الفصل الخامس

التحكم الإحصائى للعمليات

Statistical Process Control (SPC)

5.1. مقدمة Introduction

تعتبر عملية التحكم الإحصائى فى العمليات من الطرق الواضحة والفعالة لمراقبة ومحاولة التحكم وتقليل الإضطراب والترحيل والتباين Variation and chaos الغير مرغوب به ، والذي قد يحدث في العملية، ويتم ذلك باستخدام مجموعة من الأدوات الإحصائية، وهى كذلك طريقة يستخدمها كلّ فى ميدان عمله، يستخدمها المدير والعامل والسكرتير والكيميائي والمهندس و....

ويهمنا هنا أن نشير إلى أن استخدام مفهوم التحكم الإحصائى SPC يمكن أن يكون في أية مرحلة من مراحل تحسين العملية طالما كانت الأ هداف تتضمن التركيز على:

- تقليل الإضطراب والترحيل To reduce the Variation.
- الاقتراب بمتوسط المخرجات من المستهدف To move the Process Mean closer to the Target value

ويقال لأى عملية أنها في حالة تحكم إحصائى Process in statistical control إذا استطعنا من خلال دراسة ماضي هذه العملية أن نتنبأ بمدى تباين واضطراب هذه العملية فى المستقبل، ويتم ذلك عن طريق استخدام عدد من الأدوات يطلق عليها الأدوات السبعة الأساسية للجودة The seven basic quality Tools وهى موضحة فى جدول 5-1:

جدول رقم 5- 1 " الأدوات السبعة الأساسية للجودة

الأداة		الاستخدام
Check Sheets	قوائم الفحص	لتجميع وتنسيق البيانات
Pareto diagrams	مخطط باريتو	لترتيب وتصنيف البيانات
Histograms	الهستوجرام	للبيانات التي تعبر عن سلوك المنظومة
/Flow diagram Process mapping	مخطط سير العمليات	لتوضيح ترتيب وتتابع مجموعة من الأنشطة
Cause and effect diagram	مخطط السبب والنتيجة	لعرض العلاقة بين المتغيرات
Scatter diagram	مخطط التشتت / التبعثر	لتحديد العلاقة بين المتغيرات
Control charts	خرائط التحكم	لمراقبة أداء العملية وتحديد أسباب الاضطراب

وبالنظر للسبع أدوات الأساسية نجد أن الستة الأوائل منها (جميع الست أدوات لا تتعامل مع الإنحراف المعيارى ولا مع المتوسط وهو عيب جوهري لأنه يحد من تعميق التحليل إحصائيا) لا تفي ولا تعطى الدقة المطلوبة في عالم منهجية التحسين Six Sigma الذي يحتم وجود أدوات ذات مستوى أعلى، ولذا سنلجأ للأداة السابعة وهى خرائط التحكم.

وبالإضافة إلى ما سبق ذكره فإنه يوجد العديد من الأدوات الأخرى التي تدرجها بعض المراجع على أنها ضمن السبعة الأساسية كما فى جدول 5-2 .

جدول رقم 5- 2 أدوات أخرى إضافية للجودة

الأداة		الاستخدام
Affinity diagram	مخطط التآلف	تصنيف الأفكار
Tree diagram	المخطط الشجري	تقسيم و تصنيف الأفكار
Matrix diagram	مخطط المنظومة	لترتيب الأو لويات
Interrelationship diagraph	مخطط العلاقات	لترتيب الأفكار
Prioritization matrix	مصفوفة الأولويات	لترتيب البدائل
Activity Network diagram	مخطط شبكة الأنشطة	للتخطيط والجدولة

وسنقوم بإلقاء الضوء على هذه الأدوات في الفصل التاسع من هذا الكتاب تحت عنوان "منهجية التحسين الأدوات والتقنيات ".

و نظرا لأهمية الأداة السابعة المبينة فى جدول 5-2 ، وهى خرائط التحكم Control Charts فسنقوم بالحديث عنها فى الجزء التالي ، وقد أفردت لها باباً منفصلاً لما تمثله من أهمية بالغة.

5.2. خرائط المراقبة والتحكم Control Charts

وهى وسيلة للحكم على مدى جودة أداء العملية قيد البحث، وكذلك هي أداة لمراقبتها والتحكم فيها، وقدمها العالم والتر شيوارت Walter Shewart والذي كان يعمل بمؤسسة بيل Bell للتليفون عام 1920 كخدمة جليلة لمجال الجودة، ويطلق عليها في بعض الأحيان خريطة شيوارت Shewart Chart نسبة إلى مبتكرها، والبعض يطلق عليها صوت العملية أو Voice of the Process، وهى بمثابة الأشعة التليفزيونية، أو بمثابة كاميرا فيديو لمراقبة حالة العملية لحظة بلحظة بتتابع زمني وعلى مدار فترات زمنية، ومن خلالها نستطيع التفريق بين المؤثرات و الأسباب العامة والخاصة للتغير.

وكما في مجال الطب يوجد أنواع مختلفة من الأشعه، ويتوقف اختيار نوع الأشعه علي المعامل Factor الذي نريد قياسه، فمثلا توجد أمراض تكفى الأشعه السينية العادية لمعرفتها ولتشخيصها، وتوجد أمراض أخرى تحتاج لأشعه بالصبغة، وأمراض أخرى تستلزم الأشعة المقطعية، كذلك فإن اختيار نوع خريطة التحكم المناسبة يتوقف بدرجة كبيرة علي نوع البيانات المتاحة وكذلك على كمية هذه البيانات أي نوع وحجم البيانات Type and size of data.

وكما أن قراءة الأشعه الطبية وتفسيرها يحتاج لطبيب لبيب، فإن قراءة وفهم وتفسير خرائط التحكم يحتاج لخبرات ومهارات بعضها يكتسب بالممارسة والمقارنة والقياس والبعض الآخر يكتسب بمعايشة و فهم طبيعة العملية ذاتها.

5.3. أنواع خرائط التحكم Types of Control Charts

يوجد نوعان رئيسيان من خرائط التحكم Control Charts، نوع يتعامل مع البيانات المستمرة Continuous، وآخر يتعامل مع البيانات الوثابة Attribute ،(لدراسة الفرق بين البيانات المتصلة والمتقطعة يرجى مراجعة الفصل العاشر تحت عنوان أنواع البيانات الرقمية)، وفيما يلي سنتناول أنواع هذه الخرائط بالشرح والتفصيل.

أ- خرائط التحكم للمتغيرات المتصلة Continuous Data Control chart

إذا كانت البيانات الناتجة من النوع المستمر فإنه عند رسم خرائط التحكم ، فإننا نقوم بتجميع البيانات المراد رسمها على هيئة مجموعات فرعية (m)، وكل مجموعة تشتمل على عدد من العينات (n)، ونقوم برسم خريطتين اثنتين من الخرائط ، كل واحدة تبحث عاملا محددا كما يلي:

- الخريطة الأولى وهى تحدد ما إذا كان التباين الحادث داخل المجموعة الواحدة متسقا أم لا؟، وهى تدرس التباين داخل المجموعات الفرعية Variation within each subgroup، أودقة العملية Process precision، أوالتباين على المدى القصير short term variation، وفيه نحسب المدى لكل مجموعة، ونقوم بتوقيعه على خريطة، وحيث إن هذه الخريطة تعبر عن التباين الموجود في العملية، فإننا نعبر عن هذا التباين تارة بالمدى وتارة بالانحراف المعيارى، ويلاحظ أنه عندما يكون عدد العينات صغير (في حدود من ثلاثة إلى خمسة) وبالتالي يكون المدى أكثر تعبيرا من الانحراف المعيارى عن التباين، فإننا نستخدم خريطة المدى R Chart، أما إذا كان عدد العينات كبير (10 عينات فما فوق) فإن الانحراف المعيارى يكون أصدق تعبيرا عن التباين

من المدى، وحينئذ فإننا نستخدم خريطة الانحراف المعيارى S Chart ، أما إذا كان عدد العينات هو عينة واحدة –لصعوبة أخذ عينات أو لتكلفتها العالية - فإننا نلجأ لإيجاد شئ بديل عن المدى وعن الانحراف المعيارى لكي يعبر عن التباين، وهو المدى المتحرك R-moving ، وهو الفرق بين قيمة عينتين متتاليين، وحينئذ نستخدم خريطة المدى المتحرك R moving Chart ، وفي هذه الحالة ولأنها ترسم قيم مباشرة، وليس متوسطات، فيجب أولاً التأكد من أن بيانات هذه البيانات تتبع منحنى التوزيع الطبيعى، (يرجى مراجعة الفصل الثانى عشر تحت عنوان التوزيعات الاحتمالية)، وذلك بإجراء اختبار الطبيعية Normality test من خلال رسم الهستوجرام ، أومخطط الصندوق Box Plot أومخطط النقطة dot plot، أومخطط الورقة والساق stem and leaf أو بأكثر من طريقة مناسبة في وقت واحد (يرجى مراجعة الفصل الحادى عشر تحت عنوان طرق عرض البيانات).

- الخريطة الثانية وتسمى خريطة المتوسطات $\bar{X}$ Chart ، ولا يتم البدء في رسمها إلا إذا كانت الخريطة الأولى التى سبق شرحها، في حالة اتزان وتحكم، وهذه الخريطة تحدد ما إذا كان التباين الحادث بين متوسطات المجموعات الفرعية المختلفة أكبر من التباين الحادث في خرائط النوع الأول أم لا؟، أى تدرس التباين بين المجموعات Variation between subgroup، أو دقة العملية Process accuracy، أوالتباين على المدى الطويل Long term variation، وفيها نحسب المتوسط لكل مجموعة، ونقوم بتوقيعه على الخريطة، ويمثل بخريطة المتوسطات $\bar{X}$ Chart.

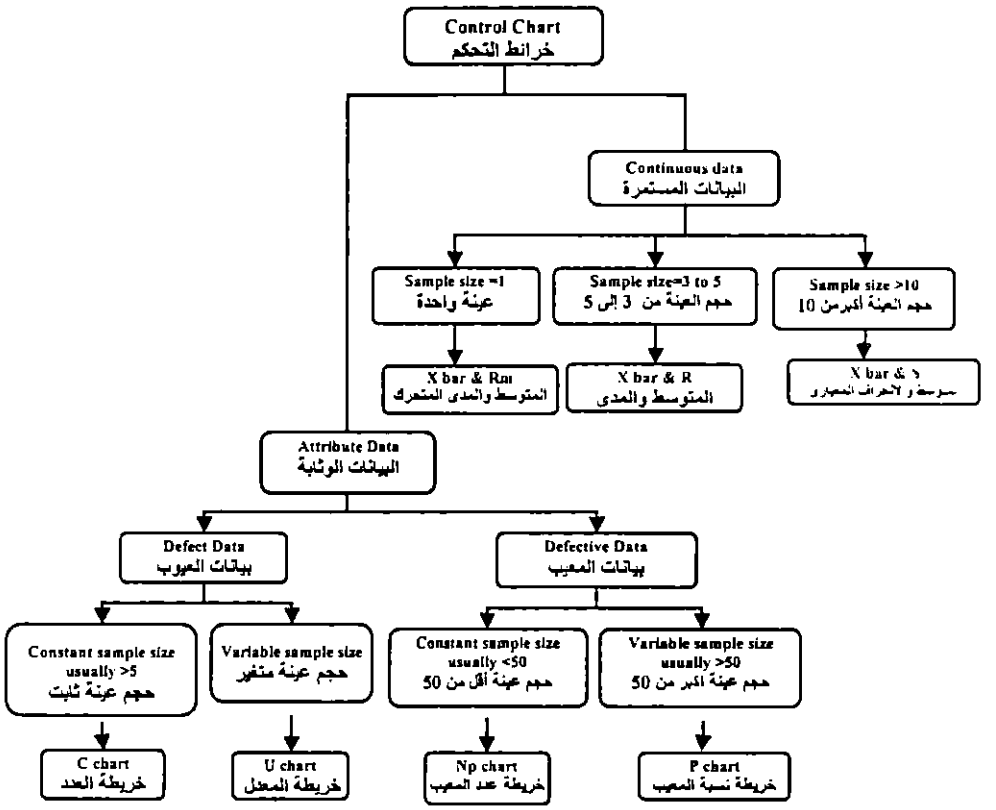
ب- خرائط التحكم للمتغيرات المتقطعة الوثابة Attribute data Control Chart

أما إذا كانت البيانات من النوع الوثاب أوالمتقطع Attribute فإن خريطة التحكم تبحث شقا واحدا (أي يوجد خريطة واحدة) ويتوقف نوع الخريطة كما فى شكل 5-1 وكما سنوضح على نوع و كمية هذه البيانات أي Type and Size of Data.

والشكل 5-1 التالي يوضح الطريقة التي تستخدم لاختيار الخريطة المناسبة لنوع البيانات وحجم العينة.

ويوجد عدة أنواع من هذه الخرائط منها ما يلى:

- خريطة التحكم لنسبة العيوب P، ونعتمد فى رسمها على توزيع ذى الحدين Binomial Distribution،
- خريطة التحكم لعدد العيوب P، ونعتمد فى رسمها على توزيع بواسون Boisson



شكل رقم 5- 1 الطريقة التي تستخدم لاختيار خرائط التحكم

5.4. فوائد خرائط التحكم Benefits of control Chart

لخرائط التحكم العديد من الفوائد و يمكن بلورة بعض هذه الفوائد فيما يلي:

1- تحديد ما إذا كانت العملية في حالة تحكم واتزان إحصائي أم لا out of control or in statistical control؟

2- خطوة هامة وضرورية قبل حساب مقدرة العملية Process Capability، وتحديد ما إذا كانت العملية قادرة أم لا capable or not.

3- مراقبة العملية عن قرب، واتخاذ الإجراءات التصحيحية Corrective Actions اللازمة أولا بأول لضمان استمرار الأداء السليم والمتزن للعملية.

4- تحديد أسباب انحراف العملية ، هل هي أسباب خاصة؟ وبالتالي يتم التحسين من خلال تعديل الإجراءات عن طريق العمالة المباشرة Operation، أم هي أسباب عامة ؟ وبالتالي يتم التحسين عن طريق تغيير أو إعادة تصميم العملية نفسها بواسطة الإدارة Management.

5- تمنع العبث والتدخل غير المبرر في العملية، وهو ما نطلق عليه Tempering، والذي يؤدى إلى زيادة التباين ، و إلى تدمير العملية في بعض الحالات، في حين أنها قد تكون سليمة أصلا، وتجدر الإشارة إلى ضرورة عدم التدخل للإصلاح إلا إذا تأكدت الحاجة لذلك بوجود الأسباب الخاصة، وإلا أدى ذلك إلى زيادة التباين وتضخمه، وهذا ما تدعو إليه نظرية ديمينج Deming والتي تنص على أن التدخل لإصلاح الأخطاء الناتجة عن الأسباب العامة إذا تم بواسطة العمالة المباشرة Operation فإن ذلك يؤدى إلى زيادة هذه الأخطاء والعيوب بتلك العملية.

6- تعتبر خرائط التحكم بمثابة صوت العملية Voice of the Process.

7- تعطى صورة واضحة عن حالة العملية في الماضي، والحاضر، وتمكننا من توقع حالتها إلى حد كبير في المستقبل.

8- يمكن من خلالها تقييم جهود التحسين ومقارنتها بالأهداف الموضوعة.

9- تساعد في اتخاذ القرارات الاستراتيجية، وتحدد سياسة الشركات والهيئات والمنظمات بشأن خطط التطوير والتحسين اللازمة لمواجهة متطلبات السوق، وتوقعات العملاء، وأداء المنافسين، كما تحدد المناطق الأولى بتطبيق هذه السياسات وتلك الخطط.

5.5. الخصائص العامة لخرائط التحكم Control Charts Characteristics

من أهم مميزات خرائط التحكم أنها تعرض صورة حية للعملية لفترة طويلة مثل فيلم فيديو، وهى ليست لقطة لحظية Snap Shot كما في الهستوجرام Histogram، أو مخطط الصندوق Box Plot، أو رسم النقطة dot plot، أو الساق والورقة Stem and Leaf (يرجى مراجعة الفصل الحادى عشر تحت عنوان تلخيص وعرض البيانات)، كذلك تتميز هذه الخرائط بان لها شكل عام موحد وخصائص ثابتة كما بالشكل 5-2، ومن هذه الخصائص ما يلي:

1- لها خط مركزى Central Line يقسمها إلى جزأين، في كثير من الأحيان متساويان.

2- لها حد أعلى للتحكم Upper Control Limit (UCL) يبعد مسافة (3 σ) عن خط المركز Central Line وكذلك حد أدنى للتحكم Lower Control Limit (LCL) يبعد أيضا مسافة (3 σ) عن خط المركز، ويتم حساب هذه المسافة من البيانات المتاحة، ويجب عدم الخلط بين الحدود العليا والدنيا للتحكم وبين الحدود العليا والدنيا للمواصفات، والتى غالبا ما تكون مواصفات العميل Customer Specifications، والمنطقة المحصورة بين الحدود العليا والدنيا للتحكم تمثل منطقة اتزان العملية Process Stability Zone.

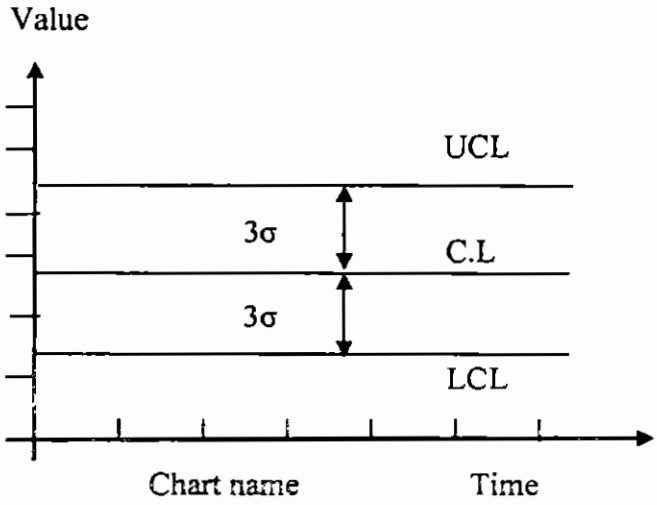
3- لها محور أفقي يمثل الزمن و محور رأسي يمثل العامل المقاس.

4- المسافة بين UCL & LCL تساوى قيمة تقدر بستة انحرافات معيارية σ 6.

5- إذا كانت المسافة بين الحد الأدنى وخط الوسط Center & Lower قيمة سالبة فإننا نعتبر خط الصفر هوخط التحكم الأدنى Lower Control Line، فمثلا لا توجد منتجات معيبة تساوى 2- أى بقيمة سالبة.

6- عند رسم خرائط التحكم Control Charts ، ولكي تعطى نتائج موثوق بها يجب توفر عدد من العينات أو البيانات المدونة Observation يتراوح من 20 حتى 25.

7- يجب عدم الخلط بين عدد العينات Sample (n) وعدد المشاهدات أو المجموعات Observation (m) فمثلا نأخذ عدد عينات 7 عينات / يوم لمدة 33 يوم، فيكون عدد العينات هو n = 7 ، وعدد المشاهدات هو m = 33.



شكل رقم5-2 الشكل العام لخرائط التحكم

8- الجدول 5-3 يوضح الفرق بين هذه الأدوات وبين خرائط التحكم:

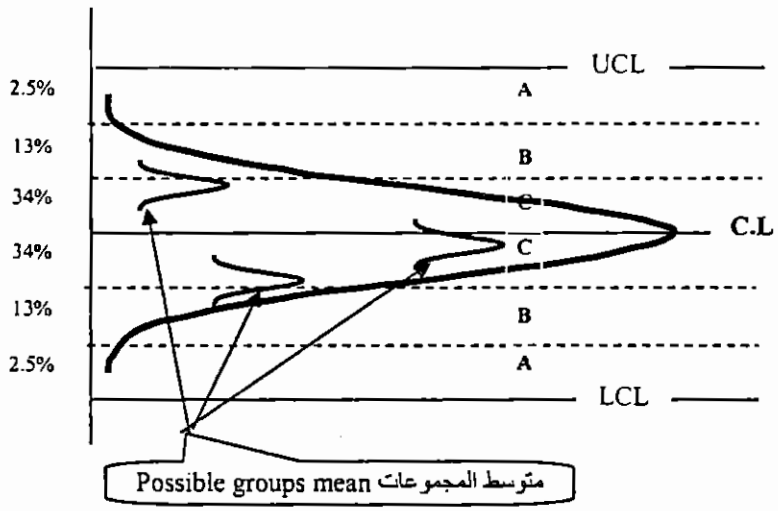
جدول رقم 5- 3 الفرق بين خرائط التحكم وبعض الوسائل الإحصائية لتمثيل البيانات

	Control Chart	Histogram أوBox Plot أو dot plot أو stem and leaf
فترة المراقبة	فترة طويلة (فيديو) video	فترة قصيرة (لقطة) snap shot
تعبر عن	performance	status
زمن المراقبة	تعرض حالة العملية في الماضي والحاضر	تعرض حالة العملية في الماضي فقط
زمن التنبؤ	يمكن من خلالها التنبؤ بحالة العملية في المستقبل	لا يمكن من خلالها التنبؤ بحالة العملية في المستقبل

9- اذا ظهرت بعض النقاط خارج حدود التحكم، فإن ذلك يكون نتيجة وجود الأسباب الخاصة ، وتكون إجراءات التحسين المطلوبة هى إجراءات تصحيحية ، و يكون هذا التحسين عن طريق التنفيذيين.

10-إذا كانت العملية غير قادرة على الوفاء بمتطلبات العملاء وأظهرت الخرائط إتزانا للعملية، بأن كانت النقاط الممثلة لها تقع داخل حدود التحكم، فإن ذلك يكون نتيجة وجود الأسباب العامة، وتكون إجراءات التحسين المطلوبة هى إجراءات وقائية Preventive Actions، و يكون هذا التحسين عن طريق الإدارة Management كما سيأتى شرحه فى الفصل التاسع تحت عنوان مخطط المناطق الأربع.

11-عندما تكون العملية في حالة إتزان وتحكم Control فإن شكل الخريطة Control Chart يقترب من الشكل 5-3، والذي يوضح أن حوالي 2.5% من مجموع القراءات سيقع في المنطقة A والواقعة في الثلث الأعلى من المساحة المحصورة بين خط الوسط وحدود التحكم القصوى UCL وCL، كذلك سيقع حوالي 13% من مجموع القراءات في المنطقة B والواقعة في الثلث الأوسط من ذات المساحة، وأيضا سيقع حوالي 34% من مجموع القراءات في المنطقة C والواقعة في الثلث السفلى من نفس المساحة، وتنطبق نفس النسب في المساحة المحصورة بين خط الوسط وحدود التحكم الدنيا LCLوCL، وبالتدقيق سنجد أن هذه النسب هي نفس النسب التي ذكرناها عندما تحدثنا عن خصائص منحنى التوزيع الطبيعى Normal Distribution Curve تحت عنوان التوزيعات الاحتمالية فى الفصل الثانى عشر من هذا الكتاب.



شكل رقم 5-3 الشكل العام لخريطة التحكم لعملية متزنة

12-المنطقتان C هما منطقتي الأمان، وتمثل باللون الأخضر في بعض المراجع والكتب دليلا على ذلك، أما المنطقتان B فهما منطقتي التنبه والاستعداد لاتخاذ إجراء تصحيحي ويمثلان باللون الأصفر، أما المنطقتان A فهما منطقتي اتخاذ إجراء تصحيحي فوري ويمثلان باللون الأحمر، أما المنطقتان فيما وراء المنطقتين A فهي مناطق خروج العملية عن الإتزان Out of Control Zone.

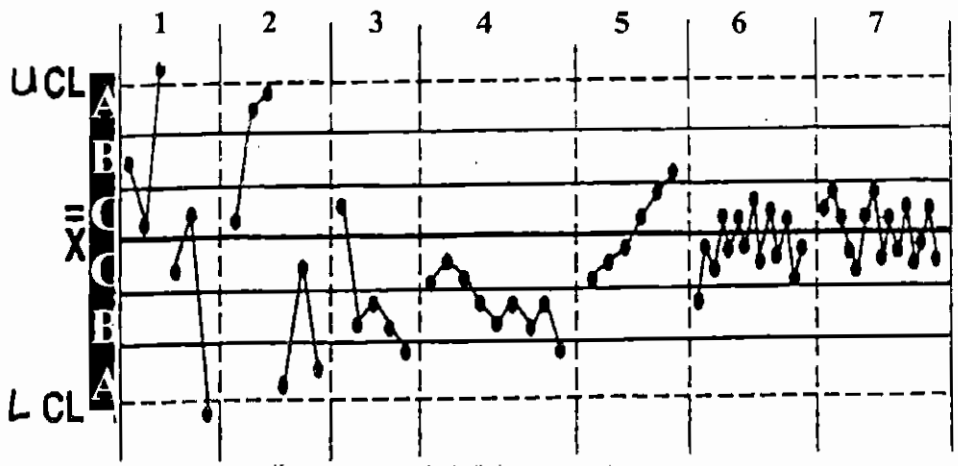
13-يجب عدم الخلط بين حدود التحكم Control Limits والتي هي بمثابة صوت العملية Voice of the Process، وبين حدود المواصفات Specification Limits، والتي هي بمثابة صوت العميل Voice of the customer.

14-بالنظر أيضا إلى نفس الشكل سنجد أن الخريطة ما هي إلا تسجيل زمني لمتوسط قيم مجموعات القراءات المحتملة، أي أنها Histogram متكرر فترة بعد فترة.

15-عند جمع البيانات لرسم خرائط التحكم يجب تسجيل بعض البيانات الهامة، مثل متى رسمت، ومن رسمها، ولماذا رسمت، ومن أين جمعت البيانات، وكيف جمعت وهكذا لأن ذلك من شأنه أن يساعد في قراءتها وتفسيرها فيما بعد.

5.6. قراءة وتفسير خرائط التحكم Control Charts Interpretation

الشكل 5-4 يعرض بعض النماذج Patterns التي إذا ظهر بعضها عند رسم خرائط التحكم Control Chart، يمكننا الحكم على أن العملية خارج نطاق التحكم أو out of control وهي:



شكل رقم 5-4 أشكال مختلفة لنماذج عدم الإتزان

1- إذا ظهرت نقطة واحدة من القراءات خارج المساحة المحصورة بين UCLوLCL أى فيما وراء المنطقة A، ويعزى سبب خروج هذه القراءة عن حدود التحكم Control Limits إلى الأسباب الخاصة للتباين Special Cause of Variation، أو Assignable Cause of Variation، أي أن هناك حدثا غير عاديا (ليس من طبيعة العملية Process Nature) وقع قبيل أو أثناء تسجيل هذه القراءات، وهنا تبرز أهمية أن يحتوى جدول تسجيل القراءات على خانة الملاحظات، وأن يسجل بها أية ملاحظات يراها الشخص الذي يقوم بتسجيل هذه القراءات، مثل (تم تغيير المناوبة ، أو حدث هبوط في جهد الكهرباء لمدة ربع ساعة، أو زيادة مفاجئة في عدد العملاء..... وهكذا).

2- إذا ظهرت نقطتين من كل ثلاثة نقاط متتابعة بصورة متكررة في المنطقة A أو ما بعدها، وفى جهة واحدة من خط المركز.

3- إذا ظهرت أربع نقاط من كل خمس نقاط متتابعة بصورة متكررة في المنطقة B أو ما بعدها، وفى جهة واحدة من خط المركز.

4- إذا ظهرت تسع نقاط متتابعة في جهة واحدة من خط المحور أو خط المركز.

5- إذا ظهرت ست نقاط متتابعة في اتجاه واحد سواء بالزيادة أو بالنقصان، وهو ما نسميه بالتوجه Trend.

6- إذا ظهرت أربع عشرة نقطة متتابعة تتأرجح لأعلى وأسفل على جانبي خط المركز مكونة دورات Cycles.

7- إذا ظهرت خمس عشرة نقطة متتابعة في المنطقة C، أسفل وأعلى خط المركز.

يلاحظ أن النموذج فى النقطة رقم 1 يشير إلى الأسباب الخاصة ، بينما النماذج فى النقاط من 2 حتى 7 تشير إلى وجود الأسباب العامة ، وهى جميعها تجعل العملية فى حالة عدم اتزان وخارج نطاق السيطرة Out of Control.

الجدول 5-4 يعرض طريقة التعامل مع كل نوع من الأسباب، وعواقب التعامل الخاطئ، ومميزات التعامل الصحيح.

جدول رقم 5- 4 الأسباب المختلفة وكيفية التعامل معها

نوع الإجراء				
اتخذ إجراءات لإحداث تغيير للمنظومة	ادرس عناصر المنظومة	اتخذ إجراءات للتغلب على أسباب الاختلاف	حاول معرفة أسباب اختلاف بعض البيانات	
Common cause أسباب عامة		Special cause أسباب خاصة		
تقليل الاضطراب	**فهم أدق للمنظومة**	زيادة الاضطراب	تضييع للوقت	Common cause أسباب عامة
تعامل صحيح		تعامل خطأ		
فقد إنتاجية و زيادة الاضطراب	تضييع وقت قبل اتخاذ إجراءات تصحيحية	**تقليل الإضطراب**	**فهم أدق للمنظومة**	Special cause أسباب خاصة
تعامل خطأ		**تعامل صحيح**		

وفى هذا الجدول يتضح أن معالجة إحدى الأسباب على غير حقيقتها يؤدى الى زيادة الإضطراب والتباين فى العملية.

5.7. خطوات رسم خرائط التحكم Control Charts Construction Steps

فيما يلي الخطوات الرئيسية لرسم خرائط التحكم :

1- نحدد العملية المراد مراقبتها لمدة طويلة و نحدد المتغيرات التي سيتم قياسها.

2- نقوم بتجهيز خطة جمع البيانات والقراءات Data Collection Plan، ويفضل ألا يقل عدد القراءات عن 25 قراءة، والجدول 5-5 يعتبر نموذجا جيدا لتجميع القراءات والبيانات إذا كانت من النوع الطبيعى والمستمر Continuous and Normal Data (يرجى مراجعة الفصل العاشر تحت عنوان أنواع البيانات الرقمية).

جدول رقم 5- 5 نموذج لجدول تجميع البيانات

Subgroup number	Date	Time	Measurement					Average	Range	Comment
			X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			

3- نتأكد من سلامة نظام القياس Measurement System Analysis ، (كما سيأتي شرحه فى الفصل السادس من هذا الكتاب) ،وعند ذكر نظام القياس فإننا نعنى الأدوات، والإجراءات، والشخص الذي سيقوم بالقياس وبيئة القياس.

4- نحدد عدد العينات التي يمكن أخذها طبقا وطبيعة العملية.

5- نجمع هذه العينات علي هيئة مجموعات (يومية- أسبوعية- شهرية-موسمية.....) بحيث كل مجموعة m تحتوي علي عدد n من العينات، و ينبغي أن تكون عينات منطقية Rational Sample، و متجانسة Homogenous، و مستقلة Independent، وكثيرة العدد، لكي تكون معبرة عن المجتمع بقدر الإمكان.

6- نحدد نوع الخريطة من نوع وحجم العينات التي سيتم التعامل معها.

7- نحسب قيمة الحد الأدنى والأقصى للتحكم أو حدود التحكم كقيمة، إما من خلال جداول، أو من خلال برامج الكمبيوتر، ونوقعها على الرسم، والجدول 5-6 يوضح معادلات الحساب اليدوية لهذه القيم.

8- ويتم تحديد معاملات خرائط التحكم Control Charts Parameters من الجدول 5-7 الذي يحتوى على قيم عمليه لهذه المعاملات.

9- بعد رسم الخريطة، وإذا وجدنا بعض النقاط خارج حدود التحكم، نحاول تفسير وجودها على أنها أسباب خاصة، ونحاول دراسة أسباب ظهورها والتغلب علي هذه الأسباب، ثم نستبعدها ونعيد حساب حدود التحكم مرة أخري، وهكذا إلى أن تصبح جميع النقاط داخل حدود التحكم فتكون هي الخريطة المطلوبة.

10-في حالة البيانات المستمرة Continuous Data نرسم خريطتين ، بينما فى حالة البيانات الوثابة Attribute Data نرسم خريطة واحدة فقط (راجع الفصل العاشر تحت عنوان أنواع البيانات الرقمية).

11-نقوم باستقراء الخريطة و تفسيرها، ونحدد ما إذا كانت العملية في حالة اتزان وتحكم إحصائى أم لا؟

وعموما علينا ألا ننزعج كثيرا من المعادلات التي تم ذكرها في هذا الجزء، لأننا سوف نقوم باستخدام برامج الكمبيوتر لرسم هذه الخرائط، وكل ما علينا هو أن نهتم بخصائصها وبتفسيرها، واستنباط أسباب كونها غير متزنة Statistically Out of Control.

جدول رقم 5- 6 معادلات حساب الحد الأدنى والأقصى للتحكم

	Control chart type	Sample size	Central Line	Control Limits
Continous Data بيانات مستمرة	Average &Range $\bar{X}$ and R	Usually from 3 to 5	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum(\bar{X}_1+\bar{X}_2+.....+\bar{X}_K)}{K}$	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$ & $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$
			$\bar{R} = \frac{\sum(R_1+R_2+.....+R_K)}{K}$	$UCL_R = D_4\bar{R}$ & $UCL_R = D_3\bar{R}$
	Average & Standard Deviation $\bar{X}$ and S	Usually ≥ 10	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum(\bar{X}_1+\bar{X}_2+.....+\bar{X}_K)}{K}$	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$ & $UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$
			$\bar{S} = \frac{\sum(S_1+S_2+.....+S_K)}{K}$	$UCL_S = B_4\bar{S}$ & $LCL_S = B_3\bar{S}$
	Individual moving & range X_{and} R_m	1	$\bar{X} = \frac{\sum(X_1+X_2+.....+X_K)}{K}$	$UCL_X = \bar{X} + E_2\bar{R}_m$ & $LCL_X = \bar{X} - E_2\bar{R}_m$
			$\bar{R}_m = \frac{\sum(R_1+R_2+.....+R_K)}{K-1}$	$UCL_{R_m} = D_4\bar{R}_m$ & $LCL_{R_m} = D_3\bar{R}_m$
Attribute Data بيانات وثبية	Variable، usually ≥ 50	Fraction defective P chart	For each subgroup: $P = np/n$	$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ & $LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
			For all subgroup: $\bar{p} = \sum np / \sum n$	
	Constant، usually ≥ 50	Number directive nP chart	For each subgroup: np = number of defective units.	$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$ $LCL_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
			For all subgroups: $n\bar{p} = \sum np / k$	
	Constant	Number of defects C chart	For each subgroup: C = number of defects.	$UCL_C = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}}$ $LCL_C = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}}$
			For all subgroup: $\bar{C} = \sum C / k$	
	Variable	Number of defects per unit U chart	For each subgroup: $U = C/n$ number of defective units.	$UCL_U = \bar{U} + 3\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}$ & $UCL_U = \bar{U} - 3\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}$
			For all subgroup: $\bar{U} = \sum C / \sum n$	

وفى الجدول 5-7 نجد ان قيمة المعامل D3 يساوى 0.184 إذا كان عدد العينات هو تسع عينات ، و قيمته تساوى 0.223 إذا كان عدد العينات هو عشرة و هكذا.

جدول رقم 5- 7 معاملات خرائط التحكم

Sample size "n"	$\bar{X}$ and R			$\bar{X}$ and S				X and R_m			
	A_2	D_3	D_4	A_3	B_3	B_4	C_4	E_2	D_3	D_4	D_2
2	1.880	0	3.267	2.659	0	3.267	0.7979	2.659	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.574	1.954	0	2.568	0.8862	1.772	0	2.574	1.693
4	0.729	0	2.282	1.628	0	2.266	0.9213	1.457	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	1.427	0	2.089	0.9400	1.290	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	1.287	0.030	1.970	0.9515	1.184	0	2.004	2.532
7	0.419	0.076	1.924	1.182	0.188	1.882	0.9594	1.109	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	1.099	0.185	1.815	0.9650	1.054	0 136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	1.032	0.239	1.761	0.9693	1.010	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	0.975	0.284	1.716	0.9727	0.975	0.223	1.777	3.078

5.8. مدى دقة خرائط التحكم Accuracy of Control Charts

إن العلاقة بين عدد المجموعات الفرعية Subgroups و حجم العينات Sample Size وبين مدى الدقة Accuracy المطلوب اكتشافها عند رسم خرائط التحكم علاقة طردية، بمعنى أنه لزيادة حساسية ودقة الخرائط يجب زيادة عدد القراءات المسجلة، وعدد القراءات المسجلة يعتمد على عدد المجموعات وحجم كل مجموعة.

والجدول 5-8 يعرض العلاقة بين دقة وحساسية خرائط التحكم وبحجم البيانات المطلوبة، فمثلا تسع مجموعات، وكل مجموعة حجمها 3 قراءات ستكون كافية لاكتشاف ترحيل مقداره انحراف معياري واحد، وأيضا 21 مجموعة، وكل مجموعة حجمها 7 قراءات ستكون كافية لاكتشاف ترحيل مقداره نصف انحراف معياري.

جدول رقم 5- 8 علاقة حساسية خرائط التحكم بحجم البيانات

Shift value in Standard Deviations الترحيل المراد الإحساس به مقدرا بالانحراف المعياري							
3σ	2.5σ	2σ	1.5σ	1σ	0.5σ		
1	3	6	14	43	155	1	حجم subgroupاي sample size (n)
1	1	2	5	17	90	2	
1	1	1	2	9	60	3	
1	1	1	1	6	43	4	
1	1	1	1	4	33	5	
1	1	1	1	3	26	6	
1	1	1	1	2	21	7	
1	1	1	1	2	17	8	
1	1	1	1	1	14	9	
1	1	1	1	1	12	10	
number of sub groups عدد المجموعات الفرعية							

5.9. أمثله على خرائط التحكم Examples on Control Chart

مثال رقم 5- 1

الجدول 5-9 يوضح الوقت الذي ينتظره المرضى قبل إجراء عمليه جراحية، وقد سجلت هذه الأوقات لثلاث عمليات عشوائية يوميا، والمطلوب رسم خريطة التحكم المناسبة مع التعليق على النتائج.

جدول رقم 5- 9 بيانات المثال 5-1

subgroup	X1	X2	X3
1	63	71	47
2	50	86	40
3	47	62	50
4	74	67	60
5	59	43	59
6	60	58	58
7	85	80	71
8	67	65	65
9	61	53	74
10	71	57	51
11	72	52	55
12	48	40	60
13	55	69	53
14	53	43	40
15	52	58	59
16	89	74	49
17	58	55	57
18	69	72	59
19	77	61	62
20	51	63	61

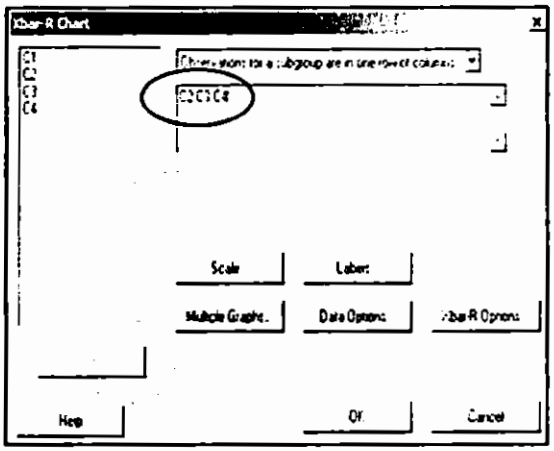
الحل:

حيث إن البيانات المتاحة هي بيانات وقت إذن فهى مستمرة ، وحيث إن حجم العينة هو 3 فإننا طبقا للشكل 5-1، سنرسم خريطة المتوسط والمدى $\bar{X}$ and R ، وسنستخدم Minitab لذلك كما يلي:

- ندخل الجدول إلى Minitab، نختار القوائم التالية:

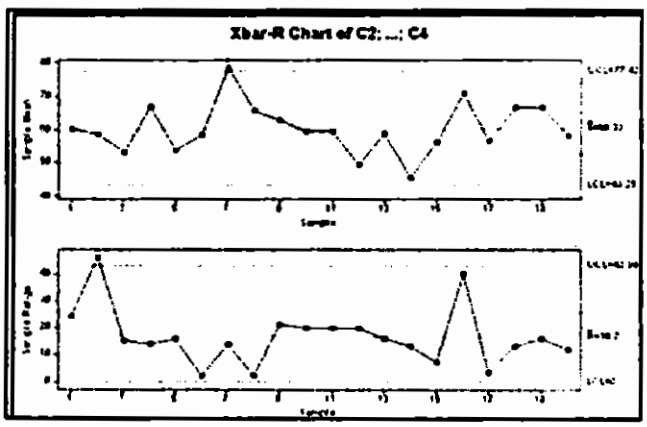
Stat> Control Charts>variable Charts for subgroups> $\bar{X}$ and R

- نختار C1& C2 &C3 ثم OK.



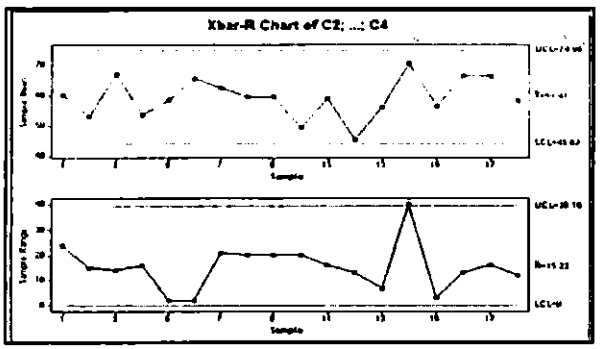
شكل رقم5-5 خطوة 1 لحل المثال 5-1

- فيظهر الشكل 5-6، وفيه يظهر بعض النقاط خارج مجال التحكم Out of Control، ويرجع ذلك إلى الأسباب الخاصة (لأنها خارج حدود التحكم Control Limits)، وهى النقاط رقم 7، ورقم 2، فنقوم بحذف هاتين النقطتين (بعد التحقق من أنهما أسباب خاصة Special Causes).



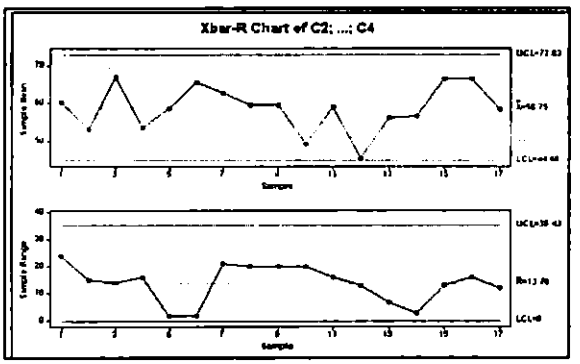
شكل رقم 5-6 خطوة 2 لحل المثال 5-1

- نرسم الخريطة مرة أخرى فيظهر الشكل 5-7، وفيه يظهر النقطة رقم 14 على أنها Out of Control، فنقوم بحذفها (بعد التحقق من أنها من الأسباب الخاصة Special Causes).



شكل رقم5-7 خطوة 3 لحل المثال 5-1

- ونرسم خريطة أخرى فيظهر الشكل 5-8، ونرى فيه أن الحد الأدنى للتحكمLCL والخاص بخريطة المدى R- Chart صفرا، لأن القيمة السالبة غير مقبولة عمليا فى هذا المثال، والشكل يظهر أن العملية أصبحت في حالة إتزان وتحكم ، وفى هذه الحالة فقط يمكننا قياس قدرة هذه العملية.



شكل رقم 5-8 خطوة 4 لحل المثال 5-1

مثال رقم 5-2

عند استلام أحد أوامر الشراء، قام مهندس الفحص والاستلام باختيار عينات عشوائية وقام باختبارها، وكانت نتيجة الاختبار كما هي موضحة بالجدول 5-10:

جدول رقم 5- 10 بيانات المثال 5-2

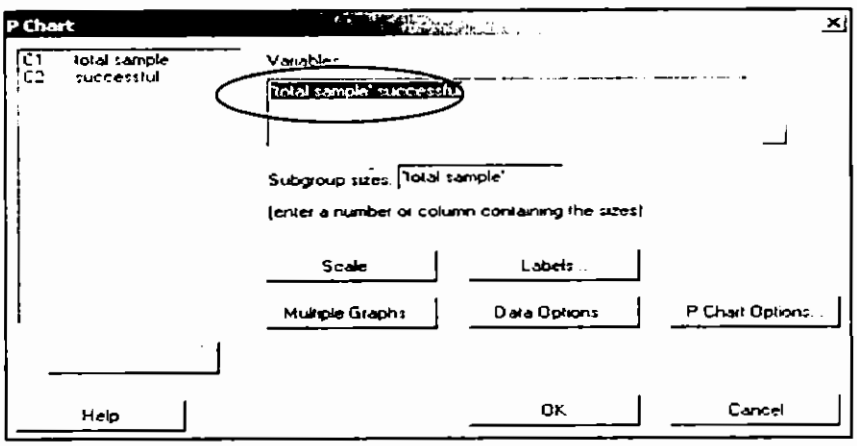
الدفعات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
العينات	115	127	127	112	129	157	167	156	153	136	121	138	130	142	127	147	115	159	141	132
المرفوض	47	43	5	[illegible]	49	69	70	64	66	58	46	50	55	48	38	60	43	56	54	41

والمطلوب رسم خريطة التحكم المناسبة مع التعليق على النتائج.

الحل:

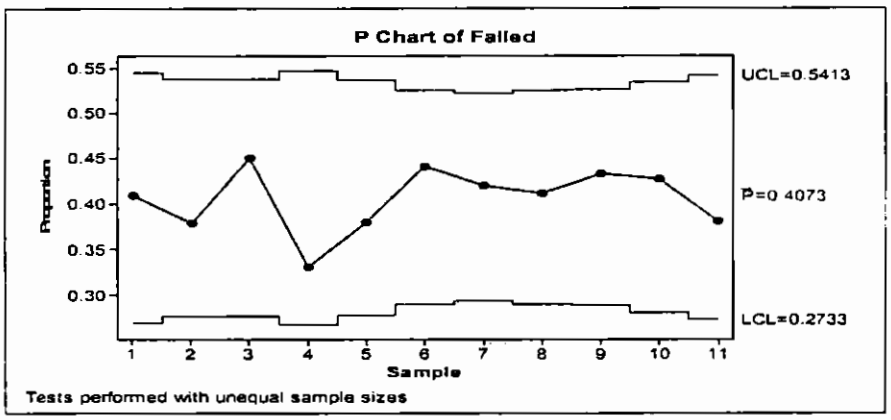
طبقا والشكل 5-1 حيث إن البيانات المتاحة وثابة وتمثل نسبة المعيب ، وحيث إن عدد العينات متغير العدد، فإننا سنرسم P Chart، وسنستخدم Minitab لذلك كما يلي:

- ندخل الجدول إلى Minitab
- نختار القوائم التالية Stat> Control Charts>attribute charts > P Chart
- نختار الأعمدة التي تحتوى على البيانات كما فى شكل5-9.



شكل رقم5-9 خطوة لحل المثال 5-2

فنحصل على الشكل 5-10 وهو النتيجة المطلوبة.



شكل رقم5-10 نتيجة حل المثال 5-2

مثال رقم 5 -3

في إحدى محطات معالجة المياه، قام مهندس الوردية بقياس درجة حرارة أحد المبادلات الحرارية بصفة يومية، وكان ذلك لمدة 20 يوما متتالية بواقع قراءة لكل يوم، وكانت نتيجة القياسات كما بالجدول 5-11 الموضح.

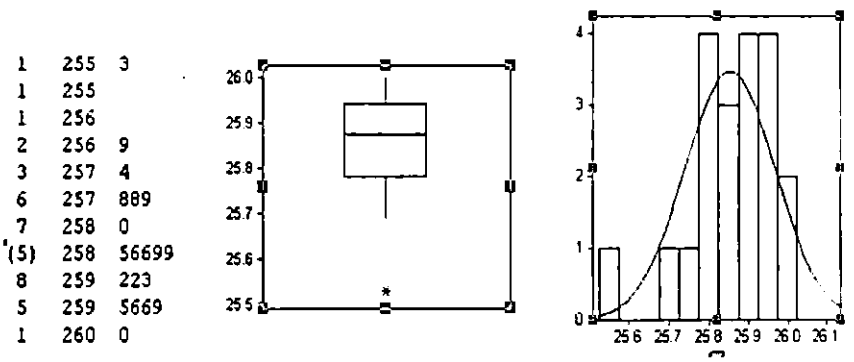
جدول رقم 5- 11 بيانات المثال 5-3

Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Value	25.92	25.85	25.79	25.89	25.86	25.92	25.89	25.03	25.86	25.93	25.95	25.78	25.99	25.80	25.96	26.00	25.74	25.69	25.96	25.78

والمطلوب رسم الخريطة المناسبة مع التعليق على النتائج.

الحل :حيث إن البيانات المتاحة مستمرة Continuous، وحيث إن عدد العينات واحد فإننا سنرسم خريطة المدى المتحرك I-moving Range Chart طبقا للشكل 5-1، وفي هذه الحالة كما قلنا فإنه يتحتم اختبار البيانات و التأكد من أنها تتبع التوزيع الطبيعي قبل البدء في رسم الخريطة، وسنستخدم المينيتاب Minitab لذلك كما يلي:

- ندخل الجدول إلى المينيتاب Minitab، نقوم باختبار ما إذا كانت البيانات طبيعية أم لا، وذلك بأن نرسم الهستوجرام ، ونرسم الساق والورقة ، ونرسم مخطط الصندوق .

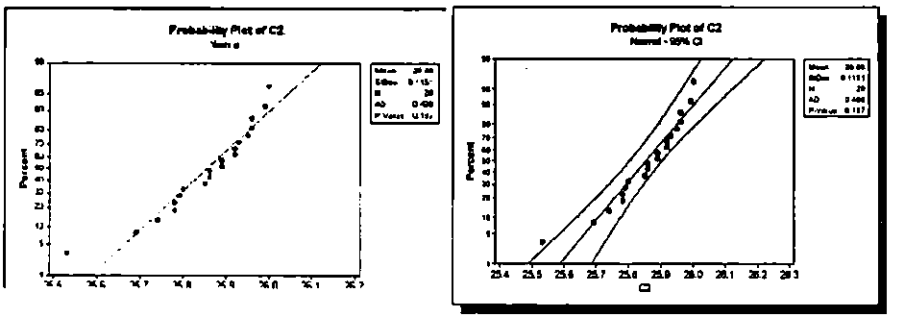


شكل رقم 5-11 إختبار طبيعية البيانات

ومن الشكل 5-11 لا يتضح بالدليل القاطع أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي ، فنختبر الطبيعية Normality بطريقة أخرى كما يلي:

Minitab> Graph> Probability plot

Minitab>stat>basic statistics>normality test أومن القائمة

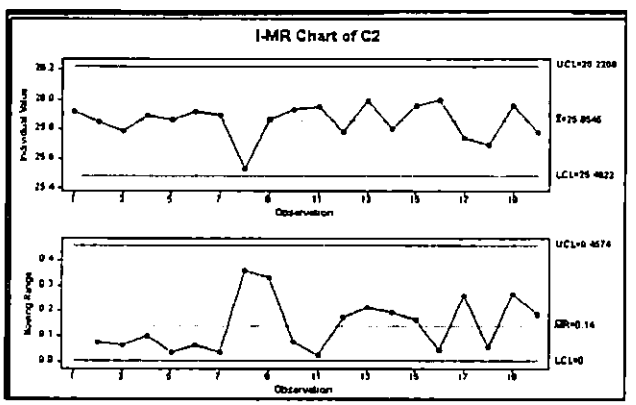


شكل رقم5-12 إختبار الطبيعية Normality

فيظهر الشكل 5-12 وفيه نجد أن معظم النقاط داخل حدود المنحنى، وتظهر قيمة المعامل "بى" P=0.187 وهى قيمة أكبر من 0.05 فنحكم بأن البيانات تتبع التوزيع الطبيعى.

- نختار القوائم التالية بالتتابع Stat> Control Charts>variable Charts for individuals > I moving range Chart

فيظهر الشكل 5-13 والذي يوضح أن العملية في حالة تحكم ، ونستنتج ما يلي:



شكل رقم 5-13 شكل خريطة المدى المتحرك للمثال 5-3

- أن التباين الموجود في القراءات المسجلة هو تباين طبيعي،ولا يوجد ما يبرر أى تدخل فى هذه العملية.
- أن الفترة الزمنية التي تم تسجيل القراءات فيها صغيرة نسبيا، وبالتالي فنحن نقيس قدرة المبادل الحراري على الوفاء بمتطلبات العملية على المدى القصير Shot term heat exchanger capability، ولا يمكننا حينئذ تقييم باقي عوامل التغيير المحتملة وأبرزها فريقا التشغيل والصيانة.
- نظرا لعدم ظهور أسباب خاصة ، فليس لدينا دليل على أن فريقي التشغيل والصيانة لا يؤديان دورهما المطلوب منهما.

- لتحديد ما إذا كان فريقا التشغيل والصيانة يؤديان دورهما المطلوب منهما كما ينبغي أم لا ؟ فلا بد من توسيع الفترة الزمنية حتى نتأكد من ظهور تأثير باقي عوامل التغيير ومنها تأثيرفريقي التشغيل والصيانة على الأداء أى Long term Process Performance.

مثال رقم 5 -4

تمتلك إحدى شركات البترول عددا من المعدات الهامة، وقد رأت إدارة الشركة المالكة تكرار عدد مرات توقف أحد هذه المعدات الهامة، ووجهت انتقادا للشركة التي تقوم بعملية الصيانة لهذه المعدات، فما كان من شركة الصيانة إلا أن قامت بتحليل أداء هذه المعدة من واقع البيانات المسجلة على مدار سبعة عشر أسبوعا كما هو موضح بالجدول 5-12:

جدول رقم 5- 12 بيانات المثال 5-4

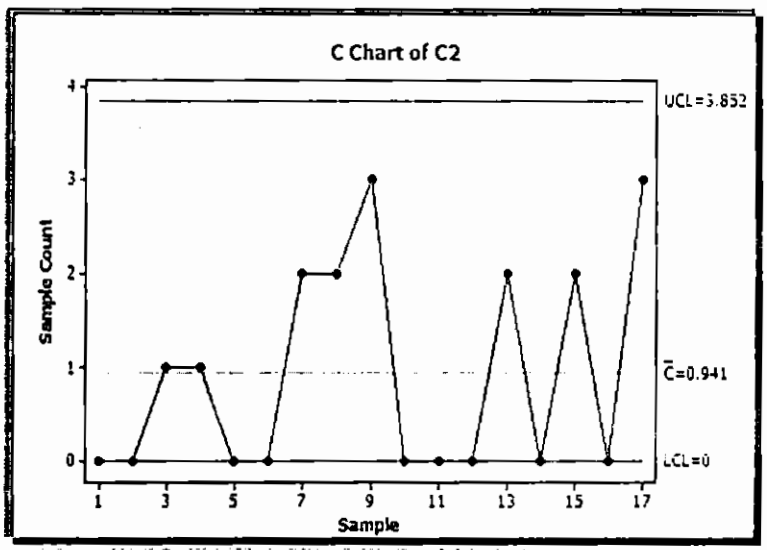
رقم الأسبوع	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
عدد مرات التوقف	0	0	1	1	0	0	2	2	3	0	0	0	2	0	2	0	3

الحل:

ندخل البيانات الموضحة في الجدول إلى Minitab

Minitab > Stat > Control Charts > Attribute chart > C chart

فيظهر الشكل 5-14 والذي يبين أن هذه التوقفات طبيعية وليست لتقصير من فريق الصيانة.



شكل رقم 5-14 نتيجة حل المثال 5-4

مثال رقم 5 -5

إذا تم تطبيق نفس المثال السابق على معدة أخرى، وكانت البيانات المسجلة على مدار خمسة وعشرين أسبوعا كما هو موضح بالجدول 5-13:

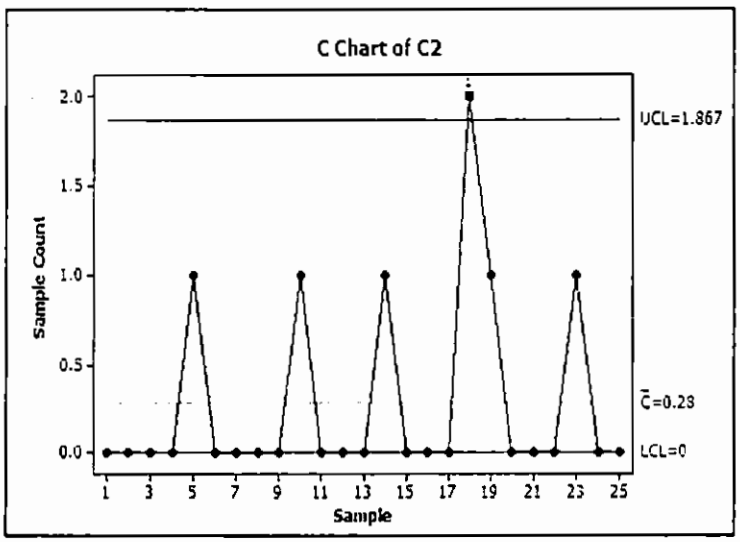
جدول رقم 5- 13 بيانات المثال رقم 5-5

رقم الأسبوع	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
عدد مرات التوقف	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0

الحل: ندخل البيانات الموضحة في الجدول إلى Minitab

Minitab > Stat > Control Charts > Attribute chart > C chart

فيظهر الشكل 5-15 والذي يبين أن التوقف الذي وقع في الأسبوع الثامن عشر قد يرجع إلى تقصير من فريق الصيانة أو من فريق التشغيل لأنه سبب خاص Special Cause.



شكل رقم 5-15 نتيجة حل المثال 5-5

مثال رقم 5 -6

أرادت إحدى الشركات إجراء دراسة لتحليل معدل حوادث السيارات التي ازداد عددها بصورة ملحوظة، وقد قام فريق الدراسة برصد عدد الحوادث التي زادت تكلفتها عن ألف جنيه على مدى عام كامل، و إجمالي عدد الكيلومترات المسجلة وكذلك عدد الحوادث في كل شهر وظهرت كما بالجدول 5-14، والمطلوب تحليل هذه البيانات والتعليق عليها.

جدول رقم 5- 14 بيانات المثال 5-6

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
كيلومتر	275000	266000	281000	222000	232000	271000	222000	222000	279000	303000	336000	336000
عدد الحوادث	12	7	5	3	6	8	7	6	6	6	2	6

الحل:

حيث إن عدد الكيلومترات غير متساو، فنلجأ إلى حساب قيمة n وهي القيمة المعيارية Standard Unit، ولذا نختار قيمة ثابتة لعدد الكيلومترات المقطوعة وليكن 250000، ثم نحسب n بقسمة عدد الكيلومترات المقطوعة على 250000 ثم نحسب الحد الأقصى UCL والحد الأدنى LCL لكل شهر ونكون الجدول 5-15 بالتطبيق في العلاقات التالية

$$CL=\bar{U}=\frac{\sum C}{\sum n} \qquad LCL=\bar{U}-3\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} \qquad UCL=\bar{U}+3\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}$$

جدول رقم 5- 15 تجهيز بيانات المثال 5-6

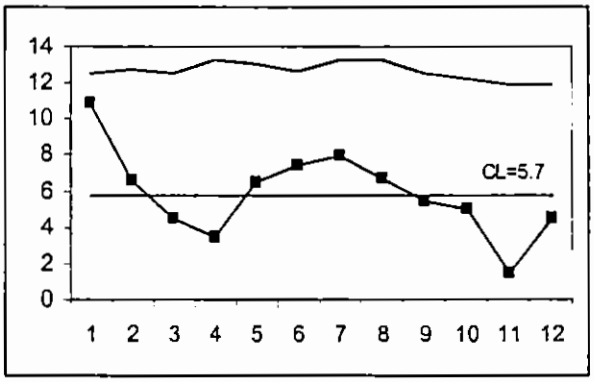
الشهر	كيلومتر	عدد الحوادث	القيمة العيارية n $n=\frac{\text{الكيلومتر}}{250000}$	المعدل U $u=\frac{\text{عدد الحوادث}}{n}$	UCL	LCL
1	275000	12	1.1	10.9	13	0
2	266000	7	1.06	6.6	13	0
3	281000	5	1.12	4.5	13	0
4	222000	3	0.89	3.4	13	0
5	232000	6	0.93	6.5	13	0
6	271000	8	1.08	7.4	13	0
7	222000	7	0.89	7.9	13	0
8	222000	6	0.89	6.7	13	0
9	279000	6	1.12	5.4	13	0
10	303000	6	1.21	5	12	0
11	336000	2	1.34	1.5	12	0
12	336000	6	1.34	4.5	12	0
الإجمالي		74	12.97			

$$CL=\bar{U}=\frac{\sum C}{\sum n}=\frac{74}{12.97}=5.71$$

$$UCL=\bar{U}+3\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}=5.71+3\sqrt{\frac{5.71}{n}}$$

$$LCL=\bar{U}-3\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}=5.71-3\sqrt{\frac{5.71}{n}}$$

وفى كل مرة تكون فيها قيمة الحد الأدنى LCL قيمة سالبة، نستبدلها بالصفر ثم نرسم هذه الخريطة كما بالشكل 5-16، ولأن قيمة العينات والممثلة بالكيلومتر مختلفة، فسوف تختلف قيمة الحدود القصوى والدنيا UCL and LCL.



شكل رقم 5-16 نتيجة حل المثال 5-6

وحيث إنه لا يوجد ما يشير إلى عدم الإتزان فإن هذه الحوادث في المعدل الطبيعي.