity
قياس نفس العينه بنفس العامل تحت نفس الظروف	Gage R &R study	دقة العامل	Repeatability
قياس نفس العينه بأكثر من عامل تحت نفس الظروف		دقة الإجراءات	Reproducibility
قياس نفس العينه بنفس العامل تحت نفس الظروف على فترات منتظمة، وظهور الأسباب يشير إلى عدم وجود الثبات Stability	X-bar & R chart	الإتزان	Stability
ظهور وثلاثة أرقام عشرية على الأقل في كل قراءة	All above tests	دقة التمييز	Resolution / discrimination

مثال رقم 6-2

أراد فريق التحسين اختبار وتقييم نظام القياس، فقام بتكليف عاملي القياس أحمد وسالي، وقام كل منهما بقياس خمس قطع قياسية قيمة التفاوت بها 12+/- 0.2، وتم القياس أربعة مرات لكل قطعة، وتم تسجيل تلك القراءات بالجدول 6-4، والمطلوب تقييم هذا النظام.

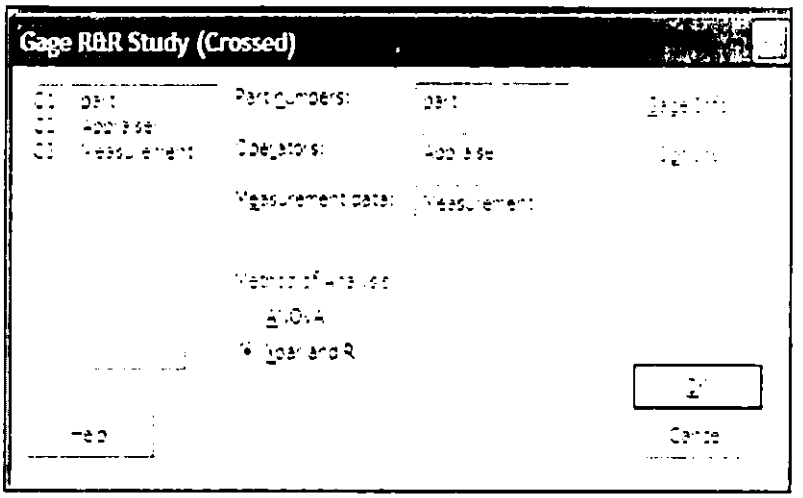
جدول رقم 6- 4 قياسات المثال 6-2

Part	Ahmed	Sally	Part	Ahmed	Sally	Part	Ahmed	Sally	Part	Ahmed	Sally	Part	Ahmed	Sally
1	11.34	11.19	2	11.65	11.5	3	12.31	12.18	4	13.27	13.09	5	11.84	11.76
	11.29	11.29		11.6	11.55		12.28	12.23		13.28	13.14		11.89	11.84
	11.33	11.21		11.67	11.51		12.31	12.14		13.24	13.02		11.93	11.81
	11.24	11.24		11.56	11.55		12.34	12.17		13.23	13.19		11.85	11.78

الحل:

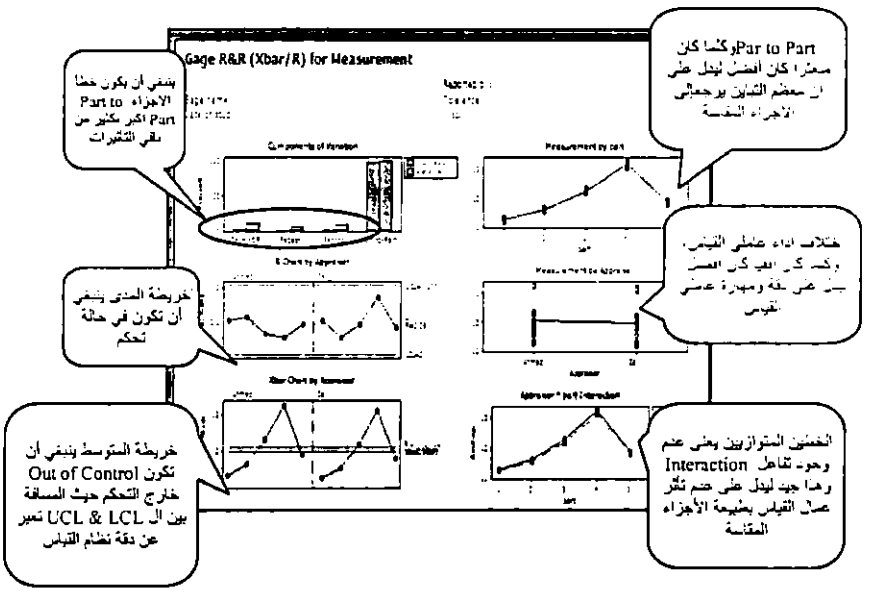
يتم ادخال البيانات إلى مينيتاب Minitab، ثم نختار القوائم التالية:

Minitab >Stat >Quality Tools>Gage study>Gage R&R crossed



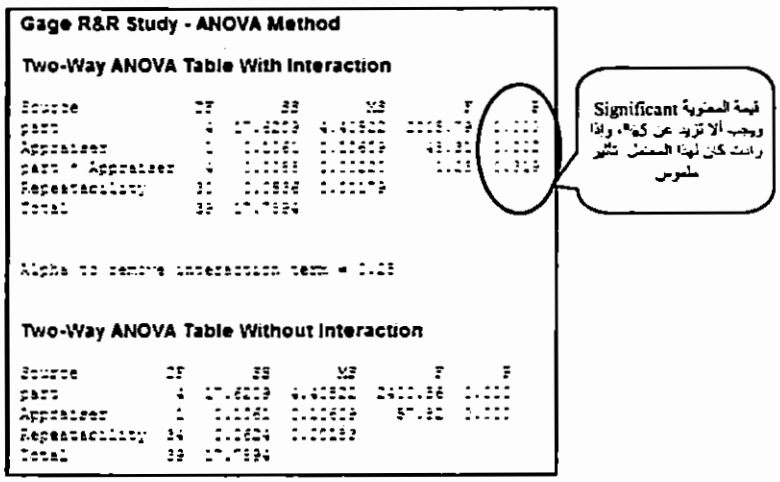
شكل رقم 6-9 خطوة 1 حل المثال 6-2

فيظهر الشكل 6-9، فنختار عدد الأجزاء وعمال القياس والقياسات التي تمت ثم OK، فيظهر الشكل 6-10، وفيه نجد ستة مربعات فرعية، مبين على كل منها تفسيرا للمنحنى أو البيانات التي تحتويه.



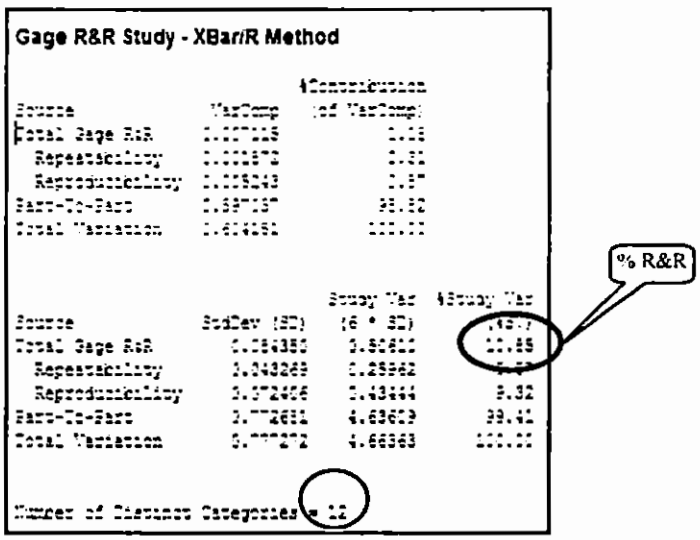
شكل رقم 6-10 خطوة 2 حل المثال 6-2

وبعد أن تم اختيار تحليل Gage R&R بخريطة التحكم Chart $\bar{X}$، يظهر الشكل 6-11 في نافذة النتائج Session Window :



شكل رقم 6-11 نافذة النتائج باستخدام الأنوفا في المينيتاب

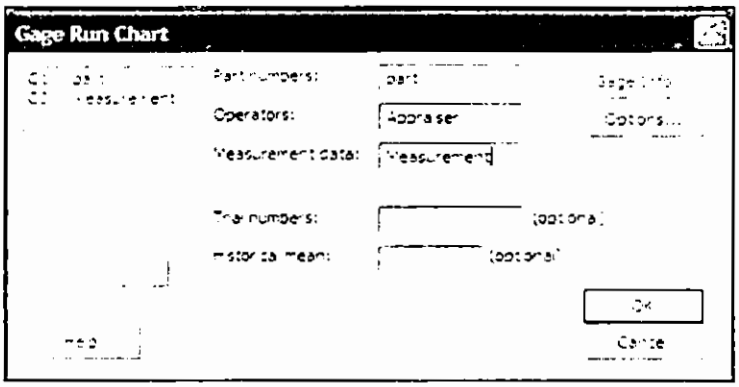
أما إذا تم اختيار تحليل Gage R&R بطريقة تحليل التباين أنوفا ANOVA، فسيظهر نفس الشكلين 6-9 و 6-10 بالإضافة إلى الشكل 6-12 في نافذة النتائج في برنامج مينيتاب Session Window:



شكل رقم 6-12 نافذة النتائج باستخدام خرائط التحكم في المينيتاب

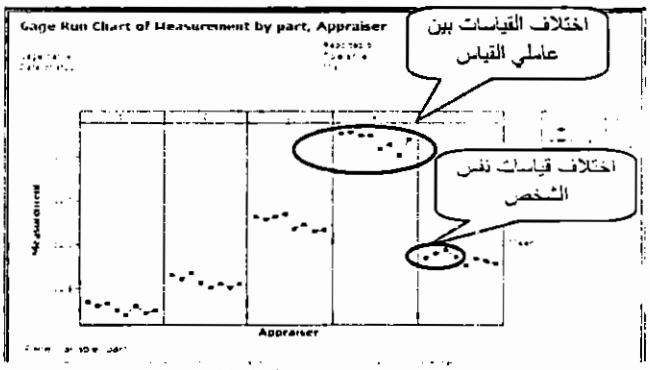
ولرسم الخريطة الزمنية Gage Run Chart والتي تمكننا من الحكم على أداء الأشخاص الذين سيقومون بعملية القياس لنفس المثال السابق باستخدام Minitab، ندخل الأمر التالي:

Minitab >Stat >Quality Tools>Gage study>Gage Run chart



شكل رقم 6-13 خطوة لحل المثال 6-2

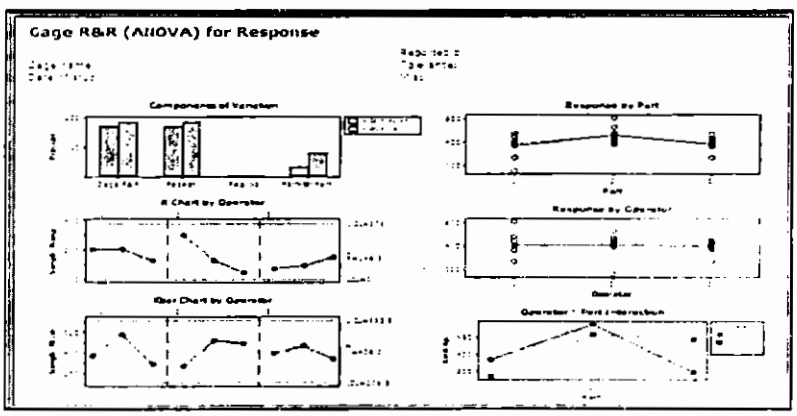
نختار البيانات المطلوبة ، فيظهر الشكل 6-14.



شكل رقم 6-14 نتيجة المثال 6-2

مثال رقم 6-3

إذا علم أن الشكل 6-15 يعرض خصائص أحد أنظمة القياس، والمطلوب تحليل هذا الشكل مع التعليق المناسب عليه:



شكل رقم 6-15 خصائص أحد أنظمة القياس

الحل:

- في الجزء العلوي الأيسر يلاحظ أن معظم التباين ناشئ من نظام القياس، وجزء بسيط من هذا التباين ناشئ من الاختلاف في مقاسات الأجزاء.
- في الجزء الأوسط الأيسر يلاحظ عدم وجود الأسباب الخاصة، لأن القياسات تقع داخل حدود التحكم، وهذا يدل على جودة شخصي القياس.
- في الجزء الأسفل الأيسر يلاحظ أن التفاوت في دقة نظام القياس – المسافة بين حدود التحكم كبيرة وواسعة، وبالتالي فإن القياسات تقع داخل هذه الحدود، أى أن نظام القياس غير قادر على الإحساس باختلاف مقاسات الأجزاء.
- في الجزء العلوي الأيمن يلاحظ أن التباين الناشئ من اختلاف الأجزاء المقاسة بسيط، لأن النقاط تكاد تكون أفقية.
- في الجزء الأوسط الأيمن يلاحظ وجود تفاعل Interaction أو تأثير بين عمال القياس وبين الأجزاء المقاسة، وهذا يدل على أن طريقة القياس أو إجراءات القياس ليست موحدة والدليل أن الخطوط متقاطعة.
- في الجزء السفلى الأيمن يلاحظ تفاوت مستوى أشخاص القياس، لأن الخط الممثل لمتوسط قراءاتهم ليس أفقياً.
- ومن هذه النقاط السابقة يتبين أن نظام القياس ليس جيدا، ويجب تحسينه قبل الاعتماد علي قراءاته.

6.7. مؤشرات أنظمة القياس Measurement System Indices

والمؤشرات هي أرقام أو نسب منوية تدل على مدى سلامة نظام القياس ويوجد نوعان من هذه المؤشرات وهما:

أولا: النسبة المئوية لخطأ نظام القياس Reproducibility and Repeatability R&R%، وهى نسبة تعكس مدى تأثير التباين الحادث – الخطأ الموجود- في نظام القياس مقارنة بالتباين الكلى الموجود في Process، وكلما كانت قيمة هذه النسبة صغيرة (في حدود 10%) كلما كانت حالة نظام القياس أفضل، وتحسب قيمته من المعادلة المعملية التالية:

$$\%R\ \&\ R = 5.15 * \frac{S_{measuremenys-system}}{S_{totl}}$$

حيث $S_{measurement\,sys\,system}$ هي الانحراف المعياري الناتج من كل من خطأ الشخص وخطأ الآلة Repeatability وReproducibility، وحيث S_{Total} هي الانحراف المعياري الكلي تساوي

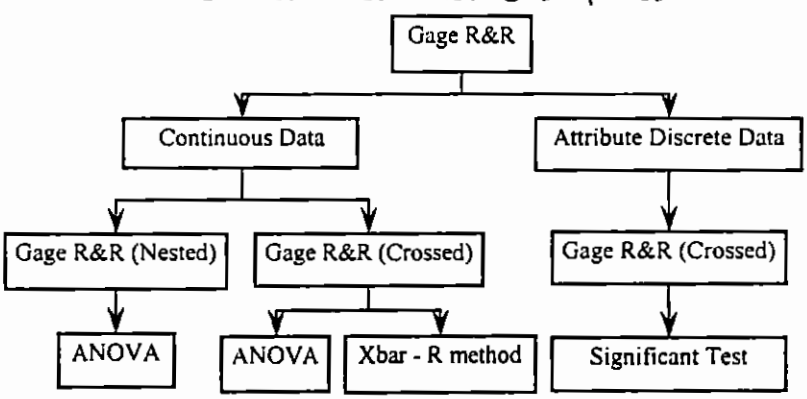
$$S_{Total} = \text{(Part-to-Part Variation+ Measurement system variation)}$$

ثانيا: النسبة المئوية للدقة Precision to tolerance % P/T : وهي نسبة تعكس مدى تأثير التباين الحادث – الخطأ الموجود- في نظام القياس مقارنة بالتباين (التفاوت) الموجود في قياسات العينات، وكلما كانت قيمة هذه النسبة صغيرة (في حدود 10%) كلما كانت حالة نظام القياس أفضل، وتحسب قيمته من المعادلة

$$\%P/T = 5.15 * \frac{S_{measurementsys-system}}{Tolerances}$$

حيث $S_{measurementsys-system}$ هي الانحراف المعياري لخطأ نظام القياس، Repeatability &Reproducibility، وحيث Tolerance هو التفاوت المسموح به في العينات القياسية مثل 12 ± 0.01 فيكون Tolerance هو 0.02.

6.8. إرشادات هامة لتحليل نظم القياس Guidelines for MSA



شكل رقم 6-16 طرق تحليل نظام القياس

- الشكل 6-16 يعرض الطرق المختلفة لاختبار نظام القياس، ويلاحظ أن إختيار الطريقة يتوقف على نوع البيانات.
- في بعض أنظمة القياس نجد أن تأثير خطأ الشخص Reproducibility يكون منعدما، ومثال ذلك عندما يضغط شخص على زر لطباعة القيمة المقاسة.
- في الحالات التي يصعب فيها زيادة عدد العينات يفضل زيادة محاولات القياس.

- يتم ترقيم العينات التي سيتم قياسها، وتقاس بطريقة عشوائية، ويفضل ألا يعرف عامل القياس أرقام العينات، وذلك للتخلص من أى انحياز.
- يجب أن تختار العينات لتمثل المجتمع تمثيلا تاما.
- يجب الاتفاق على طريقة القياس وإجراءاتها بطريقة واضحة ومفهومة.
- إذا كانت مقاسات الأجزاء التي سيتم قياسها متفاوتة بنسب كبيرة مثل 1، 25، 86، فإن تحليل نظام القياس في هذه الحالات سيعطى انطباعا بأن هذا النظام جيد (لأن الخطأ الناتج من الأجزاء Par to part سيكون كبيرا)، وللتحقق من جودته، يجب عمل اختبار لهذا النظام بأجزاء أخرى يكون التفاوت فيها بسيطا قبل الجزم بجودة هذا النظام من عدمه.
- إذا كانت مقاسات الأجزاء التي سيتم قياسها متقاربة، فإن ذلك يستلزم عاملي قياس ذوى مهارة عالية.
- في حالة الاختبارات الإتلافية، أو في الحالات التي يصعب فيها القياس إما لعوامل اقتصادية أو أمنية أو أخلاقية، فيمكن من خلال برنامج المينيتاب Minitab استخدام الأمر:

Minitab> Stat>Quality Tools>Gage study > Gage R&R study (Nested)

- الجدول 6-5 يضع تصورا عاما عن النسب المختلفة للخطأ الذي يمكن أن يوجد في نظم القياس ودرجة تقييم هذه النظم، ويلاحظ أن هذه النسب تختلف باختلاف مجال التطبيق :

جدول رقم 6- 5 نسب الخطأ لتقييم نظام القياس

نسبة الخطأ	تقييم نظام القياس
من 0 إلى 10%	نظام جيد
من 10% إلى 20%	نظام مقبول
من 20% إلى 30%	يتوقف مدى قبوله على نوع التطبيق
من 30% إلى 100%	نظام غير مقبول ويجب تحسينه

- يمكن إجراء تحليل نظام القياس Measurement System Analysis MSA للبيانات من النوع المتقطع أو الوثاب Discrete بنفس الطريقة التي تم شرحها للبيانات المستمرة Continuous وبمساعدة برنامج المينيتاب Minitab كما يلي :

Minitab> Stat>Quality Tools>Attribute agreement analysis