# الفصل السابع

## مقدرة العملية ومستوى الجودة

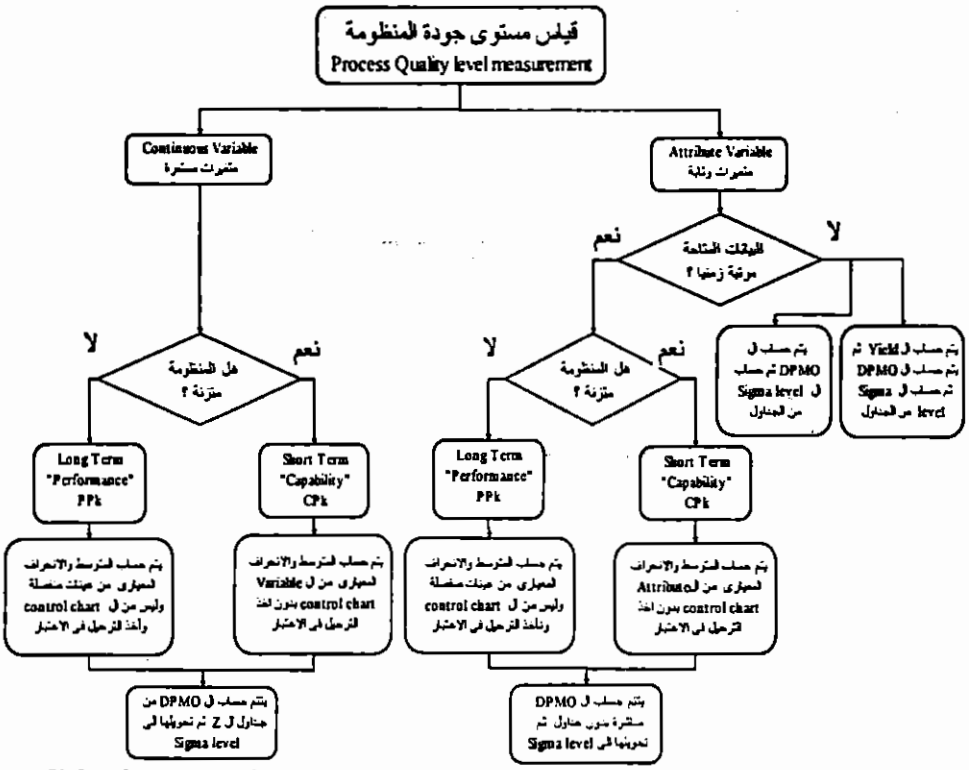
## Process Capability and Quality level

### 7.1. مقدمة Introduction

بعد أن أوضحنا في الأجزاء السابقة كيف يمكننا دراسة ما إذا كانت العملية في حالة اتزان واستقرار Process is in Control أم لا؟، وذلك من خلال تحليل الانواع المختلفة من خرائط التحكم Control Charts، فإنه يتبادر للذهن سؤال هام وهو إذا كانت العملية في حالة اتزان Control أى كانت متزنة Stable أو Predictable، فهل معنى ذلك أنها قادرة Capable؟ أي هل هي قادرة على الوفاء بمتطلبات العملاء والزبائن أم لا ؟ أو هل العملية قادرة على إخراج منتجات أو خدمات خالية من العيوب أم لا؟ وما مستوى جودتها حينئذ ؟

والإجابة على هذا السؤال تتوقف بدرجة كبيرة على نوع البيانات المتاحة، وتتوقف كذلك على ما نود قياسه بالتحديد، هل نريد قياس وتحديد قدرة العملية على المدى القريب Short term، أم نريد تحديد قدرة العملية على المدى البعيد Long term ؟ والشكل التالي يعرض الطرق المختلفة للتعامل مع كل حالة من هذه الحالات:

وكما هو واضح من الشكل 7-1، فإنه توجد عدة أنواع من المقاييس الرقمية التي يمكن حسابها والاستدال بها على مدى جودة Process، وهى Yield وDPMO ، و Process Goodness/Capability ، وCpk وPpk، وسنتناولها بالشرح في الصفحات القليلة القامة.




شكل رقم 7-1 الطرق المختلفة لقياس مستوى الجودة

## 7.2. مقياس المخرجات السليمة والمعيبة Defective and Yield Measures

يعد مقياس المخرجات المعيبة من المقاييس الرقمية التى نستدل بها على نسبة العمليات الخاطئة ضمن عملية ما، أو نسبة المخرجات الغيرصالحة للاستخدام في منتج ما (المخرجات المعيبة)، وهو مقياس سهل الحساب ويخضع للعلاقة التالية:

$$Defective = \frac{nomber\ of\ derectives}{number\ of\ units}$$

أى ان المخرجات المعيبة تساوى عدد الوحدات المعيبة مقسوما على إجمالى عدد الوحدات.

أما المخرجات الصالحة Yield فهو مقياس نستدل به على نسبة العمليات السليمة ضمن عملية ما، أو نسبة المخرجات الصالحة للاستخدام في منتج ما، وهو أيضا مقياس سهل الحساب ويخضع للعلاقة التالية:

**Yield يساوى defective مطروحا من الواحد الصحيح**

Final Yield = 1 – Proportion defective

ويلاحظ أن مجموع الـ Defective والـ Yield يساوى الواحد الصحيح.

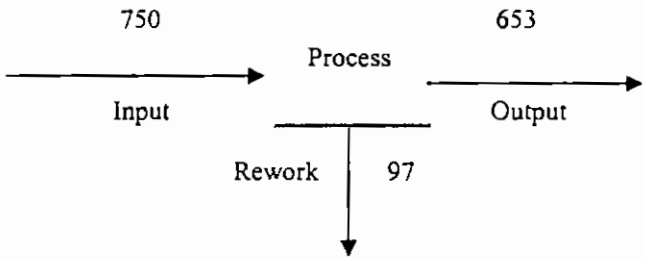
فمثلا إذا كان لدينا 250 طلب قرض في احد البنوك، وكان 43 منها يحتوى على أخطاء فان:

$$Defective = \frac{nomber\ of\ derectives}{number\ of\ units} = \frac{43}{250} = 0.172 = 17.2\%$$

$$\text{Final Yield} = 1 - \text{Proportion defective} = 1 - 0.172 = 0.828 = 82.8\%$$

أى أن نسبة الطلبات الغير صالحة أو الغيرالسليمة تساوى 17.2%، أو أن نسبة الطلبات الصالحة والسليمة تساوى 82.8%.

كذلك إذا كان لدينا مصنعا يقوم بإنتاج أجهزة اليكترونية، ووجد أنه لكل 750 جهازا يظهر 97 جهازا معيبا، فان:




شكل رقم 7-2 كيفية تمثيل المخرجات السليمة Yield

$$\text{Proportion Defective} = \frac{\text{number of derectives}}{\text{number of units}} = \frac{97}{750} = 0.129 = 12.9\%$$

$$\text{FinalYield} = 1 - \text{Proportiondefective} = 1 - 0.129 = 0.871 = 87.1\%$$

ونحن عندما نقول أن مستوى جودة هذه العملية هو 87.1%، فمعنى ذلك أنه لكل مائة عملية تجرى داخل هذه العملية، سيكون هناك 87.1 عملية سليمة تماما، و12.9 عملية ستكون غير سليمة وغير مقبولة.

وهذا المقياس قد يكون مقبولا في تلك العمليات التي يكون المنتج النهائي أما سليم، أو غير سليم، و لن يكون صالحاً للتعبير عن مستوى الجودة في العمليات التي يكون المنتج النهائي صالح للاستخدام ولكن به بعض العيوب المقبولة، إذن فهو مقياس يقيس نسبة المعيب أو السليم.

ولكن كيف نقيس مستوى الجودة لعملية يكون المنتج النهائي صالح للاستخدام ولكن به بعض العيوب المقبولة، ومن هنا تظهر الحاجة إلى مقياس آخر يكون قادراً على تجاوز هذا القصور، وهو المقياس التالي.

### 7.3. عدد الأخطاء لكل مليون عملية Defects Per Million Opportunity (DPMO)

لما كان المقياس السابق غير كاف للتعبير أو لقياس مستوى جودة منتج مقبول بالرغم من احتواءه على عيوب، جاء المقياس DPMO ليوفر هذه الميزة لدرجة كبيرة، ***إذن فهو مقياس يقيس عدد العيوب لكل مليون فرصة لحدوث عيب*** - بغض النظر عما إذا كان المنتج النهائي صالح للاستخدام أم لا؟ ويحسب الـ DPMO من العلاقة:

$$DPMO = \frac{\text{number of derects} * 1000000}{\#\text{ of units} * \#\text{ of opportunities}}$$

فإذا كان لدينا عملية ما نحتاج لإنجازها أن نملأ نموذجا يتألف من مائة استفسار، وكل استفسار يحتوى على خمسة اسئلة فرعية، فإن احتمال حدوث الخطأ هنا سيكون (100*5) أى هناك خمسمائة فرصة لحدوث الخطأ في كل نموذج، فإذا أردنا قياس جودة هذه العملية، فإننا وبعد ملئ النموذج نقوم بعد الأخطاء الموجودة فيه، فإذا وجدناها ثلاثة أخطاء مثلا، فإن ذلك يعنى أن عدد الأخطاء يساوى 3/500، ثم نقوم بضرب البسط في مليون فنحصل على مستوى الجودة بـDPMO، وهو في هذه الحالة سيساوى 6000 ستة آلاف.

$$DPMO = \frac{3 * 1000000}{5 * 100} = 6000$$

كذلك إذا كان لدينا مصنعا يقوم بإنتاج أجهزة اليكترونية، ووجد أن هناك 97 جهازا يحتوى على عيوب، من إجمالى 750 جهازا منتجا، وكان احتمال حدوث عيب في كل جهاز هو 10 عيوب فان:

$$DPMO = \frac{97 * 1000000}{750 * 10} = 12933$$

وبالنظر إلى معادلة حساب DPMO، فإننا نجد أن قيمة DPMO تتوقف على عدة عناصر، وهى:

1. عدد الأخطاء وهو عدد لن تختلف قيمته باختلاف الشخص – أو الفريق- المسئول عن حساب هذا العدد.
2. عدد الوحدات المنتجة، أو عدد الخدمات المقدمة، وهو أيضا عدد لن تختلف قيمته باختلاف الشخص – أو الفريق- المسئول عن حساب هذا العدد.
3. عدد احتمالات حدوث خطأ، وهو عدد قد تختلف قيمته باختلاف الشخص – أو الفريق- المسئول عن حساب هذا العدد، مما يؤدى إلى احتمال اختلاف قيمة Sigma Level باختلاف الشخص أو الفريق، وهو عيب جوهري في هذا المقياس(يلاحظ أن البعض يقوم فى بداية مشروع التحسين الذى ينفذه بزيادة

احتمالات حدوث الخطأ فيظهر أن مستوى الجودة منخفضا ثم يقوم فى نهاية المشروع بتقليل احتمالات حدوث الخطأ فيظهر أن مستوى الجودة قد ارتفع وهذه مغالطة يجب الانتباه اليها)، وللتغلب على العيب ينبغي أن يتم تثبيت هذا الرقم (عدد احتمالات حدوث خطأ) عند حساب Sigma Level في المراحل المختلفة من مراحل التحسين .

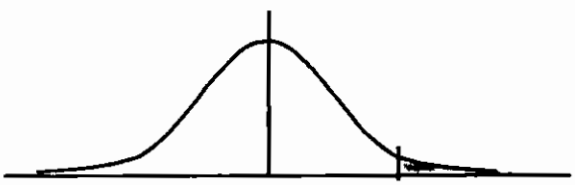
ومن مميزات قياس مستوى جودة عملية ما بـ DPMO، أنه قياس سريع الحساب يسير النطق سهل المقارنة بغيره، فمثلا إذا قلنا أن مستوى جودة عملية ما هو DPMO 50، وأردنا وصف ذلك بالمقياس defective and yield السابق شرحه، فإن ذلك يستلزم أولا أن يكون الخمسين منتجا غير صالح للاستخدام نهائيا، وحينئذ نقول أن مستوى جودة هذه العملية هو 99.995%، وهى صيغة ثقيلة وصعبة النطق وتحتاج لمجهود لمقارنتها بنسبة أخرى قريبة منها مثل 99.991%.

### 7.4. جودة/قدرة العملية Z score/Process Goodness/Capability

عرفنا في الأجزاء السابقة أنه يمكننا تمثيل مخرجات أي العملية بمنحنى التوزيع الطبيعي Normal distribution curve، ومن خصائص هذا المنحنى أن المساحة تحته والتي نطلق عليها القيمة Z تحسب من العلاقة :

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

وهذه المساحة تمثل الاحتمالية أى Probability وهى القيمة المقابلة لقيمة Z والتي نحصل عليها من جداول منحنى التوزيع المعياري ( يرجى مراجعة موضوع التوزيعات الاحتمالية فى الفصل الثانى عشر فى هذا الكتاب)



المساحة تحت المنحنى = المنتجات السليمة = الاحتمالية

شكل رقم 7-3 مستوى الجودة يساوى المساحة تحت المنحنى

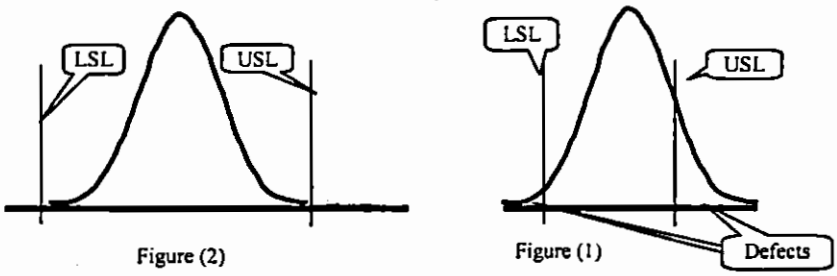
أما المساحة تحت ذات المنحنى وخارج المواصفات كما فى شكل 7-3 ( أي خارج Upper specification limit (USL) & Lower Specification Limit (LSL) ) هي مساحة أو احتمالية Probability تمثل المخرجات المعيبة لأي Process، ولتقليل هذه المساحة، أي لتحسين العملية يوجد وسيلتين وهما:

1- إما زيادة وتوسيع المسافة بين USL &LSL أي تغيير المواصفات التي تقبل أو ترفض

المنتج، وهذا غير منطقي وغير ممكن، إذ أن هذه المواصفات يحددها العميل والمنافسة والقوانين والسوق، ولا دخل لنا بها.

2- وإما تضيق قاعدة المنحنى وضغط المنحنى حول المتوسط Mean أي تقليل التباين Variability أي تقليل قيمة S أي تقليل خطوة تأثر العملية بالمؤثرات السلبية أي زيادة Sigma Level، وهذا ممكن، وهو التحدي الأكبر لنا .

و بتطبيق ذلك على الشكلين 7-4 فإنه يلاحظ أن المنحنى رقم (1) يعبر عن أن العملية بها عيوب كثيرة، ولذا فهي عملية غير قادرة على الوفاء بالمطلوب منها تأديته، بينما أن المنحنى رقم (2) يعبر عن أن العملية خالية من العيوب وقادرة.




شكل رقم7-4 منحنى 2 أفضل من المنحنى 1 .

وفى الحقيقة وبمساعدة جداول منحنى التوزيع الطبيعي القياسي Standardized Normal Distribution Curve، ( لمزيد من المعلومات يرجى مراجعة هذا الموضوع في باب التوزيعات الاحتمالية من هذا الكتاب) فإنه يمكننا تحديد قيمة الأجزاء المعيبة DPMO، وبالتالي تحديد مستوى الجودة Sigma Level وتقدير Rolled Throughput Yield "RTY" لهذه العملية، إذا علم كل من الحد الأقصى للمواصفة Upper Specification Limit (USL)، و الحد الأدنى للمواصفة Lower Specification Limit (LSL)، والمتوسط الحسابي والانحراف المعياري Standard Deviation الذين يمكن حسابهما إما من خرائط التحكم Control Charts، أو من خلال Sampling ( يرجى مراجعة الشكل الذي تم عرضه في بداية هذا الفصل، و مراجعة الأمثلة المحلولة فى نهاية هذا الفصل).

وعمليا قد نجد العملية غير متزنة Out of Control، لأنه من الصعب عملياً في كثير من الحالات المحافظة على العملية تحت السيطرة in control طول الوقت لأن هذا وضع غير طبيعى Perfect statistical control is not common، و إذا استطعنا أن نحافظ على العملية متزنة بنسبة 90% من الوقت أو أكثر فان ذلك يكون جيداً، ولحساب مستوى الجودة فى هذه الحالة واعتمادا على مبدأ أن قيمة تقريبية أفضل من لا شيء، فإنه يمكننا استبعاد

القراءات التي تسببت في إخراج العملية عن اتزانها من الحسابات (بعد بحث الأسباب التي أدت الى عدم الإتزان و التحقق من أنها من الأسباب الخاصة Special Causes والتغلب عليها)، و حساب قدرة العملية Process capability حينئذ مع الحذر والتحفظ عند استخدام هذه القيمة فى اتخاذ القرارات.

وعموما لكي تكون العملية جيدة يجب أن تكون كل مخرجاتها داخل حدود المواصفة، وسوف نحتكم إلى قيمة معامل جودة العملية Process goodness فيما يلي:

1- هل العملية التي بحوزتنا قادرة Capable على المدى القريب Short term، وعلى المدى البعيد Long term أم لا ؟
2- إذا كان لدينا أكثر من عملية العملية فأيهم الأفضل ؟ وأيهم الأسوأ لكي نبدأ بتحسينها أو لا؟

ويوجد ثلاث طرق يمكن الحكم بها على جودة العملية ومدى قدرتها على الوفاء بما هو متوقع منها وهى:

1- مقدرة العملية كنسبة (المقدرة الظاهرية) Process Capability Ratio "Cp"
2- مقدرة العملية على المدى القريب "Short term Process Capability "Cpk.
3- مقدرة العملية على المدى الطويل "الأداء" / Long term Process Capability Performance "Ppk"

### 7.5. مقدرة العملية كنسبة (المقدرة الظاهرية) Process Capability Ratio "Cp "

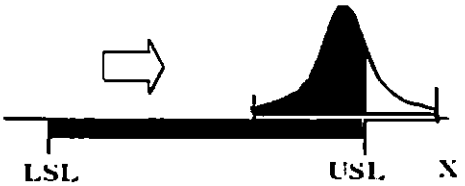
وتحسب قيمة هذا المعامل بقسمة المسافة بين الحد الأعلى للمواصفة والحد الأدنى للمواصفة (حدود السماحية) على قيمة التغير فى العملية Variability.

$$Cp = \frac{\text{Distance between spec's}}{\text{Variability}} = \frac{\text{Distance between spec's}}{6\delta}$$

فإذا كانت قيمة هذه النسبة أقل من الوحد الصحيح تكون العملية غير قادرة، وإذا كانت قيمة هذه النسبة أكبرمن الوحد الصحيح وأقل من 1.33 تكون العملية قادرة ولكن يجب رقابتها ، أما إذا كانت قيمة هذه النسبة أكبر من 1.33 تكون العملية قادرة تماما، وينطبق هذا المبدأ على العمليات الموجودة بالفعل existing process . أما إذا كانت العملية جديدة New Process فإنه يفضل ألا تقل قيمة هذا المعامل عن 1.66.

ومن عيوب هذا المعامل أنه لا يأخذ فى الإعتبار مدى مركزية العملية بالنسبة لحدود المواصفة، وهذا عيب خطير إذ أنه من الممكن أن تكون قيمته أكبر من 1.33 أو أكثر وتكون العملية غير

قادرة، ويتضح ذلك فى شكل7- 5 الذى يوضح أنه بالرغم من أن حدود المواصفة أبر بكثير من قيمة التغير فى العملية ( أى أنه من المتوقع أن تكون قيمة Cp أكبر من 1.33) إلا أن العملية غير قادرة.




شكل رقم7-5 يوضح العلاقة بين حدود المواصفة والتغير فى العملية

### 7.6. مقدرة العملية على المدى القريب "Cpk" Short term Process Capability

إذا أظهرت العملية اتزانا لفترة زمنية ما، ولم يظهربها أى من الأسباب الخاصة Special Causes خلال هذه الفترة، فإنه يمكننا حساب كل من الانحراف المعياري S، و المتوسط $\bar{X}$ من خلال خرائط التحكم Control Charts ويطلق علي الانحراف المعياري حينئذ العملية Process Sigma، وعندئذ فإننا بذلك نحسب قيمتها على المدى القريب Short term estimation أو Within Variation وسنعبر عن جودة وقدرة العملية في هذه الحالة بالعملية Process Capability Index (Cpk)، وفى هذه الحالة و لأننا سنقوم بمراقبة العملية لوقت قصير فإننا لن نأخذ تأثير الأسباب الخاصة Special Causes في الاعتبار، والجدول 7-1 يعرض معادلة الانحراف المعياري Standard Deviation الذي يستخدم في هذه الحالة:

جدول رقم 7- 1 كيفية حساب S الانحراف المعيارى من خرائط التحكم

| Chart type | S | ملاحظات |
|---|---|---|
| Individual chart | $S = \bar{R}/d2$ | يتم حساب S من خلال معامل تصحيح ( $D_2$ & $C_4$ ) يعتمد على حجم ونحدده من الجداول التي تم ذكرها عند الحديث على خرائط التحكم Control Charts |
| X bar and R chart | $S = \bar{MR}/1.128$ | |
| X bar and S chart | $S = \bar{S}/C4$ | |

ويتم حساب قيمة هذا المعامل من المعادلة التالية مع التعويض عن قيمة الإنحراف المعيارى المحسوب من خرائط التحكم كما سبق ذكره في هذا البند:

$$\text{Process goodness} = Min\left[\left(\frac{USL - \bar{X}}{3S}\right),\left(\frac{\bar{X} - LSL}{3S}\right)\right]$$

### 7.7. مقدرة العملية على المدى الطويل "الأداء" / Long term Capability Performance "Ppk"

إذا لم تظهر العملية اتزانا لفترة زمنية ما، وظهر بها الأسباب الخاصة بصورة متكررة، فإننا لن نتمكن من حساب كل من الانحراف المعياري S، و المتوسط $\bar{X}$ من خلال Control Charts ( لأن شرط الوثوق بنتائج أن تكون العملية متزنة)، وعندئذ وللتغلب على ذلك فأننا سنقوم بحساب كل من الانحراف المعياري S، حساب المتوسط $\bar{X}$ من بيانات عينات يتم سحبها من العملية، ويتم تطبيق إحدى هاتين العلاقتين :

$$\text{Sample Sigma } S = \sqrt{\frac{\Sigma\left(X - \bar{X}\right)^2}{n-1}} \quad \& \quad \text{Population Sigma } \sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\left(X - \bar{X}\right)^2}{n}}$$

حيث n هي حجم العينة والتي يفضل أن إلا يقل حجمها فى هذه الحالةعن 100 قراءة لكي تعطى نتائج مقبولة وموثوق بها، وفى هذه الحالة فإننا نحسب Long term estimation أو Overall Variation، وعندئذ سنعبر عن مدى جودة وقدرة العملية بمقياس أداء العملية Process Performance Index (Ppk)، وفى هذه الحالة و لأننا سنقوم بمراقبة العملية لوقت طويل فإننا سنأخذ تأثير الأسباب الخاصة Special Causes في الاعتبار.

ويتم حساب قيمة هذا المعامل من المعادلة التالية أيضا مع التعويض عن قيمة الإنحراف المعيارى المحسوبة من العينات :

$$\text{Process goodness} = Min\left[\left(\frac{USL - \bar{X}}{3S}\right),\left(\frac{\bar{X} - LSL}{3S}\right)\right]$$

حيث S هي sample Standard Deviation = assumed population Standard Deviation

### 7.8. الفرق بين قدرة وأداء العملية Differences Between Capability and Performance

فى الحقيقة فإن التعامل مع الأداء Performance هي الطريقة الأكثر شيوعا وذلك للأسباب الموضحة بالجدول 7-2:

جدول رقم 7- 2 الفرق بين مقدرة العملية وأدائها

| المقدرة Cpk | الاداء Ppk |
|---|---|
| تستخدم S المحسوبة من Control Charts ومصححة بمعامل يتأثر كثيرا بحجم العينة، ويعطى قيما أقل دقة للإنحراف المعيارى S | تستخدم S المحسوبة من Sample والتي تأخذ في الاعتبار الترحيل Variation داخل within Subgroups وبين Between Subgroups، أي total Variation او overall variation |
| يتم حسابه لما تم إنتاجه بالفعل | يتم حسابه واستخدامه لما سيتم إنتاجه مستقبلا |
| تأخذ في الاعتبار within subgroups Variation فقط لأنها تتعامل مع Samples مكونة من subgroups و يتم رسم منحنى طبيعي يمثل كل subgroups، وهذا المنحنى يتحرك داخل Control Limits بترحيل قيمته ١.٥ سيجما | تأخذ في الاعتبار كلا من subgroup drift وكذلك within subgroups الترحيل Variation لأنها تتعامل مع Sample كبيرة وفى النهاية يتم رسم منحنى طبيعي واحد يمثلها |
| لاتأخذ في الاعتبار الأسباب الخاصة Special Causes | تأخذ في الاعتبار الأسباب الخاصة Special Causes |
| غالبا ما تكون قيمة S أقل ، فتعطى قيمة أعلى لل Cpk | غالبا ما تكون قيمة S أكبر بحوالى ٣٠%، فتعطى قيمة أقل لل Ppk ونحن نفضل القيمة الأقل لأنها الأكثر تحفظا |
| قيمة Ppk تكون أقل من قيمة Cpk لأنها تأخذ فى الاعتبار عدة ماكينات مختلفة لعدد كبير من المشغلين لمهمات ومواد عديدة من اكثر من مورد تحت ظروف تشغيل متباينة ، وبالتالى تكون التغير Variability بها أكبر فيكون الإنحراف المعيارى أكبر فيقل مستوى Sigma بصورة أكبر وفى المحصلة تكون قيمتها أقل من قيمة Cpk | |
| Sigma Level على المدى الطويل تقل تقريبا بمقدار ١.٥ Sigma عن ل Sigma Level على المدى القصير | |

### 7.9. إرشادات عند حساب جودة العملية Guidelines for Process goodness Calculation

والآن وبعد أن عرفنا كيف يمكن حساب مدى جودة العملية وعرفنا أنه ينبغي الاحتكام إلى (Ppk) وليس إلي (Cpk)، فما هي الشروط الواجب توافرها لحساب (Ppk) ؟

هناك عدة شروط حاسمة يجب التأكد منها قبل البدء في حساب جودة العملية وهى:

1. لابد أن تكون البيانات المتاحة طبيعية Normally Distributed، ويتم التأكد من ذلك عن طريق اختبار الطبيعية Normality Test.
2. لابد أن تكون العملية في حالة اتزان Stability، ويتم التأكد من ذلك برسم Control Chart المناسبة والتأكد من خلوها من الأسباب الخاصة Special & Common Causes.
3. التأكد من دقة نظام القياس Measurement System والاطمئنان على سلامته ويتم ذلك بإجراء Measurement System Analysis MSA.

4. أن تكون القراءات المسجلة مرتبة زمنيا.
5. هناك عدة احتمالات لقيم Ppk، وCpk:
   - دائما قيمة Cpk أكبر من قيمة Ppk.
   - لو كانت قيمة كل من Cpk وقيمة Ppk قيم منخفضة ومتقاربة، فإن ذلك يدل على أن تصميم العملية سيئ، وهذا الانخفاض في القيم يرجع إلى Common Cause، ومهمة التحسين تقع على عاتق الإدارة Management، ويكون ذلك بإعادة التصميم
   - لو كانت قيمة Cpk معقولة أو مرتفعة، وكانت قيمة Ppk منخفضة، فإن ذلك يدل على أن أداء الأفراد العاملين والمنفذين Performer سيئ، وانخفاض قيم Ppk يرجع إلى Special cause، ومهمة التحسين تقع على عاتق الأفراد العاملين والمنفذين Performer

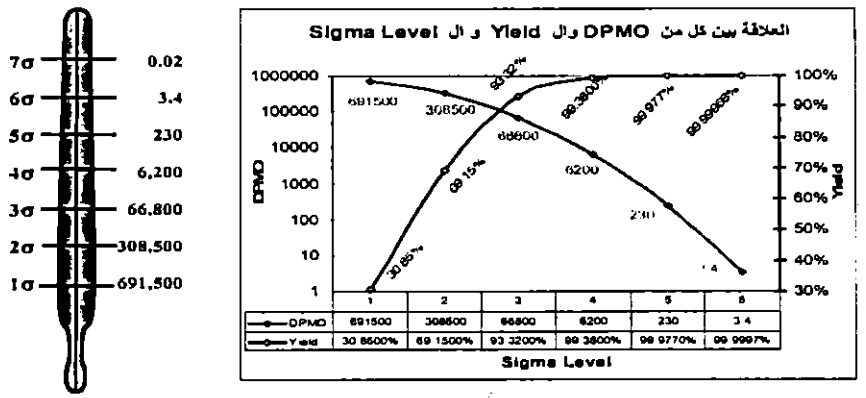
## 7.10. تحديد مستوى الجودة بالسيجما Sigma Level determination

الآن وبعد أن تعرفنا كيف يمكن حساب Yield و DPMO ( عند حساب Cpk وPpk فإنه يمكننا قراءة قيمة DPMO من الرسم الناتج من Minitab مباشرة)، فإنه من المفيد معرفة كيف يمكن تحويل هذين المقياسين إلى قيمة تعبر عن مستوى الجودة، وهى قيمة Sigma Level وهو المقياس الذي سنستخدمه للدلالة على مستوى الجودة في أى عملية، والجدول 7-3 يوضح العلاقة بين Sigma Level وبين المقياسين السابقين:

جدول رقم 7- 3 العلاقة بين مستوى الجودة وعدد الأخطاء

| Sigma Level | DPMO | Yield | Sigma Level | DPMO | Yield | Sigma Level | DPMO | Yield |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 933200 | 6.680% | 2.000 | 308500 | 69.150% | 4.000 | 6200 | 99.38000% |
| 0.125 | 915450 | 8.455% | 2.125 | 265950 | 73.405% | 4.125 | 4350 | 99.56500% |
| 0.250 | 894400 | 10.560% | 2.250 | 226600 | 77.340% | 4.250 | 3000 | 99.70000% |
| 0.375 | 869700 | 13.030% | 2.375 | 190800 | 80.920% | 4.375 | 2050 | 99.79500% |
| 0.500 | 841300 | 15.870% | 2.500 | 158700 | 84.130% | 4.500 | 1300 | 99.87000% |
| 0.625 | 809200 | 19.080% | 2.625 | 130300 | 86.970% | 4.625 | 900 | 99.91000% |
| 0.750 | 773400 | 22.660% | 2.750 | 105600 | 89.440% | 4.750 | 600 | 99.94000% |
| 0.875 | 734050 | 26.595% | 2.875 | 84550 | 91.545% | 4.875 | 400 | 99.96000% |
| 1.000 | 691500 | 30.850% | 3.000 | 66800 | 93.320% | 5.000 | 230 | 99.97700% |
| 1.125 | 645650 | 35.435% | 3.125 | 52100 | 94.79000% | 5.125 | 180 | 99.98200% |
| 1.250 | 598700 | 40.130% | 3.250 | 40100 | 95.99000% | 5.250 | 130 | 99.98700% |
| 1.375 | 549750 | 45.025% | 3.375 | 30400 | 96.96000% | 5.375 | 80 | 99.99200% |
| 1.500 | 500000 | 50.000% | 3.500 | 22700 | 97.73000% | 5.500 | 30 | 99.99700% |
| 1.625 | 450250 | 54.975% | 3.625 | 16800 | 98.32000% | 5.625 | 23.35 | 99.99767% |
| 1.750 | 401300 | 59.870% | 3.750 | 12200 | 98.78000% | 5.750 | 16.7 | 99.99833% |
| 1.875 | 354350 | 64.565% | 3.875 | 8800 | 99.12000% | 5.875 | 10.05 | 99.99900% |
| | | | | | | 6.000 | 3.4 | 99.99966% |

والشكل 7-6 التالي يوضح هذه العلاقة أيضاً




شكل رقم 7-6 العلاقة بين مستوى الجودة وعدد الأخطاء

وكما أسلفنا فإنه توجد عدة مقاييس للجودة، ويمكن الحصول على بعض هذه المقاييس إذا علم احدها، وذلك من خلال الجدول السابق عرضه، وسنوضح ذلك من تناولنا للامثلة خلال هذا الفصل.

## 7.11. أمثلة لحساب جودة العملية Examples for Process Goodness Calculation

فيما يلي مجموعة من الأمثلة التي ستوضح الشرح السابق وقد راعينا فيها التنوع لمزيد من التوضيح

**مثال رقم 7- 1**

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 7 | 6 | 15 | 8 |

بفرض أن لدينا عملية تعطي النتائج التالية

فإنه يمكننا حساب الانحراف المعيارى كالتالي

$$Mean = \frac{4+7+6+15+8}{5} = \frac{40}{5} = 8$$

| No | Value X | المتوسط Mean | $\bar{X} - X$ | $(\bar{X} - X)^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 8 | 8-4=4 | 16 |
| 2 | 7 | 8 | 8-7=1 | 1 |
| 3 | 6 | 8 | 8-6=2 | 4 |
| 4 | 15 | 8 | 8-15=-7 | 49 |
| 5 | 8 | 8 | 8-8=0 | 0 |
| | | | 0 | 70 |

$$S = \sqrt{\frac{(\bar{X} - X)^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{70}{4}} = 4.18$$

أى أننا لو وقفنا على خط الوسط والذي قيمته تساوى 8، وتحركنا مسافة 4.18 يمين المتوسط، ومسافة 4.18 شمال المتوسط، لحصرنا مساحة سوف تحتوى على 68.27% من إجمالى خرج هذه العملية ( ستتضح هذه الفكرة عند دراسة فصل التوزيعات الاحتمالية Probability Distribution فى الفصل الثالث عشر من هذا الكتاب)

ولقياس Sigma Level لهذه العملية ( بفرض USL = 15 وأن LSL=4 )

$$\text{Sigma Level} = \frac{Range}{S}\frac{11}{4.18} = 2.6 \;\&\; \text{Range} = \text{USL} - \text{LSL} = 15 - 4 = 11$$

وبما أن العملية تعمل علي Sigma Level قيمتها 2.6 وهي قيمة ضعيفة فيمكن القول بأن العملية سيئة.

ولو أننا حاولنا تحسين نفس العملية بحيث جعلنا القراءة رقم 4 لتقرأ 10 بدلا من 15 (أي أننا نقلل التباين Variability ) مع الاحتفاظ بقيم LSL & USL وهي 4 & 10

$$\text{Sigma Level} = \text{Mean} = 7 \quad \text{Variance} = 0 \;\&\; S.D = \sqrt{\frac{20}{5}} = 2.24 \text{ المتوسط}$$

$$\frac{15-4}{2.2} = 5$$

أي أن مستوى الجودة Sigma Level زاد أي أن العملية تحسنت وهذا منطقي لأننا قللنا التباين Variability فقل الانحراف المعيارى Standard Deviation فزاد مستوى الجودة Sigma Level.

**مثال رقم 7- 2**

لو كان لدينا العملية لها الخصائص التالية $\bar{X}$ =60 & & USL=70 & LSL=50 & S=5،فما هو Sigma Level وما هو Sigma Value لهذه Process؟

**الحل:**

من الواضح أن Sigma Value وهي قيمة السيجما S تساوى 5، أما لحساب مستوى السيجما Sigma Level

$$\text{Sigma Level} = \frac{USL - LSL}{sigma_value} = \frac{70 - 50}{5} = 4$$

**مثال رقم 7- 3**

تقوم إحدى شركات الصيانة المتخصصة بإجراء صيانة 250 معدة، وكانت فرصة حدوث خطأ في صيانة كل معدة هو ثلاثون فرصة، فإذا علم أن عدد الأخطاء التي تم رصدها مؤخرا هي خمسة أخطاء. والمطلوب حساب كل من DPMO وSigma Level.

**الحل:**

$$DPMO = \frac{5*1000000}{250*30} = 667$$

ومن الجدول 7-3 نعين قيمة Sigma Level وهى القيمة المقابلة لـ 667 فنجد أنها 4.7 تقريبا وهى نسبة لا باس بها

**مثال رقم 7- 4**

يقوم أحد المصانع بإنتاج لمبات الكهرباء، ووجد أنه لكل 2750 لمبة، يظهر 197 لمبة لا تضيء، والمطلوب حساب Sigma Level.

**الحل:**

$$Proportion Defective = \frac{nomber of derectives}{number of units} = \frac{197}{2750} = 0.071636 = 7.163\%$$

$$Yield = 1 - Pr\ oportionde\ fective = 1 - 0.071636 = 0.92836 = 92.836\%$$

وبالنظر إلى قيمة المنتجات السليمة والصالحة نجد أنها تساوى 92.836% وهى قيمة بمقاييسنا القديمة ممتازة لأنها تزيد عن 90%، ولكن بمقاييس منهجية التحسين Six Sigma ومن الجدول السابق، نجد أن قيمة Sigma Level هي 2.9 تقريبا وهى القيمة المقابلة لـ 92.836%، وهى نسبة سيئة تشير إلى مستوى جودة متدني، وتؤدى إلى تكاليف باهظة.

وعموما فإن مستوى جودة معظم الشركات يتأرجح بين 3 & 4 انحرافات معيارية، وعادة ما نطلق على محاولة الانتقال من مستوى جودة إلى المستوى الذي يليه بجهود التحسين المستمرة Continuous Improvement، أما إذا حاولنا الانتقال من أي من مستويات الجودة إلى مستوى Sigma 6 أى ستة انحرافات معيارية مباشرة فإننا نطلق على ذلك وثبة التحسين الكبيرة أو قفزة التحسين الملحوظة Breakthrough، ويتم الاختيار بين أى من الاستراتيجيتين على إمكانات الشركة وثقافتها وقدرتها على التنفيذ.

**مثال رقم 7- 5 :**

سجلت البيانات الموضحة بالجدول التالي لإحدى المنظومات، فإذا كان متوسط هذه البيانات هو 61، ومن طبيعة هذه العملية هو عدم وجود حد أدنى للمواصفات، فإذا كان الحد الأعلى لهذه المواصفات هو 86.1، فما هي قيمة الانحراف المعياري التي تجعل قيمة أداء هذه العملية على المدى القصير أى (Cpk) لا يقل عن 1.67 ؟ يرجى إعطاء الإجابة مقربة لثلاثة أرقام عشرية، وكذلك حساب مستوى جودة هذه العملية بالسيجما.

Given an average of 61، no lower specification، and an upper specification of 86.1، what is the maximum standard deviation if a Cpk greater than 1.67 is required? Please provide your answer to at least 3 significant digits. What is the Sigma Level of this Process?

$$Cpk = Min\left[\left(\frac{USL-\bar{X}}{3S}\right),\left(\frac{\bar{X}-LSL}{3S}\right)\right] \qquad Cpk = \left[\left(\frac{USL-\bar{X}}{3S}\right)\right]$$

$$1.67 = \left[\left(\frac{86.1-61}{3S}\right)\right] \qquad S = \left[\left(\frac{86.1-61}{3*1.67}\right)\right] = 5.00998$$

**مثال رقم 7- 6**

سجلت البيانات الموضحة بالجدول التالي لإحدى المنظومات، فإذا كان الحد الأدنى للمواصفات هو 66.1، و كان الحد الأعلى لهذه المواصفات هو 141.3، فما هي قيمة أداء هذه العملية على المدى الطويل أى (Ppk) ؟ يرجى إعطاء الإجابة مقربة لثلاثة أرقام عشرية، وكذلك حساب مستوى جودة هذه العملية بالسيجما.

Given the data below، a lower specification of 66.1، and an upper specification of 141.3، what is the long-term Process performance (Ppk)? Please provide your answer to at least 3 significant digits. What is the Sigma Level of this Process?

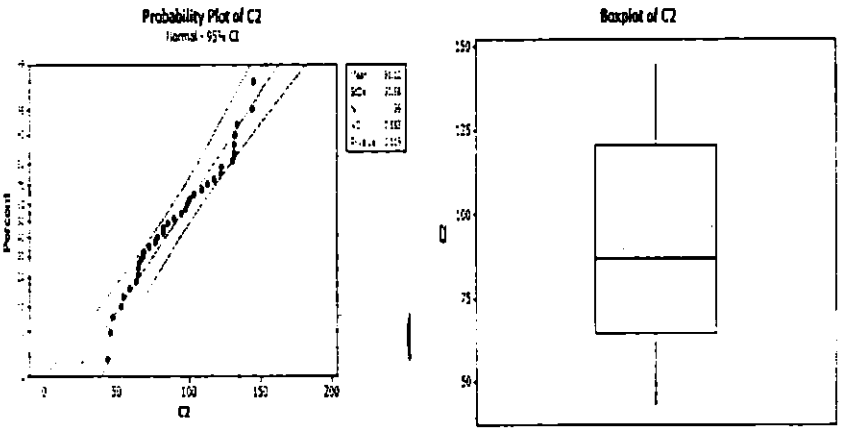
جدول رقم 7- 4 بيانات المثال 7-6

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 81.61428 | 52.51972 | 67.08567 | 89.19427 | 130.073 | 122.0218 |
| 71.72569 | 43.47409 | 64.70347 | 97.3047 | 133.1425 | 122.2049 |
| 62.88762 | 54.42257 | 75.89862 | 98.67742 | 131.3136 | 131.445 |
| 47.13469 | 65.12923 | 85.04941 | 94.49757 | 143.6278 | 117.3132 |
| 58.52212 | 68.43993 | 81.95039 | 100.063 | 144.8572 | 112.7318 |
| 45.20902 | 64.42548 | 77.82633 | 108.9442 | 131.8475 | 103.2012 |

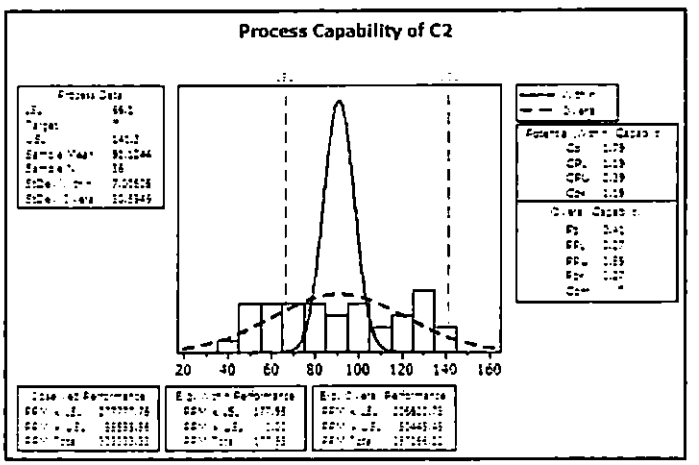
من بيانات الجدول 7-4 يمكننا استنتاج أن قيمة S تساوى 30.6 ، وأن قيمة $\bar{X}$ تساوى 91.12

$$Ppk = Min\left[\left(\frac{USL - \bar{X}}{3S}\right),\left(\frac{\bar{X} - LSL}{3S}\right)\right] = Min\left[\left(\frac{141.3 - 91.12}{3 * 30.6}\right),\left(\frac{91.12 - 66.1}{3 * 30.6}\right)\right]$$

$$Ppk = Min\left[\left(\frac{50.18}{91.8}\right),\left(\frac{25.02}{91.8}\right)\right] = Min[0.5466, 0.2725] = 0.2725$$




شكل رقم 7-7 اختبار الطبيعية Normality




شكل رقم 7-8 نتائج حل المثال 7-6

ومن الشكل نجد أن عدد المنتجات المعيبة هو 257066 وحدة، ومن جداول التحويل التي تم التعرض لها فى بداية هذا الفصل نجد أن مستوى الجودة يقع بين القيمتين2.12 و 2.25 وهى قيمة سيئة و ضعيفة.

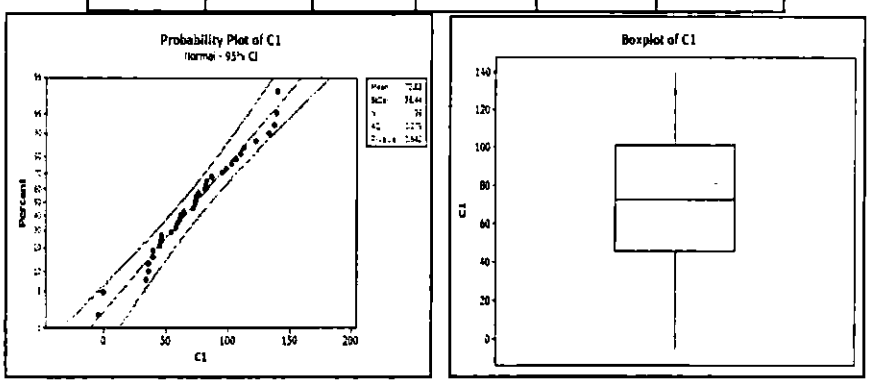
**مثال رقم 7- 7**

سجلت البيانات الموضحة بالجدول التالي لإحدى المنظومات، ومن طبيعة هذه العملية هو عدم وجود حد أدنى للمواصفات، فإذا كان الحد الأعلى لهذه المواصفات هو 210.5، فما هي قيمة أداء هذه العملية على المدى الطويل أى (Ppk) ؟ يرجى إعطاء الإجابة مقربة لثلاثة أرقام عشرية، وكذلك حساب مستوى جودة هذه العملية بالسيجما.

Given the data below، no lower specification، and an upper specification of 210.5، what is the long-term Process performance (Ppk)? Please provide your answer to at least 3 significant digits. What is the Sigma Level of this Process?

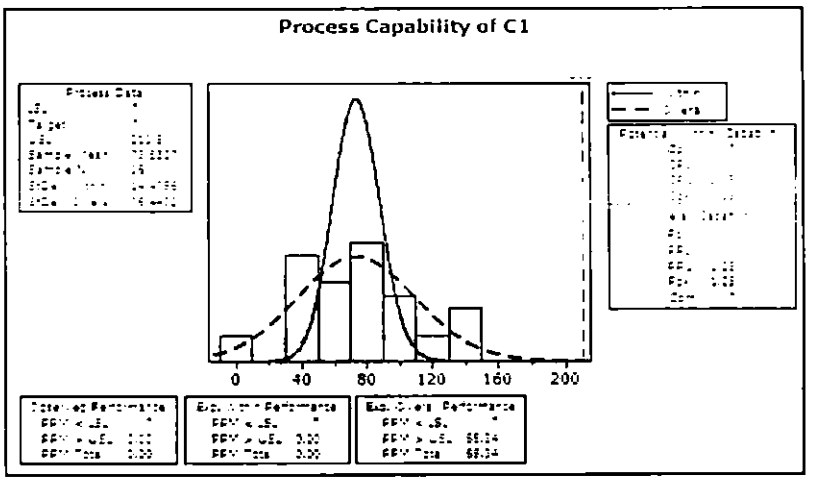
جدول رقم 7- 5 بيانات المثال 7-7

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 86.46855 | 39.16499 | 82.29673 | -0.68339 | 132.0788 | 121.6194 |
| 80.73454 | 57.43628 | 53.75797 | -4.94698 | 138.3752 | 102.0552 |
| 60.87634 | 45.47076 | 44.819 | 45.76422 | 139.4512 | 97.89099 |
| 75.99052 | 35.53586 | 39.3568 | 71.62315 | 112.1306 | 72.5858 |
| 63.39574 | 73.3531 | 33.884 | 81.44962 | 106.0702 | 61.16698 |
| 58.53789 | 74.21429 | 35.30672 | 109.5711 | 136.4675 | 94.63459 |




شكل رقم 7-9 اختبار الطبيعية

$$Ppk = \left[\left(\frac{USL - \bar{X}}{3S}\right)\right] = \left[\left(\frac{210.5 - 73.8}{3 * 36.44}\right)\right] = \left[\left(\frac{136.7}{109.32}\right)\right] = 1.25$$




شكل رقم 7- 10 نتائج حل المثال 7-8

ومن الشكل نجد أن عدد المخرجات المعيبة هو 88.34 وحدة، ومن جداول التحويل التي تم التعرض لها فى هذا الباب نجد أن مستوى الجودة يقع بين القيمتين 5.25 و 5.375 وهى قيمة جيدة جدا.

مثال رقم 7- 8

سجلت البيانات الموضحة لإحدى المنظومات، ومن طبيعة هذه العملية هو عدم وجود حد أدنى للمواصفات، فإذا كانت قيمة أداء هذه العملية على المدى القصير أى (Cpk) يساوى 0.26 ، فما هي نسبة المخرجات المعيبة التى تقع خاج المواصفات ؟ يرجى إعطاء الإجابة مقربة لثلاثة أرقام عشرية، وكذلك حساب مستوى جودة هذه العملية بالسيجما.

A Process with a one-sided specification has a Cpk of 0.26. What percentage of the production falls beyond the specification limit? In addition, do not enter your answer as a percentage. For example، enter 0.153 NOT 15.3% please provide your answer to at least 3 significant digits. What is the Sigma Level of this Process?

شكل رقم 7-11 رسم المثال 7-8

حيث إن جداول Z تعطى المساحة تحت المنحنى أى الاحتمالية، وحيث إننا نريد حساب المساحة خارج الحد الأعلى للمواصفات USL، فإننا سوف نحسب القيمة المكملة للقيم المستنتجة من الجداول

$$Z = \left[\left(\frac{USL - \bar{X}}{S}\right)\right] \quad \& \quad Cpk = \left[\left(\frac{USL - \bar{X}}{3S}\right)\right]$$

$$Cpk = \left[\left(\frac{Z}{3}\right)\right]$$

$$Z = 3 * Cpk = 3 * 0.26 = 0.78$$

ومن الجداول وعند قيمة Z=0.78 فإن المساحة تكون 0.782365، وعليه فنسبة المخرجات المعيبة تساوى (1-0.782365) أى تساوى 0.2176، ومن الجدول 7-3 الموضح أعلاه وبنسبة منتجات سليمة (78.2365%) فإن مستوى الجودة يقع بين القيمتين 2.25 و 2.375.

**مثال رقم 7- 9**

عند مراقبة إحدى المنظومات التي لها حد أدنى وحد أقصى للمواصفات أى Two sided distribution، تم رسم خرائط التحكم Xbar and R وتم تسجيل القيم التالية منها

$$\bar{\bar{X}} = 1.0001 \ \& \ \sigma = 0.0002 \quad \& \ \text{Specs} = 1 \pm 0.001$$

**الحل:**

$$Z_{Lower} = \frac{\bar{X} - LSL}{\sigma} = \frac{1.0001 - 0.999}{0.0002} = 5.5$$

ومن الجداول السابق الإشارة إليها يتبين لنا DPMO يساوي، وان نسبة المخرجات السليمة هي 99.997%.

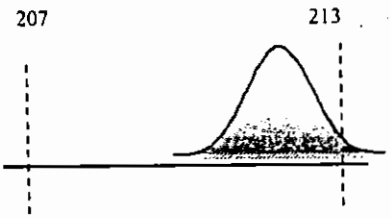
$$Z_{Upper} = \frac{USL - \bar{X}}{\sigma} = \frac{1.001 - 1.0001}{0.0002} = 4.5$$

ومن الجداول السابق الإشارة إليها يتبين لنا DPMO يساوى 1300، وان نسبة المخرجات السليمة هي 99.87%.

ولحساب Sigma Level الكلى، نجمع DPMO فيكون 1330 ثم من الجداول نحوله إلى Sigma Level مرة أخرى فنجد أن مستوى الجودة الإجمالى يساوى 4.5 تقريبا

**مثال رقم 7- 10:**

عند مراقبة إحدى العمليات تم سحب خمس عينات، فوجد أن المتوسط هو 212.5، والمدى 1.2، فإذا كان الحد الأدنى للمواصفات هو 207، وأن الحد الأعلى للمواصفات هو 213، فما هو مستوى الجودة فى هذه العملية؟




شكل رقم7-12 رسم المثال 7-10

**الحل**

$$\bar{\bar{X}}=2125 \;\&\; \bar{R}=1.2 \;\&\; n=5 \;\&\; \bar{R}=1.2 \;\&\; n=5 \quad d_2=2.236 \;\&\; \text{Specs}=210\pm3$$

$$\sigma=\frac{\bar{R}}{d_2}=\frac{1.2}{2.236}=0.5366$$

$$Ppk=Min\left[\left(\frac{USL-\bar{\bar{X}}}{3S}\right),\left(\frac{\bar{\bar{X}}-USL}{3S}\right)\right]=Min\left[\left(\frac{213-212.5}{3*0.5366}\right),\left(\frac{212.5-207}{3*0.5366}\right)\right]=Min[(3.416),(0.31)]=0.31$$

وحيث إن قيمة Cpk أقل من الواحد الصحيح، فإن هذه العملية غير قادرة على الوفاء بمتطلبات العملاء

ولحساب مستوى الجودة Sigma Level نعوض في المعادلة

$$Sigma\quad Level=Z_L=\frac{\bar{\bar{X}}-LSL}{\sigma}=\frac{212.5-207}{0.5366}=10.25$$

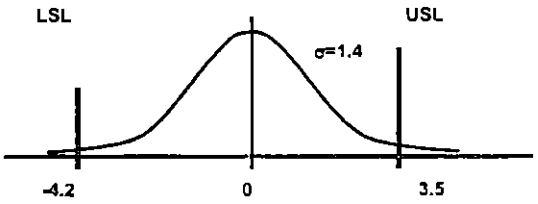
ومن الملاحظ أن هذه القيمة غير موجودة بالجدول، وهذا منطقي حيث يتضح من الرسم أن عيوب هذه العملية موجودة فقط في جهة Upper specification

$$Sigma\ Level=Z_u=\frac{USL-\bar{\bar{X}}}{\sigma}=\frac{213-212.5}{0.5366}=0.9318$$

وهى قيمة سيئة جدا لمستوى الجودة، ومن الجداول السابق الإشارة إليها يتبين لنا DPMO يساوى 700000، وان نسبة المخرجات السليمة لا تتجاوز 30% تقريبا

**مثال رقم 7- 11**

فى الشكل الموضح ما هي نسبة – احتمالية- المخرجات المعيبة؟ وما هو مستوى الجودة؟




شكل رقم7-13 رسم المثال 7-12

**الحل** : حيث إن هذه العملية هي Two sided العملية فسوف نحسب نسبة المعيب فى كلتا الجهتين ثم نجمعهما ثم نحسب مستوى الجودة مرة أخرى وبتطبيق العلاقة

$$Sigma\ Level = Z_u = \frac{USL - \overline{X}}{\sigma} = \frac{3.5 - 0}{1.4} = 2.5$$

$$Sigma\ Level = Z_L = \frac{\overline{X} - LSL}{\sigma} = \frac{0 - (-4.2)}{1.4} = 3$$

ومن جداول منحنى التوزيع الطبيعي المعيارية نحدد قيمة Probability فنجد أنها تساوى 0.0062

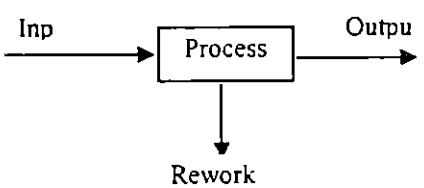
ومن جداول منحنى التوزيع الطبيعي المعيارية نحدد قيمة Probability فنجد أنها تساوى 0.00135

وبالتالي فإجمالى الاحتمالية يكون 0.00752=0.00135+0.0062 ومستوى الجودة هو النسبة المكملة للمنتجات المعيبة

$$Sigma\ Level = 1 - 0.00752 = 0.99248$$

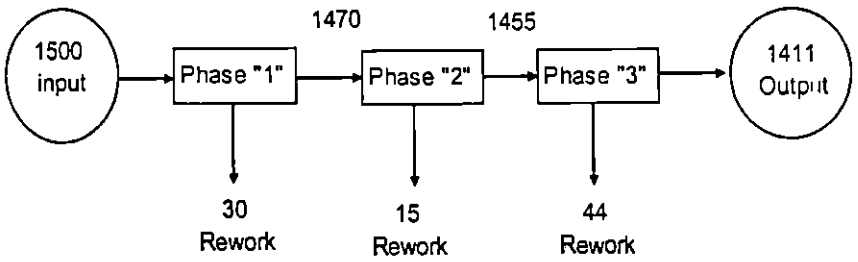
## 7.12. مستوى الأداء الكلى للعملية المركبة Compound Process Performance

تحدثنا في السطور السابقة على عملية تتألف من مرحلة واحدة كالشكل 7-13، وكنا نقيس Yield من العلاقة




$$Yield = 1 - \frac{nomber\ of\ derectives}{number\ of\ units}$$

ولكن ماذا سيكون الوضع لو تألفت العملية من عدة مراحل مختلفة كما بالشكل 7-14




شكل رقم 7-14 رسم العمليات على التوالى

في هذه الحالة سيكون أمامنا خياران:

اولا: إما أن نحسب Yield لكل مرحلة على حده، ثم نحسب Yield للعملية ككل بضرب Yield للمراحل المتتالية.

$$Yield\ \ for\ \ phase\ \ 1 = 1 - \frac{30}{1500} = 0.98$$

$$Yield\ \ for\ \ phase\ \ 2 = 1 - \frac{15}{1470} = 0.9898$$

$$Final\ Yield\ for\ phase 3 = 1 - \frac{44}{1455} = 0.9697$$

$$Final\ Yield\ for\ phase 3 = 1 - \frac{44}{1455} = 0.9697$$

$$Final\ \ Yield\ for\ All\ phases = 0.98 * 0.9898 * 0.9697 = 0.94$$

ومن الجدول السابق 7-3 وعند قيمة 0.94 نجد أن مستوى الجودة Sigma Level يساوى 3.1 تقريبا.

ثانيا: وإما أن نعتبر المراحل الثلاث للعملية كوحدة واحدة، ونطبق علاقة Yield.

$$\text{Yield for All phases} = \text{Rolled Throughput Yield}(Y_{RT}) = 1 - \frac{89}{1500} = 0.94$$

ومن الجدول السابق، وعند Yield يساوى 0.94 نجد أن أل Sigma Level يساوى 3.1 تقريبا، وهى نفس النتائج التي حصلنا عليها بالطريقة الأولى

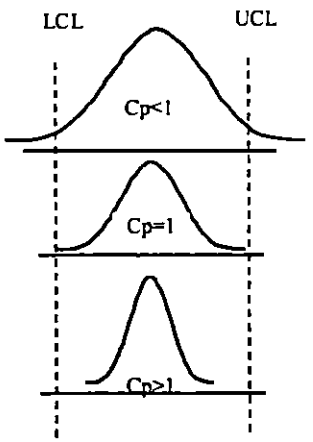
### 7.13. مقارنة بين مقاييس مستوى الأداء Comparison between sigma measures

الجدول 7-6 يبين القيم المختلفة لمستوى جودة العمليات المتمركزة وذات الترحيل، كما يعرض عدد الأخطاء لكل مليون فرصة DPMO ، وكذلك قيم مقدرة هذه العمليات عند تلك المستويات.

جدول رقم 7- 6 القيم المختلفة لمستوى الجودة

| Sigma Level مستوى الجودة | Centered Process عمليات متمركزة | | | Shifted (1.5σ) Process عمليات بها ترحيل | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Percent | DPMO | Cpk | Percent | DPMO | Cpk |
| 3 | 99.73 | 2700 | 1 | 93.32 | 66803 | 0.5 |
| 4 | 99.9937 | 63 | 1.3 | 99.379 | 6200 | 0.83 |
| 5 | 99.999943 | 0.57 | 1.7 | 99.9767 | 233 | 1.17 |
| 6 | 99.999999 | 0.002 | 2 | 99.9997 | 3.4 | 1.5 |

وعموما فإن هناك بعض القيم العملية لمقدرة العملية Cpk ، فإذا كانت العملية جديدة، فيجب ألا تقل قيمة Cpk عن 1.6، أما إذا كانت العملية قديمة، وقيد التحسين فيجب ألا تقل قيمة Cpk عن 1.33 كما فى شكل 7-15.




شكل رقم 7-15 نماذج لعمليات بقدرات مختلفة