الفصل السابع

الرقابة الإحصائية على العمليات

الإحصاءات الأساسية

يقوم المدخل الإحصائى المستخدم فى خرائط مراقبة الإنتاج على حقيقة بسيطة هى: يمكن التنبؤ بنموذج تغير كل الأشياء حيث تحدث دائما تغيرات فى هيكل وشكل وقياسات العملية. وبتقديم الأفكار الجديدة عن طريق المهندسين القائمين بتنفيذ خطوات العملية يمكن إدخال التعديلات التى تساهم فى تغير أفكار الموظفين. وحتى المجالات التجريبية لإبتكار الأشياء فإنها يمكن أن تؤدى إلى إبتكارات جديدة فى العمليات الموجودة حاليا.

مشكلة الإنحرافات

وتوجد دائما مشكلة الإنحرافات التى يمكن أن تؤثر سلبيا على الرقابة. والمشكلة هى عدم القدرة على التنبؤ بالإنحرافات غير الطبيعية ويحدث ذلك بسبب عدم القدرة على قياس إلى أى مدى سيحدث الخروج من حالة تحت الضبط. وعلى ذلك فإن الحاجة إلى القياس الدقيق لكل إجراء داخل خطوات أية عملية سوف تصبح ملحة. ويمكن تلبية هذه الحاجة بتطبيق الرقابة الإحصائية للعملية SPC.

إن المشكلة الأساسية لتطبيق الطرق الإحصائية فى رقابة العمليات هى توفير

الأشخاص القادرين على ذلك والمتفهمين لهذه الطرق. ويتذكر المهندس التقليدى أيام الدراسة فقط عندما كانت المشاكل الإحصائية تشكل جزء من المواد الدراسية. وكان الإحصاء عندئذ يبدو من المواد الغامضة ذات القواعد المعقدة والتطبيقات القليلة.

الإحصاء ورقابة العمليات

تستخدم الرقابة الإحصائية للعمليات SPC. كما عرضنا المبادئ الأساسية للإحصاء سهلة الفهم والتطبيق فقط. وتستطيع الرقابة الإحصائية للعمليات SPC أن تبين لك ما إذا كنت تؤدى عملك بطريقة صحيحة أو أنك تؤديه بطريقة خاطة. وبمجرد فهم الطرق الأساسية للرقابة الإحصائية للعمليات SPC فإنه يمكن توقع أن يسير التنفيذ فى خط مستقيم.

المبادئ

وكما يحدث بالنسبة لإدارة الجودة الشاملة TQM فإنه لا يمكن تنفيذ الرقابة الإحصائية للعمليات SPC بسهولة إلا بعد تغير أسلوب التفكير داخل المؤسسة. ويجب أن يعطى رئيس الإدارة الدعم الكامل لهذه العملية. ويمكن تقديم الرقابة الإحصائية للعمليات SPC بنجاح بمجرد أن يوجد المناخ الملائم لتقبل مبدأ التفكير الإبداعى للموظفين المشتركين فى إدارة المؤسسة. إن التفكير الإحصائى لبعض الموظفين أكثر أهمية لنجاح العملية من المعلومات الإحصائية التفصيلية نفسها. ويمكن إستخدام المعادلات والنتائج لتسهيل تنفيذ العمليات المعقدة. إن البيانات اللازمة للعديد من الحسابات متوفرة ومتاحة بالجدول 7.3. وليس من الضرورى معرفة كل المبادئ الإحصائية الأساسية.

إن مفتاح التنفيذ هو مشاركة الموظفين. لإن مشاركة الموظفين فى جو الفريق سوف يجعل أدوات حل المشكلة أكثر فاعلية وبذلك ينبثق الحل. وعندما تجذب

تقارير فريق الموظفين عن التشغيل إنتباه رئيس الإدارة فى شكل جداول أوليه للمراجعة فإن العملية تتلقى دفعة جديدة من المسؤلين. وتحصل الإدارة على الثقة والرغبة فى صرف المخصصات المالية على برنامج الرقابة الإحصائية للعمليات SPC. ويحصل الموظفون على الثقة التى يمنحها رئيس الإدارة كمدخلات للمراجعة. ويتحقق فى البرنامج مساهمة أكثر صلابة من الموظفين.

نتائج إيجابية

وبمجرد تنفيذ حلول المشاكل فإن المديرين على إختلاف مستوياتهم يميلون إلى الإهتمام بموظفيهم المشاركين فى الحل وتقدير مجهوداتهم الإضافية وبذلك بتحقيق فكر التغير. إن التقدير والتوجيه من الأمور الضرورية. وبدون الإهتمام والتقدير فإن البرنامج يفقد إهتمام الموظفين ويموت بالتالى.

الرقابة

تتحقق الرقابة على العملية عن طريق رقابة الإنحرافات فيها. ولفهم أسباب واثار الإنحرافات فإنه يجب أولا قياسها. وتوفر الإحصاءات البسيطة وسائل قياس وتوجيه الإنحرافات. ومن السهل فهم وقراءة المصطلحات والمقاييس الإحصائية.

معاينة العملية (سحب ودراسة عينات من العملية)

سينسيبل سيسيل تبيع المعاينة

تستمتع سينسيبل سيسيل Sensible Cecile بالمعلومات المستقاه من الإحصائيات. وكمهندسة فى معمل برامج الكمبيوتر، فإنها كانت تستخدم بنجاح كبير خرائط بسيطه فى توجيه الجداول الزمنية للتنفيذ كذلك الميزانيات.

وهى الآن مديرة المعمل وتريد إقناع المهندسين العاملين تحت إدارتها بأن

إستخدام الإحصاء يجعل أنتاجهم أكثر دقة وبالتالى أكثر فاعليه. وتوجهت سينسيل إلى هيسيتانت هيلدا Hesitant Hilda وقالت لها مبتسمة أنه يتعين عليهم تعديل ما يصدرونه أو يتلقون من تقارير بخصوص مشاكل برامج الكمبيوتر.

إندهشت هيلدا لكن سينسيبل قالت لها أن من المهم معرفة ما يحدث للعمليات المخططة. لكن هيلدا إعترضت بقولها أنه لا يوجد لديهم وقت كافى لذلك كما أنه لا توجد أية أخطاء فى عملهم، وأن مراقبى جودة البرامج يكتشفون أية أخطاء تقع.

لم تكن سينسيل تتوقع وجود معارضة لذلك فإنها ما أن إكتشفت وتحققت من وجود شيء من الوجاهه فيما سمعت، حتى توجهت إلى باقى المهندسين وسألتهم عما إذا كانوا مشغولين أيضا ولا يجدون الوقت الكافى لإجراء مراجعات إحصائية للعملية SPRs.

وسمعت سيسيل من الحاضرين عبارات مثل: إنك تراهنين ـ هل لديك ميزانية لذلك ـ سوف نحتاج إلى عقل إضافى... قالت سيسيل بأن هذه التعليقات جيدة ولكنها تسائلت عن تأثير ذلك. قالت بأنهم سوف يسحبون عينات من التقارير التى يتسلمونها ويقتصر إجراء التحليل على تلك التقارير التى تشملها العينات فقط. ولن توجد حاجة إلى البيانات التفصيلية إلا فى حالة وجود أخطاء. ثم سألت: هل تشترون ذلك؟ فوافق الجميع بإستثناء نوونج نيد Knowing Ned الذى إعترض على معرفة الأخطاء عن طريق ترقيع الأرقام وقال إنه يمكن معرفة الأخطاء عن طريق التقارير وقالت سيسيل مبتسمة أنه يجب على نيد أن يأخذ فى إعتباره أن مجرد معرفة الأرقام الناتجة من المراجعات الإحصائية للعملية SPRs خلال فترة زمنية مقاسه سوف يبين مدى سرعة أداء العمل. كما أنه يبين لهم العدد المتوقع

فى المستقبل. وان هذا هام جدا لاغراض التخطيط. وقد يتضح انهم يعملون بجد وأنهم يستحقون بعض المساعدة.. ثم سألت نيد إن كان يوافقها على ذلك.

فكر نيد فى كلمات سيسيل لدقيقة واحدة ثم قال مبتسما أنه يعتقد أنه يشترى ذلك، وأن بعض التخطيط لن يضر أحد.

وبذلك باعت سيسيل المعاينة للمجموعة

والمعاينة Sampling إجراءات إحصائية لإختيار دقيق لعدد من المفردات من مجتمع ما، ثم إتخاذ قرار بخصوص المجتمع بناء على المعلومات المستقاه من بيانات العينة. وعند سحب العينات، فإن إختيار المفردات يجب أن يتم عشوائيا للتأكد من أن الإنحرافات ذات العلاقة هى فقط التى ظهرت. وهكذا فإن كل مسبب للإنحرافات يجب أن يكون تأثيره على كل مفردة من المفردات المختارة متشابهاً وعندما يكون إختيار العينة صحيحاً فإن بياناتها تكون ممثلة للمجتمع. وبذلك فإنه يمكن قبول أو رفض المجتمع بناء على نتاج العينة المسحوبة منه. وتحتوى العينة العشوائية على كل الخصائص الموجودة فى المجتمع ويبدأ بالتالى ظهور الإنحرافات الموجودة فى العملية.

ويعرض شكل 7 فى الفصل الثامن عينة من قراءات الفولت المدونة فى بطاقة المولد وقد عرض بهذا المثال بيانات عينات مسحوبة فى فترات زمنيه عبارة عن وردية عمل واحدة. وهذا مثال لحالة واحدة من حالات المعاينة. ويتناسب عدد الفترات الزمنية التى تسحب فيها العينات طرديا مع درجة دقتها.

وبعد أن يتقرر كل من طريقة سحب العينات والإطار الذى تسحب منه فإنه يتم توقيع بيانات العينات على خريطة منطقية ويبين شكل 7 .8 نوع واحد من خرائط

الوسط الحسابى $\bar{X}$، المدى المتوسط $\bar{R}$ والتى سوف تناقش فى الفصل الثامن.

نماذج الإنحرافات

من الطبيعى أن تحدث الإنحرافات فى أكثر العمليات دقة وبقياس الإنحرافات فى العملية فإن المهندس القائم بالقياس سوف يلاحظ أن القياسات تأخذ شكلا متميزاً. إن نموذج حدوث أى شئ هو فى الواقع نتيجة لعوامل متعددة. فمثلا، فى سابقة لإطلاق الأسهم على هدف محدد فإن النتائج توفر فرصة ممتازة للتوجيه فى كل مرة يصوب فيها المتسابق سهامه وكذلك لتسجيل النتائج لغرض الدراسة. وعندما تنتهى المسابقة فإن نتائج المتسابق قد تبدو كما فى الجدول 7.1. ويظهر النموذج بهذا الجدول أن قدرة هذا المتسابق تتمركز حول الرقم 7 على الهدف. ويمكن بالتالى إستنتاج ما يستطيع المتسابق إنجازه بدرجة أدق.

جدول 7.1 بيانات التصويب على الهدف (بعشرين سهم)

رقم السهم	النقاط	رقم السهم	النقاط
1	7	11	6
2	7	12	6
3	9	13	10
4	10	14	7
5	7	15	5
6	6	16	7
7	8	17	8
8	4	18	6
9	9	19	7
10	7	20	9

ويمكن القول أنه ليس فقط كل العمليات بها إنحرافات ولكن أيضا كل الإنحرافات يمكن وضعها فى نماذج محددة. وعندما تبدأ النماذج فى التشكل فإن تكرار وقوع إنحراف معين فى مجال محدد سوف يبين الطريقة التى تتوزع بها كل الإنحرافات. وعلى هذا فإن النموذج الذى تأخذه الإنحرافات (أو العينات) يسمى توزيع تكرارى Frequency Distribution.

التوزيع التكرارى

من المفيد تقديم بعض المعلومات عن المصطلحات الإحصاية الأساسية حتى يمكن فهم التوزيع التكرارى وخصائصه. وتؤخذ اللغة الإحصائية المستخدمة فى رقابة العمليات من المصطلحات العامة فى الحساب ومبادئ الجبر.

تعتبر كل عينة مسحوبة من مجتمع ما جزء من هذا المجتمع أو مجموعة فرعية منه. فمثلا، تعتبر العينات الخمسة المسحوبة فى الساعة العاشرة من صباح الثامن من يونيو هى المجموعات الفرعية للساعة العاشرة. ويوجد لكل مجموعة فرعية متوسط يمكن حسابه من العينات المكونة لها.

الوسط الحسابى The Mean

يعرف الوسط الحسابى لمفردات مجموعة فرعية بأنه متوسطها ويرمز له بالرمز $\overline{X}$. وبزيادة عدد العينات التى تجمع عنها بيانات أثناء التشغيل، فإنه يعاد حساب متوسط متوسطات هذه العينات. وتطلق تسمية الوسط الكبير (الكلى) على متوسط متوسطات العينات ويرمز له بالرمز $\overline{\overline{X}}$. وبإستمرار سحب العينات فإنه سوف يلاحظ أنه فى كثير من الحالات، تميل متوسطات العينات إلى التجمع حول قيمة معينة. وتسمى هذه الظاهرة النزعة المركزية.

ويمكن بسهولة حساب الوسط الحسابى لأية مجموعة من الإعداد بجمع الأرقام المنفردة ثم قسمة المجموع على عدد هذه الأرقام (n).

وهناك مقياسان آخران مهمان للإستخدام فى الرقابة الإحصائية للعمليات هما: الوسيط والمنوال.

الوسيط The Median

الوسيط هو القيمة الوسطى للبيانات المجموعة. ودائما ما يكون نصف البيانات فوق الوسيط والنصف الآخر تحته. فمثلا العينة 1 ,3 ,4 ,8، ليس الوسيط أحد مفرداتها ولكنه يساوى 3.5 أما العينة 5 ,3 ,2 ,2 والعينة 3 ,3 ,3 ,3 فإن الوسيط فى كلتيهما هو وسارى أحد مفرداتها.

المنوال The mode

المنوال هو القيمة الأكثر تكراراً فى البيانات عند تبويبها. وهو القيمة الأكثر إحتمالاً فى العينة المسحوبة. فمثلا، المنوال فى النقاط المسجلة عند التصويب على الهدف فى الجدول7.1 هو7.

إنشاء التوزيع التكرارى

يتناول العرض هنا كيفية إنشاء التوزيع التكرارى فى أبسط صوره. بفرض أن 10 من مهندسى الإختبار يتلقون مصدرين للطاقة قوة 5 فولت يوميا فى مكان عملهم لمدة خمسة أيام. وينصب إهتمامهم على قياس الفولت الناتج من كل مصدر لأقرب فولت كامل (لأقرب رقم صحيح). وكان مدير الإختبارات مهتماً بعرض نتائج القياسات المأخوذة لمدة أسبوع.

ويعتبر الشكل 7.1 مثالا يمكن أن يستخدمه المدير لعرض البيانات الخام. ويعرض الفولتاج المنتج فى العمود الأول، وعدد المولدات بكل فولتاج فى العمود الثانى كعلامات، أما أعداد هذه العلامات فتعرض فى العمود الثالث. وتأخذ البيانات التى جمعها مدير الإختبارات منحنى يشبه شكل الجرس (طبيعى)، (أنظر 7.2 شكل)

التوزيع التكرارى للفولت

e الفولت	العدد P/	التكرار
1	11	2
2	111	3
3	𝍸	5
4	𝍸 111	8
5	𝍸 𝍸 𝍸	14
6	𝍸 𝍸 𝍸 111	18
7	𝍸 𝍸 1	11
8	𝍸 11	7
9	𝍸	5
10	11	2

شكل 7.1 P. 100s

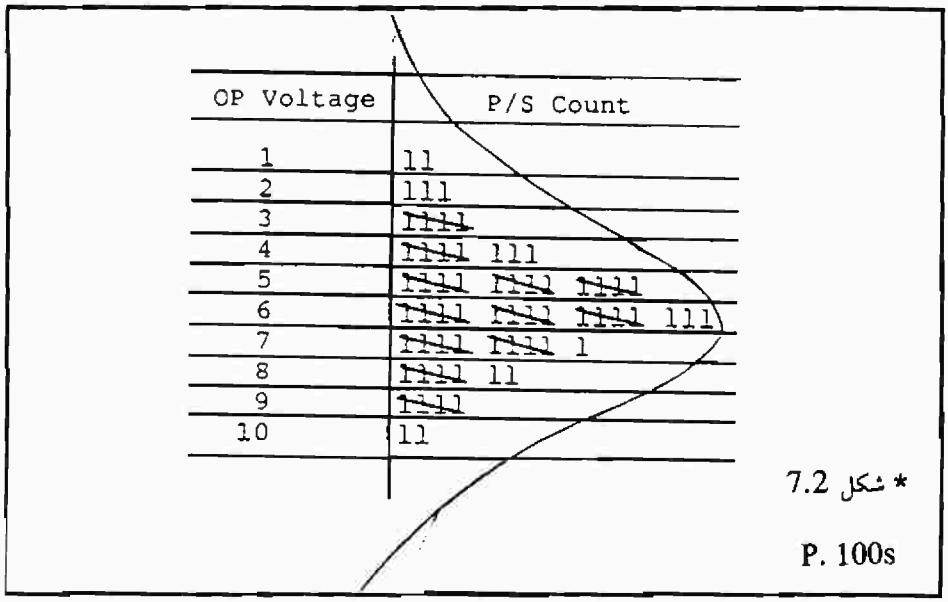
جدول 7.1

Arrow no.	Score	Arrow no.	Score
1	7	11	6
2	7	12	6
3	9	13	10
4	10	14	7
5	7	15	5
6	6	16	7
7	8	17	8
8	4	18	6
9	9	19	7
10	7	20	9

P. 99

البيانات التى جمعها مدير الإختبارات منحنى يشبه شكل الجرس (طبيعى)، (أنظر 7.2 شكل)

ويمكن الحصول على المعلومات الأساسية لتوجيه العملية إحصائيا بإختبار البيانات التى يحويها التوزيع التكرارى.



* شكل 7.2

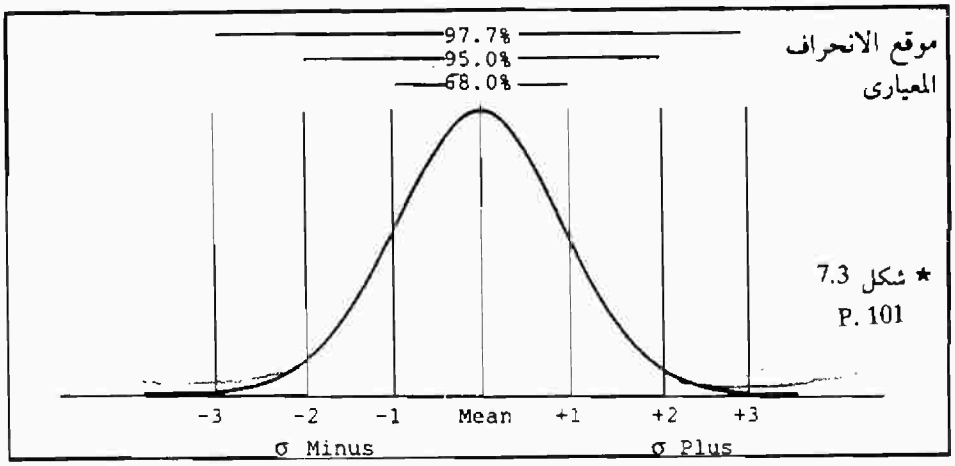
مدى ومتوسط العينة Sample Range and Average

يمكن بسهولة حساب كل من المدى الذى تتوزع عليه القيمة فى العينات (R) وكذلك القيمة المتوسطة ($\bar{\bar{X}}$) للعينات المسحوبه. والمدى (R) هو مقياس للتشتت ويحسب بطرح أصغر القيم من أكبرها.

الإنحراف المعيارى Standard Deviation

تتناسب دقة البيانات الموقعة طرديا مع حجم العينة التى تجمع البيانات عنها. وعندما يقوم فريق عملية هندسية بجمع بيانات يكون هدفه تحديد ما إذا كانت العملية المقاسة مطابقة للمواصفات الفنية المحددة لها أم لا. وعندما تأخذ العينات منحنى على شكل الجرس سواء أكان طبيعيا أو ملتوياً فإنه يمكن إستخلاص النتائج من خلال الملاحظات عن بعد العملية المقاسة عن مركز المنحنى. وبمقارنة توزيع العملية مع مواصفاتها فإنه يمكن ملاحظة الإنحرافات خارج المواصفات إن وجدت وعندما تتحدد النهايات الطرفية للمنحنى فإن الفريق يكون قد رسم منحنى يبين كميا عدد الإنحرافات التى تزيد عن الحدود المسموح بها. ويبين الشكل 7.3 نموذجاً

* قام المعرب بتصحيح الرسم



★ شكل 7.3
P. 101

للإنحرافات المعيارية. ويرمز للإنحراف المعيارى للمجتمع بالرمز σ (سيجما) وهو يصف نموذج تجمع العينات حول مركز المنحنى. وعندما يحسب المتوسط بإستخدام قياسات لكل مفردات المجتمع فلن يكون هناك خطأ معاينة.

ويرمز لتقدير الإنحراف المعيارى بالرمز $\hat{\sigma}$ ويعرض الشكل 7.5 معادلة حسابه. ومن المهم ملاحظة أن أفضل تقدير للإنحراف المعيارى يمكن الحصول عليه عندما تكون البيانات موزعة توزيعاً طبيعيا وتكون العملية تحت الضبط، وعلى كل حال فإن $\hat{\sigma}$ يمكن إستخدامه دائما ويكون فى بعض الحالات تقديراً جيداً للتشتت فى التوزيعات غير الطبيعية.

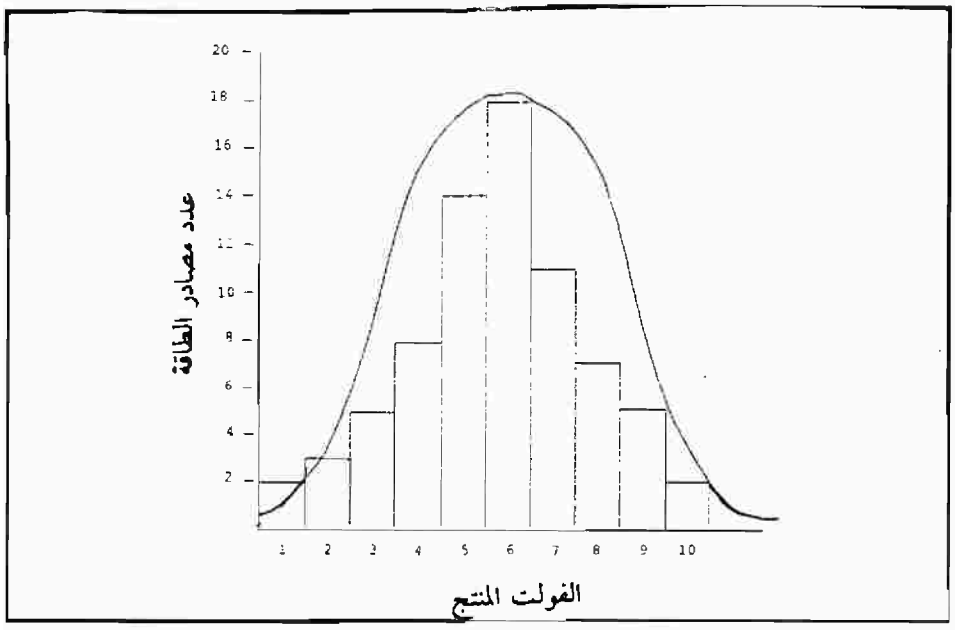
وعلى ذلك فإن التوزيع التكرارى هو منحنى ناتج من بيانات عينه مسحوبة من توزيع مجتمع. ويمثل كل من التوزيع التكرارى والإنحراف المعيارى جزء هام من الرقابة الإحصائية للعملية، وهما على كل حال يوفران رؤية جزئية للبيانات المتاحه. ويعتبر المدرج التكرارى وسيلة ممتازة لفهم البيانات المتاحه. ويرسم المدرج التكرارى من نفس البيانات التى يرسم منها المنحنى. وهو ببساطة توزيع تكرارى فى شكل مغلق.

ويمكن عن طريق رسم المدرج التكرارى إتخاذ قرار بما إذا كانت العملية المختبره تأخذ شكل الجرس أم لا. ويعطى شكل الجرس مؤشراً على أن العملية تحت الضبط.

★ قام المعرب بتصحيح الرسم

ويبين المدرج المرسوم فى الشكل 7.4 مصادر الطاقة التى سبق عرضها فى الشكلين 7.1 & 7.2، والخاصة بالبيانات التى جمعها مدير الإختبارات. ويتبين من الشكل أن بيانات العملية تأخذ شكل الجرس ويعبر عنها منحنى توزيع طبيعى كما يوضح أنها مستقرة. ويبين الشكل ـ زيادة عما بينه شكل المنحنى ـ نتيجة أخرى وهى أن العملية لم تكن طبيعية وأن هناك إنحرافات جوهرية (لا ترجع إلى الصدفة) وأن هذه الإنحرافات الجوهرية أثرت على شكل المدرج.

شكل 7.4* الشكل النموذجى للمدرج التكرارى على شكل الجرس



شكل 7.5 معادلة حساب الإنحراف المعيارى المقدر

$$\hat{\sigma} = R / d_2$$

ملاحظة: d_2 عبارة عن ثابت يعتمد على حجم العينة

وتوجد قيم الثابت d_2 فى الجدول 7.1

* قام المعرب بتصحيح الرسم

عندما يتطلب الأمر دقة أكبر

يمكن سحب العينات فى فترات زمنية محددة وبالتالى فإن الزمن قد يؤثر فى الخريطة. ويجب أن تبين الخريطة هذه المعلومة عندما يكون مطلوبا عرض الإتجاه الذى تسلكه العملية.

الإنحراف المعيارى المقدر

عادة ما يكون الإنحراف المعيارى للمجتمع مجهولا أو يصعب إيجاده (أى يكون إيجاده مكلفا أو يستلزم وقتا لا يمكن توفيره). وقد ينفق وقت طويل لمجرد أخذ القياسات اللازمة للحساب. ويستخدم عادة تقديراً للإنحراف المعيارى عند تطبيق الرقابة الإحصائية للعمليات SPC. ويفضل إستخدام هذا التقدير عندما يكون المجتمع موزعا توزيعا طبيعيا وتكون القياسات مستقره. ويرمز لهذا التقدير بالرمز $\hat{\sigma}$ ويمكن حسابه بسهولة بإستخدام $\overline{R}$ (متوسط أمدية العينات). ويعرض الشكل 7.5 مثالا لطريقة الحساب.

التوزيع الطبيعى Normal Distribution

يسمى التوزيع الذى يأخذ شكل الجرس بإسم منحنى التوزيع الطبيعى (أو جاوس). وعموما فإنه فى المنحنى الطبيعى يتساوى كل من الوسط الحسابى والوسيط والمنوال. ويكون المنحنى متماثلا بالنسبة لخط المركز (الوسط) ثم يميل مبتعداً عن خط المركز إلى ما لا نهاية (أنظر الشكل 7.4).

ويتعين التوزيع الطبيعى تماما بإستخدام مقياسين فقط هما الوسط والإنحراف المعيارى(σ).

ويتشكل التوزيع الطبيعى عند سحب عينات كثيرة من العملية وسوف يلاحظ عندئذ أنها تتجمع حول مركز هو متوسط هذه العينات (القيمة المتوسطة)، كما

يلاحظ أن عدد العينات يتناقص كلما بعدنا عن هذا المركز. ويمكن تطبيق الإستنتاجات المستخلصة من منحنى التوزيع الطبيعى فى رقابة الإنحرافات فى المجتمع المسحوبه منه العينات.

Tallies in subgroup n	Constants for $\bar{X}$ charts A	A_2	Divisors for estimate of std. dev. d_2	Range lower control limit d_1	Range upper control limit d_4
2	2.12	1.880	1.128	—	3.267
3	1.73	1.023	1.693	—	2.574
4	1.50	0.729	2.059	—	2.282
5	1.34	0.577	2.326	—	2.114
6	1.22	0.483	2.534	—	2.004
7	1.13	0.419	2.704	0.076	1.924
8	1.06	0.373	2.847	0.136	1.864
9	1.00	0.337	2.970	0.184	1.816
10	0.95	0.308	3.078	0.223	1.777

جدول 7.2 P. 104

التواء المنحنى الطبيعى

يمكن توقع أن تكون العينات المسحوبة من أية عملية لها نفس الشكل ما لم تتدخل أسباب جديدة تؤدى إلى وجود إنحرافات سواء أكان ذلك عند أداء العملية أو خلال إجراء المعاينة. وبعبارة أخرى، عندما تكمن أسباب الإنحرافات فى العملية نفسها وليس كمصدر خارجى عنها، فإنه يمكن أن نتوقع أن يكون المنحنى الناتج على الصورة المعتادة المتكررة والمتوقعة. وعلى كل حال، عندما ترجع الإنحرافات إلى أسباب أخرى خارج العملية نفسها فإن المنحنى الممثل للبيانات سوف يكون ملتويا ويفقد بالتالى شكل الجرس.