الباب السادس

ضبط جودة الخرسانة إحصائيا

Statistical Quality Control

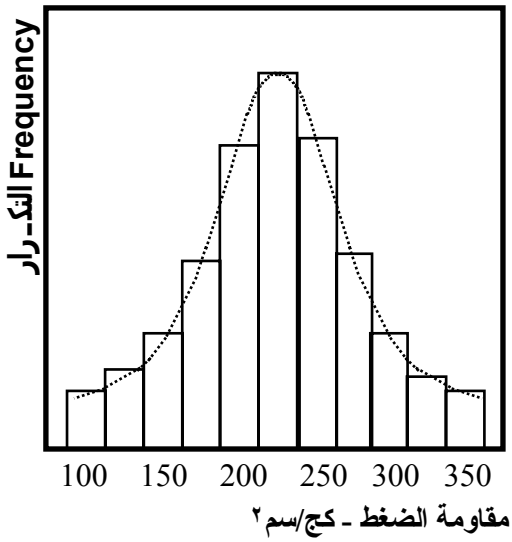
٦-١ التغير فى مقاومة الخرسانة

غالباً فإن مقاومة الخرسانة المنتجة فى الموقع تكون متغيرة من خلطة إلى خلطة وأيضا خلال الخلطة الواحدة. ويرجع هذا التغير إلى عوامل عديدة منها:

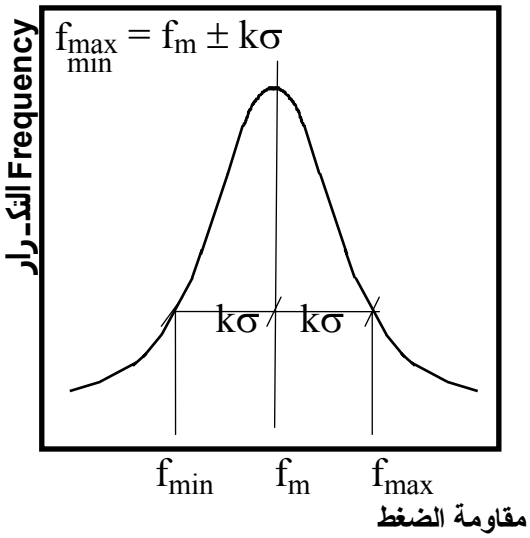
١- إختلاف جودة وخواص المكونات (أسمنت - ركام - ماء - إضافات).
٢- التغير فى نسبة الماء بالخلطة.
٣- التغير فى خطوات صناعة الخرسانة (طريقة الخلط - النقل - الصب - الدمك - المصنعية).
٤- التغير فى درجة الحرارة أو عملية المعالجة.
٥- التغير نتيجة أخطاء فى صناعة قوالب الصب.
٦- وجود أخطاء أثناء الإختبار (سرعة الماكينة - عدم مركزية العينة - الماكينة غير معايرة).

٦-٢ منحنى التوزيع التكرارى

الغرض من ضبط جودة الخرسانة إحصائيا هو تحليل النتائج للوقوف على مدى تجانس وجودة الخرسانة و مطابقتها للمواصفات. فعندما يكون عندنا عدد كبير من النتائج (مقاومة الضغط) فإنه يكون من المفيد تنظيم مجموعة البيانات على شكل توزيع تكرارى (هيستوجرام) كما فى شكل(٦-١) حيث يمثل المحور الأفقى قيمة المقاومة (عبارة عن فترات فاصلة) ويمثل المحور الرأسى عدد العينات (التكرار) عند كل مقاومة معينة.



شكل (٦-١) هيستوجرام التكرار



شكل (٦-٢) منحنى التوزيع التكراري

عندما يصل عرض الفترة إلى قيمة صغيرة جداً (≅ صفر) ويكون عدد العينات كبيرجداً (∞ ≅) فإن:

⇩

الهيستوجرام يتحول إلى منحنى يعرف بإسم منحنى التوزيع التكراري Distribution Curve.

وعندما تكون النتائج على أبعاد متساوية من القيمة المتوسطة و يكون أكبر عدد من العينات له قيمة مساوية للمتوسط فإن:

⇩

التوزيع يكون طبيعى ويعرف المنحنى بإسم منحنى التوزيع التكرارى الطبيعى Normal Distribution Curve ويكون شكله على شكل الجرس Bell Shape كما فى شكل (٦-٢). وخصائص منحنى التوزيع التكرارى الطبيعى تعتمد على قيمتى المتوسط (f_m) والإنحراف المعيارى (σ).

$$f_{\substack{max \\ min}} = f_m \pm k\,\sigma$$

حيث k هى معامل الإحتمالات ويعبر عن إحتمال وقوع مقاومة معينة خارج الحدود ($f_m \pm k\,\sigma$) و σ هى الإنحراف المعيارى. أما f_m فتمثل القيمة المتوسطة. وقيمة الانحراف المعياري تعرف على أنها جذر متوسط مربع قيمة الإنحرافات

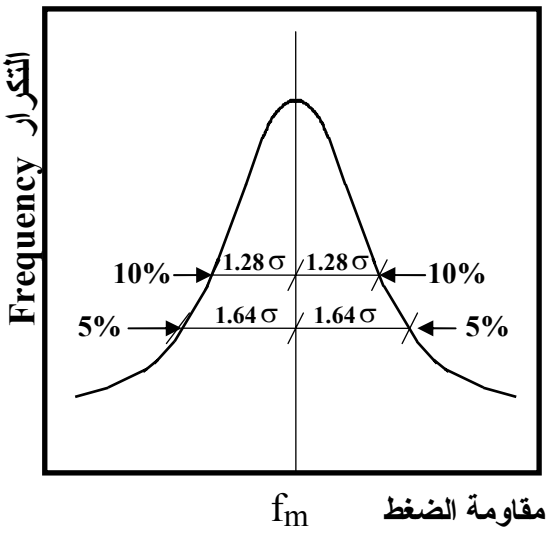
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{n-1}} \qquad n > 20$$

or

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{n}} \qquad n \le 20$$

جدول(٦-١) قيمة معامل الإحتمالات

k	احتمال وقوع مقاومة معينة خارج ($f_m \pm k\,\sigma$)	احتمال وقوع مقاومة معينة خارج ($f_m - k\,\sigma$)
٣,١	%٠,٢	%٠,١
٢,٣٣	%٢	%١
١,٦٤	%١٠	%٥
١,٢٨	%٢٠	%١٠
١,٠	%٣١,٨	%١٥,٩



شكل (٦-٣) خصائص منحنى التوزيع الطبيعى.

٦-٣ المقاومة المتوسطة والمقاومة المميزة

٦-٣-١ المقاومة المميزة (رتبة الخرسانة) Characteristic Strength (f_{cu})

هى قيمة إجهاد كسر المكعب الخرسانى القياسى الذى من غير المحتمل أن يقل عنه أكثر من ٥% من عدد نتائج إختبارات تحديد المقاومة أثناء التنفيذ (درجة ثقة=٩٥%). والمقاومة المميزة هى المقاومة التى يجرى على أساسها المهندس الإنشائى حساباته.

٦-٣-٢ متوسط المقاومة المستهدف Target Mean Strength (f_m)

تصمم خلطة الخرسانة بتحديد محتويات مكوناتها بحيث يكون متوسط المقاومة المستهدف مساويا لمجموع المقاومة المميزة (f_{cu}) مضافاً إليه هامش أمان (M) يكفل الحصول على المقاومة المميزة المطلوبة $f_m = f_{cu} + M$.

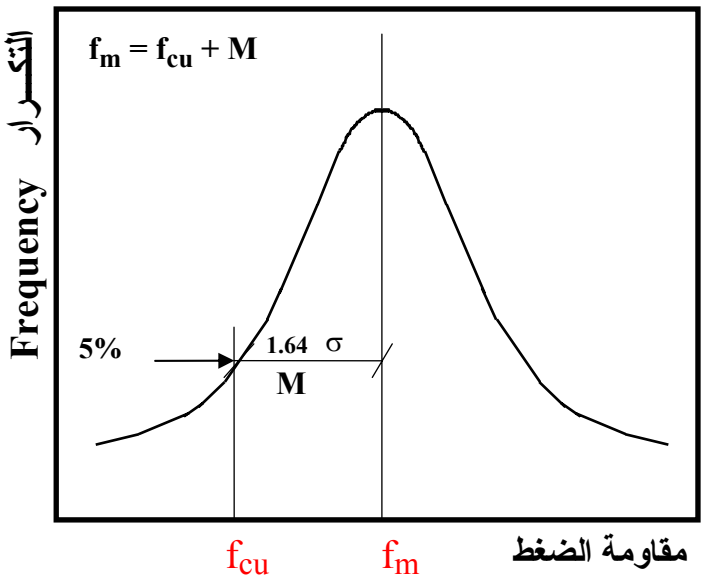
ويمكننا تخيل قيمة (f_m) ، (f_{cu}) على منحنى التوزيع التكرارى كما يلى:

* فى حالة أن يكون مطلوب درجة ثقة Confidence ٩٥% فإن $k = 1.64$ ويكون

$$f_m = f_{cu} + 1.64\ \sigma$$

* فى حالة أن يكون مطلوب درجة ثقة Confidence ٩٠% فإن $k = 1.28$ ويكون

$$f_m = f_{cu} + 1.28\ \sigma$$



شكل (٦-٤) المقاومة المميزة والمقاومة المتوسطة.

٦-٤ مستويات التحكم فى الجودة

استخدم الانحراف المعياري (σ) كمقياس لدرجة ضبط الجودة للخرسانة حيث أنه كلما زادت قيمة σ دل ذلك على ضعف التحكم فى الجودة والعكس صحيح ويمثل جدول (٦-٢) قيم σ المناظرة لدرجة التحكم فى الجودة:

جدول (٦-٢) مستويات التحكم فى جودة الخرسانة طبقا لمعهد أبحاث الخرسانة الأمريكى.

درجة التحكم	ممتازة	جيدة جداً	جيدة	مقبولة	رديئة
σ كج/سم٢	أقل من ٢٨	٢٨-٣٥	٣٥-٤٢	٤٢ - ٤٩	أكبر من ٤٩

ونظراً لأن قيمة الإنحراف المعيارى تعتمد على قيمة المقاومة فقد وُجد أنها تكون كبيرة نسبيا فى حالة الخرسانة عالية المقاومة وبالتالى يكون من الأفضل إستخدام معامل الإختلاف (v) بدلاً من الإنحراف المعيارى (σ) فى تحديد مستوى التحكم فى الجودة كما فى جدول (٦-٣).

$$v = \frac{\sigma}{f_m}$$

$$f_m = f_{cu} + k\, v\, f_m \quad \rightarrow \quad f_{cu} = f_m\,(1-kv)$$

$$f_m = \frac{f_{cu}}{1 - kv}$$

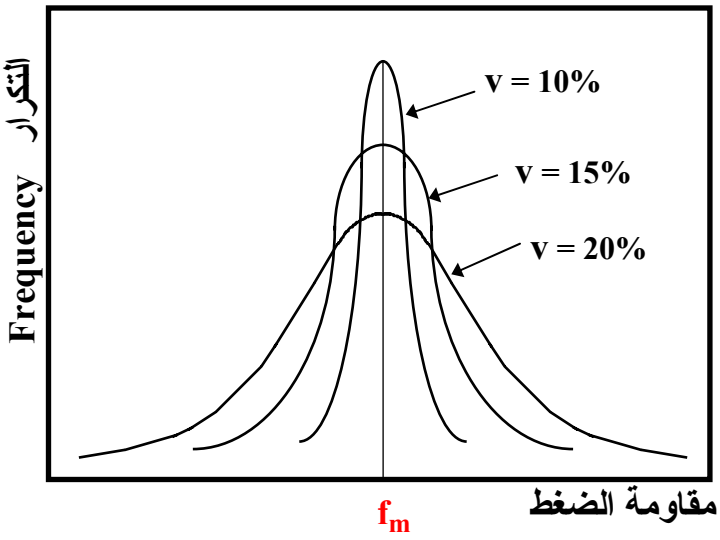
فإذا كانت درجة الثقة ٩٥ % فإن قيمة k تكون ١,٦٤.
أما إذا كانت درجة الثقة ٩٠ % فإن قيمة k تكون ١,٢٨.

تدريب: أحسب كلاً من قيمتى الإنحراف المعيارى (σ) ومعامل الإختلاف (v) للمجموعتين الآتيتين وعلق على النتائج.

المجموعة الأولى خرسانة تقليدية: ٢٠٠ ، ٢١٠ ، ٢٢٠ كج/سم٢
المجموعة الثانية خرسانة عالية المقاومة: ١٠٠٠ ، ١٠٥٠ ، ١١٠٠ كج/سم٢

جدول (٦-٣) مستويات التحكم فى جودة الخرسانة طبقا لقيمة معامل الإختلاف.

درجة التحكم	ممتازة	جيدة	مقبولة	ضعيفة
v %	أقل من ١٠	١٠ - ١٥	١٥ - ٢٠	أكبر من ٢٠



شكل (٦-٥) تأثير معامل الإختلاف على شكل منحنى التوزيع.

ومن الجدير بالذكر أن شكل منحنى التوزيع التكرارى يتأثر كثيراً نتيجة التغير فى قيمة معامل الإختلاف (v) حيث يزداد تدبباً كلما قل التغير فى قيمة مقاومة الضغط وبالتالى قلت قيمة (v) كما بالشكل (٦-٥).

٦-٥ الحكم على نتيجة إختبار الخرسانة

وعموماً فإن الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية قد أعتبر الخرسانة مستوفية لرتبة الخرسانة المميزة المطلوبة أثناء التنفيذ إذا تحقق مايلى:

١- إذا كان عدد مكعبات الضغط للخرسانة أكثر من ٢٠ عينة فيشترط أن لا تزيد عدد نتائج اختبارات المكعبات التى تقل عن المقاومة المميزة المطلوبة على قراءة واحدة لكل عشرين قراءة (٥٪) كما يشترط أن لا يزيد الفرق بين أكبر قراءة وأصغر قراءة (المدى) على ٢٥٪ من متوسط جميع القراءات.

٢- إذا كان عدد مكعبات الضغط للخرسانة أقل من ٢٠ مكعب فيشترط أن لا تقل أية نتيجة إختبار عن المقاومة المميزة المطلوبة كما يشترط أن لا يزيد الفرق بين أكبر قراءة وأصغر قراءة (المدى) على ٢٥٪ من متوسط جميع القراءات.

٦- ٦ تطبيـــقات

٦-٦-١ تصميم الخلطة الخرسانية اللازمة لمشروع جديد

هنا يكون المطلوب هو حساب قيمة المقاومة المتوسطة f_m التى تحقق قيمة معينة للمقاومة المميزة f_{cu} (بمعنى قيمة المقاومة التى من المحتمل أن لا يقل عنها إلا نسبة معينة) وذلك بدلالة درجة التحكم المتوقع فى الجودة.

مثال ١: أحسب المقاومة المتوسطة المطلوبة لتصميم خلطة خرسانية إذا كانت قيمة المقاومة المميزة التى صُمم عليها المشروع هى ٢٥٠ كجم/سم^2 (لا يقل عنها أكثر من ٥٪ من النتائج) وذلك فى حالتى ورجة تحكم فى الجودة جيدة ومقبولة.

الحـــــــل

أ- حالة تحكم جيدة (v=0.125)

$$f_m = \frac{f_{cu}}{1-1.64v} = \frac{250}{1-1.64\ (0.125)} = 314.5\ \ kg/cm^2$$

ب- حالة تحكم مقبولة (v=0.175)

$$f_m = \frac{f_{cu}}{1-1.64v} = \frac{250}{1-1.64\ (0.175)} = 350.6\ \ kg/cm^2$$

٦-٦-٢ تعيين قيمة المقاومة المميزة

إذا كانت قيمة المقاومة المتوسطة لعدد من العينات معروفة عند درجة معينة من التحكم فى الجودة فما هى قيمة المقاومة المميزة التى يتم تصميم المشروع إنشائياً عليها (التى يتوقع أن لايقل عن قيمتها إلا نسبة معينة من النتائج).

مثال ٢ : إذا كان متوسط مقاومة الضغط لخلطة خرسانية هو ٢٧٥ كجم/سم^2 وكان الإنحراف المعيارى مساوياً ٢٠ كجم/سم^2. فما هى قيمة المقاومة التى يتوقع أن لايقل عن قيمتها أكثر من ١٠٪ من النتائج (٩٠٪ ورجة ثقة).

الحـــــــل

$$f_{cu} = f_m\ (1-kv) \qquad \text{or} \qquad f_{cu} = f_m - k\ \sigma$$

فى حالة درجة ثقة ٩٠% فإن قيمة k تساوى ١,٢٨

$$f_{cu} = 275 - 1.28\ (20) = 249.4\ kg/cm^2$$

٦-٦-٣ الحكم على صلاحية خرسانة منشأ

يمكن الحكم على صلاحية خرسانة منشأ قائم بالفعل وذلك بحساب قيمة التغير فى مقاومة الضغط (التى يمكن قياسها بإستخدام الإختبارات غير المتلفة مثل مطرقة شميدت) وحساب المقاومة التى تحقق درجة ثقة ٩٥% ثم مقارنتها بقيمة المقاومة المميزة التى تم التصميم عليها بالفعل وبالتالى الحكم بقبول أو رفض الخرسانة.

مثال ٣ : عند الحكم على صلاحية خرسانة اللبشة العلوية لمدرسة ابتدائية بالدقهلية تم قياس مقاومة الضغط لعدد ١٧ مكعب مختلف وكانت المقاومة كما يلى:

٢١٨ - ١٨٤ - ١٧٧ - ٢١٥ - ١٨٦ - ١٧٣ - ٢٠٩ - ١٤٢ - ١٥٣ - ١٨٧ ١٨١ - ١٩٣ - ١٤٧ - ٢١٣ - ٢٣١ - ٢٠٠ - ٢٢١.

فما هى قيمة المقاومة الفعلية للخرسانة (ورجة ثقة ٩٥٪) وهل تُقبل الخرسانة أم تُرفض إذا كانت المقاومة المميزة التى تم التصميم على أساسها هى ٢٠٠ كج /سم٢ ؟

الحـــــل

ابتداء فإن الخرسانة مرفوضة ولا تحقق الشروط التى صُممت من أجلها وذلك لوجود أكثر من نتيجة قيمتها أقل من قيمة المقاومة المميزة التى تم التصميم على أساسها وهى ٢٠٠ كج /سم٢ وذلك ضمن عدد عينات أقل من عشرين عينة. أما لحساب قيمة المقاومة الفعلية للمجموعة فينبغى حساب قيمة الإنحراف المعيارى كمايلى:

المفردات	الإنحراف	مربع الإنحراف
٢١٨	٢٨+	٧٨٤
١٨٤	٦-	٣٦
١٧٧	١٣-	١٦٩
٢١٥	٢٥+	٦٢٥
١٨٦	٤-	١٦
١٧٣	١٧-	٢٨٩
٢٠٩	١٩+	٣٦١
١٤٢	٤٨-	٢٣٠٤
١٥٣	٣٧-	١٣٦٩
١٨٧	٣-	٩
١٨١	٩-	٨١
١٩٣	٣+	٩
١٤٧	٤٣-	١٨٤٩
٢١٣	٢٣+	٥٢٩
٢٣١	٤١+	١٦٨١
٢٠٠	١٠+	١٠٠
٢٢١	٣١+	٩٦١
المتوسط =١٩٠	**صفر**	**المجموع= ١١١٧٢**

$$\sigma = \sqrt{\frac{11172}{17}} = 25.6 \ \text{kg/cm}^2$$

$$v = 25.6\ (100) / 190 = 13.5\ \%$$

$$f_{cu} = f_m\ (1\text{-}kv)$$

$$f_{cu} = 190\ (1\text{-}1.64 \times 0.135)$$
$$= 147.9\ \text{kg/cm}^2 < 200$$

∴ الخرسانة ترفض ويمكن إعادة حسابات التصميم على أساس مقاومة مميزة ١٤٧,٩ فقط بدلا من ٢٠٠ كج/سم٢.

٦-٧ التحليل الإحصائى لمجموعة البيانات المفردة

٦-٧-١ مقاييس المركزية

أ - المتوسط Average

$$\overline{X} = \frac{\sum x}{n}$$

مميزاته : هو أكثر المقاييس شيوعاً - سهل الفهم - يأخذ جميع البيانات فى الإعتبار.
عيوبه : يتأثر بالقيم المتطرفة.

مثال : ١٩ ، ٢٠ ، ٢١ ⇐ المتوسط = ٢٠
٤ ، ١٩ ، ٢٠ ، ٢١ ⇐ المتوسط = ١٦
١٩ ، ٢٠ ، ٢١ ، ٧٦ ⇐ المتوسط = ٣٤

ب- الوسيط Median

هو القيمة التى عندها عدد البيانات الأقل منها يساوى عدد البيانات الأكبر منها أو هو قيمة الحد الذى ترتيبة $(\frac{N+1}{2})$.

مميزاته : لا يتأثر بالقيم المتطرفة - يمكن فهمه بسهولة.
عيوبه : يحتاج إلى ترتيب البيانات تنازلياً أو تصاعدياً حتى يمكن حسابه .

مثال : ٩ ، ٥ ، ١٠ ، ١٢ ، ١٥ ⇐ الوسيط = ١٠
١٣ ، ١٧ ، ١١ ، ١٩ ، ١٠ ⇐ الوسيط = ١٣

ج- المنوال Mode

المنوال هو القيمة الأكثر تكراراً فى المجموعة.

مميزاته : لا يتأثر بالقيم المتطرفة - يمكن فهمة بسهولة (مثل الوسيط).
عيوبه: فى كثير من الأحيان لا يوجد منوال حيث لا يتكرر العدد أكثر من مرة وفى حالات أخرى يكون هناك أكثر من منوال.

٢-٧-٦ مقاييس التشتت

أ - المدى = القيمة القصوى - القيمة الصغرى.

ب- الانحراف المعياري (σ) هو الجذر التربيعى لمتوسط مربع إنحراف المفردات عن المتوسط .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

و الانحراف المعياري له نفس وحدات المفردات ويتأثر بقيم المفردات.

ج- معامل الإختلاف هو مقياس للتشتت النسبى أو الإنحراف النسبى.

$$v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

مثال : احسب قيم v , σ للمجموعتين الآتيتين:

١- خرسانة معتادة ٢٠٠ ، ٢١٠ ، ٢٢٠ كج/سم٢.

٢- خرسانة عالية المقاومة ١٠٠٠ ، ١٠٥٠ ، ١١٠٠ كج/سم٢.

الحـــــــل

المجموعة الأولى: المتوسط = (٢٠٠ + ٢١٠ + ٢٢٠) ÷ ٣ = ٢١٠ كج/سم٢

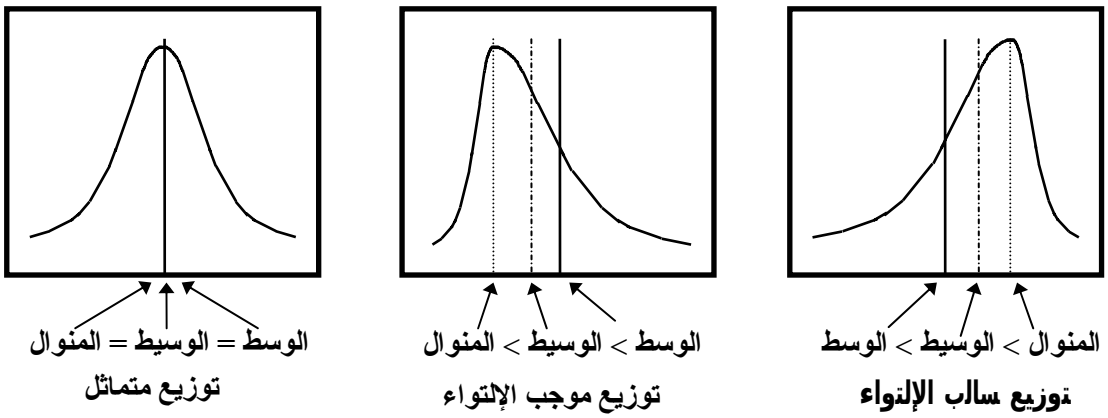
$$\sigma = \sqrt{\frac{(10)^2 + (-10)^2 + (0)^2}{3}} = 8.16 \ \text{kg/cm}^2$$

$$v = \frac{8.16}{210} \text{ x } 100 = 3.89 \ \%$$

المجموعة الثانية: المتوسط = (١٠٠٠ + ١٠٥٠ + ١١٠٠) ÷ ٣ = ١٠٥٠ كج/سم٢

$$\sigma = \sqrt{\frac{(50)^2 + (-50)^2 + (0)^2}{3}} = 40.82 \ \text{kg/cm}^2$$

$$v = \frac{40.82}{1050} \text{ x } 100 = 3.89 \ \%$$



شكل (٦-٦) أشكال الإلتواء المختلفة

٦-٧-٣ أشكال التوزيعات التكرارية

أ- الإلتواء : يكون الإلتواء صفراً إذا كان التوزيع متماثل حول الوسط الحسابى

ويكون التوزيع موجب الإلتواء عندما يكون الوسط < الوسيط < المنوال

ويكون التوزيع سالبا الإلتواء عندما يكون الوسط > الوسيط > المنوال

$$\text{معامل الإلتواء} = \frac{٣\,(\text{المتوسط} - \text{الوسيط})}{\sigma}$$

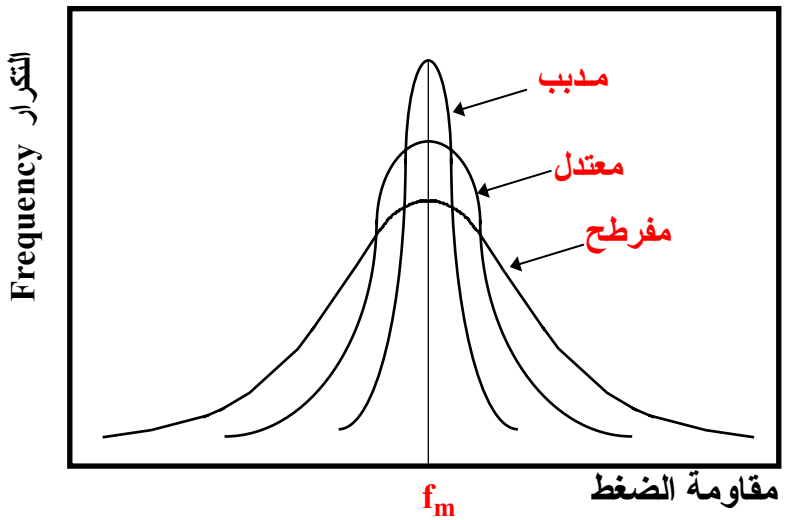
ب - التفرطح

$$\text{معامل التفرطح} = \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{\sigma^4}$$

معامل التفرطح للتوزيع المعتدل = ٣

" " " المفرطح > ٣

" " " المدبب < ٣



شكل (٦-٧) أشكال التوزيعات التكرارية من حيث التفرطح.

مثال : أحسب قيم المدلولات التى يمكن منها تقييم نتائج مقاومة الضغط للمجموعات التالية
من عينات الخرسانة : المجموعة الأولى (٤١٠ - ٤١٢ - ٣٩٥ - ٤١٥ كج/سم٢)
المجموعة الثانية (٣٨٥ - ٤٠٢ - ٣٠٥ - ٥٤٠ كج/سم٢)
ثم احسب قيمة المقاومة التى تحقق درجة ثقة ٩٠٪ بالنسبة للمجموعة الثانية.

الحـــــــل

	المجموعة الأولى	المجموعة الثانية
المفردات مرتبة	٣٩٥ ، ٤١٠ ، ٤١٢ ، ٤١٥	٣٠٥ ، ٣٨٥ ، ٤٠٢ ، ٥٤٠
المتوسط كج/سم٢	٤٠٨	٤٠٨
المدى كج/سم٢	٢٠ (٤,٩% من المتوسط)	٢٣٥ (٥٧,٦% من المتوسط)
الإنحرافات كج/سم٢	- ١٣، +٢ ، +٤ ، +٧	-١٠٣ ، -٢٣ ، -٦ ، ١٣٢
الإنحراف المعيارى كج/سم٢	٧,٧	٨٤,٦
معامل الإختلاف %	١,٩	٢٠,٧
درجة التحكم فى الجودة	ممتازة	رديئة
المقاومة المميزة كج/سم٢	٣٩٥	٢٦٩

القيمة التى تعطى درجة ثقة ٩٠% فى المجموعة الثانية:

$$f_{cu} = f_m (1 - kv) = 408 (1 - 1.28 * 0.207) \cong 300 \ kg/cm^2$$

****

٦-٨ توزيع البيانات

إذا كان عندنا مجموعة من البيانات كثيرة العدد نسبياً ومطلوب إستخلاص المدلولات الفنية والحكم على هذه المجموعة ومدى تجانسها فإنه يمكن توزيعها على هيئة شرائح أو فئات بإتباع الخطوات الآتية:

١- نوجد المدى الذى يقع داخلة جميع القراءات (المدى = أكبر قيمة - أقل قيمة)
٢- نحدد عرض الشريحة الذى يجعل عدد الشرائح دائما = ١٠ ± ٢

عدد الشرائح = $\frac{\text{المدى}}{\text{عرض الشريحة}}$ + ١	أو عرض الشريحة = $\frac{\text{المدى}}{\text{عدد الشرائح - ١}}$

مثال: إذا كان المدى = ١٦٠ كج/سم^{٢} فإن عرض الشريحة = ١٦٠ ÷ (عدد الشرائح - ١)
إذن ممكن نأخذ عدد الشرائح = ٩ وعرضها ٢٠ كج/سم^{٢}
أو نأخذ عدد الشرائح = ١١ وعرضها ١٦ كج/سم^{٢}

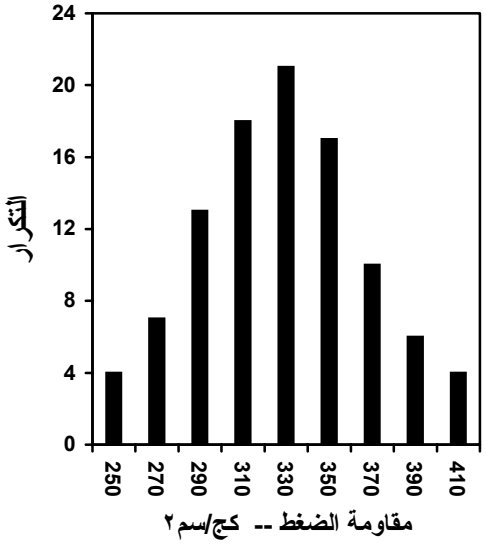
أما إذا كان المدى = ١٦٣ كج/سم٢ ففى هذه الحالة يمكننا توزيع الـ ٣ فى أول شريحة وآخر شريحة بمعنى أننا عندنا شريحة زيادة دائما لمثل هذه الفروق (نضع نصف شريحة فى الأول ونصف شريحة فى النهاية) وسنرى ذلك فى مثال شامل فيما بعد.

٣- نعمل جدول مختصر وفية نضع جميع الأرقام على صورة شرائح أو فئات

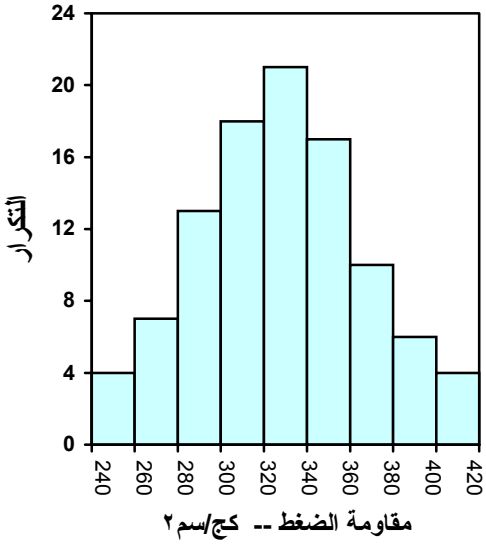
رقم الشريحة	حدود الشريحة	المتوسط	التكرار
١	٢٤٥ - ٢٥٥	٢٥٠	٤
٢	٢٥٥ - ٢٦٥	٢٦٠	٦
:	:	:	:
:	:	:	:
٩	٣٢٥ - ٣٣٥	٣٣٠	٢

٤- يترجم الجدول السابق إلى الرسومات البيانية الآتية:

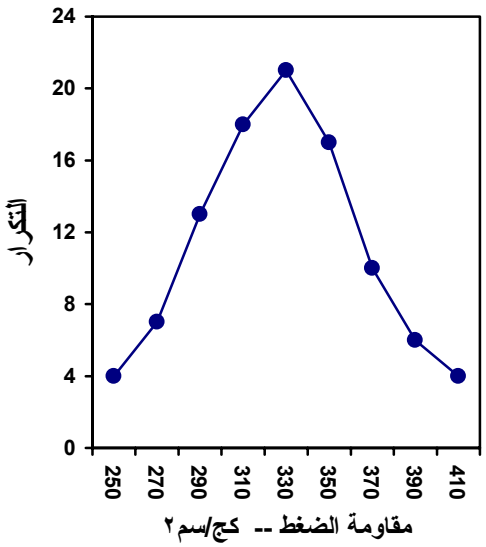
أ - لوحة قضبان التكرار (بين المتوسط والتكرار)
ب- مضلع التكرار أو المنحنى التكرارى (,, ,, ,,)
ج- هيستوجرام التكرار (بين حدود الشريحة والتكرار)
د- المنحنى التكرارى التجميعى (,, ,, ,, ,, ,,)



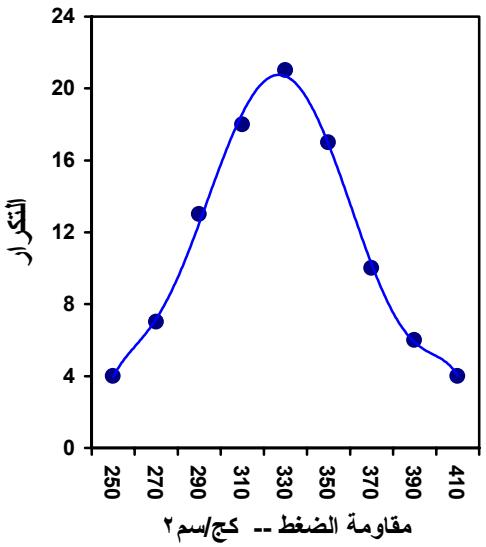
أ- لوحة قضبان التكرار



ب- هيستوجرام التكرار

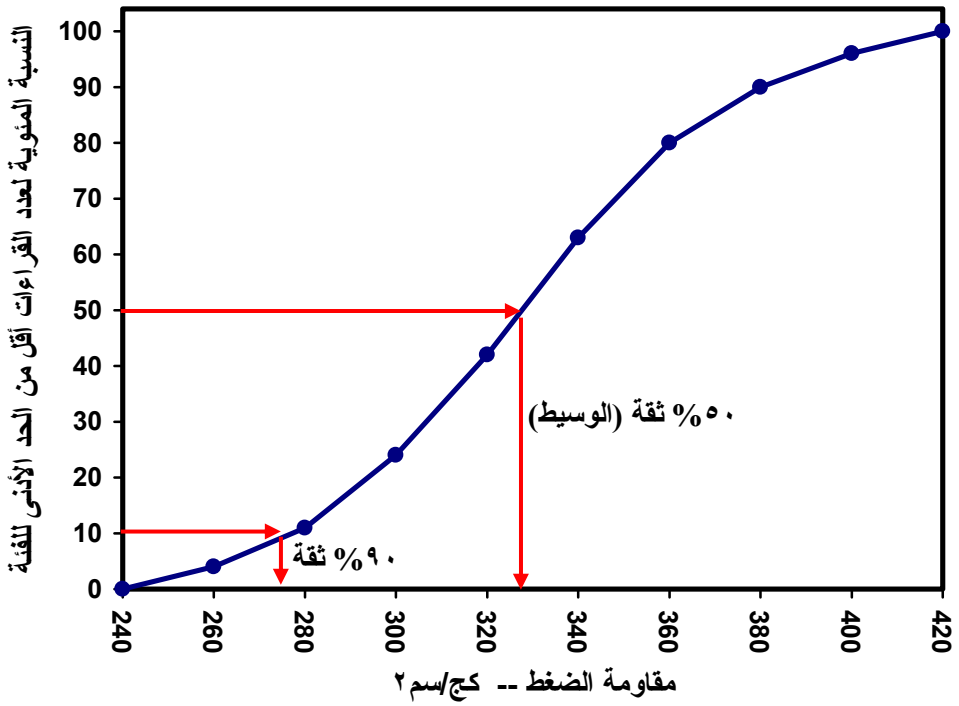


ج- مضلع التكـــرار



د- المنحنى التكـــراري

شكل (٦-٨) الأشكال البيانية المختلفة للتوزيعات التكرارية.



شكل (٦-٩) المنحنى التكرارى التجميعى.

مثال: إذا كان لدينا عدد ٢٥٠ قراءة لمقاومة الضغط وكان أقل القراءات هو ٢٥١ كج/سم٢ وأكبرها ٣٤٨ كج/سم٢ حدد عدد الشرائح المناسب وحدود أول شريحة وآخر شريحة حتى يمكننا تحليلها إحصائيا.

الحـــــل

$$\text{عدد الشرائح} = \frac{\text{المـــدى}}{\text{عرض الشريحة}} + ١$$

المدى = ٣٤٨ - ٢٥١ = ٩٧ كج/سم٢

هنا نفترض جدلاً أن المدى = ١٠٠ بدلاً من ٩٧ وذلك فى حالة تنظيم الشرائح فقط .

بمعنى أن المدى = (٣٥٠-٢٥٠) بحيث نضع أى فرق فى نصف الشريحة الأولى ونصف الشريحة الأخيرة.

$$\text{عدد الشرائح} = \frac{١٠٠}{\text{عرض الشريحة}} + ١$$

∴ نأخذ عرض الشريحة = ١٠ كج/سم٢ والعدد = ١١ شريحة

- بداية أول شريحة = أصغر قيمة (مفترضة) - نصف عرض شريحة
= ٢٥٠ - ٥ = ٢٤٥ كج/سم^{٢}
∴ حدود الشريحة الأولى = ٢٤٥ إلى ٢٥٥

- نهاية الشريحة الأخيرة = أكبر قيمة (مفترضة) + نصف عرض شريحة
= ٣٥٠ + ٥ = ٣٥٥ كج/سم^{٢}
∴ حدود الشريحة الأخيرة = ٣٤٥ إلى ٣٥٥

****

مثال: لضبط جودة خرسانة صهريج مياه أخذت عينات من الخرسانة أثناء مراحل التنفيذ وإختبرت مقاومة الضغط للعينات القياسية فكانت وفقا للجدول الآتى:

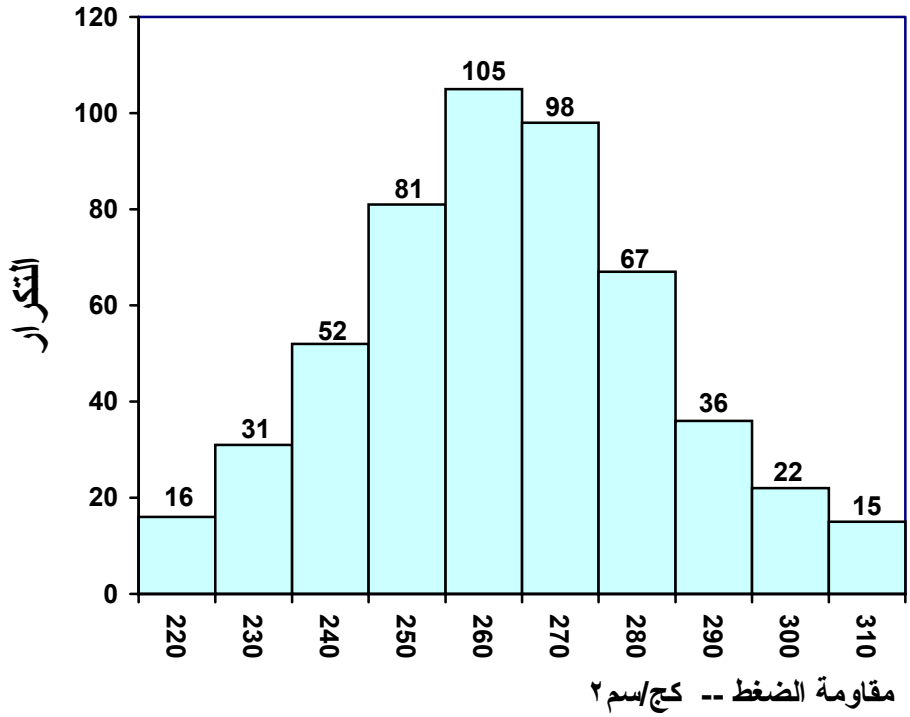
رقم الفئة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
حدود الفئة كج/سم^{٢}	٢١٥ ٢٢٥	٢٢٥ ٢٣٥	٢٣٥ ٢٤٥	٢٤٥ ٢٥٥	٢٥٥ ٢٦٥	٢٦٥ ٢٧٥	٢٧٥ ٢٨٥	٢٨٥ ٢٩٥	٢٩٥ ٣٠٥	٣٠٥ ٣١٥
التكـــرار	١٦	٣١	٥٢	٨١	١٠٥	٩٨	٦٧	٣٦	٢٢	١٥

إرسم كلاً من هيستوجرام التكرار ومنحنى التكرار التجميعى ومنحنى التوزيع التكرارى ثم إستخلص المدلولات التى يمكن منها معرفة مستوى إنتاج هذه الخرسانة ومدى إنتظامها ودرجة جودتها. إحسب أيضا قيمة المقاومة عند درجة ثقة ٩٠% ، ٩٥%.

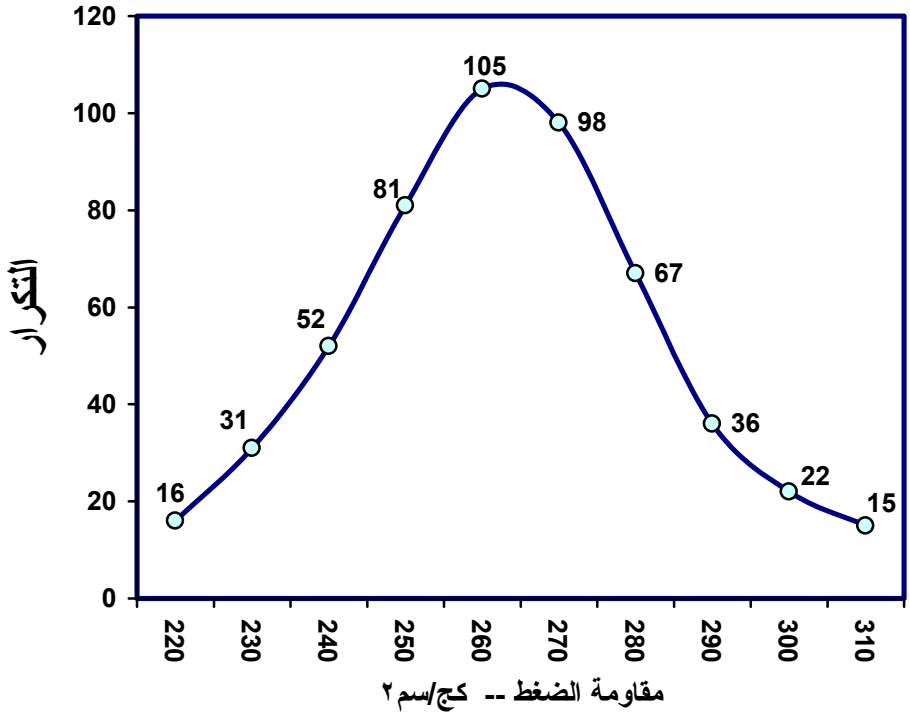
الحـــــل

أولاً نكون الجدول الآتى:

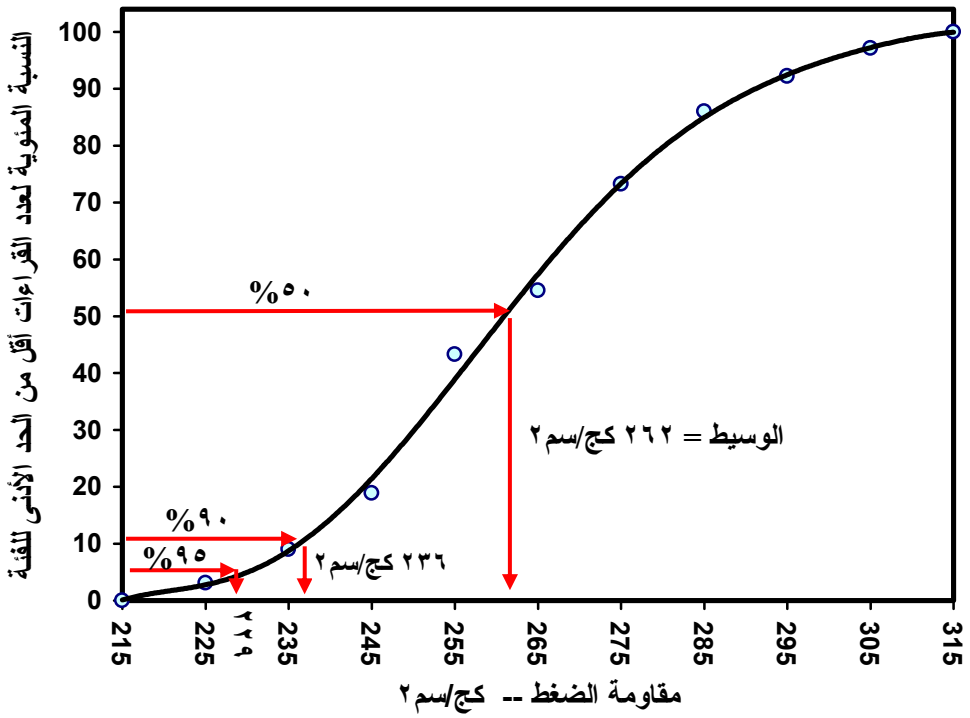
الحد الأدنى للشريحة	٢١٥	٢٢٥	٢٣٥	٢٤٥	٢٥٥	٢٦٥	٢٧٥	٢٨٥	٢٩٥	٣٠٥	٣١٥
عدد القراءات أقل من الحد الأدنى	صفر	١٦	٤٧	٩٩	١٨٠	٢٨٥	٣٨٣	٤٥٠	٤٨٦	٥٠٨	٥٢٣
عدد القراءات %	صفر	٣,١	٩	١٨,٩	٤٣,٣	٥٤,٥	٧٣,٢	٨٦,٠	٩٢,٢	٩٧,١	١٠٠



هيستوجرام التكرار



المنحنى التكراري.



منحنى التوزيع التكراري التجميعى.

ثانياً مقاييس المركزية:

١- المتوسط $\overline{X} = \frac{\sum nx}{N}$

حيث X **متوسط الفئة**
n **تكرار الفئة**
N **العدد الكلى للعينات**

$$= \frac{220x16 + 230x31 + \ldots\ldots\ldots\ldots + 310x15}{523} = ٢٦٣,٠٨ \text{ كج/ سم}^٢$$

٢- الوسيط = ٢٦٢ كج/سم٢ (من منحنى التكرار التجميعى)

٣- المنوال = ٢٦٠ كج/سم٢ (من جدول التكرار أو هيستوجرام التكرار)

ومن هنا يتضح أن المنحنى موجب الإلتواء حيث أنه يميل قليلاً جداً ناحية القيم الأقل من المتوسط.

ثالثاً مقاييس التشتت:

١- الانحراف المعيارى $\sigma = \sqrt{\frac{\sum n(x-\bar{x})^2}{N-1}}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{16(220-263.8)^2+31(230-263.8)^2+.....+15(310-263.8)^2}{523-1}} = 20.5 \text{ kg/cm}^2$$

٢- معامل الإختلاف = الانحراف المعياري / المتوسط = ٢٠,٥ × ١٠٠ / ٢٦٣,٠٨ = ٧,٧٩ %

إذن طبقا لتقييم ACI فإن التحكم فى ضبط الجودة ممتاز

رابعاً حساب قيمة المقاومة التى تعطى درجة ثقة معينة تحليليا وبيانيا:

أ- تحليلياً:

- درجة ثقة ٩٠%

$f_{cu} = f_m (1 - kv) = 263.08 (1 - 1.28 * 0.0779) = 236.85 \text{ kg/cm}^2$

- درجة ثقة ٩٥%

$f_{cu} = f_m (1 - kv) = 263.08 (1 - 1.64 * 0.0779) = 229.47 \text{ kg/cm}^2$

ب- بيانياً:

من منحنى التكرار التجميعى

f_{cu} (90%) ≅ 236 kg/cm^2

f_{cu} (95%) ≅ 229 kg/cm^2

وبصفه عامة فإنة طبقا للتقييم بكل من σ ، v فإن درجة التحكم فى الجودة تعتبر ممتازة حيث الإنحراف المعيارى (σ) أقل من ٢٨ كج/سم٢ و معامل الإنحراف (v) أقل من ١٠%.

أما عن مدى إنتظام النتائج فيوجد التواء خفيف جداً فى المنحنى ناحية القيم الأقل من المتوسط.

****